

ISSN 2713-220X

# НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

2023 № 4 (Том 4)

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
RESULTS AND PROSPECTS**

**2023 № 4 (Том 4)**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГОРНЫЕ НАУКИ**

*Романовский М.В., Солдатов А.И.* Исследование акустических сигналов несанкционированных действий на магистральных нефтегазотрубопроводах 3

**ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА,  
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ**

*Храмов К.К., Жиганов С.Н., Смирнов М.С., Блюхеров И.А.* Исследование механизмов интерполяции при цифровом формировании сложных радиолокационных сигналов 9

*Гамзалова И.Ю., Евдулов О.В., Хазамова М.А., Саидова С.Т.* Перспективы применения термоэлектрических преобразователей энергии для терапии коленных и локтевых суставов 21

*Пикалов Е.В.* Математическая модель системы стереозрения с непараллельным расположением оптических осей и метод коррекции 26

*Во Т.Х., Долматов А.В., Лыу Н.Т., Науен К.Д., Увайсов С.У.* Алгоритм учёта разбросов технологических параметров конструкции для диагностирования бортовой космической аппаратуры 32

*Скорняков С.М., Тихомиров А.А.* Разработка макета прототипа трехфазной сети с изолированным нулевым проводом для исследования переходных процессов при однофазных замыканиях на землю 38

*Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Несяев А.С., Васильев Ю.А., Плотникова Е.Ю.* Волоконно-оптический датчик давления языка новорожденного 46

*Федоров А.И., Гермес Д.П., Гиоргадзе А.Л.* Практическое использование универсального оптоэлектронного логического элемента в различных электронных устройствах 51

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

*Глушко Н.М., Деренок А.Д., Чулков Н.А., Кабанов В.А.* Общественная экспертиза безопасности при реализации региональных объектов в Томской области 57

**ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ**

*Жамангарин Д.С.* Распознавание транспортных потоков с использованием беспроводных датчиков 64

Правила оформления и представления статей 74

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»

**Редакционная коллегия:**

Н.Л. Баламирзоев, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)  
Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)  
Г.М. Абакаров, д.х.н., профессор (Махачкала)  
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Р.М. Алиев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Х.Х. Ахмадова, д.т.н., профессор (Грозный)  
М.Э. Ахмедов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
П.Ю. Бочкарев, д.т.н., профессор (Саратов)  
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
М.Ю. Карелина, д.т.н., профессор (Москва)  
Д.А. Магомедов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
К.П. Манжула, д.т.н., профессор (С-Петербург)  
А.Н. Мурашкевич, д.т.н., профессор (Минск)  
А.Н. Остриков, д.т.н., профессор (Воронеж)  
Г.К. Сафаралиев, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН (Москва)  
А.Р. Тагилаев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
И.И. Татарченко, д.т.н., профессор (Краснодар)  
С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)  
Т.А. Хежев, д.т.н., профессор (Нальчик)  
Н.К. Юрков, д.т.н., профессор (Пенза)  
При перепечатке ссылка на журнал «Научные исследования: итоги и перспективы» обязательна.  
Все поступившие в редакцию материалы подлежат рецензированию.  
Мнения авторов могут не совпадать с точкой зрения редакции.  
Редакция в своей деятельности руководствуется рекомендациями Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).  
Условия публикации статей размещены на сайте: <http://dstu.ru>.  
Журнал включен в базы данных eLIBRARY и индексируется в национальной информационно-аналитической системе – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Адрес редакции: 367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70  
Телефон: +7 (8722) 62 37 15  
E-mail: [naukajournal@mail.ru](mailto:naukajournal@mail.ru).  
**ISSN 2713-220X**

## 2023 № 4 (Vol. 4)

### CONTENTS

#### SUBSOIL USE AND MINING SCIENCES

*Romanovsky M.V., Soldatov A.I.* Study of acoustic signals of unauthorized actions on main oil and gas pipelines 3

#### ELECTRONICS, PHOTONICS, INSTRUMENT ENGINEERING AND COMMUNICATIONS

*Khramov K.K., Zhiganov S.N., Smirnov M.S., Blyukherov I.A.* Study of interpolation mechanisms in the digital generation of complex radar signals 9

*Gamzalova I.Yu., Evdulov O.V., Khazamova M.A., Saidova S.T.* Prospects of application of thermoelectric energy converters for knee and elbow joint therapy 21

*Pikalov E.V.* Mathematical model of a stereo vision system with a non-parallel arrangement of optical axes and correction method 26

*Vo T.H., Dolmatov A.V., Lyu N.T., Nguyen K.D., Uvaysov S.U.* Algorithm for accounting for variations in technological parameters of the design for diagnosing onboard space equipment 32

*Skornyakov S.M., Tikhomirov A.A.* Development of a prototype model of a three-phase network with an insulated neutral wire for studying transient processes during single-phase ground faults 38

*Murashkina T.I., Badeeva E.A., Nesyaev A.S., Vasiliev Yu.A., Plotnikova E.Yu.* Fiber Optic Newborn Tongue Pressure Sensor 46

*Fedorov A.I., Hermes D.P., Giorgadze A.L.* Practical use of a universal optoelectronic logic element in various electronic devices 51

#### CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

*Glushko N.M., Derenok A.D., Chulkov N.A., Kabanov V.A.* Public safety expertise in the implementation of regional facilities in the Tomsk region 57

#### TRANSPORT SYSTEMS

*Zhamangarin D.S.* Recognition of traffic flows using wireless sensors 64

Rules for writing and submitting articles 74

Founder and Publisher: federal state budgetary educational institution of higher education «Daghestan State Technical University»

#### Editorial team:

N.L. Balamirzoev, Ph.D., Associate Prof., Chief editor (Makhachkala)

G.Kh. Irzaev, Ph.D., Associate Prof., Deputy Chief Editor (Makhachkala)

G.M. Abakarov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)

R.M. Aliev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)

Kh.Kh. Akhmadova, Doctor of Science, Prof. (Grozny)

M.E. Akhmedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)

M.U. Akhmedpashaev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)

P.Yu. Bochkarev, Doctor of Science, Prof. (Saratov)

R.V. Guseynov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)

M.Yu. Karelina, Doctor of Science, Prof. (Moscow)

D.A. Magomedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)

A.N. Murashkevich, Doctor of Science, Prof. (Minsk)

A.N. Ostrikov, Doctor of Science, Prof. (Voronezh)

G.K. Safaraliev, Doctor of Science, Prof. (Moscow)

A.R. Tagilayev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)

I.I. Tatarchenko, Doctor of Science, Prof. (Krasnodar)

S.U. Uvaisov, Doctor of Science, Prof. (Moscow)

T.A. Khezhev, Doctor of Science, Prof. (Nalchik)

N.K. Yurkov, Doctor of Science, Prof. (Penza)

When reprinting a link to the journal «Scientific researches: results and prospects» required.

All materials received by the editors subject to review.

The opinions of the authors may not coincide with the views of the publisher.

The editors in their activities guided by the recommendations of the Committee on Publication Ethics.

The conditions for publishing articles are available on the website: <http://dstu.ru>.

The journal is included in the eLIBRARY data bases and indexed in the national information and analytical system - Russian Science Citation Index (RSCI).

Editorial office: 70 I. Shamily Ave., Makhachkala, Republic of Daghestan, 367026, Russia.

Tel.: +7 (8722) 62 37 15

E-mail: [naukajournal@mail.ru](mailto:naukajournal@mail.ru).

**ISSN 2713-220X**



## ИССЛЕДОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ДЕЙСТВИЙ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕГАЗОТРУБОПРОВОДАХ

М.В. Романовский, А.И. Солдатов  
Сургутский государственный университет, Сургут  
628416, Россия, Ханты-Мансийский АО, г. Сургут, ул. Ленина, 1  
noiremagnus@gmail.com

**Аннотация.** В статье описан эксперимент по имитации врезки в магистральный трубопровод и записи акустического сигнала для последующей обработки методом быстрого преобразования Фурье для выделения частотных характеристик в целях повышения безопасности объектов нефтегазовой отрасли. Алгоритм распознавания акустических сигналов опирается на метод дискретного преобразования Фурье, который используется для анализа спектральной характеристики звуковых волн и их сопоставления с эталонами. Упомянутый метод преобразования основан на разложении суммарных акустических сигналов, регистрируемых датчиками, на базовые синусоидальные составляющие. Основной целью данного исследования является модернизация системы физической защиты магистральных трубопроводов для перекачки нефтепродуктов, что в конечном итоге приведет к повышению общего уровня безопасности данных объектов.

**Ключевые слова:** акустический датчик, магистральный трубопровод, преобразование Фурье, система физической защиты, частотный спектр сигнала.

**Abstract.** The article describes an experiment to simulate tapping into a main pipeline and recording an acoustic signal for subsequent processing using the fast Fourier transform method to extract frequency characteristics in order to improve the safety of oil and gas industry facilities. The acoustic signal recognition algorithm is based on the discrete Fourier transform method, which is used to analyze the spectral characteristics of sound waves and compare them with standards. The mentioned conversion method is based on the decomposition of the total acoustic signals recorded by the sensors into basic sinusoidal components. The main goal of this study is to modernize the physical protection system of main pipelines for pumping petroleum products, which will ultimately lead to an increase in the overall level of safety of these facilities.

**Key words:** acoustic sensor, main pipeline, Fourier transform, physical protection system, frequency spectrum of the signal.

### Введение

В списке угроз, которые оказывают воздействие на безопасность магистральных трубопроводов, преобладают акты кражи нефти и нефтепродуктов, осуществляемые через несанкционированные врезки. Эти случаи составили 55% от общей структуры незаконных вмешательств в 2020 году. В тот же год было зафиксировано 141 несанкционированная врезка на транспортных магистральных

нефтепроводах и нефтепродуктопроводах, причем к магистральным нефтепродуктопроводам наблюдается увеличение интереса со стороны правонарушителей в последние годы. Такой интерес объясняется тем, что нефтепродукты, извлеченные из таких трубопроводов, могут быть незамедлительно внедрены на рынок без необходимости дополнительной обработки или переработки [1].

Основная научная задача заключается в

повышении уровня физической защиты магистральных трубопроводов. Этот результат достигается через интеграцию методов, опирающихся на информационные критерии оптимальности, совмещение различных подходов к оптимизации и применение современных методов обработки информации, направленных на обеспечение необходимого уровня безопасности магистральных трубопроводов [2, 3, 4].

Акустические датчики функционируют путем преобразования звуковых волн в электрические сигналы, которые затем подвергаются анализу с помощью специализированного программного обеспечения. Эти датчики обычно устанавливаются вдоль всей протяженности трубопровода, и собранные акустические данные передаются в центральную систему мониторинга в режиме реального времени. По завершении этого этапа программное обеспечение осуществляет анализ данных, определяя возможные аномалии или изменения в акустическом спектре, которые могут свидетельствовать о потенциальных нарушениях.

Метод прямого преобразования Фурье (или *DFT*, *Discrete Fourier Transform*) является численным алгоритмом, используемым для преобразования сигналов из временной области в частотную область. Он основан на математическом преобразовании Фурье, которое позволяет анализировать сигналы и раскладывать их на составляющие частоты [5, 6].

Метод *DFT* работает с дискретными сигналами, представленными последовательностью отсчетов во времени. Он преобразует эту



последовательность в последовательность комплексных чисел, представляющих амплитуды и фазы соответствующих частотных компонент. Преобразование выполняется с помощью формулы:

$$X[k] = \sum(x[n]e^{-\frac{2\pi ink}{N}}),$$

где  $X[k]$  – комплексное число, представляющее  $k$ -ую частотную компоненту сигнала;  $x[n]$  – отсчет временной области;  $n$  – текущий отсчет;  $k$  – текущая частота;  $N$  – общее количество отсчетов.

Процесс прямого преобразования Фурье включает в себя вычисление *DFT* для каждой частоты от 0 до  $N - 1$ , где  $N$  – количество отсчетов во временной области. Результатом является последовательность комплексных чисел, представляющая спектр сигнала в частотной области.

Преимущество метода прямого преобразования Фурье состоит в том, что он позволяет анализировать спектральные компоненты сигнала и извлекать информацию о его частотном содержании. Это находит применение в различных областях, таких как обработка сигналов, аудиообработка, обработка изображений, телекоммуникации и многих других [7, 8].

### Описание эксперимента

Был проведен опыт с объектом в виде отрезка цельнометаллической трубы, изображенной на рисунке 1, со следующими характеристиками: длина трубы – 140 см, толщина стенки – 5 мм, марка стали 09Г2С.

В эксперименте использовалось следующее оборудование:

- записывающее устройство: микрофон *Genius PERFEO M-3* с ветрозащитной насадкой (губкой) для подавления шумов (рисунок 2);

- используемое программное обеспечение для записи и отображения спектра звука: *Adobe Audition 2022*;

- программное обеспечение для математической обработки акустического сигнала: *Matlab R2018b*.

Рисунок 1 – Отрезок трубы стали 09Г2



Рисунок 2 – Микрофон Genius PERFEO M-3 с ветрозащитной насадкой

Суть эксперимента заключалась в имитации врезки в магистральный трубопровод и записи акустического сигнала. После акустического преобразования методом быстрого преобразования Фурье (БПФ) полученные частоты планируется использовать как эталон-

ные сигналы для сравнения с частотами акустического сигнала, получаемых в процессе мониторинга и охраны в системе физической защиты магистральных трубопроводов.

В результате эксперимента были записаны следующие акустические сигналы:

- звук биения металлическим объектом (молотком, зубилом с молотком);
- звук сверления трубы;
- звук резки угловой шлифовальной машинкой (УШМ).

Полученные акустические сигналы изображены на рисунке 3.

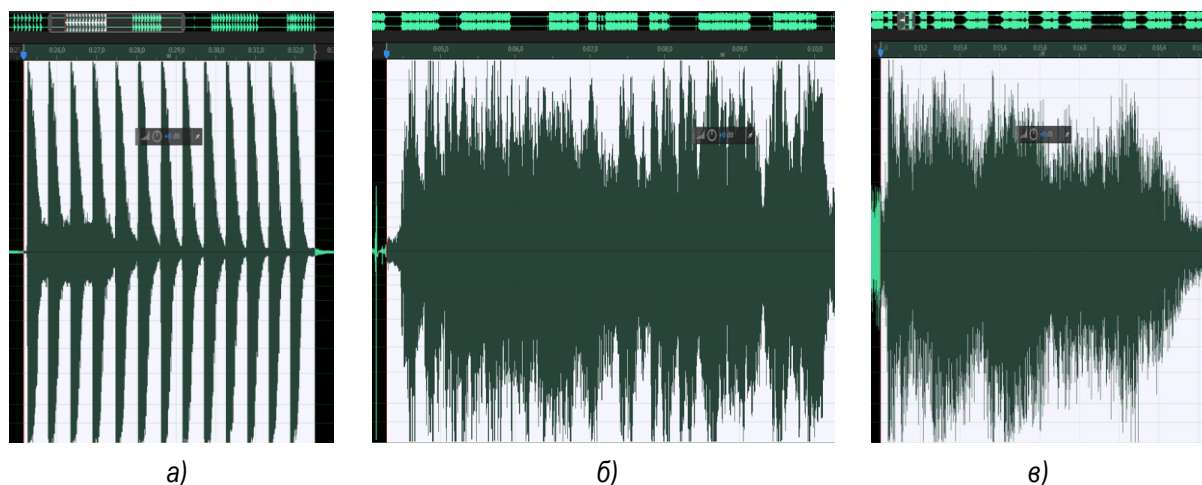


Рисунок 3. Акустические сигналы, полученные в ходе эксперимента: а) удар молотком; б) сверление дрелью; в) резка угловой шлифовальной машинкой

Как видно, разнородные акустические сигналы визуально достаточно сильно отличаются, тем не менее, в таком виде на программном уровне точно идентифицировать сигнал затруднительно, по этой причине необ-

ходимо перевести его в частотный диапазон. Так, после проведения эксперимента, акустические сигналы обработаны методом БПФ с помощью программы *Matlab R2018b* с параметрами, представленными в таблице.

Таблица – Основные параметры программного кода при обработке сигнала БПФ

Параметр	Описание
$nwindow = 2^{15};$ $nFFT = 2^{15};$ $noverlap = 0;$ $win = hamming(nwindow);$	длина входного вектора (входного окна) длина БПФ ( $Nfft$ ) количество отсчётов перекрытия тип оконной функции

Спектральная характеристика частотного диапазона акустических сигналов от удара молотком, дрели и УШМ изображены на рисунках 4, 5 и 6 соответственно и сравнены

между собой в пределах одного источника звука (для уменьшения количества объема в статье приведены по 3 графика акустического сигнала).

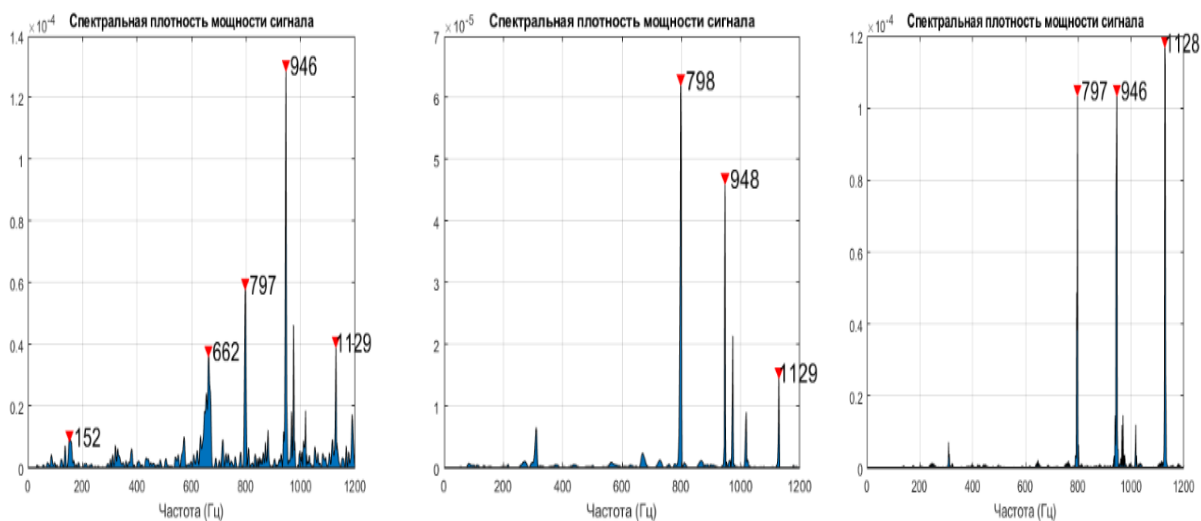


Рисунок 4 – Спектральная характеристика частотного диапазона акустических сигналов от удара молотком (выделенные частоты: 795-780 Гц, 945-950 Гц, 1125-1129 Гц)

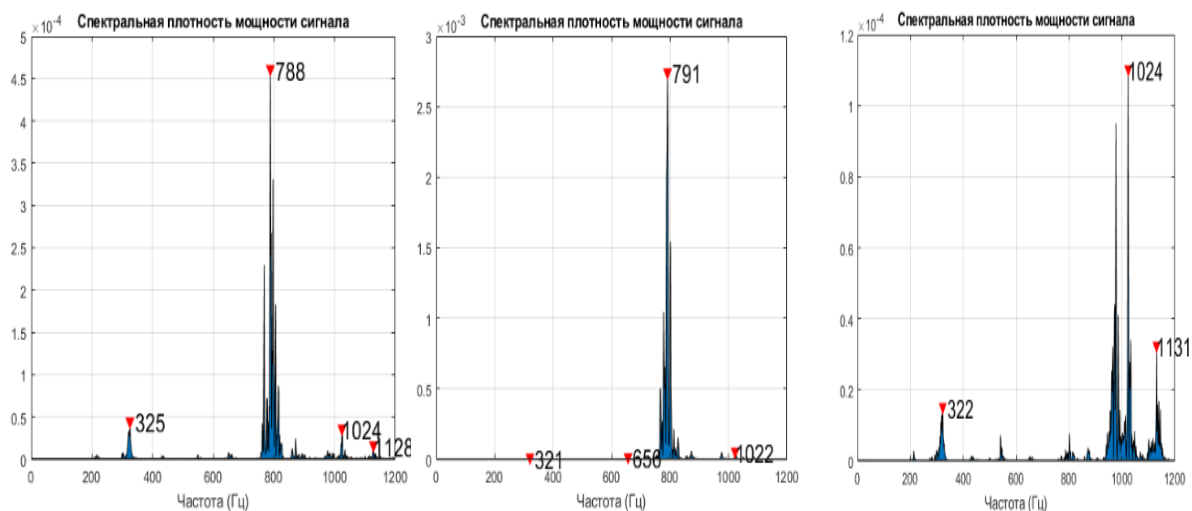


Рисунок 5 – Спектральная характеристика частотного диапазона акустических сигналов от дрели (выделенные частоты: 320-326 Гц, 785-792 Гц, 1020-1025 Гц)

Как видно из результата эксперимента, даже визуально возможно отличить звук удара молотка от звука врезки в трубу дрелью. И хотя из спектра звукового сигнала резки трубы УШМ достаточно сложно выделить преобладающие частоты, характерными, например, можно считать преобладающие пики частот в

пределах 320-326 Гц, 785-792 Гц, 1020-1025 Гц, которые встречаются во всех итерациях эксперимента. Спектр от сверления дрелью также можно считать усложненным в виду большого количества шума, здесь чаще встречаемыми являются частоты в пределах области 320-326 Гц, 785-792 Гц, 1020-1025 Гц

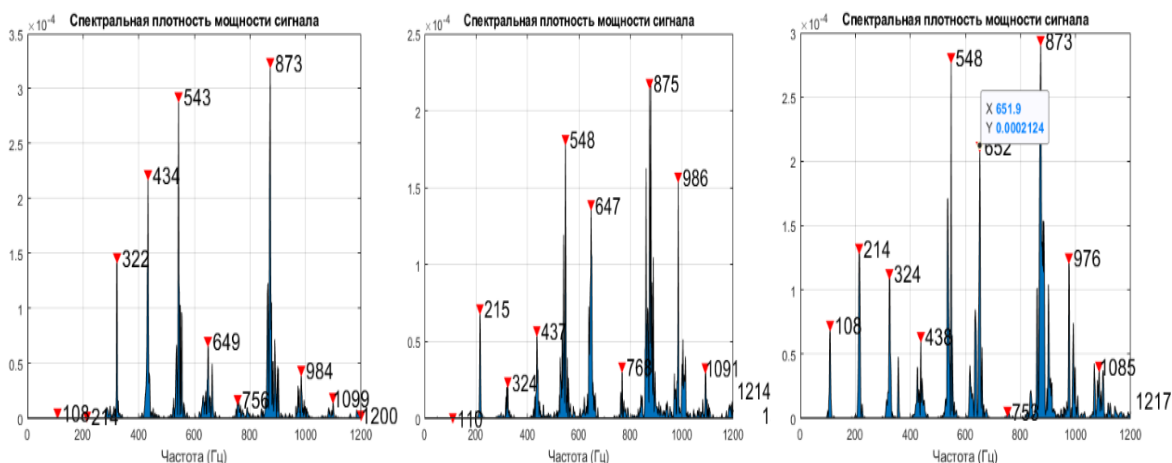


Рисунок 6 – Спектральная характеристика частотного диапазона акустических сигналов от УШМ (выделенные частоты: 542-550 Гц, 870-875 Гц, 870-875 Гц)

Легче всего идентифицировать удары металлическим предметом по трубе, так как они происходят с определенной периодичностью, отчетливой гармоникой из-за малого уровня сопутствующего шума. Здесь частоты, встречающиеся чаще всего в ходе эксперимента, лежат в пределах 795-780 Гц, 945-950 Гц и 1125-1129 Гц. Таким образом, основываясь на этом факте и имея описанный математический метод обработки акустического сигнала, возможно описать и спроектировать такой подход программным способом для автоматизации процесса мониторинга и охраны магистральных трубопроводов, что повысит безопасность и общую физическую защиту в нефтегазовой отрасли.

Однако для успешной применимости необходимо учитывать особенности системы, проводить дальнейшие исследования и разрабатывать адекватные алгоритмы обработки сигналов.

### Заключение

Таким образом, проведенный экспери-

мент, направленный на имитацию врезки в магистральный трубопровод с последующим анализом акустического сигнала с применением метода БПФ, представляет собой важный шаг в области обеспечения безопасности объектов нефтегазовой отрасли. Полученные в результате обработки частотные характеристики акустических сигналов могут значительно повысить эффективность системы мониторинга и обнаружения несанкционированных вмешательств.

Особый интерес представляет планируемая реализация данного метода на базе микросхем *Arduino*. Такой подход обещает привнести гибкость в процесс моделирования обнаружения аномалий в трубопроводной инфраструктуре. Микросхемы *Arduino* хорошо зарекомендовали себя в области прототипирования и разработки систем мониторинга, что сделает внедрение метода БПФ более доступным и простым в практическом применении.

### Библиографический список

1. Воробьев К.А. Предотвращение чрезвычайных ситуаций на магистральных нефтепроводах // Синергия наук. 2021. № 58. С. 252-265.
2. Сафина В.В. Методы обеспечения промышленной безопасности магистральных нефтепроводов // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. № 8. С. 959-968.
3. Дубинин И.К. К вопросу о развитии газовой отрасли в России и проблемах обеспечения ее безопасности // Южноуральские криминалистические чтения: сб. докл. науч.-практ. конф., Уфа, 24 декабря 2020 г. Уфа: БашГУ, 2021. С. 48-51.
4. Самигуллин Г.Х., Симонова М.А. Оценка риска разгерметизации трубопроводов при воздействии трудно прогнозируемых повреждающих факторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № S7. С. 490-497.



5. Лукин А. Введение в цифровую обработку сигналов (математические основы) // Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа. М.: МГУ, 2007. С. 15-32.
6. Князев Б.А., Черкасский В.С. Дискретное преобразование Фурье – как это делается // Вестник НГУ. Серия физика. 2004. Т.4. Вып. 4. С. 1-21.
7. Александров В.А. Преобразование Фурье: учеб. пособие. Новосибирск: НГУ, 2002. 62 с.
8. Шамсиев Э.Х., Павлов А.Д., Мокшин В.В. Методы голосовой идентификации человека // Профессиональные коммуникации в научной среде – фактор обеспечения качества исследований: сб. мат. X все-рос. науч.-практ. конф., Альметьевск, 16-17 марта 2022 г. С-Пб.: ООО «Скифия-принт», 2022. С. 138-142.

#### Referenses

1. Vorob'ev K.A. Predotvrashchenie chrezvychajnyh situacij na magistral'nyh nefteprovodah // Si-nergiya nauk. 2021. № 58. S. 252-265.
2. Safina V.V. Metody obespecheniya promyshlennoj bezopasnosti magistral'nyh nefteprovodov // Voprosy ustojchivogo razvitiya obshchestva. 2022. № 8. S. 959-968.
3. Dubinin I.K. K voprosu o razvitii gazovoj otrasli v Rossii i problemah obespecheniya ee bez-opasnosti // Yuzhnoural'skie kriminalisticheskie chteniya: sb. dokl. nauch.-prakt. konf., Ufa, 24 dekabrya 2020 g. Ufa: Bash-GU, 2021. S. 48-51.
4. Samigullin G.H., Simonova M.A. Ocenka riska razgermetizacii truboprovodov pri vozdeystvii trudno prognoziruemym povrezhdayushchih faktorov // Gornyj informacionno-analiticheskij byullyuten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2019. № S7. S. 490-497.
5. Lukin A. Vvedenie v cifrovuyu obrabotku signalov (matematicheskie osnovy) // Laboratoriya kom-p'yuternoj grafiki i mul'timedia. M.: MGU, 2007. S. 15-32.
6. Knyazev B.A., Cherkasskij V.S. Diskretnoe preobrazovanie Fur'e – kak eto delaetsya // Vestnik NGU. Seriya fizika. 2004. T.4. Vyp. 4. S. 1-21.
7. Aleksandrov V.A. Preobrazovanie Fur'e: ucheb. posobie. Novosibirsk: NGU, 2002. 62 s.
8. Shamsiev E.H., Pavlov A.D., Mokshin V.V. Metody golosovoj identifikacii cheloveka // Profes-sional'nye kommunikacii v nauchnoj srede – faktor obespecheniya kachestva issledovanij: sb. mat. X vse-ros. nauch.-prakt. konf., Al'met'evsk, 16-17 marta 2022 g. S-Pb.: ООО «Skifiya-print», 2022. S. 138-142.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 04.11.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 22.11.2023*

*Принята к публикации / Accepted 28.11.2023*

*© М.В. Романовский, А.И. Солдатов, 2023*

---

#### Сведения об авторах

#### List of Authors

---

*Романовский Максим Витальевич* – аспирант кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Сургутского государственного университета.

*Maxim Romanovsky* – Postgraduate Student of the Department of Automated Information Processing and Management Systems, Surgut State University.

*Солдатов Алексей Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры управления инновациями Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники.

*Alexey Soldatov* – Doctor of Technical Sciences, Professor of Innovation Management Department, Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics.

---

Ссылка для цитирования: *Романовский М.В., Солдатов А.И.* Исследование акустических сигналов несанкционированных действий на магистральных нефтегазотрубопроводах // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 3 - 8. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-3-8.

For citation: *Romanovsky M.V., Soldatov A.I.* Study of acoustic signals of unauthorized actions on main oil and gas pipelines // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 3 - 8. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-3-3-8.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРИ ЦИФРОВОМ ФОРМИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ РАДИЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

К.К. Храмов<sup>1</sup>, С.Н. Жиганов<sup>2</sup>, М.С. Смирнов<sup>1</sup>, И.А. Блюхеров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Муромский институт Владимирского государственного университета, Муром  
602264, Россия, Владимирская область, г. Муром, ул. Орловская, 23

<sup>2</sup> АО «НПК «Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи», Москва  
127083, г. Москва, ул. 8 Марта, 10, стр. 5  
smirnov.murom@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию схем цифровых методов построения фильтров-интерполяторов. Рассмотрены возможные методы построения на основе гребенчатых фильтров, фильтров собранных по структуре Белланжа и по структуре Крошье-Рабинера. Проведено моделирование работы фильтров-интерполяторов. Дана оценка пригодности различных фильтров-интерполяторов для реализации на современных вычислительных системах.

**Ключевые слова:** гребенчатый фильтр, интерполяция, структура Белланжа, структура Крошье-Рабинера, фильтр нижних частот, фильтр Хогенауэра.

**Abstract.** The article is devoted to the study of schemes of digital methods for constructing filters-interpolators. Possible construction methods based on comb filters, filters assembled according to the Bellange structure and according to the Crochier-Rabiner structure are considered. The simulation of the operation of filters-interpolators has been carried out. The suitability of various interpolator filters for implementation on modern computing systems has been assessed.

**Key words:** CIC filters, interpolation, Bellange structure, Crochier-Rabiner structure, low-pass filter, Hogenauer filter.

### Введение

Одним из ключевых требований в задачах построения радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) является способность точно формировать колебания различной частоты и формы с возможностью параметризации. Таким образом, возникает необходимость в стабильных источниках радиосигнала с регулируемой фазой и частотой сигнала. В то же время они должны обеспечивать максимально чистый сигнал [1]. Для соответствия всем этим требованиям рекомендуется использовать технологию прямого цифрового синтеза частот.

Для реализации прямого цифрового синтеза можно использовать как готовые устрой-

ства, так и реализовать их самостоятельно, используя стандартные вычислительные системы, сигнальные процессоры или микросхемы, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС).

### Постановка проблемы

Предполагается что формирование зондирующего сигнала (ЗС) проводится в цифровом виде с последующим преобразованием в аналоговый вид с использованием цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Сгенерировать подобный цифровой ЗС можно двумя различными способами:

- программный способ. Стандартный вычислитель (например, микроконтроллер) ис-

пользуя соответствующий программный модуль, заполняет массивы данных на основе заданных параметров сигнала;

- аппаратно-программный способ. Для этого используется модуль прямого цифрового синтеза (DDS), реализованный в микросхеме ПЛИС цифрового приемо-передающего устройства.

При аппаратной реализации формирования цифрового сигнала наиболее дорогостоящим ресурсом является память для хранения отсчетов. Соответственно первым требованием является оптимизация алгоритма DDS таким образом, чтобы при заданном отношении сигнала к шуму для аппаратной реализации требовалось как можно меньше памяти. Вторым требованием к алгоритму формирования цифрового ЗС является максимальное быстродействие при формировании отсчетов сигнала.

Исходя из требования к быстродействию, модуль формирования ЗС может иметь возможность хранения заранее предрассчитанных массивов базовых цифровых выборок ЗС. В этом случае цифровая выборка сигнальных отсчетов не синтезируется, а берется из базы

данных базовых сигналов по совпадению заданных параметров длительности и вида модуляции. Однако ограничение по памяти не дает сформировать большое количество подобных массивов с достаточным количеством отсчетов.

Решением данных проблем может служить следующий подход. Формирование массивов цифровых сигналов с пониженной частотой дискретизации с последующей интерполяцией сигнала до нужной тактовой частоты, что даст экономию ресурсов вычислительной системы вкпе с нужным быстродействием. Основной задачей работы было рассмотреть возможные схемы интерполяторов и выбрать наиболее оптимальный вариант с точки зрения асимптотической сложности и используемых аппаратных ресурсов.

#### Общая схема реализации

Структурная схема цифровой части устройства интерполяции линейно частотно модулированного (ЛЧМ) сигнала представлена на рисунке 1.

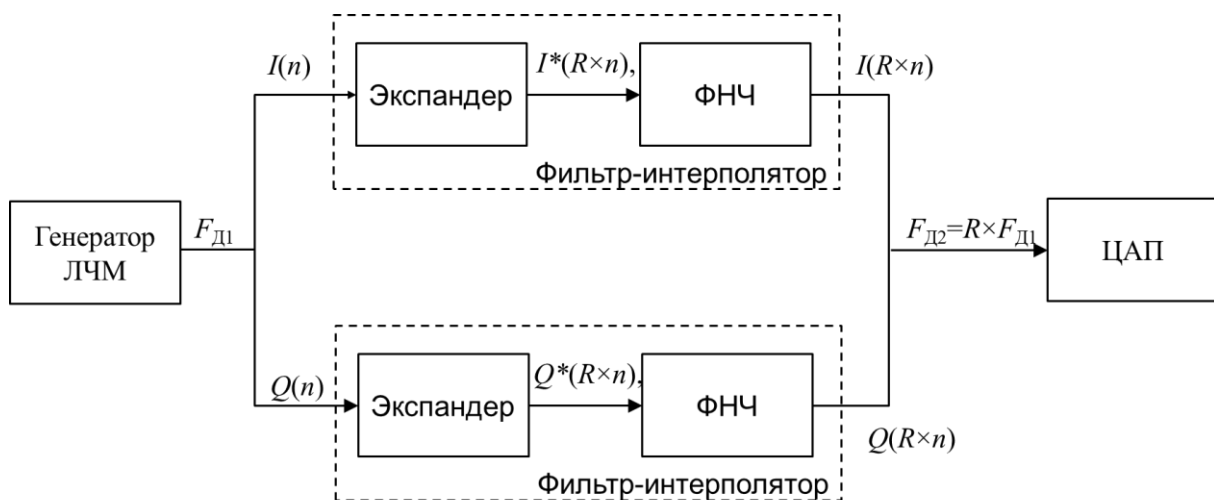


Рисунок 1 – Структурная схема формирователя цифрового зондирующего импульса

Генератор ЛЧМ-сигнала формирует две квадратурные составляющие зондирующего цифрового сигнала с линейной частотной модуляцией с заданными значениями длительности и девиации частоты, а также требуемой частотой дискретизации. Зондирующий сигнал имеет комплексное представление, что позволяет разбить его на две компоненты – син-

фазную и квадратурную. Далее квадратурные составляющие поступают на свой фильтр-интерполятор, который повышает частоту дискретизации в  $R$  раз, что увеличивает в  $R$  раз количество отсчетов в каждой квадратуре. Структура фильтров в каждой ветви одинаковая и содержит два блока: экспандер – устройство, увеличивающее частоту дискрети-

зации сигнала в заданное число раз и фильтр нижних частот, выделяющий необходимый частотный диапазон сигнала.

Экспандер служит для увеличения частоты дискретизации входного сигнала в целое  $L$  число раз. Он представляет собой блок, преобразующий входной дискретный сигнал, описываемый решетчатой функцией  $I(n)$  или  $Q(n)$  с периодом повторения  $T$ , в выходной дискретный сигнал с решетчатой функцией  $I^*(R \times n)$  или  $Q^*(R \times n)$ , период повторения которого  $T' = T/R$ . Фактически последовательности  $I^*(R \times n)$  и  $Q^*(R \times n)$  получаются из последовательностей  $I(n)$  и  $Q(n)$  соответственно путем добавления  $(R - 1)$  нулевых отсчетов между соседними отсчетами входного сигнала.

За счет добавления нулевых отсчетов во входную последовательность периодичность

спектральных составляющих увеличивается в  $R$  раз. Таким образом, в одном периоде спектра сигнала  $I^*(R \times n)$  или  $Q^*(R \times n)$  укладывается ровно  $R$  периодов спектра сигнала на входе экспандера  $I(n)$  или  $Q(n)$  и для получения сигнала с увеличенной раз частотой дискретизации необходимо удалить из спектра «лишние» частотные составляющие (с центральными частотами  $f'_d, 2f'_d, \dots$ ). Для этих целей и используется фильтр нижних частот (ФНЧ).

На рисунке 2 показан результирующий амплитудный спектр ЛЧМ сигнала на выходе экспандера частоты дискретизации. Видно, что в спектре сигнала содержатся лишние спектральные составляющие, удаление которых при помощи ФНЧ позволит получить спектр ЛЧМ сигнала с нужной частотой дискретизации.

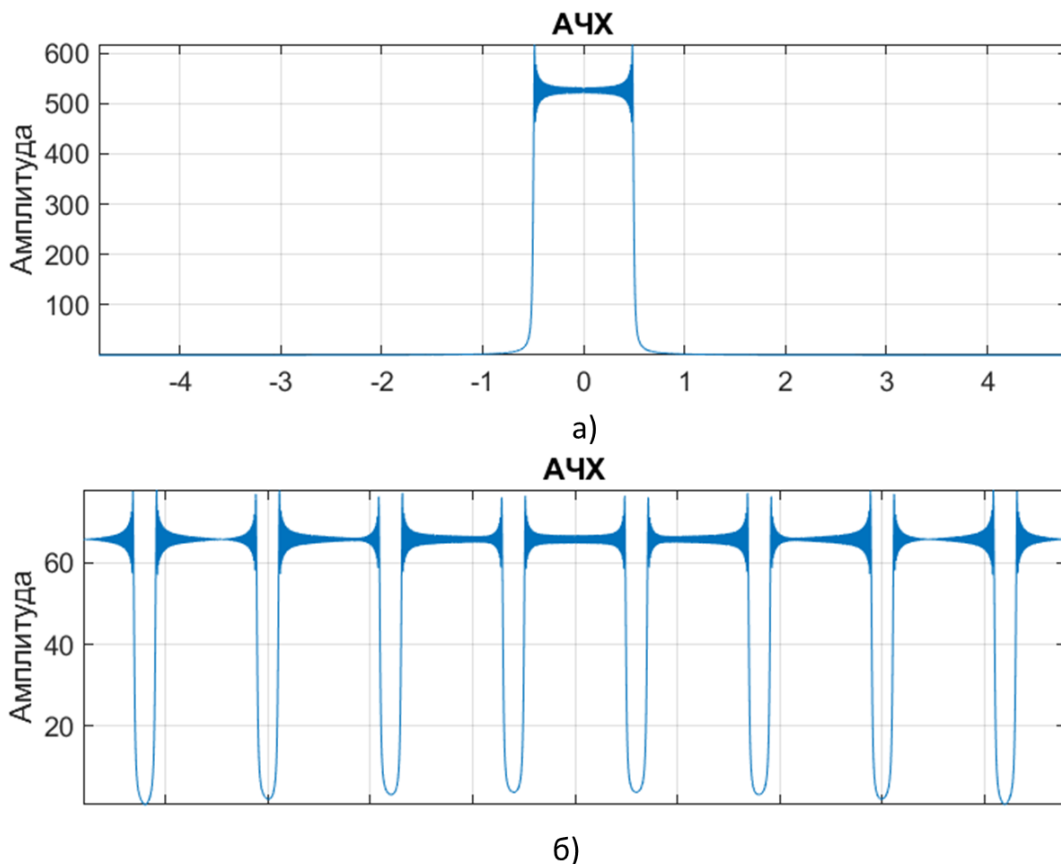


Рисунок 2 – Исходный амплитудный спектр (а) и амплитудный спектр на выходе экспандера (б)

Интерполированные квадратуры передаются в ЦАП. На его выходе формируется аналоговый сигнал, который усиливается и излучается в пространство.

При этом основной задачей является выбор типа построения фильтров-

интерполяторов. В данной работе рассматриваются три схемы реализации: каскадное соединение фильтра Хогенауэра (по структуре *Cascaded Integral-Comb* – *CIC*) и корректирующего фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр); схема по структуре



Белланжа; схема по структуре Крошье-Рабинера.

**Алгоритм интерполяции на основе структуры Хогенауэра**

Первый подход к реализации структуры интерполяции основан на применении совместного использования интегрального и гребенчатого фильтров разных порядков [2]. Рассмотрим структурные схемы интегрального и гребенчатого фильтров. Схема фильтра-интегратора с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтр) представлена на рисунке 3.

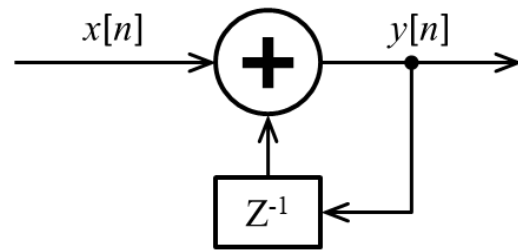


Рисунок 3 – Структурная схема БИХ-фильтра-интегратора

На рисунке 4 представлены амплитудно- и фазочастотные характеристики фильтра-интегратора.

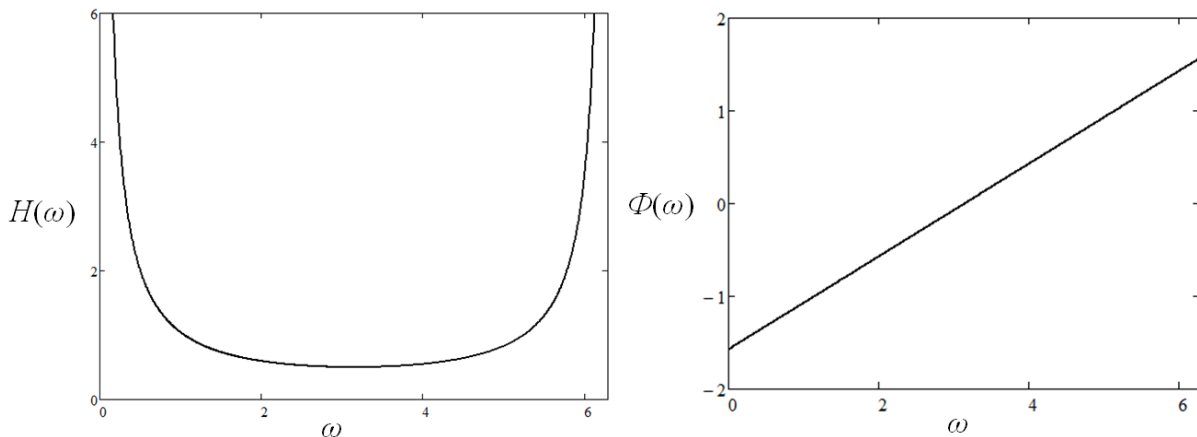


Рисунок 4 – Амплитудно-частотная (слева) и фазо-частотная (справа) характеристики фильтра-интегратора

Фильтр-интегратор имеет бесконечный коэффициент передачи на нулевой частоте и линейную фазо-частотную характеристику.

Структурная схема гребенчатого фильтра представлена на рисунке 5.

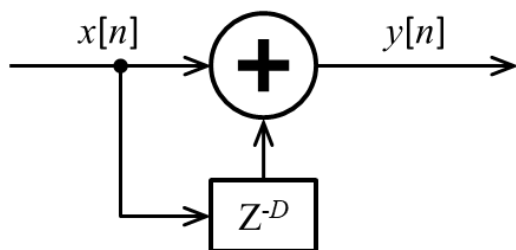


Рисунок 5 – Структурная схема гребенчатого фильтра

Блок  $z^{-D}$  соответствует линии задержки на  $D$  отсчетов. На рисунках 6 и 7 представлены амплитудно- и фазочастотные характеристики

гребенчатого фильтра при различном значении параметра задержки  $D$ .

Заметно, что при увеличении задержки частотная характеристика содержит все большее число периодов повторения (гребенка увеличивается).

Структурная схема каскадного соединения фильтра-интегратора и гребенчатого фильтра показана на рисунке 8.

Как известно,  $СИС$ -фильтр первого порядка обладает посредственными характеристиками, так как уровень первого бокового лепестка составляет  $-13$  дБ. Для увеличения подавления в полосе заграждения необходимо использовать  $СИС$ -фильтры более высокого порядка, полученные каскадным включением нескольких интеграторов и гребенчатых фильтров. В качестве примера на рисунке 9 показан  $СИС$ -фильтр 4-го порядка.

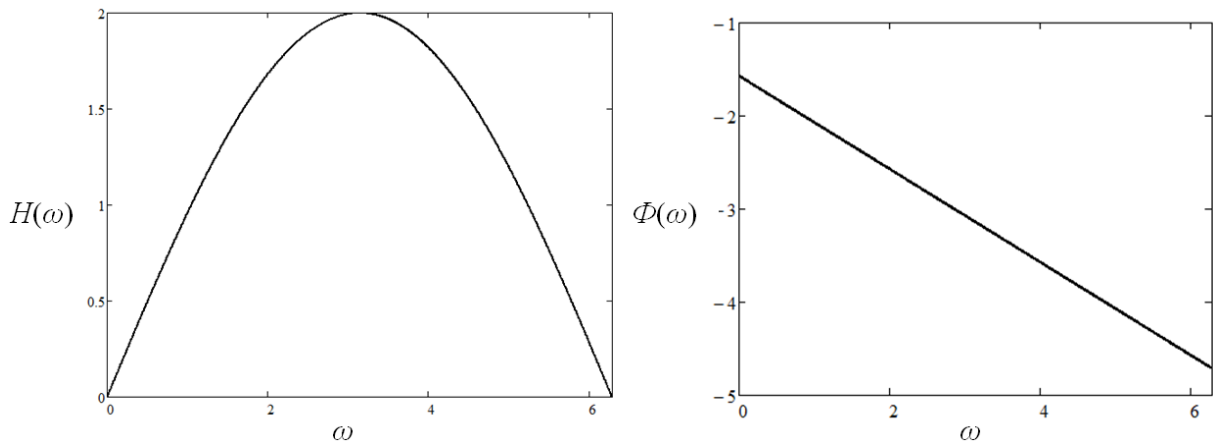


Рисунок 6 – Амплитудно-частотная (слева) и фазо-частотная (справа) характеристики гребенчатого фильтра при  $D = 1$

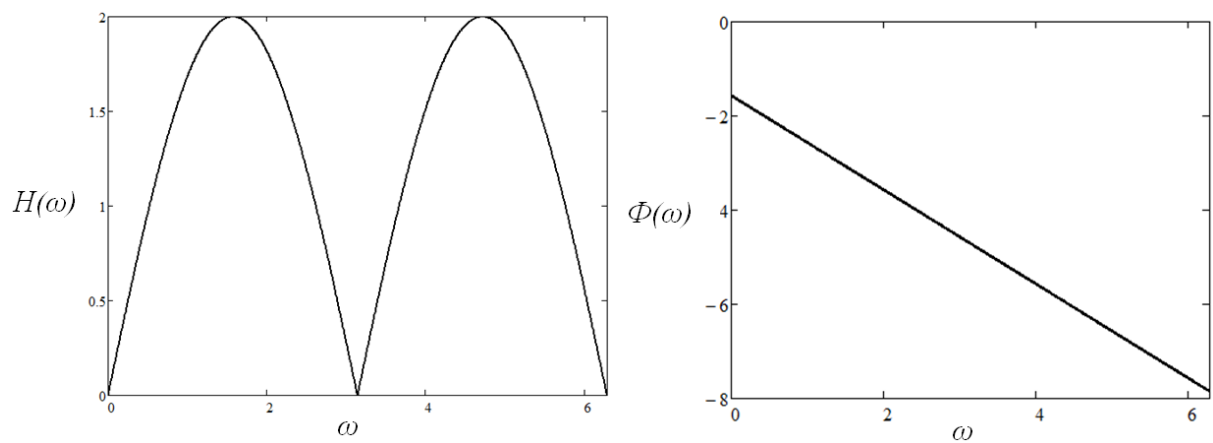


Рисунок 7 – Амплитудно-частотная (слева) и фазо-частотная (справа) характеристики гребенчатого фильтра при  $D = 2$

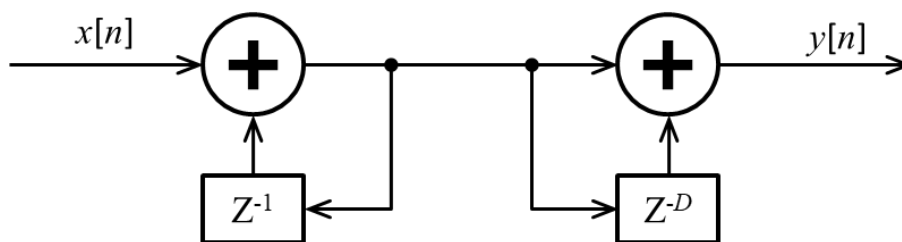


Рисунок 8 – CIC-фильтр первого порядка

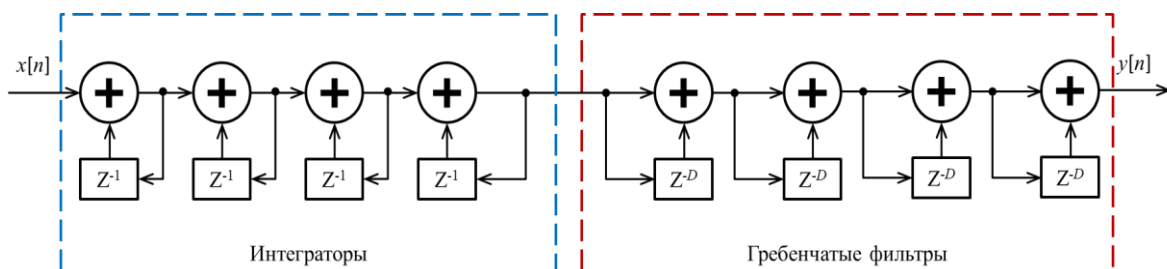


Рисунок 9 – CIC-фильтр 4-го порядка

Рассмотрим теперь использование *CIC*-фильтров в задаче интерполяции сигналов. Фильтр-интерполятор обеспечивает увеличение частоты дискретизации сигнала в  $R$  раз, где  $R$  – коэффициент интерполяции.

Исходный сигнал  $x(n)$  поступает на интерполятор, который увеличивает частоту дискретизации в  $R$  раз, путем вставки  $(R-1)$  нулей между отсчетами исходного сигнала. В результате получается сигнал  $x_R(k)$  дополненный нулями, который поступает на ФНЧ и который «поднимает нули».

Исходный сигнал  $x(n)$  имеет периодический спектр  $X(\omega)$  с периодом, равным частоте дискретизации  $\omega_s$ . После добавления нулей между отсчетами сигнала получаем увеличение частоты дискретизации в  $R$  раз, в результате получаем спектр  $X_R(\omega)$  сигнала  $x_R(k)$ , который представляет собой  $R$  раз повторенный спектр  $X(\omega)$  на интервале  $0 \dots \omega_{sR} = R \cdot \omega_s$ . ФНЧ с частотой среза  $\omega_{sR}/(2 \cdot R)$  устраняет периодичность спектра интерполированного сигнала, тем самым формируя интерполированный сигнал. Требуемая нормированная частота

среза ФНЧ равна  $\pi / R$ . А поскольку первый нуль передаточной характеристики *CIC*-фильтра равен  $\omega = 2 \cdot \pi / D$ , то при  $D = 2R$  получим требуемый *CIC*-фильтр. Порядок *CIC*-фильтра выбирается исходя из требуемого подавления периодических составляющих спектра интерполированного сигнала.

Главная отличительная особенность интегрально-гребенчатых фильтров заключается в том, что они не требуют использования операций умножения. Это обстоятельство делает их весьма привлекательными при аппаратной реализации на ПЛИС.

Проведем моделирование рассмотренной схемы децимации. В качестве примера рассмотрим процесс увеличения частоты дискретизации ЛЧМ сигнала в 8 раз. Для обеспечения требуемого подавления – 80 дБ возьмем порядок фильтра  $N = 8$  (в худшем случае подавление должно составлять – 88 дБ). Качественный вид амплитудно-частотной характеристики такого фильтра представлен на рисунке 10.

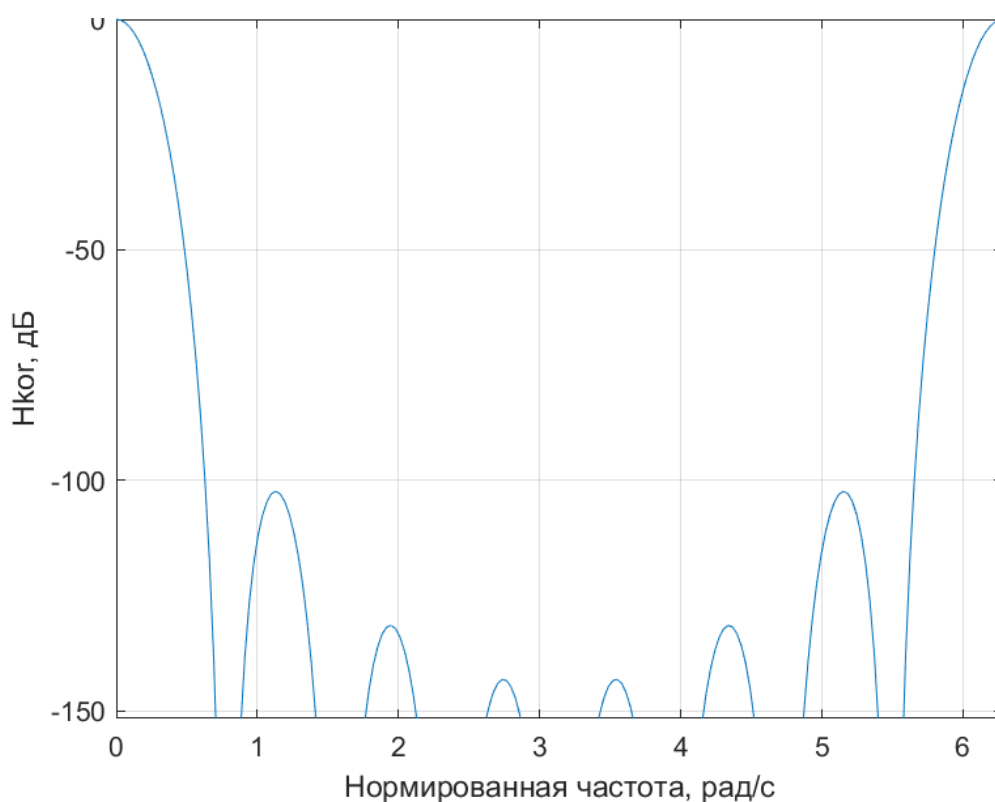


Рисунок 10 – Амплитудно-частотная характеристика *CIC*-фильтра при  $N = 8$

Из рисунка 10 видно, что затухание результирующего фильтра составляет более 100 дБ в полосе пропускания.

Структура интегрально-гребенчатого С/С-фильтра будет иметь вид, показанный на рисунке 9 с той лишь разницей, что количество

гребенок и интеграторов будет равно выбранному порядку фильтра, т.е. 8. На рисунке 11 показаны амплитудно-частотная характеристика спектра эталонного сигнала и сигнала на выходе С/С-фильтра.

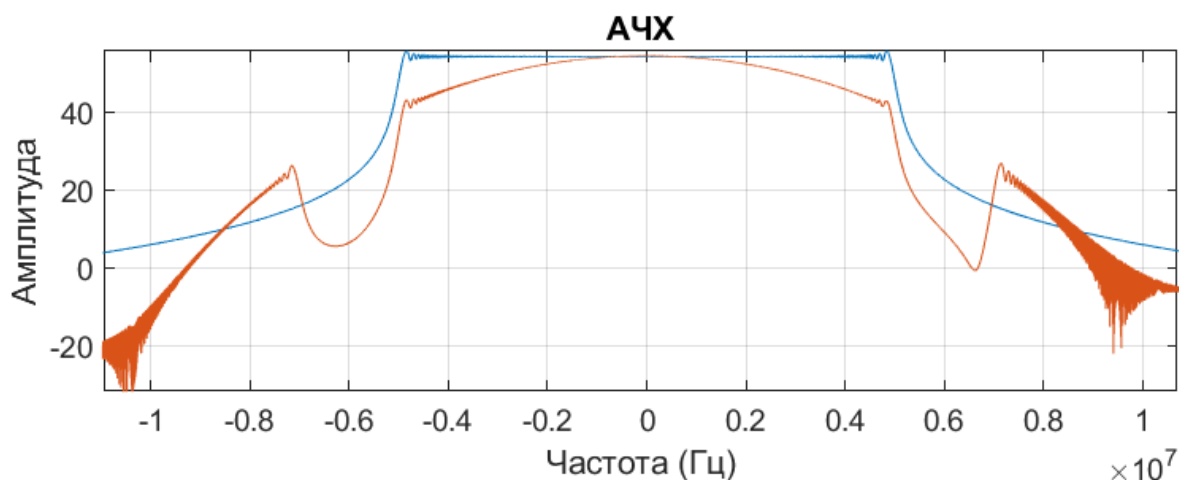


Рисунок 11 – Амплитудный спектр эталонного ЛЧМ сигнала и сигнала на выходе С/С-фильтра

Из рисунка 11 видно, что высокочастотные составляющие спектра ЛЧМ сигнала на выходе С/С-фильтра уменьшаются по амплитуде к краям импульса более чем в 2 раза. Коэффициент корреляции синфазной составляющей составляет 0,68, а квадратурной – 0,662. С/С-фильтр существенно ухудшает частотные составляющие сигнала в полосе пропускания, о чем свидетельствует форма главного лепестка амплитудно-частотной характеристики. В свою очередь, происходит потеря энергии сигнала и изменение его формы. В связи с этим, после С/С-фильтра обычно устанавливают корректирующий фильтр [3].

#### Алгоритм интерполяции на основе структуры Белланже

Второй подход, направленный на упрощение алгоритма интерполяции, основан на последовательном повышении частоты дискретизации сигнала для случая, когда частота дискретизации возрастает в целое число раз, соответствующее степени двойки. Идея метода заключается в каскадном включении предельно простых фильтров-интерполяторов, каждый из которых повышает частоту дискретизации в 2 раза.

Схема интерполяции будет иметь вид, представленный на рисунке 12.

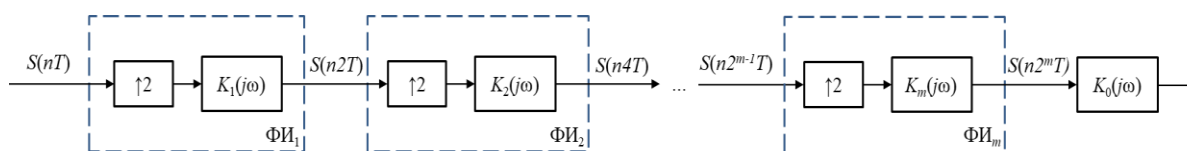


Рисунок 12 – Фильтр-интерполятор по структуре Белланже

Число каскадов  $m$  также можно определить по следующему соотношению:

$$m = \lceil \log_2 V_{max} \rceil,$$

где  $\lceil \cdot \rceil$  – целая часть числа,  $V_{max}$  – максимально допустимое значение коэффициента децимации. В свою очередь  $V_{max}$  можно найти из требуемых частотных характеристик низкочастотного фильтра:



$$v_{\max} = \frac{\alpha\beta}{(2\alpha + 1)},$$

где  $\alpha$  – показатель прямоугольности, он определяется из допусков на амплитудно-частотной характеристике фильтра и равен

$$\alpha = \frac{f_{cp}}{f_{под} - f_{cp}};$$

$\beta$  – показатель узкополосности фильтра, который равен  $\beta = 2\pi / f_{cp}$ , где  $f_{cp}$  – частота среза полосы пропускания фильтра,  $f_{под}$  – частота среза зоны непрозрачности фильтра.

Другие основные параметры ФНЧ – максимальное искажение сигнала в полосе пропускания и требуемое подавление в полосе заграждения.

Максимальное искажение сигнала в полосе пропускания:

$$G_p = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_p}},$$

где  $\varepsilon_p = 10^{\frac{R_p}{20}}$ ,  $R_p$  – искажение (неравномерность) по напряжению в полосе пропускания в дБ.

Требуемое подавление в полосе заграждения:

$$G_s = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_s}},$$

где  $\varepsilon_s = 10^{\frac{R_s}{20}}$ ,  $R_s$  – требуемое подавление по напряжению в дБ.

Также важным параметром блока децимации является коэффициент прореживания (децимации). Он определяется из отношения:

$$v = \frac{f_{двх}}{f_{дввх}},$$

где  $f_{двх}$  – частота дискретизации на входе,  $f_{дввх}$  – частота дискретизации на выходе.

Для оценки порядка КИХ-фильтра можно воспользоваться следующим соотношением:

$$N = \alpha \beta L(\varepsilon_p, \varepsilon_s),$$

где  $L(\varepsilon_p, \varepsilon_s)$  – логарифмический показатель частотной избирательности (эмпирическая характеристика), которой может быть аппроксимирован следующим выражением:

$$L(\varepsilon_p, \varepsilon_s) = -\frac{2}{3} \log_{10}(\varepsilon_p, \varepsilon_s).$$

Можно отметить, что порядок фильтра главным образом определяется двумя параметрами –  $\alpha$  и  $\beta$ . Поэтому поиск эффективных путей минимизации вычислительных затрат (снижение  $N$ ) должен быть направлен на уменьшение пропорциональной зависимости от показателей  $\alpha$  и  $\beta$ .

Особенность построения фильтра-дециматора по структуре Белланже (рисеујг 12) состоит в том, что каждый последующий фильтр имеет более высокий порядок, так как с каждым шагом децимации в 2 раза уменьшается ширина переходной зоны амплитудно-частотной характеристики, что требует повышения качества фильтрации. Заключительный фильтр ( $K_0(j\omega)$ ) работает на предельно низкой частоте дискретизации и порядок фильтра составляет  $N_0 = N / v_{max}$ .

Таким образом, каждый порядок из последовательных фильтров по схеме (рисунок 12) можно вычислить по формуле:

$$N_i = \left( \frac{1}{2} - \frac{2^i}{\beta} \right)^{-1} L(\varepsilon_p, \varepsilon_s).$$

Качество фильтра-дециматора целесообразно оценивать по следующим параметрам: скорость обработки  $R_T$  (для реализации на ПЛИС – это число умножений) и требуемая емкость памяти  $S_T$  (или число ячеек памяти).

Для фильтра-дециматора по Белланже скорость обработки и емкость памяти находим по следующим соотношениям:

$$R_T = f_D \sum_{i=1}^m \frac{N_i}{2^{i-1}} + \frac{f_D N_0}{2^m};$$

$$S_T = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^m N_i + N_0.$$

На рисунке 13 приведена амплитудно-частотная характеристика спектра сигнала на выходе схемы интерполяции, выполненной по схеме Беллаже. Вторая кривая соответствует эталонному сигналу.

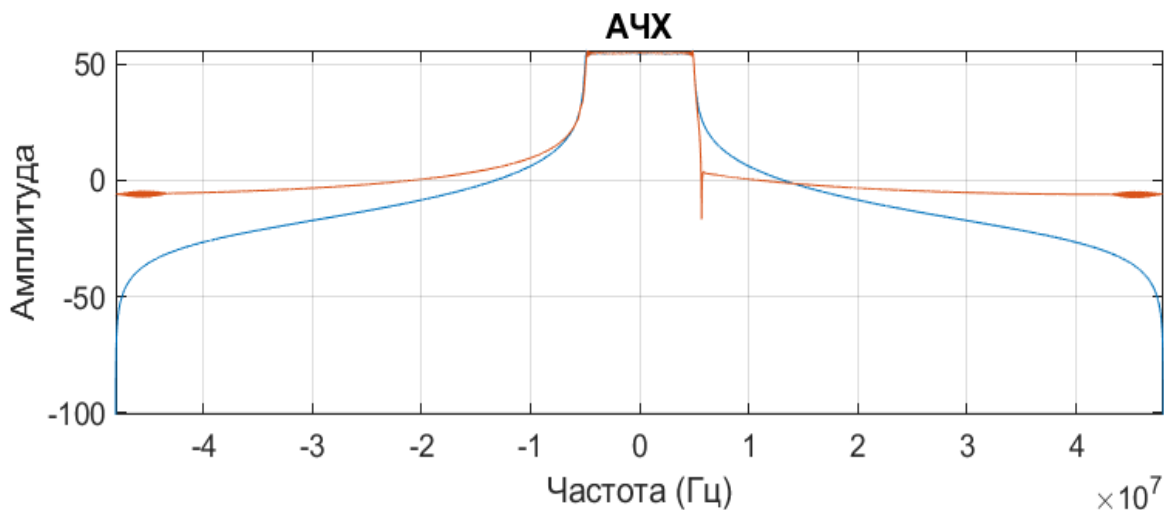


Рисунок 13 – Амплитудно-частотная характеристика спектра ЛЧМ сигнала на выходе ФНЧ

Для вычисления степени схожести между эталонным сигналом и сигналом, интерполированным при помощи оптимального фильтра, рассчитаем коэффициент корреляции между квадратурными составляющими сигналов. В результате расчетов получили, что коэффициент корреляции между синфазными составляющими составил 0,9821, а между квадратурными – 0,9801. Таким образом, интерполяция сигнала с увеличением частоты дискретизации в раз при помощи оптимального фильтра произошла практически безошибочно.

Синтезированная структура интерполяции ЛЧМ-сигнала Белланже содержит три экспандера частоты дискретизации на два и три ФНЧ, синтезированных оптимальным методом. Импульсные характеристики всех синтезированных КИХ фильтров являются симметричными, причем у первых двух фильтров количество коэффициентов четное, а у третьего – нечетное. Максимальный порядок у первого ФНЧ 80-й. Это связано с тем, что у него минимальное значение полосы прозрачности фильтра из всех рассматриваемых, поэтому к нему применяются более жесткие требования. Если входные и выходные отсчеты фильтров, а также его коэффициенты, как и в случае оптимального фильтра, рассмотренного ранее, определяются 12-ти разрядными числами, то для получения одного квадратурного выходного отсчета на выходе структуры интерполяции Белланже необходимо использовать 80 умножений над 12-ти разрядными числами и 80

сложений в первом фильтре, 22 операции умножения и 22 операции сложения во втором фильтре и 15 операций умножения и 15 операций сложения в третьем фильтре. Общее количество сложений составляет 117 операций сложения и 117 операций умножения. Для получения выходных отсчетов ЛЧМ сигнала с частотой дискретизации 96 МГц полученные суммы и произведения необходимо умножить на 2 (по количеству квадратурных каналов) и на количество отсчетов выходного сигнала – 28800.

Исходя из вышеописанного, можно подчеркнуть преимущества и недостатки схемы Белланже. Преимущества в том, что КИХ-фильтры имеют относительно невысокий порядок, что занимает меньше ресурсов ПЛИС и линейная фазо-частотная характеристика.

Недостатки заключаются в том, что при увеличении числа ступеней преобразования растет ошибка  $\epsilon_p$  в полосе пропускания. Кроме того предпочтительно использовать коэффициент прореживания кратный степени 2, что не всегда возможно и приводит к повышению относительных затрат на корректирующий фильтр  $K_0(j\omega)$ .

#### **Алгоритм интерполяции на основе структуры Крошье-Рабинера**

Третий подход к процессу интерполяции состоит в оптимальном синтезе числа каскадов фильтров-интерполяторов, а также значений коэффициентов интерполяции, которые на каждой ступени могут быть произвольные, что

способствует минимизации вычислительных затрат. Схема по структуре Крошье-Рабинера представлена на рисунке 14.

По принципу Крошье-Рабинера необходимо минимизировать вычислительные затра-

ты. Таким образом, фильтр-интерполятор на рисунке 10 будет считаться оптимальным, если параметр  $g_1$  минимизирует один из двух критериев:  $R_T$  или  $S_T$ .

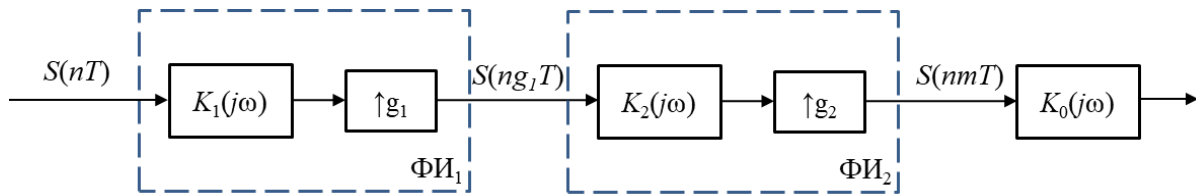


Рисунок 14 – Схема интерполяции по структуре Крошье-Рабинера ( $m = g_1 g_2$ )

Схема, представленная на рисунке 10, напоминает схему CIC-фильтра (рисунок 7). Отличие в том, что первый каскад (фильтр-интерполятор  $FI_1$ ) основан на КИХ-фильтре, что не требует дальнейшей коррекции амплитудно-частотной характеристики. Также первый каскад  $FI_1$  может быть объединен с каскадом  $FI_2$  для упрощения структуры фильтра.

При построении схемы децимации с высокой прямоугольностью амплитудно-частотной характеристики дополнительно можно включить формирующий фильтр  $K_0(j\omega)$ .

На рисунке 15 приведены амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики спектра сигнала на выходе второго фильтра с частотой дискретизации 96 МГц.

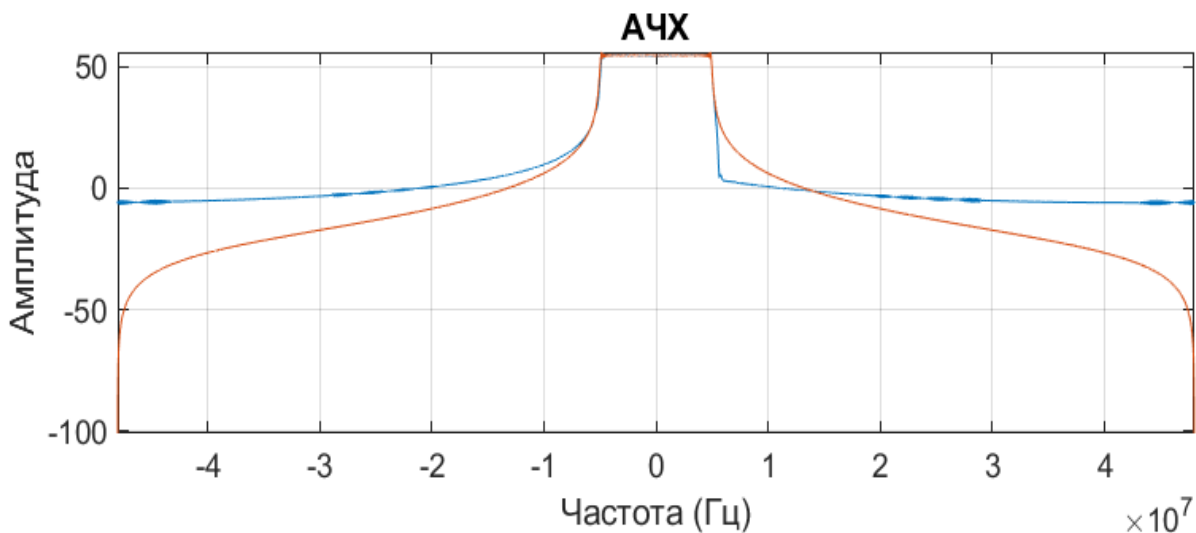


Рисунок 15 – Амплитудно-частотная характеристика спектра ЛЧМ сигнала на выходе двухкаскадной схемы интерполяции Крошье-Рабинера

Из рисунка 15 видно, что две периодические составляющие спектра слева и справа от основной полосы ФНЧ были отфильтрованы более чем на 80 дБ, что позволило получить спектр интерполированного сигнала практически не отличимым от спектра эталонного сигнала.

Квадратурные составляющие ЛЧМ сигнала практически не отличаются от соответствующих составляющих эталонного сигнала. В

результате расчетов получили, что коэффициент корреляции между синфазными составляющими составил 0,9934, а между квадратурными – 0,9904. Таким образом, интерполяция сигнала с частотой дискретизации от 12 МГц до 96 МГц при помощи структуры Крошье-Рабинера фильтра произошла практически безошибочно.

Если считать, что входные и выходные отсчеты фильтров, а также их коэффициенты

определяются 12-ти разрядными числами, то для получения одного квадратурного выходного отсчета на выходе структуры интерполяции Крошье-Рабинера необходимо использовать 80 умножений над 12-ти разрядными числами и 80 сложений в первом фильтре, 26 операций умножения и 26 операций сложения во втором фильтре. Общее количество сложений составляет 106 операций сложения и 106 операций умножения. Для получения выходных отсчетов ЛЧМ сигнала с частотой дискретизации 96 МГц полученные суммы и произведения необходимо умножить на 2 (по количеству квадратурных каналов) и на количество отсчетов выходного сигнала – 28800. Эта схема интерполяции обеспечивает наименьшие вычислительные затраты из всех рассмотренных схем.

Фильтр-интерполятор на основе оптимального фильтра можно рассматривать как однокаскадную схему интерполяции по структуре Крошье-Рабинера, а структуру интерполяции Белланже – трехкаскадной структурой Крошье-Рабинера, у которой коэффициент интерполяции в каждом каскаде равен двум. Соответственно свойства описанных схем применимы и к схеме Крошье-Рабинера с учетом указанных ограничений.

### **Заключение**

Рассмотренные интерполяционные фильтры могут использоваться для повышения частоты дискретизации сигнала. Фильтр, построенный по структуре Хогэнауэра, из-за отсутствия операция умножения наиболее пригоден для реализации на микросхемах ПЛИС, при этом фильтры, собранные на основе структур Белланже и Крошье-Рабинера, позволяют получить более качественные частотные и временные характеристики. При этом наличие в современных микросхемах ПЛИС встроенных аппаратных умножителей позволяет реализовать их аппаратно-программным методом. Таким образом, наиболее оптимальным будет использование фильтра-интерполятора, собранного либо по схеме Белланже, если коэффициент интерполяции кратен степени двойки, либо, если коэффициент интерполяции не удовлетворяет этому условию – по схеме Крошье-Рабинера.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-29-10114.*

### **Библиографический список**

1. Антипов В.Н., Горяинов В.Т. и др. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны. М.: Радио и связь, 1988. 304 с.
2. Глотов Д.А., Жиганов С.Н. Построение цифровой системы интерполяции на основе структуры Хогэнауэра // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XV Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской научной конференции. Муром, 3 февр. 2023 г. Муром: МИ ВлГУ, 2023. 494 с.
3. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. 656 с.

### **Referenses**

1. Antipov V.N., Goryainov V.T. i dr. Radiolokacionnye stancii s cifrovym sintezirovaniem aper-tury anteny. M.: Radio i svyaz', 1988. 304 s.
2. Glotov D.A., Zhiganov S.N. Postroenie cifrovoj sistemy interpolyacii na osnove struktury Ho-genuera // Nauka i obrazovanie v razvitii promyshlennoj, social'noj i ekonomicheskoy sfer regionov Rossii. XV Vserossijskie nauchnye Zvorykinskie chteniya: sb. tez. dokl. Vserossijskoj nauchnoj konfe-rencii. Murom, 3 fevr. 2023 g. Murom: MI VIGU, 2023. 494 s.
3. Lajons R. Cifrovaya obrabotka signalov. M.: ООО «Binom-Press», 2006. 656 s.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 08.11.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 26.11.2023*

*Принята к публикации / Accepted 02.12.2023*

*© К.К. Храмов, С.Н. Жиганов, М.С. Смирнов, И.А. Блюхеров, 2023*



---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Храмов Константин Константинович* – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники Муромского института Владимирского государственного университета.

*Konstantin Khramov* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Radio Engineering, Murom Institute, Vladimir State University.

*Жиганов Сергей Николаевич* – кандидат технических наук, доцент, АО «Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи»

*Sergey Zhiganov* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, JSC Scientific Research Institute of Long-Range Radio Communications

*Смирнов Михаил Станиславович* – старший преподаватель кафедры радиотехники Муромского института Владимирского государственного университета.

*Mikhail Smirnov* – Senior Lecturer at the Department of Radio Engineering, Murom Institute, Vladimir State University.

*Блюхеров Иван Андреевич* – магистрант факультета информационных технологий и радиоэлектроники Муромского института Владимирского государственного университета.

*Ivan Blyukherov* – Master's Student at the Faculty of Information Technologies and Radioelectronics, Murom Institute, Vladimir State University.

---

Ссылка для цитирования: Храмов К.К., Жиганов С.Н., Смирнов М.С., Блюхеров И.А. Исследование механизмов интерполяции при цифровом формировании сложных радиолокационных сигналов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 9 - 20. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-9-20.

For citation: *Khramov K.K., Zhiganov S.N., Smirnov M.S., Blyukherov I.A.* Study of interpolation mechanisms in the digital generation of complex radar signals // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 9 - 20. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-9-20.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕРАПИИ КОЛЕННЫХ И ЛОКТЕВЫХ СУСТАВОВ

И.Ю. Гамзалова, О.В. Евдулов, М.А. Хазамова, С.Т. Саидова  
Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
367026, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70  
kaftoe2016@yandex.ru

**Аннотация.** Заболевания суставов – часто проявляющиеся нарушения работы опорно-двигательного аппарата человека. Травмы и воспаления опорно-двигательного аппарата приводят к повреждениям хрящевых суставных тканей, для лечения которых применяют различные физиотерапевтические методы, дополняющие медикаментозное лечение. Их действие основано на улучшении микроциркуляции крови и процессов метаболизма в суставном хряще. Одним из перспективных способов лечения коленных и локтевых суставов является физиотерапевтическая гипотермия с применением термоэлектрических преобразователей энергии. В статье предложена конструкция устройства для терапии коленных и локтевых суставов, которая основана на термоэлектрических преобразователях энергии, отличающихся высокой надежностью, экономичностью, экологичностью, бесшумностью и эффективностью лечения.

**Ключевые слова:** воздействие теплом, лечение, сустав, термоэлектрический преобразователь, холод.

**Abstract.** Joint diseases are frequently occurring disorders of the human musculoskeletal system. Injuries and inflammations of the musculoskeletal system lead to damage to cartilaginous joint tissues, for the treatment of which various physiotherapeutic methods are used that complement drug treatment. Their action is based on improving blood microcirculation and metabolic processes in articular cartilage. One of the promising methods for treating knee and elbow joints is physiotherapeutic hypothermia using thermoelectric energy converters. The article proposes the design of a device for the treatment of knee and elbow joints, which is based on thermoelectric energy converters, characterized by high reliability, efficiency, environmental friendliness, noiselessness and treatment efficiency.

**Key words:** exposure to heat, treatment, joint, thermoelectric converter, cold.

### Введение

На протяжении последних лет травмы опорно-двигательного аппарата и, как следствие, повреждения хрящевых суставных тканей, стало довольно частым явлением. В связи с этим проблема лечения заболеваний суставов стала очень актуальной.

Учитывая побочные реакции организма на фармакологические препараты и их недостаточно высокую эффективность, использование для терапии и реабилитации подобных травм и деструктивных поражений суставов немедикаментозных методов лечения является достаточно перспективной задачей. При этом ключевыми методиками, дополняющими лече-

ние лекарственными препаратами, являются физиотерапевтические методы, улучшающие микроциркуляцию крови и процессы метаболизма в суставном хряще.

Локально воздействуя различными физическими факторами на больные суставы, можно наблюдать подавление пролиферативных, склеротических и фиброзных процессов в периартикулярных тканях.

Для проведения эффективных тепловых физиотерапевтических процедур при терапии коленных и локтевых суставов перспективным является также применение термоэлектрических преобразователей энергии для воздействия теплом и холодом.

### **Терапия коленных и локтевых суставов термозлектрическим устройством**

Как известно, самой распространенной формой поражения суставов и причиной постоянной боли является остеоартроз [1]. При этом основными целями терапии артрозов являются уменьшение болевых синдромов, замедление дегенеративно-деструктивных процессов посредством стимуляции микроциркуляции в субхондральных тканях, что способствует повышению качества жизни больных [2].

Для реабилитации суставных заболеваний предпочтительнее использовать физиотерапевтические методы лечения, при локальном воздействии которых на отдельные органы человеческого организма достигаются не только болеутоляющий, противовоспалительный и репаративно-регенеративный эффекты, но и восстановление функциональной активности пораженных суставов. Среди таких средств особое место занимают способы теплового воздействия, в том числе и локального, что получило широкое использование в медицинской практике при терапии и реабилитации механических травм, заболеваний суставов и мышц [3]. Это один из самых старых и наиболее распространенных способов физиотерапии, позволяющий облегчить болезненные симптомы и ускоряющий восстановление тканей. Лечебный эффект термотерапии основан на противовоспалительном, трофико-регенераторном, антиспастическом, сосудорасширяющем и метаболическом действиях, которые и являются основополагающими факторами тепла как незаменимыми методами лечения различных заболеваний [4].

В современной медицинской практике способы теплового воздействия, в том числе локального, широко используются в терапии различного рода заболеваний, а также для стимуляции физиологических процессов. Основными эффектами проведения теплотерапевтических процедур являются антиспастический, болеутоляющий, интенсифицирующий, лимфообращение и обмен веществ в тканях. Это связано с тем, что воздействие тепла на организм и отдельные органы человека оказывают влияние на энергетический баланс. Тепловое

воздействие приводит к улучшению кровообращения в тканях человеческого организма за счет расширения кровеносных и лимфатических сосудов. Реакция сосудов на тепло активно проявляется в зоне непосредственного приложения теплотерапевтической среды, так как при воздействии на кожу непосредственно оказывается температурное раздражение, которое, проявляясь как механическое (болевое), температурное (холод, тепло) и тактильное, активно воспринимается кожными рецепторами, что влияет на изменение кровообращения, вырабатывая тем самым регуляцию теплоотдачи [3].

Воздействие тепловых факторов приводит к ответной реакции организма, которая складывается из неспецифических и специфических составляющих, что тоже зависит от методики воздействия. При методиках местного теплового воздействия ответная реакция кожи проявляется изменением микроциркулярного русла кожного покрова, а также интенсивностью обменных процессов в тканях в области действия. Изменение температуры ткани, подвергнутой тепловому воздействию, связано не только с притоком большого объема крови, но и за счет локального повышения обмена веществ в зоне биологического объекта. Артериальная гиперемия, возникающая в тканях под действием местной дозированной термотерапии, активизирует метаболизм, ускоряет снятие воспалительных процессов. Кроме того, при локальном тепловом воздействии активизируется процесс создания биогенных стимуляторов, влияющих на обменные процессы в тканях.

Применение теплового воздействия на тело в целом или его частей постоянно совершенствуется, дифференцируется и в настоящее время представляет собой ряд апробированных методик, каждая из которых имеет свои показания. Использование теплоты в физиотерапии на сегодняшний день развивается по двум основным направлениям. Во-первых, температурное воздействие на весь организм, а во-вторых, воздействие теплом либо холодом только на отдельные зоны тканевой поверхности, в том числе на патологически измененные.

В качестве воздействующего механизма в случае охлаждения (нагрева) всего организма применяются мощные холодильные и тепловые машины (например, парокompрессионные, абсорбционные и т.п.). В случае же для теплового воздействия на отдельные зоны человеческого организма могут быть использованы и системы с меньшей тепло- и холодопроизводительностью, основанные на других аспектах преобразования энергии.

В этих условиях для проведения тепловых физиотерапевтических процедур при терапии коленных и локтевых суставов перспективным является применение термоэлектрических преобразователей энергии, отличающихся высокой надежностью, экономичностью, экологичностью, бесшумностью и эффективностью лечебных методик.

Описанное в [5] устройство, содержащее температурный раздражитель, включающий в себя термоэлектрические модули, встроенные в основание с гибкой эластичностью с прорезями для их установки и подключенные к программируемому источнику питания, имеет недостаток, состоящий в его непрочной фиксации при использовании для локальной гипотермии коленных и локтевых суставов.

В НИИ «Полупроводниковые термоэлектрические приборы и устройства» при Дагестанском государственном техническом университете разработана конструкция устрой-

ства для терапии коленных и локтевых суставов, структурная схема которого представлена на рисунке 1, а внешний вид на рисунке 2.

Устройство включает в себя эластичное основание 1 с отверстиями, расположенными в один ряд по его длине для установки термоэлектрических модулей 2. Основание 1 выполнено в виде двух полотен 3 из эластичной материи, сшитых между собой капроновой нитью, как по общему периметру, так и периметру установленных в них термоэлектрических модулей 2. Внутренние спаи 4 термоэлектрических модулей 2, обращенные к коленному суставу, контактируют с гибкой тепловыравнивающей пластиной 5 через теплопроводную пасту 6. Противоположные внешние спаи 7 термоэлектрических модулей 2 также через теплопроводную пасту 7 контактируют с гибкими металлическими пластинами 8, осуществляющими роль теплосъема. Пластины 8 пришиваются к основанию 1 по своим углам также капроновой нитью. Термоэлектрические модули 2 подключаются электрическими проводами к программируемому источнику постоянного электрического тока. Основание 1 по краям снабжено креплением 9. На расстоянии 8-10 мм от краев основания в горизонтальном направлении в нем выполнены строчки, в которые продеты тесемки, что обеспечивает фиксацию устройства на воздействующей области.

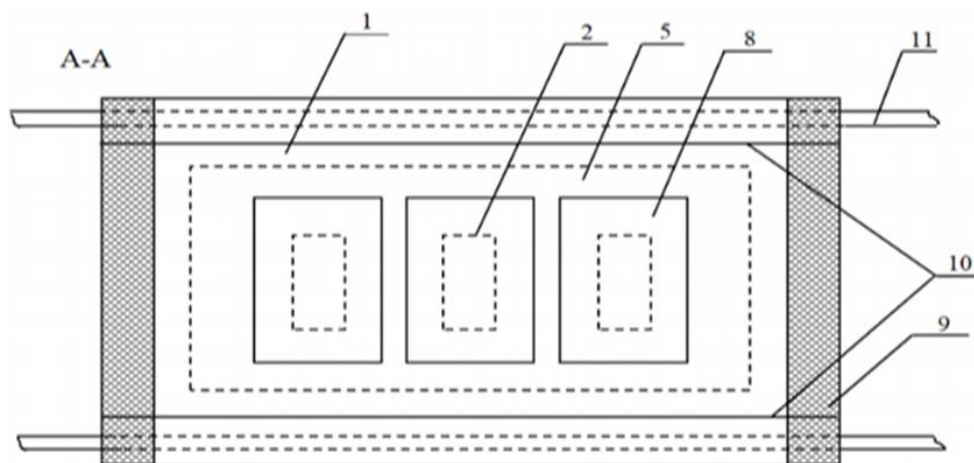


Рисунок 1 – Структурная схема устройства для терапии коленных и локтевых суставов

Перед началом процедуры устройство закрепляется на коленном или локтевом суставе, подлежащем гипотермии, с обеспечением

плотного контакта за счет эластичных свойств основания, наличия застежки-липучки и тесемок. Программируемый блок питания, который



по заданной программе обеспечивает питание электрическим током нужной величины и полярности термоэлектрических модулей и реализует снижение температуры суставов до необходимого уровня.

Длительность гипотермического воздействия определяет лечащий врач, он же проводит текущий контроль за состоянием пациента. Термоэлектрические модули подключаются электрическими проводами к программируемому источнику питания, реализующему различные уровни локальной гипотермии.

Равномерное распределение температу-

ры при локальной гипотермии области коленных и локтевых суставов обеспечивается тепловыравнивающей пластиной, а излишки тепла с внешних спаев термомодулей снимаются металлическими пластинами. Основание по краям снабжено застежкой-липучкой. На расстоянии 8-10 мм от краев основания в горизонтальном направлении в нем выполнены строчки, в которые продеты тесемки, что обеспечивает фиксацию устройства на воздействующей области (рисунок 2).

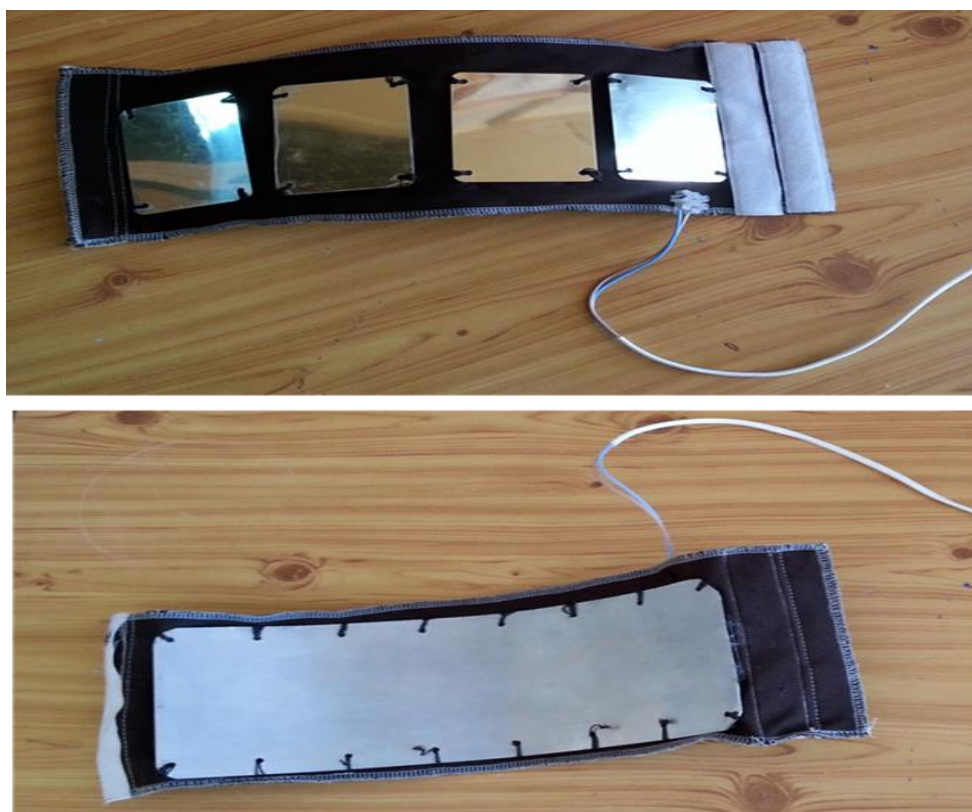


Рисунок 2 – Внешний вид устройства для терапии коленных и локтевых суставов

### **Заключение**

В связи с вышеизложенным, применение термоэлектрических преобразователей энергии в качестве источника локальной гипотермии для терапии коленных и локтевых суста-

вов является актуальным и позволяет оптимизировать сроки реабилитации, а также повысить качество жизни пациентов за счет терапевтической эффективности.

### **Библиографический список**

1. Насонова В.А. Проблема остеоартроза в начале XXI века // Consilium medicum. 2000. Т. 2. № 6. С. 244-248.
2. Беленький В.Е., Гришин А.А., Кривошеина Е.Н. Лечение коксартроза методом функциональной мионейростимуляции // Вестник ортопедии и травматологии им. Н.Н. Приорова. 2004. № 4. С.20-24.

3. Боголюбов В.М., Сидоров В.Д. Физиотерапия в реабилитации больных ревматоидным артритом // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2012. № 2. С. 3-10.
4. Улащик В. С. Теплолечение: общие основы // Медицинские знания. 2014. № 3. С. 18–20.
5. Патент РФ на изобретение № 2562508. Термоэлектрическое устройство для теплового воздействия на руку человека / Исмаилов Т.А., Хазамова М.А., Евдулов О.В., Евдулов Д.В., Айдемирова М.Р., опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25.5.

#### **References**

1. Nasonova V.A. Problema osteoartroza v nachale XXI veka //Consilium medicum. 2000. Т. 2. № 6. С. 244-248.
2. Belen'kij V.E., Grishin A.A., Krivosheina E.N. Lechenie koksartroza metodom funkcional'noj mionejrostimulyacii // Vestnik ortopedii i travmatologii im. N.N. Priorova. 2004. № 4. S.20-24.
3. Bogolyubov V.M., Sidorov V.D. Fizioterapiya v reabilitacii bol'nyh revmatoidnym artritom // Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitaciya. 2012. № 2. S. 3-10.
4. Ulashchik V.S. Teplolechenie: obshchie osnovy // Medicinskie znaniya. 2014. № 3. S. 18–20.
5. Patent RF na izobretenie № 2562508. Termoelektricheskoe ustrojstvo dlya teplovogo vozdej-stviya na ruku cheloveka / Ismailov T.A., Hazamova M.A., Evdulov O.V., Evdulov D.V., Ajdemirova M.R., opubl. 10.09.2015, Byul. № 25.5.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
The authors declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 14.10.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 25.10.2023*

*Принята к публикации / Accepted 14.11.2023*

*© И.Ю. Гамзалова, О.В. Евдулов, М.А. Хазамова, С.Т. Саидова, 2023*

---

#### **Сведения об авторах**

#### **List of Authors**

---

*Гамзалова Ирина Юрьевна* – ассистент кафедры теоретической и общей электротехники Дагестанского государственного технического университета.

*Irina Gamzalova* – Assistant of the Department of Theoretical and General Electrical Engineering, Daghestan State Technical University.

*Евдулов Олег Викторович* – доктор технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники Дагестанского государственного университета.

*Oleg Evdulov* – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical and General Electrical Engineering, Daghestan State University.

*Хазамова Мадина Абдуллаевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники Дагестанского государственного технического университета.

*Madina Khazamova* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical and General Electrical Engineering, Daghestan State Technical University.

*Саидова Сиядат Тинамагомедовна* – врач ГБУ РД «Поликлиника № 9».

*Siyadat Saidova* – Doctor of GBU RD «Polyclinic № 9».

---

Ссылка для цитирования: *Гамзалова И.Ю., Евдулов О.В., Хазамова М.А., Саидова С.Т.* Перспективы применения термоэлектрических преобразователей энергии для терапии коленных и локтевых суставов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 21 - 25. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-21-25.

For citation: *Gamzalova I.Yu., Evdulov O.V., Khazamova M.A., Saidova S.T.* Prospects of application of thermoelectric energy converters for knee and elbow joint therapy // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 21 - 25. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-21-25.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СТЕРЕОЗРЕНИЯ С НЕПАРАЛЛЕЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ И МЕТОД КОРРЕКЦИИ

Е.В. Пикалов

Московский политехнический университет, Москва  
107023, Россия, г. Москва, ул. Большая Семёновская, 38  
e.v.pikalov@mospolytech.ru

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию математической модели системы технического зрения с непараллельным расположением оптических осей. Рассматриваются некоторые из методов коррекции неточности подобных систем, существующие на данный момент. Предлагается новый метод, основанный на математической обработке дискретных отсчётов специального коэффициента, приводятся формулы и краткое обоснование основных выводов. Также рассматриваются имеющиеся в математической модели зависимости, делается вывод о работоспособности и возможностях развития данного метода.

**Ключевые слова:** калибровочный коэффициент, параллакс, параллельность оптических осей, стереозрение, техническое зрение, точность системы.

**Abstract.** The article is devoted to the study of a mathematical model of a technical vision system with a non-parallel arrangement of optical axes. Some of the methods for correcting the inaccuracy of such systems that currently exist are considered. A new method is proposed, based on mathematical processing of discrete samples of a special coefficient, formulas and a brief justification of the main conclusions are provided. The dependencies present in the mathematical model are also considered, and a conclusion is drawn about the performance and development possibilities of this method.

**Key words:** calibration coefficient, parallax, parallelism of optical axes, stereo vision, technical vision, system accuracy.

### Введение

Техническое и компьютерное зрение – это сегодня одно из самых стремительно развивающихся и перспективных направлений науки и техники. Разрабатываются и исследуются новые методы и алгоритмы, модернизируются существующие, а, значит, работы в этих областях имеют актуальность.

Действительно, человеческая жизнь наполняется всё большим количеством технических оптических систем – сканеры штрих-кодов и QR-кодов, FaceID, системы распознавания автомобильных номеров, лиц, целая номенклатура производственных решений для автоматизации процессов различной степени сложности. Всё это стало возможным благодаря развитию областей технического и компью-

терного зрения и применения этих достижений сейчас во многом делают нашу жизнь проще.

Однако, как и в любой отрасли, очевидны направления новых витков эволюции оптических систем и методов, развития связанных с ними дисциплин. В данной работе также приводится расширенное исследование математической модели уже разработанной системы с целью увеличения точности её работы [1].

### Постановка проблемы

На текущий момент существуют, развиваются и применяются различные системы технического зрения, в том числе и бинокулярные системы. Они основаны на явлении стереозрения и используют параллакс для оценки расстояния до удалённого объекта. Данная

статья посвящена обсуждению математической модели именно такой системы.

Однако для наиболее точного расчёта расстояния до объекта в такой системе необходимо соблюдать важное условие, которое заключается в параллельном расположении оптических осей камер. Система, спроектированная под подобную задачу, но не соблюдающая этого условия, обречена воспроизводить зачастую значительную ошибку в своих расчётах.

Очевидно, что установить камеры в пространстве абсолютно параллельно невозможно. В то же время, методы компенсации ошибки, возникающей вследствие непараллельного расположения камер, развиваются со времён разработки первых систем бинокулярного технического зрения (СБТЗ). В настоящее время некоторые из них хорошо проработаны и дают достаточно высокий для своих задач результат. Но и к ним можно обратиться с некоторой критикой.

Так, описанная в патенте «Оптико-электронный стереоскопический дальномер» [2] система использует в своей конструкции датчики угла поворота рам подвесов, в которых, в свою очередь, устанавливаются сами камеры. Наличие этих датчиков увеличивает порядок модели системы и вносит дополнительную ошибку, что может сказываться на точности её работы.

Описанная в другом патенте «Устройство стереоскопической камеры, способ коррекции и программа» [3] система производит калибровку и оценку смещения, прибегая к статистическому анализу особых точек на изображении, а также датчик скорости, при помощи которого оценивается перемещение. Очевидно, что такой подход имеет сильные стороны, однако нельзя сказать, что статистическая обработка гарантирует стабильную точность определения смещения. Вместе с тем, наличие ещё одного датчика усложняет систему и может служить причиной получения ошибочных расчётов.

В результате проведённого анализа предметной области и рассмотренных решений, представляется интересным для рассмотрения такой метод компенсации непараллельности оптических осей камер СБТЗ, который

использовал бы, как максимум, несколько известных отсчётов расстояния (калибровочных макетов) и исключительно программные методы.

### **Описание установки**

Система бинокулярного технического зрения, в общем случае, состоит из двух камер и некоторого программного-аппаратного комплекса, иногда в виде персонального компьютера, выполняющего функции считывания изображений с камер и их последующей обработки в соответствии с решаемыми задачами.

В реальности такая система была собрана и исследована её точность, что приводится более подробно в соответствующих публикациях [1, 4]. Она состоит из двух достаточно дешёвых камер *Defender C-2525HD*, разрешение выходных изображений которых может достигать 1920x1080 пикселей, однако, в основном, работа и исследования проводятся в формате 640x360 для повышения быстродействия. Камеры закрепляются в специально изготовленной рамке-макете, позволяющей устанавливать их на различном расстоянии друг от друга: 60, 120 и 180 мм, соответственно. Подобное варьирование, так называемой, базовой линии было необходимо для исследования влияния этой величины на точность работы системы в целом. Обработчиком же является ноутбук со специально разработанной для этого программой.

### **Первичный эксперимент**

В процессе проведения первых экспериментов, связанных с установлением точности разработанной СБТЗ, было выявлено, что результаты расчётов не удовлетворяют желаемым показателям точности. Прежде всего, было выдвинуто предположение, что причиной этого является дешевизна камер, особенности их формы и крепления, что, в целом, приводит к невозможности гарантировать параллельное расположение их оптических осей.

Возникло предложение компенсировать эту непараллельность при помощи внесения специального коэффициента, влияющего на параллакс, а именно смещения центральной линии правой камеры. При этом очевидно, что в такой системе подбирать это смещение при-

дётся для каждого варианта удалённости объекта.

Однако в результате проведённых экспериментов [1, 4], было установлено, что вид изменения коэффициента смещения в зависимости от удалённости объекта, всегда имеет

схожий нелинейный вид, а значит, может быть рассчитан автоматически методом аппроксимации для нескольких дискретных отсчётов, чтобы в дальнейшем использовать полученную функцию на всём диапазоне измерений. Это показано на рисунке 1.

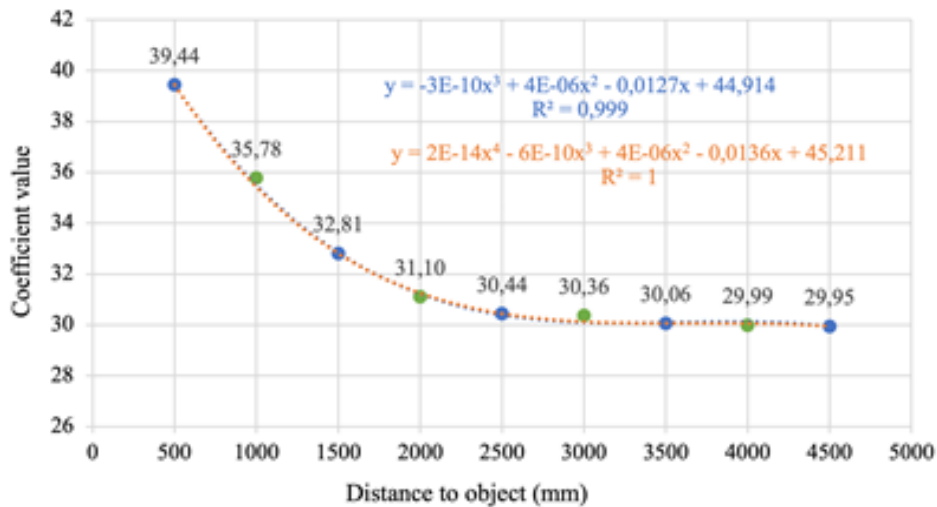


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента смещения от расстояния до объекта

### Математическая модель

В такой системе камеры принято рассматривать в качестве модели стенопа или камеры-обскуры, тогда многие задачи решаются чисто геометрически. Рассмотрим модель исследуемой системы на примере схемы из источника [5], показанной на рисунке 2.

Здесь, оптические оси камер (вертикальные линии сверху вниз от точек  $O'$  и  $O''$ ) расположены параллельно, а значит параллакс  $p_x$  (разница между  $x''$  и  $x'$ ) будет рассчитан верно. Если же оптические оси не будут параллель-

ны, то можно принять оптическую ось левой камеры как неподвижную ось отсчёта, а смещённой считать оптическую ось правой камеры. Тогда, получаемое значение  $x''$  для объекта будет иное, а для достижения первоначального верного  $x''$  и параллакса  $p_x$ , необходимо будет прибавить к  $x''$  некоторый коэффициент, который будет тем больше, чем ближе объект будет располагаться к системе. При бесконечном удалении объекта от системы этот коэффициент будет бесконечно стремиться к некоторому постоянному значению, зависящему от смещения правой камеры. Это подтверждается проведёнными экспериментами (рисунок 1).

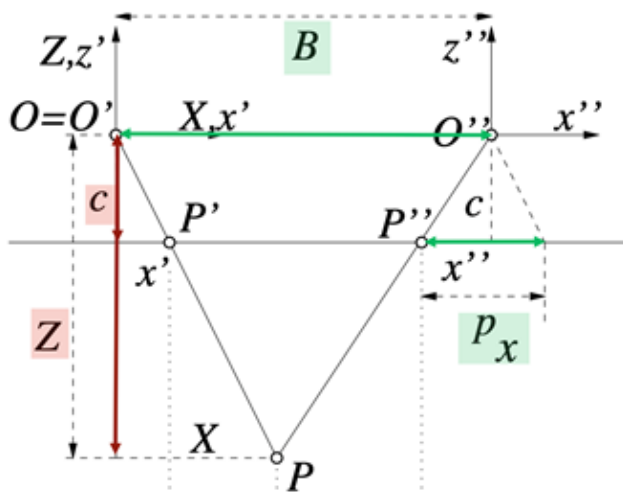


Рисунок 2 – Математическая модель системы стереозрения



### Обсуждение

В результате изучения математической модели системы стереозрения и сопоставления с проведёнными экспериментами можно прийти к следующим выводам:

1. Значение параллакса  $p_x$  есть константа для всех объектов, находящихся на одной плоскости, для которой оптическая ось левой камеры будет являться нормалью. Это утверждение справедливо только для систем с параллельным расположением оптических осей.

2. Точность системы с непараллельным расположением оптических осей можно повысить введением коэффициента смещения вертикального центра правой камеры. Этот коэффициент может быть аппроксимирован на всём необходимом интервале измерений по нескольким дискретным отсчётам. Каждый отсчёт коэффициента для определённой дистанции до объекта  $D$  может быть рассчитан как:

$$k = -\frac{B \cdot |\vec{a}|}{D} - p_x$$

где  $B$  – величина базовой линии,  $D$  – известное расстояние до объекта, вектор  $a$  характеризует направление к объекту от левой камеры и рассчитывается как корень из суммы квадратов  $x'$ ,  $y_{cp}$  и  $c$  (фокусного расстояния), а  $p_x$  – параллакс.

3. Для любого расстояния до объекта существует некоторый коэффициент  $k$ , при помощи которого расстояние до объекта, рассчитанное без учёта непараллельности оптических осей,  $D_o$  можно привести к близкому к реальному  $D_n$  по формуле:

$$D_n = \frac{D_o}{\left(\frac{k}{p_x} + 1\right)}$$

где  $D_n$  – приближённое к реальному расстояние до объекта, учитывающее непараллельность оптических осей и включающая соответствующее исправляющее смещение,  $D_o$  – расстояние до объекта, рассчитанное без учёта непараллельности оптических осей,  $k$  – коэффициент смещения,  $p_x$  – параллакс.

Данная формула выводится из отношения  $D_n$  к  $D_o$ , где  $D$  рассчитывается как корень от суммы квадратов удалённости объекта вдоль каждой из трёх осей пространства:

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

$$D = \sqrt{(Mx')^2 + (My_{cp})^2 + (Mc)^2}$$

$$D^2 = M^2(x'^2 + y_{cp}^2 + c^2)$$

где  $M$  – число масштаба изображения, рассчитываемое как отрицательное отношение величины базовой линии к параллаксу. Тогда,  $D_n$  будет содержать коэффициент  $k$ , чтобы получить верный параллакс, а  $D_o$  не будет содержать смещения на коэффициент  $k$ :

$$\frac{D_n^2}{D_o^2} = \frac{\left(\frac{-B}{x'' + k - x'}\right)^2 (x'^2 + y_{cp}^2 + c^2)}{\left(\frac{-B}{x'' - x'}\right)^2 (x'^2 + y_{cp}^2 + c^2)}$$

$$\frac{D_n}{D_o} = \frac{x'' + k - x'}{x'' - x'}$$

$$D_n = \frac{D_o}{\left(\frac{k}{x'' - x'} + 1\right)}$$

Подбор коэффициента для любого значения расстояния осуществляется выставлением соответствия коэффициента  $k$  для каждого значения  $D_o$ . При этом важно учитывать, что проведённые эксперименты имели важным условием нахождение объекта вдоль оптической оси левой камеры, что исключило из результатов варьирования смещения по левой камере  $x'$ .

Для учёта этого фактора математическая модель была дополнена и были построены зависимости, показанные на рисунке 3. Приведённые графики были построены с учётом постоянного  $x'$ . Однако этого уже достаточно, чтобы судить об имеющих место зависимостях. Так, графики на рисунке 3 дают понять, что при постоянном  $x'$  коэффициент  $k$  будет иметь ровно одно значение для любого  $D$ . Поверхности же на рисунке 4 демонстрируют, как пересекаются эти графики при идеальных условиях, когда  $k = 0$ . Соответственно, в реальности их пересечение будет проходить в соответствии с необходимыми значением  $k$ . А для различных значений  $x'$  такой график отобразится в поверхность значений  $k$ , зависящих от  $x'$  и  $D$ .

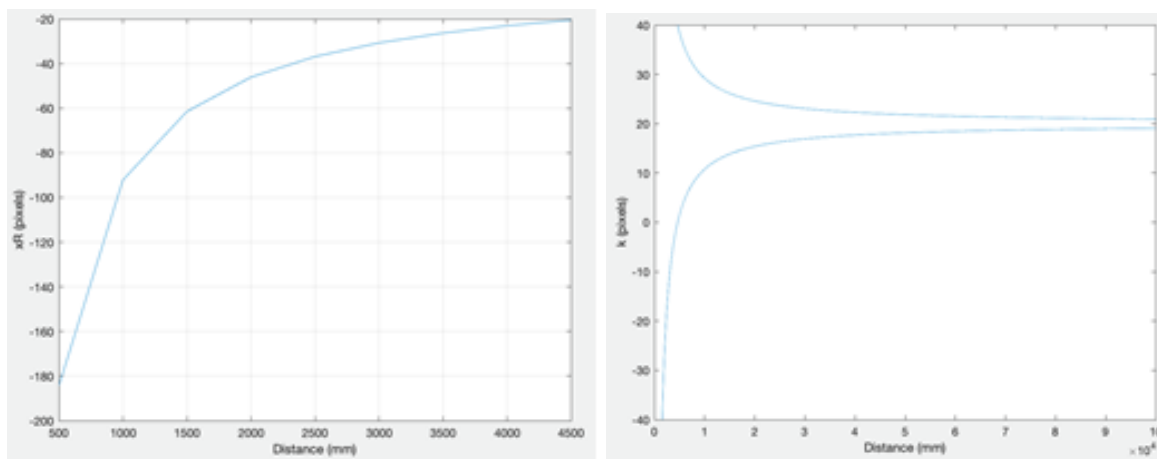


Рисунок 3 – Графики зависимости коэффициента  $k$  и величины смещения  $x''$  ( $xR$ ) от расстояния до объекта

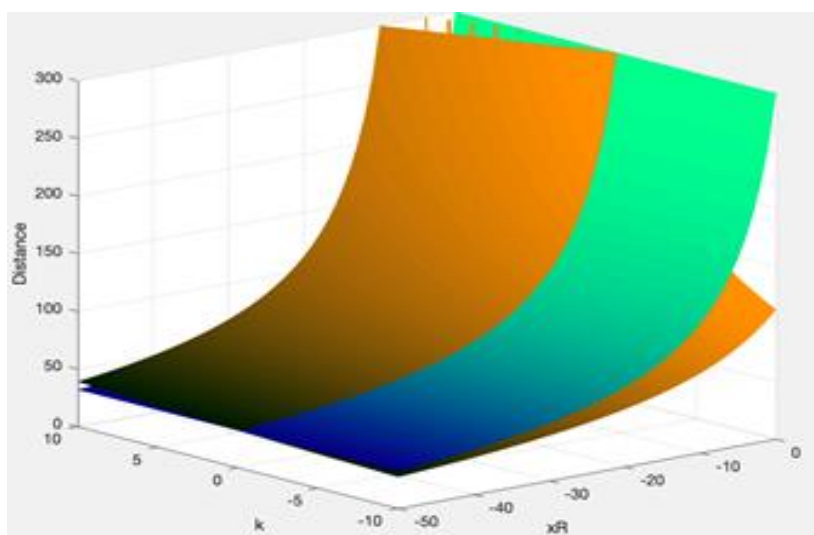


Рисунок 4 – График зависимости рассчитываемой дистанции от величин  $k$  и  $x''$  ( $xR$ )

### Заключение

Обобщая всё вышесказанное можно заключить, что предлагаемый способ коррекции расчётов в системе технического зрения с непараллельным расположением оптических осей математически имеет обоснование и может быть применён в некоторых задачах. Однако до сих пор этот метод существует боль-

ше «на бумаге», чем реализован в полной мере натурно, а, значит, имеется ещё большой простор для работы и исследований. Развитие данной работы видится, в первую очередь, в проведении экспериментов с учётом варьирования параметров, не учитываемых или принятых постоянными в прошлых экспериментах.

### Библиографический список

1. K. Palaguta, E. Pikalov and A. Kuznecov. Development and Exploration of a General-Purpose Binocular Vision System, International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2022, pp. 836-841.
2. Патент № 2579532 Российская Федерация, МПК G01C 3/10 (2006.01). Оптико-электронный стереоскопический дальномер: N 2014105235/28: заявл. 12.02.2014: опубликовано 10.04.2016 / Зубарь А.В., Кайков К.В., Алферов С.В., Нурпеисов С.Ж. 28 с.

3. Патент N 2539804 Российская Федерация, МПК G01C 3/00 (2006.01). Устройство стереоскопической камеры, способ коррекции и программа: № 2012119214: заявл. 20.10.2014: опубликовано 27.01.2015 / Умезава Ю., Аоки С. 23 с.

4. K. Palaguta, E. Pikalov and A. Kuznecov. Research of the Influence of Internal Parameters of a Vision System on Its Accuracy, International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2022, pp. 294-298.

5. StachnissLab, Photogrammetry & Robotics, Photogrammetry I & II Course (2021), URL: <https://www.ipb.uni-bonn.de/photo12-2021/> (дата обращения: 23.05.2021).

### **References**

1. K. Palaguta, E. Pikalov and A. Kuznecov. Development and Exploration of a General-Purpose Binocular Vision System, International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2022, pp. 836-841.

2. Patent № 2579532 Rossijskaya Federaciya, МПК G01C 3/10 (2006.01). Optiko-elektronnyj stereoskopicheskij dal'nomer: N 2014105235/28: заявл. 12.02.2014: опубликовано 10.04.2016 / Zubar' A.V., Kajkov K.V., Alferov S.V., Nurpeisov S.ZH. 28 s.

3. Патент N 2539804 Rossijskaya Federaciya, МПК G01C 3/00 (2006.01). Ustrojstvo stereoskopicheskoi kamery, sposob korrekcii i programma: № 2012119214: заявл. 20.10.2014: опубликовано 27.01.2015 / Умезава Ю., Аоки С. 23 с.

4. K. Palaguta, E. Pikalov and A. Kuznecov. Research of the Influence of Internal Parameters of a Vision System on Its Accuracy, International Russian Automation Conference (RusAutoCon), 2022, pp. 294-298.

5. StachnissLab, Photogrammetry & Robotics, Photogrammetry I & II Course (2021), URL: <https://www.ipb.uni-bonn.de/photo12-2021/> (data obrashcheniya: 23.05.2021).

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов*

*The author declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 05.10.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 22.10.2023*

*Принята к публикации / Accepted 10.11.2023*

*© Е.В. Пикалов, 2023*

---

### **Сведения об авторе**

#### **List of Author**

---

*Пикалов Евгений Викторович* – старший преподаватель кафедры автоматки и управления Московского политехнического университета.

*Evgeny Pikalov* – Senior Lecturer of the Department of Automation and Control, Moscow Polytechnic University.

---

Ссылка для цитирования: *Пикалов Е.В.* Математическая модель системы стереозрения с непараллельным расположением оптических осей и метод коррекции // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 26 – 31. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-26-31.

For citation: *Pikalov E.V.* Mathematical model of a stereo vision system with a non-parallel arrangement of optical axes and correction method // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 26 – 31. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-26-31.

## АЛГОРИТМ УЧЁТА РАЗБРОСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Т.Х. Во, А.В. Долматов, Н.Т. Лью, К.Д. Нгуен, С.У. Увайсов  
Российский технологический университет МИРЭА, Москва  
119454, Россия, г. Москва, пр-т Вернадского, 78  
thehai.ttrd@gmail.com

**Аннотация.** Рассматривается проблема использования метода моделирования Монте-Карло для разработки диагностической базы данных амплитудно-частотных характеристик блока бортовых радиоэлектронных средств космических аппаратов, сформированной при моделировании механических процессов объекта диагностирования с учетом разброса технологических параметров конструкции. Данная база данных содержит амплитудно-частотные характеристики блоков, соответствующих наиболее распространенным дефектам.

**Ключевые слова:** база данных неисправностей, блок бортовых радиоэлектронных средств космических аппаратов, диагностирование, метод моделирования Монте-Карло, модель объекта.

**Abstract.** The problem of using the Monte Carlo simulation method to develop a diagnostic database of the amplitude-frequency characteristics of a block of onboard radio-electronic equipment of spacecraft, formed by modeling the mechanical processes of the diagnostic object, taking into account the spread of technological design parameters, is considered. This database contains the amplitude-frequency characteristics of blocks corresponding to the most common defects.

**Key words:** fault database, spacecraft avionics unit, diagnostics, Monte Carlo simulation method, object model.

### **Применение метода Монте-Карло при построении модели объекта исследования**

С развитием науки и техники непрерывно растет сложность и функциональная насыщенность радиоэлектронных средств. Это ведет к ужесточению требований к контролю их качества, надежности и стабильности работы. Важную роль при этом играют процедуры технического контроля и диагностирования радиоэлектронных средств, проводимые с целью определения их технического состояния и минимизации возможных отказов.

Процесс диагностирования технического состояния конструкций бортовых радиоэлектронных средств космических аппаратов (БРЭСА) может осуществляться с использованием различных методов неразрушающего контроля для выявления

потенциальных неисправностей [1, 2]. К ним относят следующие методы:

- методы контроля при ударных механических воздействиях и гармонической вибрации;
- методы, основанные на акустической эмиссии;
- методы ультразвуковой томографии;
- методы теплового контроля и др.

В данной работе используется метод диагностирования при воздействии на БРЭСА тестовых механических ударов и получении отклика на данное воздействие в виде амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). При этом АЧХ, полученные в результате контроля, сравниваются с АЧХ, полученными в результате моделирования при исправном состоянии и при наличии возможных дефектов. Эти расчетные АЧХ хранятся в базе данных неисправностей. По результатам сравнения изме-

ренной и расчетных АЧХ из базы данных делается вывод о наличии или отсутствии неисправности в БРЭСКА и о виде неисправности.

Разработка базы данных неисправностей заключается в получении АЧХ БРЭСКА при ударных механических воздействиях с учетом разброса технологических параметров БРЭСКА в пределах своих допусков. Под технологическими параметрами в данной работе понимается физико-механические параметры материалов конструкции или геометрические параметры элементов конструкции БРЭСКА. При расчете допусков применяется метод моделирования Монте-Карло.

Метод моделирования Монте-Карло широко используется для численного расчета вероятностных задач с моделированием случайных величин [7]. Он находит широкое применение при решении задач в различных областях: теории информации, теории общего обслуживания, теории игр, геофизики, ядерной

физики и других сферах науки, техники и экономики.

В представленной работе метод моделирования Монте-Карло применяется для расчета полей допусков АЧХ конструкций БРЭСКА с учетом случайного разброса значений технологических параметров БРЭСКА на основе функции нормального распределения (Гаусса).

#### **Разработка алгоритма расчета полей допусков для АЧХ блоков БРЭСКА**

Для расчета полей допусков АЧХ БРЭСКА необходимо провести моделирование механических процессов в БРЭСКА при воздействии ударной нагрузки. Данное моделирование может осуществляться с использованием различных программных средств, таких как: ANSYS, NXNastran, SolidWorks, АСНИКА-ТМ, АСНИКА-М. Модель создается в 3-х мерном пространстве с учетом фактической структуры БРЭСКА (рисунок 1), параметров материалов и элементов конструкции объекта [4].

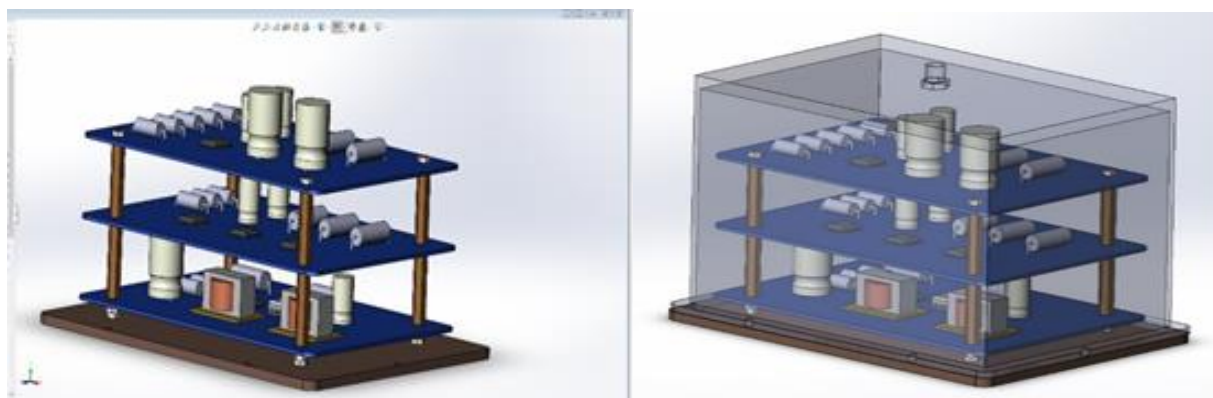


Рисунок 1 – Модели блоков БРЭСКА в среде SolidWorks

На практике в процессе изготовления все технологические параметры БРЭСКА не могут принимать свои номинальные значения, а имеют некоторый разброс относительно своих номинальных значений в пределах заданных допусков [3]. Следовательно, АЧХ, полученные при моделировании механических процессов, также будут иметь некоторый разброс значений. Поэтому при расчете АЧХ для конкретного технического состояния БРЭСКА (исправного и неисправного для различных дефектов) проводится многократный анализ механических процессов в БРЭСКА с учетом

изменения технологических параметров в пределах своих допусков.

Полученным результатом анализа является совокупность результатов каждого расчета АЧХ, когда технологический параметр  $\gamma_i$  случайным образом изменяется в пределах заданного относительного допуска  $\delta_i$ . Значение технологического параметра определяется по формуле [8]:

$$\gamma_i = \gamma_i^{\text{ном}} (1 \pm \xi_k \delta_i)$$

где  $\gamma_i$  – текущее значение  $i$ -го технологического параметра на  $k$ -й реализации;  $\gamma_i^{\text{ном}}$  – номинальное значение  $i$ -го технологического параметра;  $\xi_k$  – случайная величина ( $-1 < \xi_k < 1$ );  $\delta_i$  – относительный допуск на  $i$ -й технологический параметр.

Предполагается, что случайные величины  $\xi_k$  имеют нормальную плотность распределения с математическим ожиданием, равным 0 и дисперсией, равной 1. В этом случае функция распределения случайной величины  $\xi_k$  определяется по формуле:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right).$$

Значения технологических параметров  $\gamma_i$  в этом случае также будут распределены по нор-

мальному закону  $\gamma_i \sim N(a, \sigma)_i$  с функцией распределения [6, 7]:

$$p(x) = (\sigma\sqrt{2\pi})^{-1} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x-a)^2\right) \quad (1)$$

где  $a$  – математическое ожидание (среднее значение) технологического параметра;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение технологического параметра;  $\sigma^2$  – дисперсия распределения технологического параметра.

На рисунке 2 представлен пример гистограммы, показывающей распределение значения толщины печатной платы в соответствии с (1) при 1000 реализациях при номинальном значении 1,5 мм и допуске 3%.

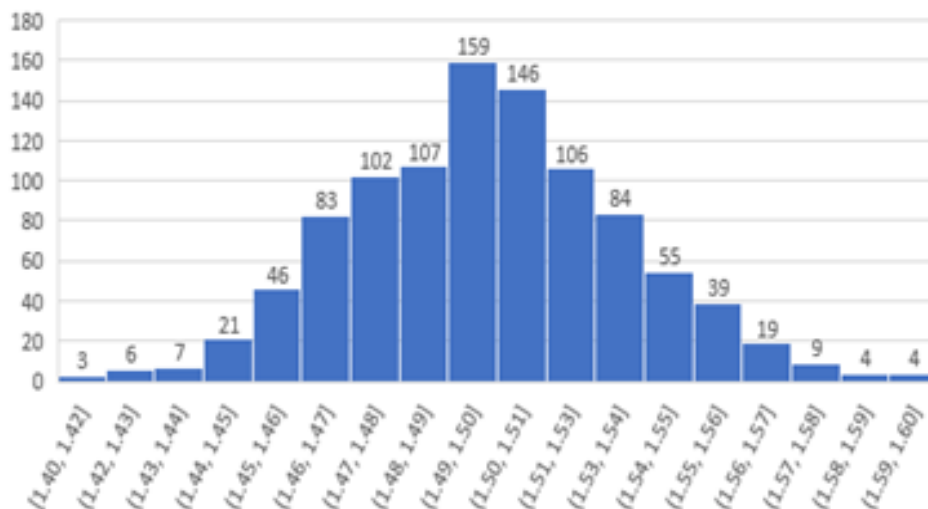


Рисунок 2 – Плотность вероятности распределения значения толщины печатной платы

Для создания базы данных неисправностей необходимо провести многократный анализ АЧХ БРЭСКА, получив поле допуска АЧХ для каждого вида технического состояния, основываясь на изменении технологических параметров БРЭСКА в пределах допусков.

Алгоритм вычисления полей допусков АЧХ представлен на рисунке 3. Расчет полей допуска основывается на применении имитационного моделирования с использованием метода Монте-Карло [2].

Результатом применения метода Монте-Карло [6] при ударных испытаниях

исследуемого блока БРЭСКА является совокупность функций отклика на тестовое ударное воздействие, которая лежит в диапазоне допустимых отклонений параметров (рисунок 4).

Чтобы облегчить процесс сравнения и классификации различных технических состояний блока БРЭСКА необходимо полученную временную характеристику отклика на ударное воздействие представить в виде АЧХ с помощью преобразования Фурье (рисунок 5).



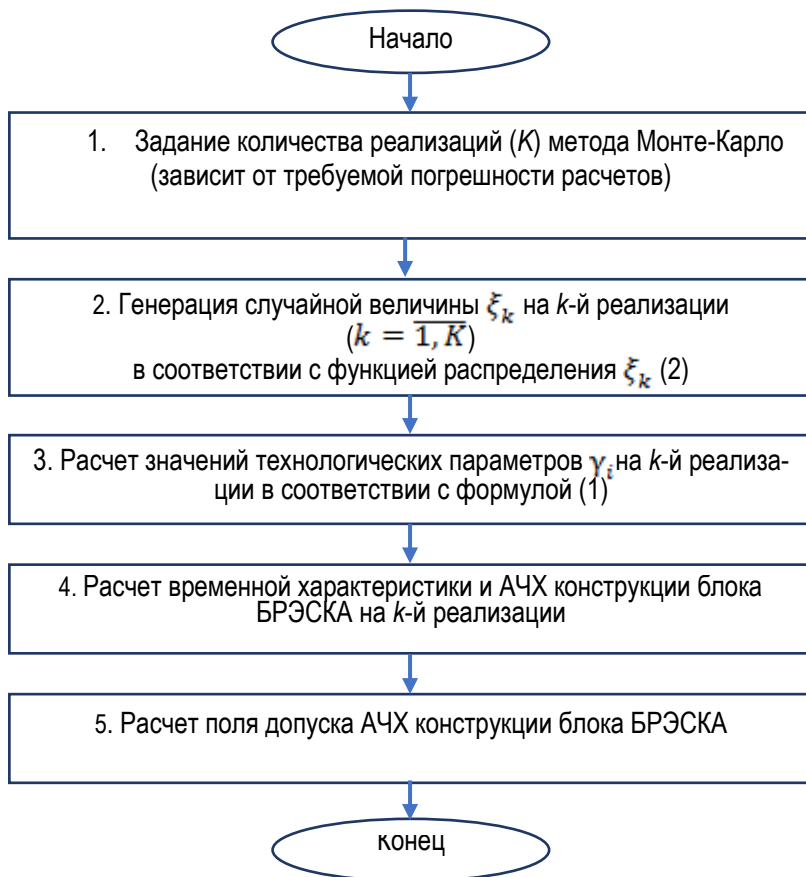


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма вычисления полей допусков АЧХ конструкций блоков БРЭСКА

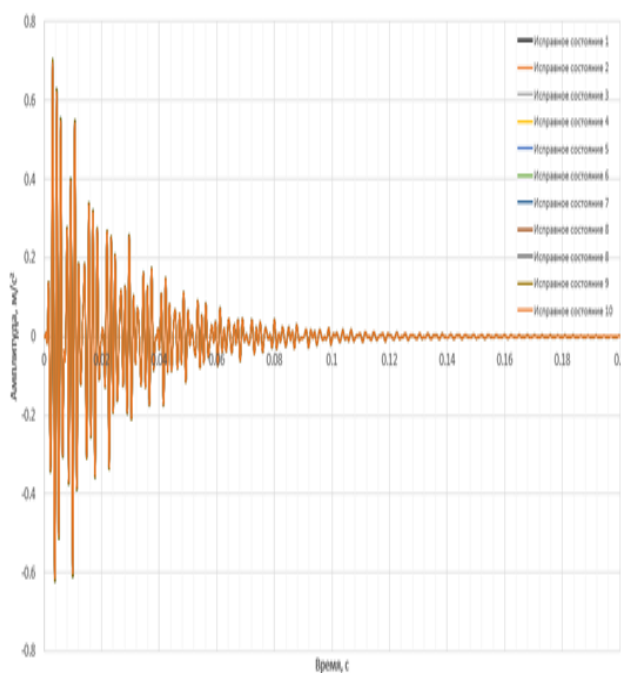


Рисунок 4 – Разброс временной характеристики отклика блока БРЭСКА на ударное воздействие при изменении технологических параметров в пределах допусков для исправного состояния БРЭСКА

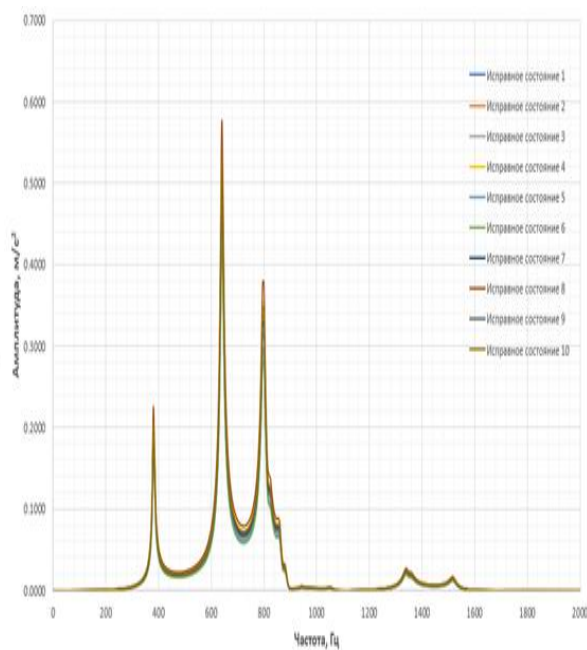


Рисунок 5 – Разброс АЧХ блока БРЭСКА при изменении технологических параметров в пределах допусков для исправного состояния БРЭСКА

### **Заключение**

Разработан алгоритм расчёта полей допусков на АЧХ конструкций БРЭСА, позволяющий однозначно идентифицировать

дефект с учетом допустимых технологических отклонений параметров конструкции. Чем более полная и достоверная информация будет содержаться в базе данных, тем точнее будут результаты определения потенциальных неисправностей устройства.

### **Библиографический список**

1. Долматов А.В., Сулейманов С.П., Увайсов Р.И. Диагностирование целостности конструкции электронной аппаратуры // Проблемы качества, безопасности и диагностики в условиях информационного общества. 2004. № 1. С. 99-100.
2. Кубланов М.С. Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов: учеб. пособие. Ч. I. Изд. 3-е. М.: МГТУ ГА, 2004. 108 с.
3. Увайсов Р.И. Метод диагностирования дефектов бортовых радиотехнических устройств // Дисс. канд. техн. наук. М.: МИЭМ, 2008. 157 с.
4. Luke Malpass. SolidWorks 2009 API Advanced Product Development. 2009. 246 с.
5. Donskoy D.M., Ramezani M. Separation of amplitude and frequency modulations in Vibro-Acoustic Modulation Nondestructive Testing Method // Proceedings of Meetings on Acoustics. 2018; 34(1):045002. <https://doi.org/10.1121/2.0000831>
6. Bach Phi Duong, Jong-Myon Kim. Prognosis of remaining bearing life with vibration signals using a sequential Monte Carlo framework // The Journal of the Acoustical Society of America 146, EL358 (2019).
7. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973. 312 с.
8. Михайлов Г.А., Войтишек А.В. Статистическое моделирование. Методы Монте-Карло: учебное пособие для вузов. М.: Юрайт, 2019. 323 с.
9. Пригарин С.М. Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2005. 258 с.
10. Баранов В.М., Карасевич А.М., Сарычев Г.А. Испытания и контроль качества материалов и конструкций. М.: Высшая школа, 2004. 360 с.

### **Referenses**

1. Dolmatov A.V., Sulejmanov S.P., Uvajsov R.I. Diagnostirovanie celostnosti konstrukcii elek-tronnoj apparatury // Problemy kachestva, bezopasnosti i diagnostiki v usloviyah informacionnogo obshchestva. 2004. № 1. S. 99-100.
2. Kublanov M.S. Matematicheskoe modelirovanie. Metodologiya i metody razrabotki matematicheskikh modelej mekhanicheskikh sistem i processov: ucheb. posobie. CH. I. Izd. 3-e. M.: MGTU GA, 2004. 108 s.
3. Uvajsov R.I. Metod diagnostirovaniya defektov bortovykh radiotekhnicheskikh ustrojstv // Diss. kand. tekhn. nauk. M.: MIEM, 2008. 157 s.
4. Luke Malpass. SolidWorks 2009 API Advanced Product Development. 2009. 246 s.
5. DonskoyD.M., Ramezani M. Separation of amplitude and frequency modulations in Vibro-Acoustic Modulation Nondestructive Testing Method // Proceedings of Meetings on Acoustics. 2018; 34(1):045002. <https://doi.org/10.1121/2.0000831>
6. Bach Phi Duong, Jong-Myon Kim. Prognosis of remaining bearing life with vibration signals using a sequential Monte Carlo framework // The Journal of the Acoustical Society of America 146, EL358 (2019).
7. Sobol' I.M. CHislennyye metody Monte-Karlo. M.: Nauka, 1973. 312 s.
8. Mihajlov G.A., Vojtishkek A.V. Statisticheskoe modelirovanie. Metody Monte-Karlo: uchebnoe po-sobie dlya vuzov. M.: Yurajt, 2019. 323 s.
9. Prigarin S.M. Metody chislennogo modelirovaniya sluchajnykh processov i polej. Novosibirsk: Izd. IVMiMG SO RAN, 2005. 258 s.
10. Baranov V.M., Karasevich A.M., Sarychev G.A. Ispytaniya i kontrol' kachestva materialov i kon-strukcij. M.: Vysshaya shkola, 2004. 360 s.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 14.11.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 24.11.2023*

*Принята к публикации / Accepted 02.12.2023*

---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Во Тхе Хай* – аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Института радиоэлектроники и информатики Российского технологического университета МИРЭА.

*Vo The Hai* – Post-graduate Student of the Department of Design and Production of Radioelectronic Means of the Institute of Radioelectronics and Informatics, Russian Technological University MIREA.

*Долматов Алексей Вячеславович* – кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Института радиоэлектроники и информатики Российского технологического университета МИРЭА.

*Aleksey Dolmatov* – Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Design and Production of Radioelectronic Means of the Institute of Radioelectronics and Informatics, Russian Technological University MIREA.

*Лью Нгок Тиен* – аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Института радиоэлектроники и информатики Российского технологического университета МИРЭА.

*Luu Ngoc Tien* – Post-graduate Student of the Department of Design and Production of Radioelectronic Means of the Institute of Radioelectronics and Informatics, Russian Technological University MIREA.

*Нгуен Конг Дьк* – аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Института радиоэлектроники и информатики Российского технологического университета МИРЭА.

*Nguyen Cong Duc* – Post-graduate Student of the Department of Design and Production of Radioelectronic Means of the Institute of Radioelectronics and Informatics, Russian Technological University MIREA.

*Увайсов Сайгид Увайсович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств Института радиоэлектроники и информатики Российского технологического университета МИРЭА.

*Saygid Uvaisov* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Design and Production of Radioelectronic Means of the Institute of Radioelectronics and Informatics, Russian Technological University MIREA.

---

Ссылка для цитирования: *Во Т.Х., Долматов А.В., Лью Н.Т., Нгуен К.Д., Увайсов С.У.* Алгоритм учёта разбросов технологических параметров конструкции для диагностирования бортовой космической аппаратуры // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 32 - 37. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-32-37.

For citation: *Vo T.H., Dolmatov A.V., Lyu N.T., Nguyen K.D., Uvaisov S.U.* Algorithm for accounting for variations in technological parameters of the design for diagnosing onboard space equipment // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 32 - 37. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-32-37.

## РАЗРАБОТКА МАКЕТА ПРОТОТИПА ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННЫМ НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

С.М. Скорняков, А.А. Тихомиров

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск  
185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, пр-т Ленина, 33  
skornyakovs.sergei@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается процесс создания модели опытного образца трехфазной системы с изолированной нейтралью, предназначенной для изучения переходных процессов при возникновении однофазных замыканий на землю. Создание макета позволяет проводить эксперименты в контролируемых условиях, изучать процессы в трехфазной системе, способствует разработке новых методов диагностики и предотвращения аварий, а также оптимизации параметров электрических сетей.

**Ключевые слова:** замыкание, изолированная нейтраль, исследование процессов, однофазное замыкание, осциллограмма, параметр, переходной процесс, схема замещения, трехфазная система, RLC-цепочка.

**Abstract.** The article discusses the process of creating a prototype model of a three-phase system with an isolated neutral, intended for studying transient processes when single-phase ground faults occur. Creating a prototype allows you to conduct experiments under controlled conditions, study processes in a three-phase system, contribute to the development of new methods for diagnosing and preventing accidents, as well as optimizing the parameters of electrical networks.

**Key words:** short circuit, isolated neutral, process research, single-phase short circuit, oscillogram, parameter, transient process, equivalent circuit, three-phase system, RLC chain.

### Введение

В современном мире, где электрическая энергия играет ключевую роль в обеспечении функционирования различных отраслей экономики, науки и повседневной жизни, проблемы, связанные с качеством и надежностью электроснабжения, становятся все более актуальными. Одним из ключевых аспектов, определяющих надежность и безопасность работы электрических систем, является изучение переходных процессов, которые могут возникать при различных аварийных ситуациях, таких как однофазные замыкания на землю.

Задача определения вида и места аварийных режимов в сельских распределительных электрических сетях 6 – 10 – 35 кВ является актуальной, так как она мало проработана в отличие от сетей класса 110 кВ и выше [1]. В настоящее время около 80% объектов электрических сетей 6-35 кВ вообще не осна-

щены устройствами селективной защиты от однофазных замыканий на землю и имеют лишь общую неселективную сигнализацию по напряжению нулевой последовательности – контроль изоляции.

Как отмечается в [2, 3, 4, 5], повреждения линий электропередачи составляют значительную долю от общего числа повреждений электрооборудования. Поэтому разработка методов диагностики и своевременное обнаружение неисправностей линий электропередачи является актуальной задачей для обеспечения надежного электроснабжения потребителей. В особенности эта задача становится важной в контексте разработки новых подходов к диагностике линий электропередачи в районах Крайнего Севера.

В Российской Федерации линии электропередачи напряжением 6-10 кВ являются наиболее распространенными среди всех уровней напряжения и служат для питания

распределительных сетей в городах и сельской местности, а также для электроснабжения предприятий легкой промышленности [6].

Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что разработка модели прототипа трехфазной системы с изолированной нейтралью представляет собой важную задачу на сегодняшний день. Создание такого макета позволит проводить эксперименты в контролируемых условиях, что обеспечит получение более воспроизводимых результатов. Кроме того, изучение процессов, происходящих в таких системах, может способствовать разработке новых методов диагностики и предотвра-

щения аварий, а также оптимизации параметров электрических сетей. Все это в совокупности способствует повышению надежности и безопасности электроснабжения.

### Экспериментальная часть

Для составления схемы замещения распределительной линии электропередач 6-10 кВ было проведено анализ осциллограмм реального замыкания и осциллограмм исходного режима. Примеры осциллограмм представлены на рисунке 1.

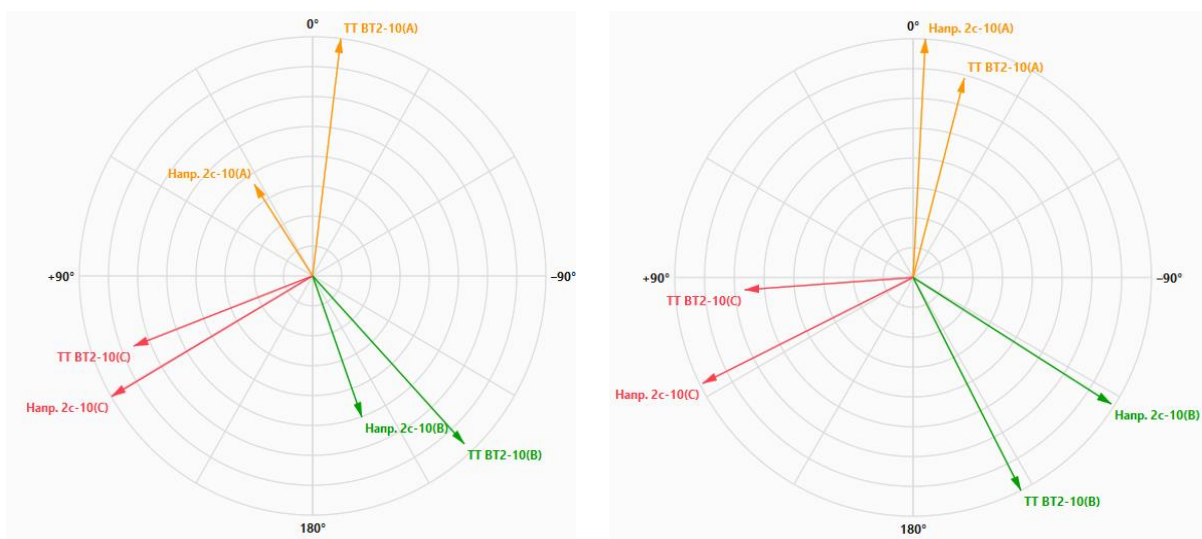


Рисунок 1 – Осциллограммы: а – аварии (замыкания на землю); б – исходного режима

По диаграммам видно, что однофазное замыкание на землю вызывает изменение величин и направлений векторов напряжения и токов. Напряжение на поврежденной фазе снижается, в то время как на других фазах возрастает. Также меняются фазы напряжений и токов, и характер нагрузки с индуктивного меняется на емкостной. Это означает, что полный ток поврежденной фазы становится емкостным и должен быть учтен при составлении математической модели линии с изолированной нейтралью. Схема замещения такой сети должна учитывать продольное сопротивление, индуктивность, межфазные и междулинейные емкости и земные емкости на единицу длины линии.

Для трехфазной линии электропередачи была выбрана Г-образная схема замещения, которая представляет собой последовательно соединенные  $RLC$ -звенья. Схема изображена на рисунке 2.

Г-образная схема замещения выбрана из-за того, что место аварии делит линию передачи электроэнергии на две части. Такая схема обеспечивает минимальное количество элементов в сети и равноценна П-образной схеме в отношении точности описания линии с сосредоточенными параметрами.

Показанная трехфазная цепь включает в себя: нарастающее сопротивление и индуктивность в зависимости от длины линии, междофазные и земные емкости.

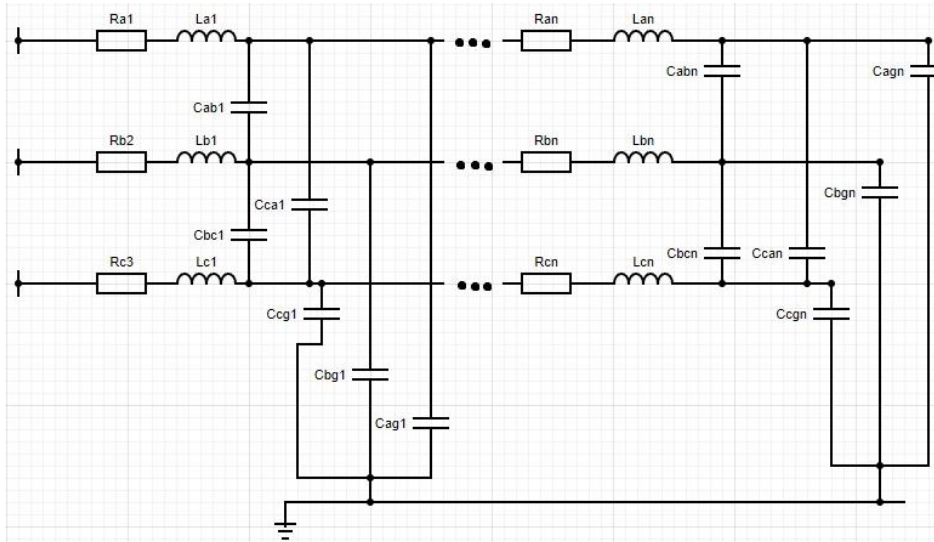


Рисунок 2 – Схема замещения распределительной линии электропередач 6-10 кВ

Так как во время короткого замыкания емкости на фазе закорачиваются и могут быть исключены из рассмотрения, а емкости на других фазах включаются параллельно. Можно сказать, что при коротком замыкании линии электропередачи с изолированной нейтралью

на землю изменяются величины поперечных емкостей, что приводит к некоему упрощению схемы замещения. Таким образом, после преобразования в случае короткого замыкания схема замещения будет выглядеть, как показано на рисунке 3.

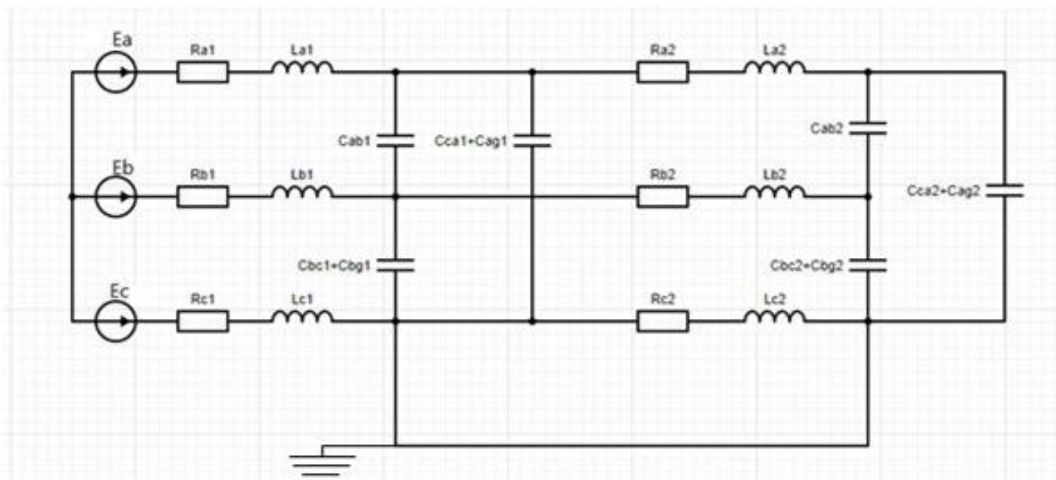


Рисунок 3 – Схема замещения линии электропередачи с изолированной нейтралью после эквивалентных преобразований

Из рисунка видно, что при однофазном замыкании на землю в фазе С, ее продольное сопротивление, последовательно соединенных элементов  $R_{c2}$  и  $L_{c2}$ , замыкается через сопротивление земли. Если пренебречь сопротивлением земли, то это эквивалентно короткому замыканию. Такое изменение в цепи должно привести к изменению тока через индуктивность и, следовательно, в линейном

проводнике. В случае одностороннего питания, изменение тока будет происходить по экспоненциальному закону.

Для подбора элементной базы испытательного стенда необходим расчет значений погонного активного сопротивления, индуктивностей и емкостей линии электропередачи с изолированной нейтралью.



Согласно [7] емкость – трехфазной системы может быть найдена согласно:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(2 \cdot \frac{\sqrt[3]{h_1 h_2 h_3} \sqrt[3]{r_{12} r_{23} r_{31}}}{\sqrt[3]{R_1 R_2 R_3} \sqrt[3]{r_{12}' r_{23}' r_{31}'}}\right)} \quad (1)$$

где  $h_1, h_2, h_3$  – расстояния от земли до 1, 2 и 3 проводов,  $r_{12}, r_{23}, r_{31}$  – расстояния между соответствующими проводами,  $r_{12}', r_{23}', r_{31}'$  – расстояния между соответствующими проводами, отраженными на землю.

Расположение проводов должно быть согласно схеме на рисунке 4.

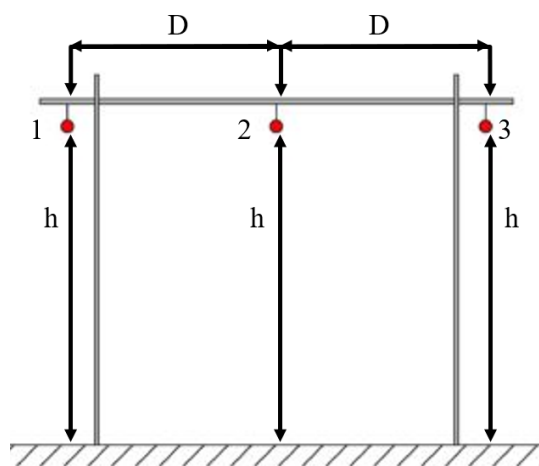


Рисунок 4 – Воздушная линия, в которой провода расположены горизонтально:  $h$  – расстояние от земли до проводов,  $D$  – расстояние между проводами

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{2hD}{R \cdot \sqrt[3]{(4h^2 + D^2)\sqrt{h^2 + D^2}}}\right)} = \frac{2\pi \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 500}{\ln\left(\frac{2 \cdot 6 \cdot 0.4}{0.006 \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot 36 + 0.4^2)\sqrt{36 + 0.4^2}}}\right)} = 6.277 \text{ нФ} \quad (4)$$

Рассчитаем емкость  $C$  на отрезок  $l$  участка линии электропередачи, пренебрегая влиянием земли

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{\sqrt[3]{2D}}{R}\right)} = \frac{2\pi \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 500}{\ln\left(\frac{\sqrt[3]{2 \cdot 0.4}}{0.006}\right)} = 6.275 \text{ нФ}. \quad (5)$$

Для расчета индуктивности, учтем тот факт, что индуктивность определяется не только ЭДС самоиндукции, обусловленной переменным током, но и ЭДС взаимной индукции, обусловленной токами в других проводах линии. Запишем уравнения, воспользовавшись

Получаем

$$\begin{aligned} r_{12} &= r_{23} = D; r_{31} = 2D; \\ h_1 &= h_2 = h_3 = h; \\ r_{12}' &= r_{23}' = \sqrt{4h^2 + D^2}; \\ r_{31}' &= \sqrt{4h^2 + 4D^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

Следовательно, уравнение (1) преобразуется в следующий вид:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{2hD}{R \sqrt[3]{(4h^2 + D^2)\sqrt{h^2 + D^2}}}\right)} \quad (3)$$

Рассчитаем емкость на отрезок участка линии электропередачи с учетом влияния земли

$$\begin{aligned} C &= \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln\left(\frac{2hD}{R \cdot \sqrt[3]{(4h^2 + D^2)\sqrt{h^2 + D^2}}}\right)} = \\ &= \frac{2\pi \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 500}{\ln\left(\frac{2 \cdot 6 \cdot 0.4}{0.006 \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot 36 + 0.4^2)\sqrt{36 + 0.4^2}}}\right)} = \\ &= 6.277 \text{ нФ} \end{aligned}$$

символическим методом решения для падения напряжения в проводах:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= (r + j\omega L)\dot{I}_1 + j\omega M_{12}\dot{I}_2 + j\omega M_{13}\dot{I}_3 \\ \dot{U}_2 &= (r + j\omega L)\dot{I}_2 + j\omega M_{23}\dot{I}_3 + j\omega M_{21}\dot{I}_1 \\ \dot{U}_3 &= (r + j\omega L)\dot{I}_3 + j\omega M_{31}\dot{I}_1 + j\omega M_{32}\dot{I}_2. \end{aligned} \quad (6)$$

Предположим, что токи в линии образуют симметричную систему, т.е.  $\dot{I}_2 = a^2 \dot{I}_1$ ;

$$I_3 = aI_1, \quad \text{где} \quad a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{и} \quad = \frac{l}{2\pi} \left( \mu_o \ln \frac{D}{R} + \frac{\mu}{4} \right) = 0.45 \text{ мГн.} \quad (9)$$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Взаимная индуктивность  $M$  при  $l \gg D$  выражается формулой [5]

$$M = \frac{\mu_o l}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{D} - 1 \right). \quad (7)$$

Таким образом,

$$L' = L - M = \frac{l}{2\pi} \left( \mu_o \ln \frac{D}{R} + \frac{\mu}{4} \right). \quad (8)$$

Рассчитаем индуктивность  $L$  уединенного провода длиной  $l$  для случая на рисунке 4.

$$L' = L - M =$$

Общий вид опытного образца представлен на рисунке 5. На модели продемонстрированы закрепленные опоры линии электропередач, распечатанные на 3D-принтере, смонтированные 4 участка линии электропередач согласно схеме замещения, показанной на рисунке 6. В качестве имитации замели был выбран односторонний текстолит, закрепленный между опорами.

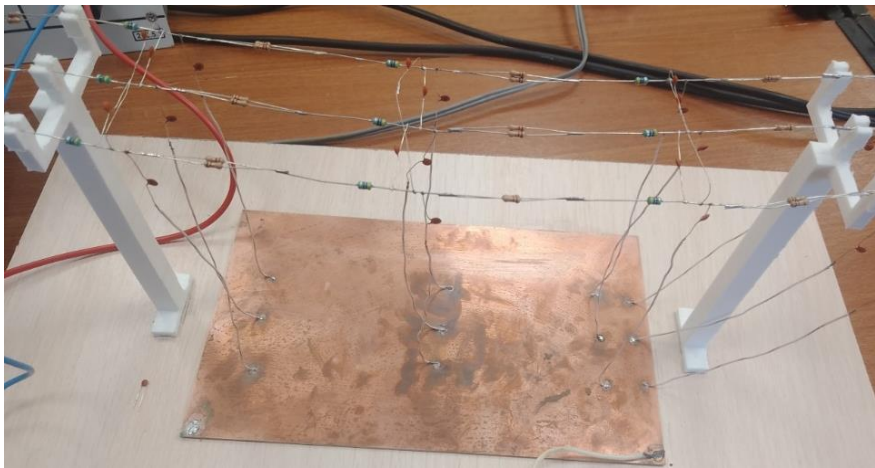


Рисунок 5 – Общий вид модели

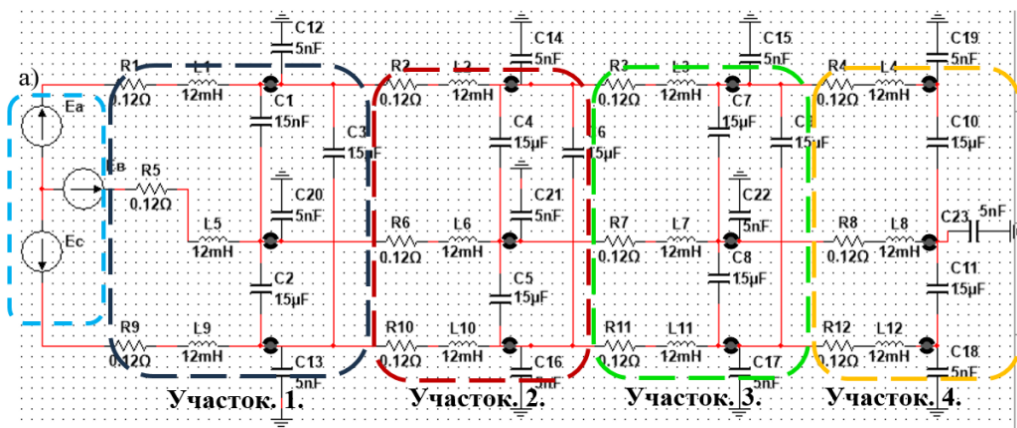


Рисунок 6 – Схема замещения и разметка на участки модели трехфазной линии электропередачи с изолированной нейтралью: а – подключенные источники питания по схеме с общей точкой

Однофазное короткое замыкание моделировалось путем соединения определенного фазного провода с узлом соединения емкостей, заменяющих емкостное сопротивление в отношении земли. Опытный образец трехфаз-

ной линии электропередачи позволил провести сбор осциллограмм фазового замыкания на землю на фазах А, В, С в начале и конце линии и в переходных точках. Измерение осциллограмм замыкания проводилось при по-

мощи двухканального осциллографа. Два щупа подключались с двух сторон резистора, в момент короткого замыкания осциллографом фиксировалось напряжение в точках, исполь-

зующую функцию «вычитание», получали разность напряжений между линиями. Пример измерения показан на рисунке 7.

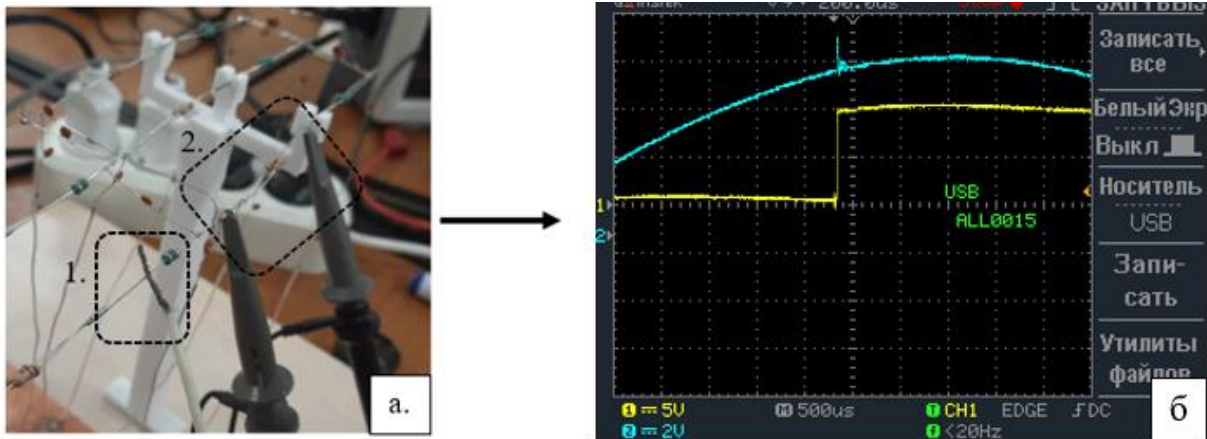


Рисунок 7 – Пример работы стенда: а – общий вид процесса измерений, где 1 – имитация короткого замыкания, 2 – коммутация щупов осциллографа к резисторам; б – пример выводимой осциллограммы после короткого замыкания, желтым цветом показано изменение потенциала земли, синим – изменение потенциала на фазе

### Результаты

С использованием экспериментальной модели получены осциллограммы напряжений при поочередных замыканиях на землю на всех участках линии. Осциллограммы показывают изменения электрического потенциала

фазы С (синий цвет) и потенциала земли (желтый цвет). При замыкании на землю потенциал фазы С выравнивается с потенциалом земли, а линейные напряжения сохраняют свои значения относительно потенциала земли (рисунок 8).

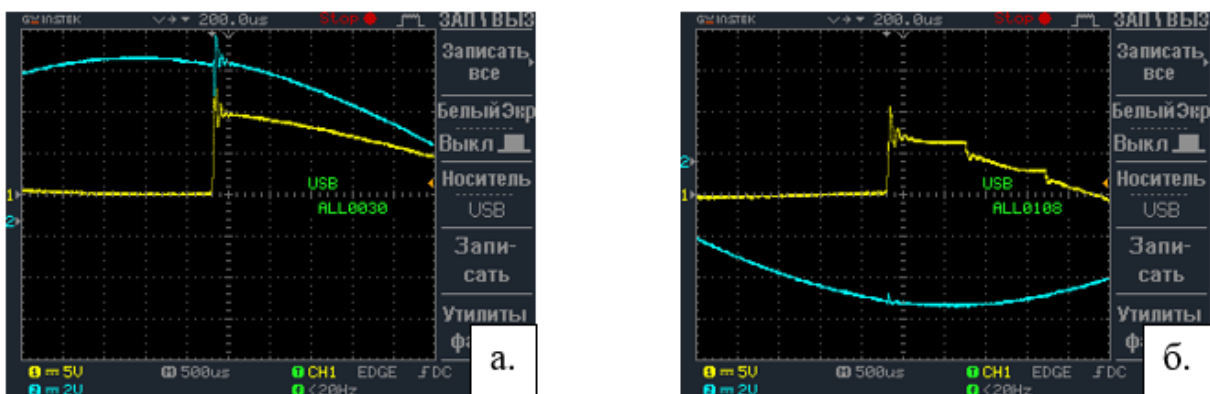


Рисунок 8 – Пример выводимой осциллограммы при однофазных замыканиях на землю фазы А относительно фазы С: а – замыкания в начале участка фазы А; б – замыкание в конце участка фазы А

По полученным значениям осциллограмм построили графики зависимости изменения потенциала при коротких замыканиях на каждом из участков относительно фазы С (рисунок 9). По мере удаления от места по-

вреждения можно заметить, что амплитуда сигнала на фазе, относительно которой производится измерение, увеличивается. На других фазах, напротив, амплитуда сигнала во время короткого замыкания уменьшается по мере

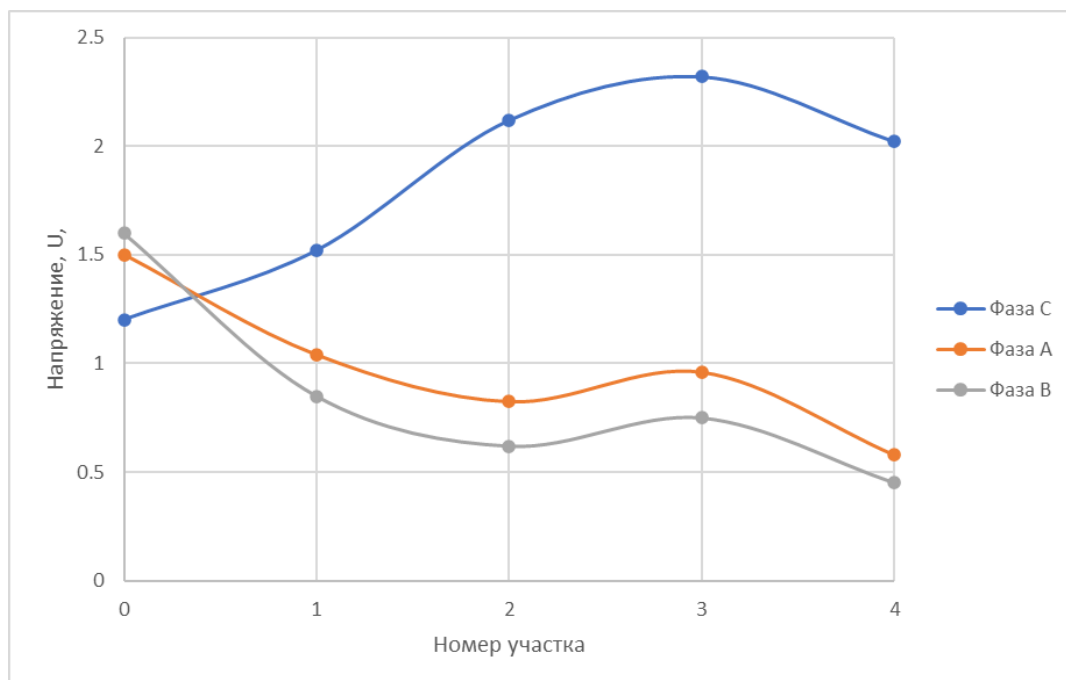


Рисунок 9 – Изменения потенциала при коротких замыканиях на фазы А, В, С, относительно фазы С

изменения исследуемого участка линии электропередачи.

### Заключение

Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований в области определения места повреждения линий электропередачи и использоваться для разработки и усовершенствования методов и устройств для определения мест повреждений, что, в свою очередь, позволит сократить время на устранение аварий и снизить потери электроэнергии.

Опытный образец трехфазной линии электропередачи с изолированной нейтралью позволяет изучать переходные процессы при имитации однофазных замыканий на землю, что может быть применимо в академических целях и для выполнения научных исследований.

*Исследования проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих ученую степень, финансируемой Правительством Республики Карелия.*

### Библиографический список

1. Солдатов В.А., Яблоков А.С. Определение повреждений в сетях 35 кВ по наведенному напряжению на антеннах при нагрузке // Известия Горского государственного аграрного университета. 2016. Т. 53, № 3. С. 121-126.
2. Сушков В.В., Тимошкин В.В., Сухачев И.С., Сидоров С.В. Оценка остаточного ресурса изоляции погружного электродвигателя установок электрических центробежных насосов добычи нефти при воздействиях импульсных перенапряжений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 10. С. 74–80.
3. Кустов А.Н., Зацепина В.И. Анализ надежности и повышение эффективности в электросетевом комплексе за счет внедрения концепции «цифровой сети» // Технологии физики, автоматизации и информатики. Тенденции развития современной науки: материалы I всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Липецк, 06–07 июня 2019 года. Липецк: Липецкий ГТУ, 2020. С. 92-96.
4. Беликов Р.П., Фомин И.Н. Использование средств контроля и коммутации для дистанционного отыскания и устранения повреждений применительно к разветвленным электрическим сетям 6(10) кВ // Агротехника и энергообеспечение. 2017. № 4 (17). С. 77-83.
5. Киржацких Е.Р., Козлов В.К., Киржацких М.Н. Дистанционное определение места однофазного замыкания на землю в сетях 6-10 кВ на основе датчиков напряжения // Развивая энергетическую повестку будущего: сборник докл. межд. науч.-практ. конф. для представителей сообщества молодых инженеров

ТЭК, Санкт-Петербург, 10–11 декабря 2021 года. С-Пб: С-ПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2021. С. 13-18.

6. Мавлянов А.А. Использование устройств релейной защиты и автоматики в защите сетей 6-10 кВ // Молодой ученый. 2020. № 18 (308). С. 35-38.

7. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Т. 2. 4-е изд. СПб.: Питер, 2003. 576 с.

### Referenses

1. Soldatov V.A., Yablokov A.S. Opredelenie povrezhdenij v setyah 35 kV po navedennomu napryazheniyu na antennah pri nagruzke // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. Т. 53, № 3. С. 121-126.

2. Sushkov V.V., Timoshkin V.V., Suhachev I.S., Sidorov S.V. Ocenka ostatochnogo resursa izolyacii pogruzhnogo elektrodvigatelya ustanovok elektricheskikh centrobeznyh nasosov dobychi nefi pri vozdej-stviyah impul'snyh perenapryazhenij // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2017. Т. 328. № 10. С. 74–80.

3. Kustov A.N., Zacepina V.I. Analiz nadezhnosti i povyshenie effektivnosti v elektrosetevom komplekse za schet vnedreniya koncepcii «cifrovoj seti» // Tekhnologii fiziki, avtomatizacii i infor-matiki. Tendencii razvitiya sovremennoj nauki: materialy I vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konfe-rencii molodyh uchenyh, Lipeck, 06–07 iyunya 2019 goda. Lipeck: Lipeckij GTU, 2020. С. 92-96.

4. Belikov R.P., Fomin I.N. Ispol'zovanie sredstv kontrolya i kommutacii dlya distancionnogo otyskaniya i ustraneniya povrezhdenij primenitel'no k razvetvlyennym elektricheskim setyam 6(10) kV // Agrotekhnika i energoobespechenie. 2017. № 4 (17). С. 77-83.

5. Kirzhackih E.R., Kozlov V.K., Kirzhackih M.N. Distancionnoe opredelenie mesta odnofaznogo замыкания на землю в сетях 6-10 кВ на основе датчиков напряжения // Razvivaya energeticheskuyu povestku budushchego: sbornik dokl. mezhd. nauch.-prakt. konf. dlya predstavitelej soobshchestva molodyh inzhenerov TEK, Sankt-Peterburg, 10–11 dekabrya 2021 goda. S-Pb: S-PbGETU «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2021. С. 13-18.

6. Mavlyanov A.A. Ispol'zovanie ustrojstv relejnoj zashchity i avtomatiki v zashchite setej 6-10 kV // Molodoy uchenyj. 2020. № 18 (308). С. 35-38.

7. Demirchyan K.S., Nejman L.R., Korovkin N.V., Chechurin V.L. Teoreticheskie osnovy elektrotehniki: V 3-h t. Uchebnik dlya vuzov. Т. 2. 4-е изд. SPb.: Piter, 2003. 576 s.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 18.11.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 29.11.2023*

*Принята к публикации / Accepted 03.12.2023*

*© С.М. Скорняков, А.А. Тихомиров, 2023*

---

### Сведения об авторах

#### List of Authors

*Скорняков Сергей Михайлович* – инженер кафедры электроники и электротехники Физико-технического института Петрозаводского государственного университета.

*Sergey Skornyakov* – Engineer of the Department of Electronics and Electrical Engineering of the Physico-Technical Institute, Petrozavodsk State University.

*Тихомиров Александр Андреевич* – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой электроники и электротехники Физико-технического института Петрозаводского государственного университета.

*Alexander Tikhomirov* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Electronics and Electrical Engineering of the Physico-Technical Institute, Petrozavodsk State University.

---

Ссылка для цитирования: *Скорняков С.М., Тихомиров А.А.* Разработка макета прототипа трехфазной сети с изолированным нулевым проводом для исследования переходных процессов при однофазных замыканиях на землю // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 38 - 45. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-38-45.

For citation: *Skornyakov S.M., Tikhomirov A.A.* Development of a prototype model of a three-phase network with an insulated neutral wire for studying transient processes during single-phase ground faults // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 38 - 45. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-38-45.



## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ЯЗЫКА НОВОРОЖДЕННОГО

Т.И. Мурашкина<sup>1</sup>, Е.А. Бадеева<sup>1</sup>, А.С. Несяев<sup>1</sup>, Ю.А. Васильев<sup>2</sup>, Е.Ю. Плотникова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Пензенский государственный университет, Пенза

440026, Россия, Пензенская обл., г. Пенза, ул. Красная, 40

<sup>2</sup> Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар

350063, Россия, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. имени Митрофана Седина, 4  
timurashkina@mail.ru

**Аннотация.** Предлагается методика измерения силы мышц языка новорожденного в течение первых двух недель жизни с помощью разработанного ранее волоконно-оптического датчика давления языка на нёбо аттенюаторного типа для определения патологий челюстно-лицевой области. Методика отличается тем, что измерения проводятся в условиях большой неопределенности без возможности участия пациента. Проведенные первичные клинические измерения показали целесообразность дальнейших исследований, так как значения измеренного давления языка у новорожденных в течение периода измерений увеличивались, что доказывает применимость датчика и новой методики для отслеживания развития ротовой полости у новорожденных.

**Ключевые слова:** аттенюатор, волоконно-оптический датчик, давление, методика, новорожденный, сила мышц языка.

**Abstract.** A technique is proposed for measuring the strength of the tongue muscles of a newborn during the first two weeks of life using a previously developed fiber-optic attenuator-type tongue pressure sensor on the palate to determine pathologies of the maxillofacial region. The technique differs in that measurements are carried out under conditions of great uncertainty without the possibility of patient participation. The initial clinical measurements carried out showed the feasibility of further research, since the values of the measured tongue pressure in newborns increased during the measurement period, which proves the applicability of the sensor and the new technique for tracking the development of the oral cavity in newborns.

**Key words:** attenuator, fiber-optic sensor, pressure, technique, newborn, tongue muscle strength.

### Введение

Наука о выхаживании новорожденных – неонатология предполагает изыскание оптимальных методов диагностики и лечения болезней у детей первых четырех недель жизни, а также реабилитацию больных новорожденных, создание в неонатальном периоде условий, необходимых для формирования состояния здоровья во всей последующей жизни человека [1]. Многие врожденные заболевания можно успешно лечить, если их обнаружить в первые дни жизни новорожденного. Но, к сожалению, безопасные диагностические средства измерений в этом случае практически отсутствуют [2]. Авторы предлагают в качестве одного из диагностических признаков исполь-

зовать значения силы мышц (давление) языка [3, 4, 5], которые являются наиболее показательным источником информации о состоянии не только полости рта новорожденного, но и общего состояния здоровья новорожденного.

Для точного измерения давления языка на нёбо необходим контакт установочной поверхности датчика со слизистой оболочкой нёба, а мембраны – с языком, и отсутствие в полости рта электрических измерительных элементов. Для этого в работах [6, 7] были приведены сведения о новых разработках безопасных для пациентов волоконно-оптических сканера профиля нёба и волоконно-оптического датчика давления (ВОДД) аттенюаторного типа.



Датчик имеет маленькие габаритные размеры (рисунок 1), что позволяет использовать

его для измерения давления в полости рта новорожденных (рисунок 2).

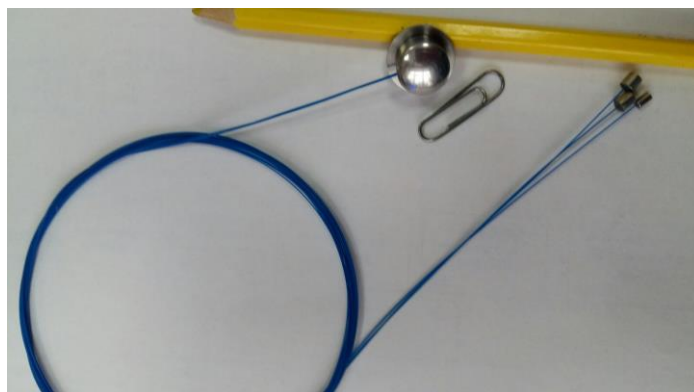


Рисунок 1 – Фото волоконно-оптического датчика давления



Рисунок 2 – Фото проведения измерений давления языка с помощью ВОДД у новорожденных

Но, ввиду того, что такой датчик предназначен для взрослых пациентов, которые выполняют определенные действия по указанию врача, то разработанная ранее методика проведения измерений [5], не была рассчитана на новорожденных.

Цель работы – адаптация методики применения известного технического решения ВОДД аттенуаторного типа, разработанного для диагностики челюстно-лицевых патологий, к проведению измерений давления языка новорожденного.

#### **Полученные результаты**

Для достижения поставленной цели разработанная ранее методика измерения давления языка на нёбо при челюстно-лицевых патологиях с помощью ВОДД была доработана

для целей измерения давления языка у новорожденных в первые 4 недели жизни. Перед началом измерений новорожденного укладывают на пеленальный стол и фиксируют положение горизонтальное головы. Вначале новорожденному с помощью пипетки дают проглотить 5 мл кипяченой воды, в результате чего производится естественное надавливание языка на чувствительный элемент ВОДД. Эту процедуру повторяют не менее 3 раз с интервалом в 10 с.

Дальнейшие клинические исследования осуществляются в соответствии с разработанной методикой.

Методика включает следующие этапы:

1. Определить возраст новорожденного (целесообразно измерения проводить с интервалом в 1...3 дня), наблюдается ли у ново-

рожденного уздечка или другие патологии полости рта, к какой генерной группе относится новорожденный. Сделать соответствующие отметки в таблице 1.

2. Определить для конкретного возраста и пола новорожденного нормальные числовые значения давления языка на нёбо в соответствии с базой данных, которые занести в таблицу 2.

3. Обеспечить соприкосновение установочной поверхности ВОДД и слизистой оболочки нёба, а противоположную сторону

ВОДД – воспринимающий элемент следует совместить со слизистой оболочкой верхней поверхности языка в полости рта новорожденного, предварительно выполнив дезинфекцию рук 70 % этиловым спиртом и другими дезинфицирующими средствами, и поместив чувствительный элемент, размещаемый в полости рта, в гигиенический пакет.

4. С помощью ВОДД провести измерения давления  $P$  языка. Занести результаты измерений в таблицу 3.

Таблица 1 – Возраст, пол новорожденного

Возраст новорожденного, дни		Есть ли патология (да/нет)	Какая патология	Пол (м/ж)
0...1	1...3 ...			

Таблица 2 – Значения давления языка

Возраст				
Пол				
Положение языка	Нормальное значение давления языка на нёбо, $P$ , кгс/см <sup>2</sup>	Допустимое отклонение давления языка на нёбо, $P$ , кгс/см <sup>2</sup>	Среднее значение результата измерения давления языка на нёбо, $P_{ср} \pm \Delta P_{д}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Максимальное значение реального отклонения давления языка на нёбо, $\Delta P_{р}$ , кгс/см <sup>2</sup>

Таблица 3 – Результаты измерений давления  $P$  языка на нёбо

Выходное напряжение ВОДД, $U, V$ (Измеренное значение давления языка на нёбо $P_{и}$ , кгс/см <sup>2</sup> )			
Первое измерение	Второе измерение	Третье измерение	Четвертое измерение

5. Повторить операции по пункту 4 еще 3 раза.

6. Определить среднее значение результата измерения давления языка на нёбо  $P_{ср}$  и занести в таблицу 2.

7. Определить максимальное значение реального отклонения давления языка на нёбо

по формуле  $\Delta P_{р} = \left| P - (P_{ср} \pm \Delta P_{д}) \right|_{\max}$  и занести результаты расчета в таблицу 2.

8. Определить патологию в соответствии с отклонениями от нормы. Сделать записи в таблице 4.

Таблица 4 – Выявленная патология

Максимальное значение реального отклонения давления языка на нёбо, $\Delta P_{р}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Патология

### **Заключение**

Предложенная нашим научным коллективом методика даст возможность:

- устранить амбивалентность нахождения давления (сил мышцы) языка для новорожденных, опирающееся на методику контроля данного показателя у лиц с челюстно – лицевыми патологиями, что повысит достоверность результатов измерений;
- исключить неоднозначность измерения давления языка для новорожденных, повысить достоверность результатов измерений;

- обеспечить высокую воспроизводимость (до 80 %) результатов измерений;

- использовать в зоне измерения оптическое излучение мощностью не более 10 мкВт, исключить негативные последствия от электромагнитного воздействия на здоровье новорожденного и на результаты измерения.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда в виде гранта № 22-15-20069*

### **Библиографический список**

1. Новорожденный ребенок. Основы оценки состояния здоровья и рекомендации по профилактике и коррекции его нарушений: руководство для врачей / Под ред. Н.Л. Черной, В.В. Шилкина. С-Пб.: СпецЛит, 2009. 352 с.
2. Ужумецкене И.И. Методы исследования в ортодонтии. М: Изд. «Медицина». 1970. 200 с.
3. Ультразвуковая диагностика в неонатологии / Под ред. И.В. Дворяковского, Г.В. Яцык. М.: Изд. дом «Атмосфера», 2009. 168 с.
4. Ямашев И.Г., Матвеев Р.С. Язык: клинико-функциональные методы диагностики патологических состояний. Чебоксары: АУ Чувашии ИУВ, 2012. 48 с.
5. Ильина Р.Ю. Информативность системы полость рта – язык в диагностике побочных эффектов психотропных средств: диссертация ... кандидата медицинских наук: 14.00.21 / Ильина Роза Юрьевна; [Место защиты: Казанский государственный медицинский университет]. Казань, 2009. 145 с.
6. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Серебряков Д.И., Васильев Ю.А., Хасаншина Н.А., Славкин И.Е. Волоконно-оптическая диагностическая система аномалий челюстно-лицевой области на основе датчиков давления // Современные нейрокибернетические технологии в реабилитации и развитии когнитивных способностей человека: матер. V межд. конф., МГГЭУ, 26-27 ноября 2020 г. М.: МГГЭУ, 2020. С. 90-95.
7. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Васильев Ю.А., Серебряков Д.И., Бростилова Т.Ю., Хасаншина Н.А., Терещенко Л.Ф. Волоконно-оптический датчик силы (давления) мышц языка // Модели, системы и сети в экономике, технике, природе и обществе. 2019. № 3. С. 83-93.
8. Бадеева Е.А., Мурашкина Т.И., Васильев Ю.А., Серебряков Д.И., Арутюнов А.В., Терещенко Л.Ф., Бростилова Т.Ю., Хасаншина Н.А. Патент на изобретение РФ 2741274 Волоконно-оптический датчик силы мышц языка – давления языка на небо и способ его сборки // Опубликовано: 2021.01.22, бюл.3.

### **Referenses**

1. Novorozhdennyj rebenok. Osnovy ocenki sostoyaniya zdorov'ya i rekomendacii po profilaktike i korrkicii ego narushenij: rukovodstvo dlya vrachej / Pod red. N.L. Chernoj, V.V. Shilkina. S-Pb.: SpecLit, 2009. 352 s.
2. Uzhumeckene I.I. Metody issledovaniya v ortodontii. M: Izd. «Medicina». 1970. 200 s.
3. Ul'trazvukovaya diagnostika v neonatologii / Pod red. I.V. Dvoryakovskogo, G.V. Yacyk. M.: Izd. dom «Atmosfera», 2009. 168 s.
4. Yamashev I.G., Matveev R.S. Yazyk: kliniko-funkcional'nye metody diagnostiki patologicheskikh sostoyanij. Cheboksary: AU Chuvashii IUV, 2012. 48 s.
5. Il'ina R.Yu. Informativnost' sistemy polost' rta – yazyk v diagnostike pobochnyh effektov psihotropnyh sredstv: dissertaciya ... kandidata medicinskih nauk: 14.00.21 / Il'ina Roza Yur'evna; [Mesto zashchity: Kazanskiy gosudarstvennyj medicinskij universitet]. Kazan', 2009. 145 s.
6. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Serebryakov D.I., Vasil'ev Yu.A., Hasanshina N.A., Slavkin I.E. Volokonno-opticheskaya diagnosticheskaya sistema anomalij chelyustno-licevoj oblasti na osnove datchikov davleniya // Sovremennye nejrokiberneticheskie tekhnologii v rehabilitacii i razvitii kognitivnyh spo-sobnostej cheloveka: mater. V mezhd. konf., MGGEU, 26-27 noyabrya 2020 g. M.: MGGEU, 2020. S. 90-95.
7. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Vasil'ev Yu.A., Serebryakov D.I., Brostilova T.Yu., Hasanshina N.A., Tereshchenko L.F. Volokonno-opticheskij datchik sily (davleniya) myshc yazyka // Modeli, sistemy i seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve. 2019. № 3. S. 83-93.
8. Badeeva E.A., Murashkina T.I., Vasil'ev Yu.A., Serebryakov D.I., Arutyunov A.V., Tereshchenko L.F.,

Brostilova T.Yu., Hasanshina N.A. Patent na izobretenie RF 2741274 Volokonno-opticheskiy datchik sily myshc yazyka – davleniya yazyka na nebo i sposob ego sborki // Opublikovano: 2021.01.22, byul.3.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 19.10.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 02.11.2023*

*Принята к публикации / Accepted 26.11.2023*

© Т.И. Мурашкина, Е.А. Бадеева, А.С. Несяев, Ю.А. Васильев, Е.Ю. Плотникова, 2023

---

### **Сведения об авторах**

#### **List of Authors**

---

*Мурашкина Татьяна Ивановна* – доктор технических наук, профессор кафедры приборостроения Пензенского государственного университета.

*Tatiana Murashkina* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Instrument Engineering, Penza State University.

*Бадеева Елена Александровна* – доктор технических наук, профессор кафедры бухгалтерского учета, налогообложения и аудита Пензенского государственного университета.

*Elena Badeeva* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department Accounting, Taxation and Audit, Penza State University.

*Несяев Андрей Сергеевич* – студент Пензенского государственного университета.

*Andrey Nesyaev* – Student, Penza State University.

*Васильев Юрий Анатольевич* – ассистент кафедры общественного здоровья, здравоохранения и истории медицины Кубанского государственного медицинского университета.

*Yuri Vasiliev* – Assistant at the Department of Public Health, Healthcare and History of Medicine, Kuban State Medical University.

*Плотникова Екатерина Юрьевна* – врач-неонатолог первой категории, аспирант 2-го года обучения Кубанского государственного медицинского университета.

*Ekaterina Plotnikova* – Neonatologist of the first category, Postgraduate student of the 2nd year of study, Kuban State Medical University.

---

Ссылка для цитирования: *Мурашкина Т.И., Бадеева Е.А., Несяев А.С., Васильев Ю.А., Плотникова Е.Ю.* Волоконно-оптический датчик давления языка новорожденного // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 46 - 50. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-46-50.

For citation: *Murashkina T.I., Badeeva E.A., Nesyaev A.S., Vasiliev Yu.A., Plotnikova E.Yu.* Fiber Optic Newborn Tongue Pressure Sensor // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 46 - 50. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-46-50.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА В РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

А.И. Федоров, Д.П. Гермес, А.Л. Гиоргадзе

Воронежский государственный промышленно-гуманитарный колледж, Воронеж  
394036, Россия, Воронежская обл., г. Воронеж, пр-т Революции, д.20  
sasafedorow@mail.ru

**Аннотация.** Проведен анализ результатов практического использования универсального оптоэлектронного логического элемента постоянного и переменного тока в различных электронных устройствах. Макетирование электронных устройств с применением оптоэлектронных базовых логических элементов выполнялось на контрольно-измерительной платформе NI ELVIS II с графической средой программирования LabVIEW и на специализированном стенде для монтажа электронных схем.

**Ключевые слова:** оптоэлектронное устройство, универсальный оптоэлектронный логический элемент, Multisim, Ultiboard, ELVIS II.

**Abstract.** An analysis of the results of the practical use of a universal optoelectronic logic element of direct and alternating current in various electronic devices is carried out. Prototyping of electronic devices using optoelectronic basic logic elements was carried out on the NI ELVIS II control and measurement platform with the LabVIEW graphical programming environment and on a specialized stand for mounting electronic circuits.

**Key words:** optoelectronic device, universal optoelectronic logic element, Multisim, Ultiboard, ELVIS II.

### Введение

Перспективы развития оптоэлектронных устройств (ОЭУ) в современных условиях практически безграничны. Считается, что наиболее оптимальным технологическим направлением реализации интегральных ОЭУ является разработка и изготовление гибридных систем, объединяющих в себе оптические устройства (ОУ), которые отличаются помехозащищенностью от воздействия электромагнитного излучения, и электронные устройства (ЭУ), для которых существуют отработанные технологии по производству микроскопических изделий с высокой степенью интеграции.

Современное ОЭУ можно рассматривать как гибридную комбинацию ЭУ и ОУ на принципах единства и целостности их преимуществ, что обеспечивает устройству не только повышенную помехозащищенность, но и надежность, быстродействие, малое энергопотребление, миниатюрные размеры и минимальный вес.

Основной составной частью ОЭУ, которые могут применяться в системах управле-

ния, контроля, безопасности и защиты, является оптрон (оптопара), с определяющим его возможности элементом – фотоприемником, тогда как «кирпичиком» схемотехнических решений сложных цифровых микросхем является логический элемент.

Разработка и производство комбинированных оптоэлектронных компонентов (оптоэлектронных логических элементов) для интегральной электроники представляет собой актуальное направление в плане расширения электронной компонентной базы (ЭКБ) оптоэлектронного приборостроения [1, 2, 3]. Актуальность оптоэлектроники (фотоники) и квантовой электроники нашла отражение и в изменении образовательных программ. Так, начиная с 2023 года, техник, освоивший основную профессиональную образовательную программу среднего профессионального образования по специальности 11.02.13 «Твердотельная электроника», должен быть готов к выполнению основных видов профессиональной деятельности, предусмотренных Федеральным государственным образовательным

стандартом, включающих и работу с приборами квантовой электроники и фотоники.

Профессионально подготовленный техник, участвующий в процессе изготовления изделий твердотельной электроники, приборов квантовой электроники и фотоники, должен знать конструкционные особенности выпускаемых изделий и область применения выпускаемой продукции, иметь достаточный уровень практических навыков и умений для плодотворного участия в различных технологических, контрольно-измерительных и контрольно-испытательных операциях, обрабатывать и анализировать получаемую в ходе производственного процесса информацию.

Исходя из результатов теоретических исследований, оптоэлектронные логические элементы (ОЛЭ) могут быть созданы с применением интегральных технологий, если применяются фотонные компоненты (интерферометры и микрорезонаторы), а также двумерные фотонные кристаллы. Очевидны конструкционные, технологические и эксплуата-

ционные преимущества подобных интегральных ОЛЭ.

Вышеперечисленное делает эти компоненты эффективными составными частями для создания в дальнейшем перспективных оптических (фотонных) интегральных схем. Однако, в настоящее время, отечественное микроэлектронное производство не выпускает ОЛЭ в интегральном исполнении, то есть в структуре полупроводникового кристалла.

### Экспериментальная часть

Учебная лабораторно-экспериментальная база не позволяет проводить технологические исследования. Поэтому, схемотехнические особенности оптоэлектронных логических элементов изучались в процессе моделирования в *NI Multisim*.

На рисунке 1 приведена схема для изучения работы оптоэлектронного базового логического элемента И-НЕ в процессе компьютерного моделирования.

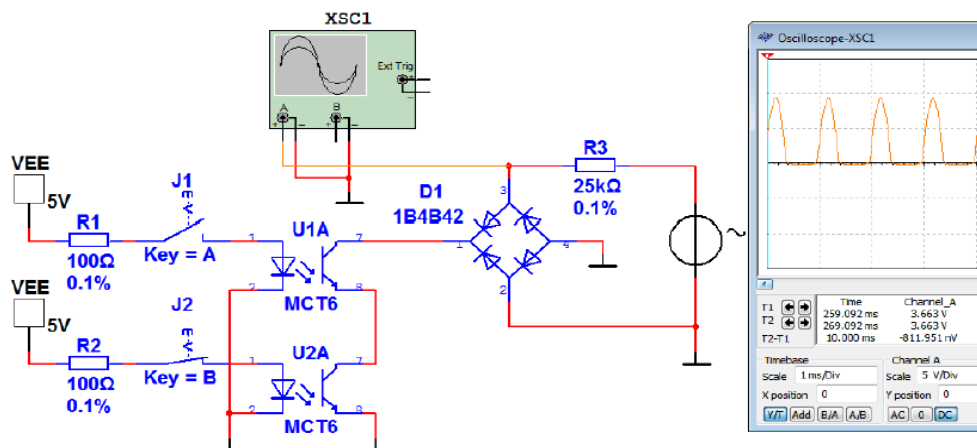


Рисунок 1 – Моделирование работы оптоэлектронного логического элемента переменного тока И-НЕ

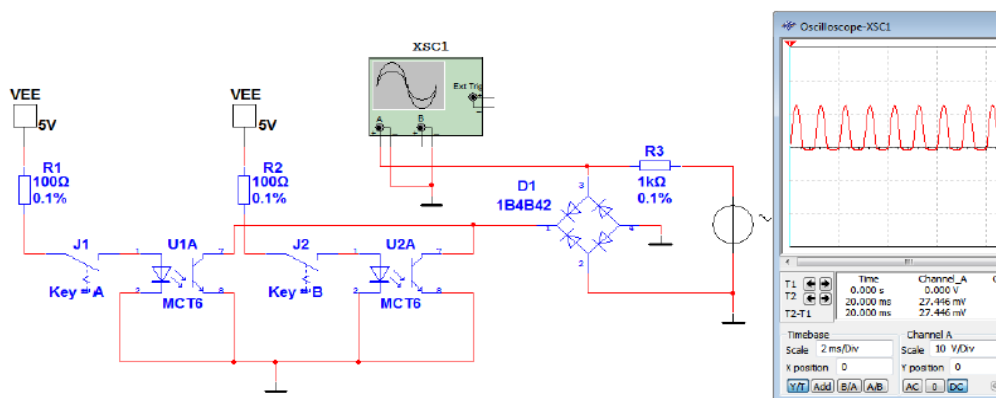


Рисунок 2 – Моделирование работы оптоэлектронного логического элемента переменного тока ИЛИ-НЕ



На рисунке 2 показана схема для изучения работы оптоэлектронного базового логического элемента ИЛИ-НЕ в процессе компьютерного моделирования.

Для применения в различных электронных устройствах была разработана конструкция универсального оптоэлектронного логиче-

ского элемента (ОЛЭ) на стандартной макетной плате, собранная в дискретном исполнении (рисунок 3). На рисунке 4 показано применение универсального оптоэлектронного логического элемента, собранного на отдельной макетной плате, который выполняет функцию инвертора (НЕ).

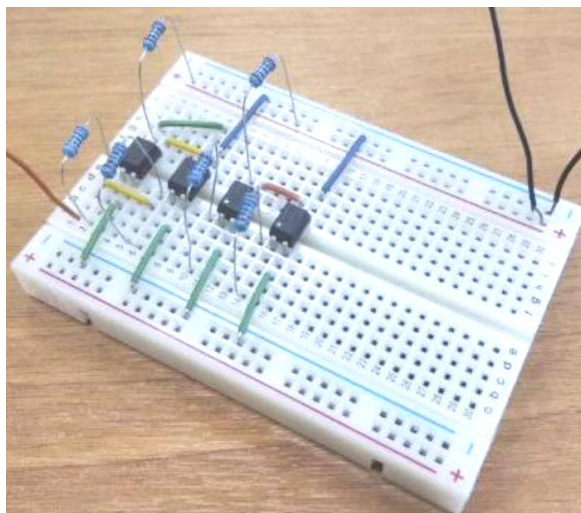


Рисунок 3 – Макет универсального оптоэлектронного логического элемента

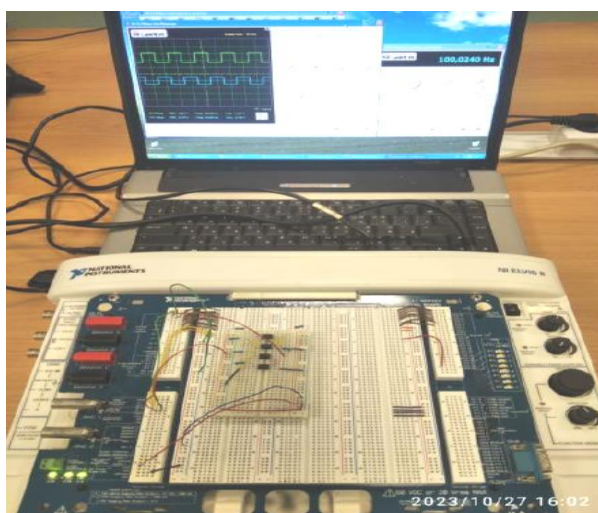


Рисунок 4 – Применение ОЛЭ в качестве инвертора (НЕ)

Конструкционные особенности универсального ОЛЭ отработывались в процессе макетирования с применением специализированного стенда для монтажа электронных устройств (рисунок 5).

Исходными электронными схемами, на

базе которых исследовалась работа оптоэлектронных логических элементов, были схема счетного устройства и схема фотоэлектронного ключа с применением оптопары с открытым оптическим каналом.

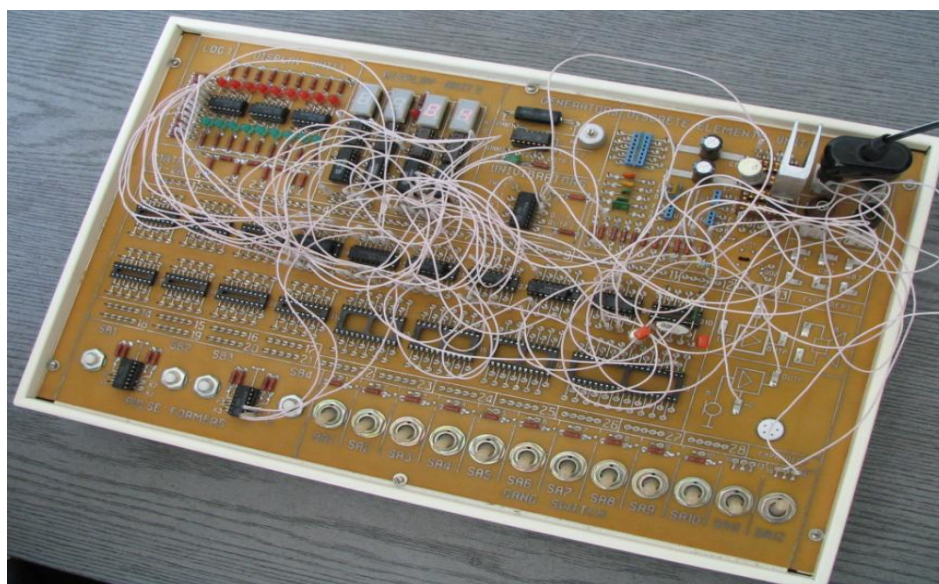


Рисунок 5 – Макет счетного устройства с применением оптопары

Электронное счетное устройство применялось для включения-выключения блока цифровой индикации с помощью усиленного микрофонным усилителем и преобразованного одновибратором в прямоугольный импульс звукового сигнала от динамика. Сам стенд для электромонтажа различных электронных устройств представлял собой материнскую печатную плату (платформу) с набором радиодеталей и конструктивно оформленных блоков, размером 375×240 мм.

Для демонстрации принципа работы устройств с применением ОЛЭ использовались также виртуальные приборы настольной электронной учебно-лабораторной станции NI ELVIS II.

## Результаты

Отработка конструкции универсального ОЛЭ, собранного в макетном исполнении на основе четырех транзисторных оптопар, исследовалась в процессе применения универсального ОЛЭ в электронном устройстве защиты. В процессе исследования применялись оптопары как с закрытым оптическим каналом в виде микросхем, так и с открытым оптическим каналом с использованием дискретных источника излучения и фотоприемника. Демонстрация применения универсального ОЛЭ проводилась на макете устройства аварийного отключения работы двигателя, собранного на платформе электронной учебно-лабораторной станции NI ELVIS II (рисунок 6).

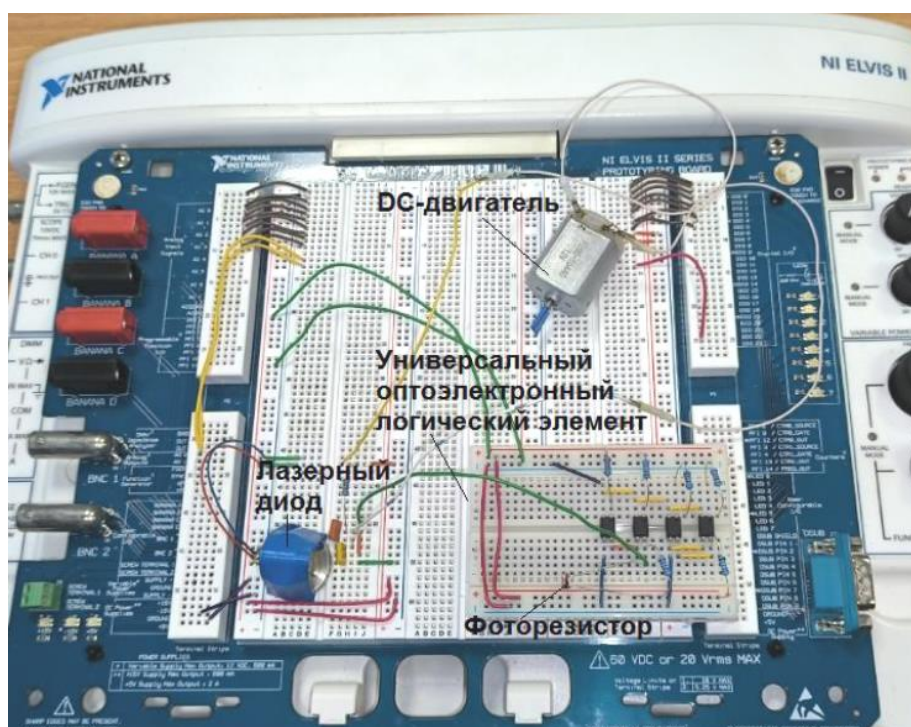


Рисунок 6 – Макет устройства аварийного отключения двигателя с применением оптопар

Световой поток создавался лазерным диодом, который выступал в качестве источника излучения в оптопаре гальванической развязки между входной и выходной цепями устройства. За счет относительно мощного источника излучения фоторезистор, который использовался как приемник излучения в оптопаре гальванической развязки, мог располагаться на значительном расстоянии от источника, не требуя экранирования от внешнего освеще-

ния, но нуждался в точной направленности на источник. При этом, освещенность фоторезистора была достаточна для возбуждения фототока, приводящего к срабатыванию фотоэлектронного ключа, нагруженного на микродвигатель постоянного тока. В схеме управления устройством универсальный ОЛЭ выполнял функцию инвертора, а также использовался для повышения помехозащищенности схемы.



Принцип действия устройства аварийной остановки работы двигателя основывался на пересечении светового потока механическим препятствием, попадающим в опасную зону и, тем самым, прерывающего работу двигателя.

Для представления универсального ОЛЭ в виде печатной платы была подготовлена

электрическая схема для ее трансляции в NI Ultiboard и последующей трассировки печатной платы, позволяющая в зависимости от поступления входных сигналов выполнять функции базовых логических элементов И-НЕ (NAND) и ИЛИ-НЕ (NOR) (рисунок 7).

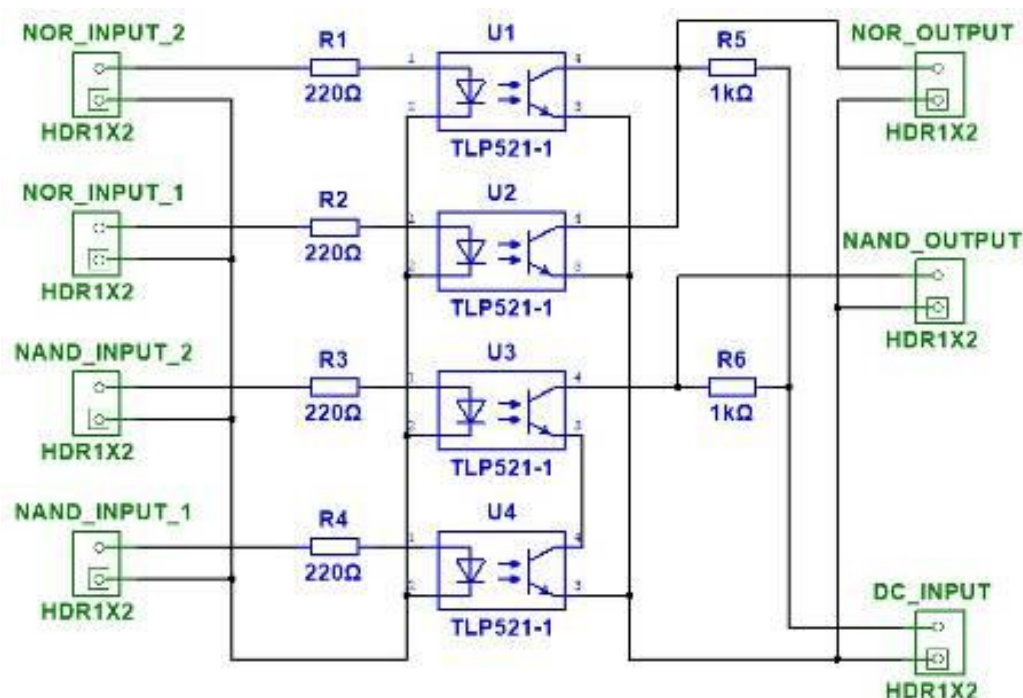


Рисунок 7 – Схема универсального оптоэлектронного логического элемента

### Заключение

Внедрение в учебный процесс практических занятий, связанных с моделированием схемного строения оптоэлектронных логических элементов и с реальным макетированием этих ОЛЭ может рассматриваться как один из эффективных этапов на пути углубления теоретических знаний будущих специалистов

среднего звена электронной направленности и повышения их профессиональной компетентности.

Оптоэлектронные логические элементы различной структуры повышают помехозащищенность устройств и существенно обогащают область их практического применения [4].

### Библиографический список

1. Шустов М.А. Универсальные оптоэлектронные логические элементы переменного и постоянного тока // РадиоЛоцман. 2020. № 2. С. 40-43.
2. Шустов М.А. Оптоэлектронная логика // РадиоЛоцман. 2019. № 12. С. 36-39.
3. Шустов М.А. Оптоэлектронная логика // РадиоЛоцман. 2020. № 2. С. 36-40.
4. Шустов М.А. Цифровая схемотехника. Практика применения. СПб.: Наука и техника, 2018. 432 с.

### Referenses

1. Shustov M.A. Universal optoelectronic logic elements of alternating and direct current // RadioLotsman. 2020. No. 2. P. 40-43.
2. Shustov M.A. Optoelectronic logic // RadioLotsman. 2019. No. 12. P. 36-39.
3. Shustov M.A. Optoelectronic logic // RadioLotsman. 2020. No. 2. P. 36-40.
4. Shustov M.A. Digital circuitry. Application practice. St. Petersburg: Science and Technology, 2018. 432 p.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 17.11.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 28.11.2023*

*Принята к публикации / Accepted 03.12.2023*

*© А. И. Федоров, Д. П. Гермес, А.Л. Гиоргадзе, 2023*

---

**Сведения об авторах**

**List of Authors**

---

*Федоров Александр Игоревич* – студент отделения радиоэлектроники Воронежского государственного промышленно-гуманитарного колледжа.

*Alexander Fedorov* – Student of the Radio Electronics Department of the Voronezh State Industrial and Humanitarian College.

*Гермес Дмитрий Павлович* – студент отделения радиоэлектроники Воронежского государственного промышленно-гуманитарного колледжа.

*Dmitry Hermes* – Student of the Radio Electronics Department of the Voronezh State Industrial and Humanitarian College.

*Гиоргадзе Алексей Львович* – кандидат технических наук, доцент отделения радиоэлектроники Воронежского государственного промышленно-гуманитарного колледжа.

*Aleksey Giorgadze* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Radio Electronics Department of the Voronezh State Industrial and Humanitarian College.

---

Ссылка для цитирования: *Федоров А. И., Гермес Д. П., Гиоргадзе А.Л.* Практическое использование универсального оптоэлектронного логического элемента в различных электронных устройствах // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 51 - 56. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-51-56.

For citation: *Fedorov A.I., Hermes D.P., Giorgadze A.L.* Practical use of a universal optoelectronic logic element in various electronic devices // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 51 - 56. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-51-56.

## ОБЩЕСТВЕННАЯ ЭКСПЕРТИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.М. Глушко<sup>1</sup>, А.Д. Деренок<sup>2</sup>, Н.А. Чулков<sup>1</sup>, В.А. Кабанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Томский политехнический университет, Томск  
634050, Россия, Томская обл., г. Томск, пр-т Ленина, 30

<sup>2</sup> Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск  
634003, Россия, Томская обл., г. Томск, пл. Соляная, 2  
chulkov45@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена проблемам организации общественной экспертизы при реализации региональных объектов, ориентированной на научные исследования, комплексное развитие безопасной научно-образовательной, высокотехнологичной, социальной и жилой инфраструктуры. Уделено внимание организации общественных слушаний по проекту создания Томского межвузовского студенческого кампуса.

**Ключевые слова:** безопасность, инфраструктура, общественная экспертиза, студенческий кампус, технико-экономическое обоснование.

**Abstract.** The article is devoted to the problems of organizing public expertise during the implementation of regional objects, focused on scientific research, comprehensive development of safe scientific, educational, high-tech, social and residential infrastructure. Attention was paid to organizing public hearings on the project to create the Tomsk interuniversity student campus.

**Key words:** safety, infrastructure, public examination, student campus, feasibility study.

### Введение

Ранее сообщалось, что проблемы безопасности инновационных центров нового поколения, ориентированных на комплексное развитие научно-образовательной, высокотехнологичной, социальной и жилой инфраструктуры, в последнее время широко обсуждается общественностью г. Томска в разных форматах [1, 2, 3, 4, 5]. В обсуждениях участвуют как проектировщики, управленцы, преподаватели и студенты, так и инвесторы. Одних больше волнуют технологическая сторона, других – коммерческая составляющая вопроса. Строительство межвузовского кампуса считается крупнейшим инвестпроектом в Томске за последнее десятилетие. Полная реализация проекта займет не менее 50 лет. Строительство повлечет за собой развитие территорий Томска. Появились новые нормы для проектировщиков общежитий, кампусов [6, 7, 8, 9].

Нормативно-правовая база общественной экспертизы постоянно совершенствуется. Сейчас она базируется для территории Томской области на следующих нормативных актах:

- статья 7 Конституции Российской Федерации;
- Федеральный закон «Об экологической экспертизе» от 23.11.1995 г. №174-ФЗ;
- Закон Томской области от 24.07.1997 г. «Об экологической экспертизе в Томской области» (с изменениями от 24.05.2001 г.);
- статья 19. «Заключение общественной экологической экспертизы» «Основ государственной политики в области обеспечения химической и биологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» (утв. Президентом РФ 01.11.2013 N Пр-2573;

- статья 5. «Цели и задачи общественного контроля», статья 6. «Принципы общественного контроля» главы 3. «Формы и порядок осуществления общественного контроля» федерального закона «Об основах общественного контроля в Российской Федерации» от 21.07.2014 n 212-ФЗ.

### **Этапы реализации проекта**

В 1974 году строительство нескольких заводов единого технологического процесса «Томский нефтехимический комбинат» началось как предприятия всесоюзного статуса. Первоначально строительство велось по проекту аналогичного предприятия Италии. По межправительственному соглашению шефмонтажные работы и технологический контроль вели инженеры и специалисты из Италии. Это строительство включалось в государственные планы по развитию нефтехимических технологий по глубокой переработке, добываемых в регионе нефти и газа. Считалось, что строительство заводов обеспечит социально-экономическое безопасное развитие региона на основе лучших мировых проверенных временем практик. Оно поддерживалось депутатами на всех уровнях.

Запущенный в эксплуатацию нефтехимический комбинат состоял из ряда заводов-производств на единой площадке к северу от Томска. В 1981 года началось производство полипропилена, в 1983 – метанола, в 1985 – формалина, карбамидных смол и т.д. [2]. Следующая идея по строительству завода белковых витаминных концентратов (БВК), который должен был использовать ту же сырьевую базу, но уже по отечественному проекту, не была единодушно поддержана населением Томска. Стихийные протесты населения привели к организации ряда конференций по обсуждению безопасности строительства завода БВК и строительство не состоялось.

Далее в регионе возник проект БРЕСТ-300 [3]. Росатом осторожно заявил, что решение носит характер заявления о намерениях. Сами обсуждения, в том числе с общественностью, еще впереди. Вообще от принятия решения до его реализации предстоит довольно длинный путь, первым крупным этапом которого будет разработка проекта. Одним из

разделов проекта любого промышленного предприятия является ТЭО – технико-экономическое обоснование. Проектная организация в составе ТЭО должна предложить место расположения реактора и обосновать это предложение.

По установленному в нашем государстве порядку именно оценка воздействия на окружающую среду должна быть представлена для общественных слушаний [4]. Замечания, которые высказаны на слушаниях, будут проанализированы Ростехнадзором и по его рекомендациям учтены в проекте. Если вернуться немного в историю, в марте 2009 года на двух (!) площадках – в Северске и Томске – обсуждался документ «Оценка воздействия на окружающую среду строительства и эксплуатации двух блоков Северской АЭС». Организаторы вполне могли обойтись проведением общественных слушаний исключительно в Северске (и закон это позволяет). Но областная власть пошла на то, чтобы предоставить дискуссионную площадку тем, кто по каким-то причинам не смог или не захотел оформить пропуск в Северск. Для таких граждан был оборудован зал областной библиотеки им. Пушкина, где в режиме телемоста Северск – Томск проходили общественные слушания. Общественные слушания проводила Общественная палата Томской области. В результате голосования одобрено место расположения реактора, оно обозначено звездой на рисунке 1. С 2011 года Росатом реализует на Сибирском химкомбинате (СХК) в Северске проект «Прорыв» по созданию технологии замкнутого топливного цикла. Опытном-демонстрационный энергокомплекс (ОДЭК) будет включать в себя три промышленных объекта, не имеющих аналогов в мире: модуль фабрикации – рефабрикации топлива (МФР), энергоблок БРЕСТ-300 и модуль по переработке облученного топлива. На тестирование производственных линий отводится 9 месяцев. В опытно-промышленную эксплуатацию МФР планируется ввести в первом полугодии 2024 года. МФР является первым объектом ОДЭК с замкнутым ядерным топливным циклом и реактором на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем БРЕСТ-ОД-300 [5].



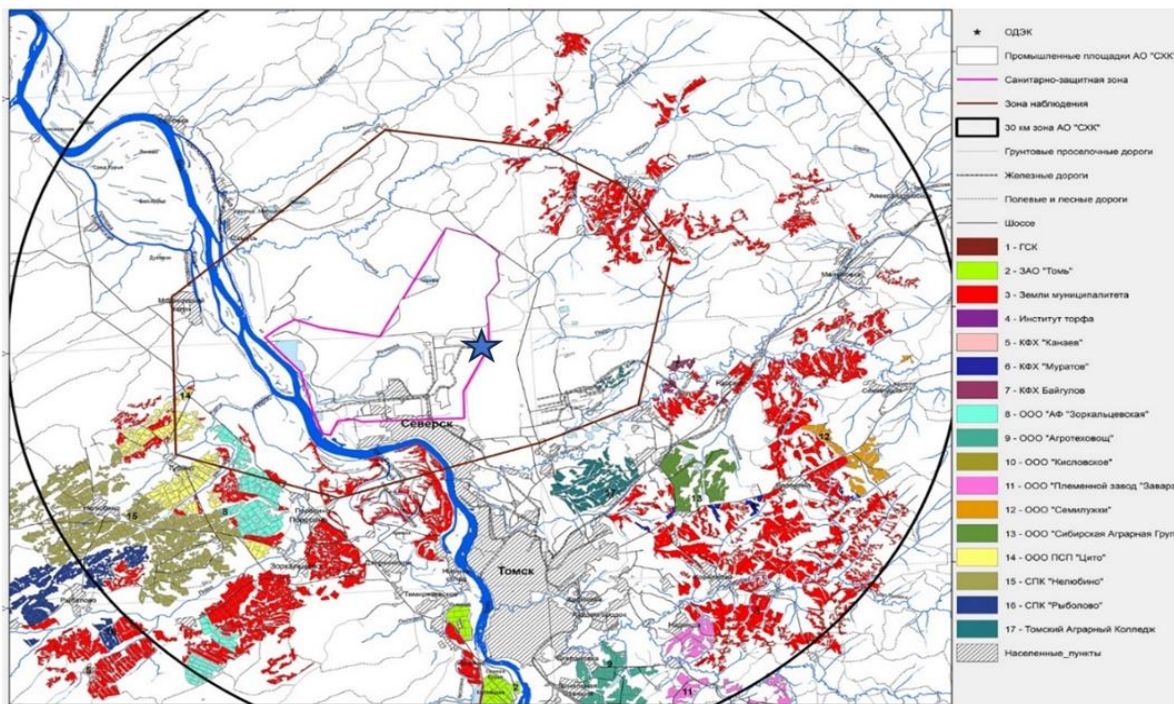


Рисунок 1– Ситуационный план территории под размещение ОДЭК «Брест 300»

В 2022 году утверждены Постановлением Правительства РФ проекты создания инновационных студенческих кампусов в Калининграде, Челябинске, Екатеринбурге, Томске, Новосибирске и Москве. Премьер-министр РФ заявил во время отчета Правительства в Госдуме РФ, что на строительство Томского межвузовского студенческого кампуса в Томской области заложено в бюджете России грант в размере 18 млрд рублей [1]. До апреля 2022 года должны были уточнить смету проекта в связи с ростом стоимости строительных материалов и необходимостью применить импортозамещение. Осенью 2023 года должны были завершить предложенный проект, тогда же хотели начать строительство кампуса, а завершить реализацию проекта до конца 2025 года.

Администрация региона в 2022 году не определилась с месторасположением будущего Томского межвузовского студенческого кампуса. Шли дебаты по двум участкам муниципальной земли на левом берегу реки Томь [1]. Мэрия города Томска предлагала участок рядом с микрорайоном Северный Парк – между рекой Томь и Шегарским трактом на земле, выкупленной застройщиком для реализации своих планов жилищного строительства (рисунок 2).

Площадь земельного участка, выделяемого под Томский межвузовский студенческий кампус около 48 гектаров. Кроме жилого комплекса на 10 тысяч человек здесь планировалось строительство канатной дороги, связывающей берега Томи, спортивный комплекс, инженеринговые и исследовательские центры [1].

Проектно-сметная документация (ПСД) для строительства канатной дороги и корпусов для жилой части Томского межвузовского студенческого кампуса должна была быть подготовлена к 2023 году, По объектам физкультурно-оздоровительного комплекса и помещениям учебного центра ПСД должна быть закончена к 2024 году [1]. При этом необходимо было внести изменения в ПСД ещё и с учетом ковидных ограничений [7, 8].

Власти региона в 2022 году другие участки, кроме Сенной Курьи, не рассматривали. Взаимодействие реки Томь и памятника природы «Скала Боец» в условиях присутствия коммунального моста с его опорами приводит к ледовым заторам на данном участке и большим подъёмам уровня реки. Значение «Скалы Боец» в тысячелетней борьбе с рекой Томью по сохранению территории безопасной для обитания ещё первобытного человека отчётливо наблюдается в осеннюю межень в виде

порога. Наше мнение – следует учитывать условия весеннего ледохода на реке Томь в планируемом месте расположения Томского межвузовского студенческого кампуса. При выборе этого варианта потребуется проведение ежегодных мероприятий для защиты территорий левобережья во время половодья [1].

Экзотический вид транспорта – «канатная дорога», также не является безопасной находкой, особенно в период пандемийных ограничений по плотности групп людей и разведения потоков время движения [8].



*Рисунок 2 – Земельный участок под Томский межвузовский студенческий кампус на левом берегу реки Томь*

В 2023 году принято решение о том, что участок на Сенной Курье не подходит для строительства Томского межвузовского студенческого кампуса из-за обводнения, несмотря на то, что современные технологии позволяют возводить объекты разных уровней сложности практически на любых грунтах. В конце марта 2023 г. Минобрнауки РФ и Минстрой РФ сформулировали предложение построить кампус на восточной окраине Томска в непосредственной близости от территории особой экономической зоны технико-внедренческого типа «Томск» (ОЭЗ «Томск») [9]. Было учтено наше мнение о небезопасном прохождении весеннего ледохода на реке Томь в месте предполагаемого участка расположения Томского межвузовского студенческого кампуса на «левобережных» участках [1].

В Томске процедура обсуждения вопросов по обустройству территорий, внутреннему содержанию кампусов организована внутри университетов – как с профессорско-

преподавательским составом, так и со студентами, а также с представителями бизнес-сообщества, использующими наработки вузовской науки и выступающими потенциальными работодателями для выпускников университетов.

Одновременно администрации университетов и Администрация региона работают с Федеральными Министерствами и ведомствами. Проект требует скрупулёзного внимания к деталям, чтобы все соответствовало действующим нормам, правилам и регламентам для кампусов [8,9,10,11,12,13].

В июне 2023 года в областной Администрации прошло совещание, где еще раз обсудили ранее предполагаемые участки и взвесили варианты, предложенные общественностью [14]. Это и участок в посёлке Хромовка, и участок в начале Малого транспортного кольца г. Томска, и участок, примыкающий к территории Томского государственного университета в районе Московского тракта, и другие



участки. Специалисты Администрации региона довели до участников-экспертов всю собранную информацию и рассказали о проведенных консультациях с Главгосэкспертизой РФ. Каждый участок из предлагающихся под строительство кампуса, в том числе и примыкающий к ОЭЗ «Томск», рассматривался по целому комплексу признаков. Это и интерес бизнес-сообщества, наличие помещений под технологические, лабораторные и вспомогательные службы, транспортная доступность для преподавателей и студентов, возможность организовать учебный процесс в шаговой доступности к жилым корпусам, наличие инженерных коммуникаций, дополнительные расходы по линии МЧС, например, с ликвидацией угрозы подтопления [14]. Рассматривались присутствие на территориях и вблизи объектов повышенной опасности: газопроводов, линий электропередач, станции института Оптики

атмосферы Сибирского отделения Российской академии наук (СО РАН).

Преимущества и недостатки этого участка земли федерального запаса кадастровой площадью более 77 гектаров, проработаны специалистами Главгосэкспертизы РФ, обсуждены с представителями вузовского сообщества и администрацией филиала СО РАН (рисунок 3). Требования пешей доступности от жилых корпусов до учебных аудиторий решается организацией учебного процесса на имеющихся площадях и корпусах ОЭЗ «Томск» и СО РАН.

Заключение концессионного соглашения с инвестором неоднократно переносилось. В июле 2023 года Губернатором Томской области поставлен срок заключения концессионного соглашения – сентябрь 2023 года. Срок ввода объектов кампуса в эксплуатацию сдвигается на июль 2027 года.



*Рисунок 3 – Визуализация проекта «Томский межвузовский студенческий кампус» у ОЭЗ «Томск» по состоянию на июль 2023 года*

### **Заключение**

Правительство одобрило земельный участок около ОЭЗ на прошедшем в июне 2023 года обсуждении на совместном совещании Минстроя РФ и Минобрнауки РФ. При проектировании и эксплуатации в данном районе необходимо учитывать наличие на территории

объектов повышенной опасности: воздушных и кабельных линий электропередач, ниток газопровода, станции института Оптики атмосферы СО РАН, а также санитарно-защитную зону кладбища «Бактин».

Обоснованный выбор участка строительства Томского межвузовского студенческого

кампуса позволит организовать его дальнейшее проектирование, строительство и эксплуатацию с регламентированными рисками опасных факторов для пользователей (студентов, преподавателей, научных сотрудников, предпринимателей и обслуживающего персонала). Проектная стоимость строительства и эксплуатации кампуса в ценах на 1 января 2023 года составляла 41,659 млрд рублей. Из этой суммы 18 млрд рублей – средства федерального бюджета.

После завершения стадии проектирования технических решений по обеспечению коллективных мер безопасности объектов кампуса с определенным уровнем допустимого риска действия опасных факторов, будут проектироваться организационные мероприятия, которые работодатель (концессионер) кампуса должен постоянно реализовывать в период эксплуатации объектов (создание и функционирование системы управления охраной труда) [14]. Эти мероприятия должны содержать, в том числе, обеспечение защиты работающих. Для нас на этом этапе интересна организация реализации программы контроля безопасности: государственного, общественного, ведомственного; в том числе за испол-

зованием средств индивидуальной и коллективной защиты, в частности, в условиях насыщенности территории линиями электропередач с генерируемыми электромагнитными полями и оборудованием станции института Оптики атмосферы СО РАН.

Для нас остаётся неясным нормативно-правовые основания для распространения на жителей кампуса мероприятий системы управления охраной труда, разработанные при данной организационно-правовой форме управления (владения) кампусом.

Новое в законодательстве: с августа 2023 года областная Дума наделена полномочиями ратифицировать концессии, заключенные администрацией Томской области сроком более чем на три года. Законодательная дума Томской области 28.09.2023 г. рассмотрела и приняла законопроект о ратификации концессии на строительство Томского межвузовского студенческого кампуса.

На современном этапе пока не рассматриваются вопросы по обеспечению услуг в удовлетворении религиозных потребностей иностранных обучающихся, в частности, из стран, исповедующих ислам.

#### **Библиографический список**

1. Глушко Н.М., Деренок А.Д., Чулков Н.А. Проблемы безопасности вузовских инновационных центров нового поколения (общежитий, кампусов) // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVIII международной научно-практической конференции. М., 2021. С. 94-98.
2. <https://www.sibur.ru/TomskNeftehim/>.
3. <http://www.atomsib.ru/proekt-proryv>.
4. Федеральный закон от 23.11.1995 г. №174-ФЗ «Об экологической экспертизе».
5. <https://ria.ru/20161013/1479116133.html>.
6. Специалисты начали инженерные изыскания. <https://riatomsk.ru>.
7. <https://www.riatomsk.ru/article/20230412/kampus-tomsk-eksperti/>.
8. Дудин В.Н. Стимуляция ковидом /Томская областная профсоюзная газета «Действие»/ За права и интересы людей труда. № 27 (1404). 15 июля 2021 года. [С. 2]
9. СП 2.1.2.2844-11 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудованию и содержанию общежитий для работников организаций и обучающихся образовательных учреждений».
10. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
11. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации».
12. Свод правил СП 379.1325800.2018 «Общежития и хостелы. Правила проектирования».
13. Правила поведения, обязательные для исполнения гражданами и организациями, при введении режима повышенной готовности или чрезвычайной ситуации. Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 2 апреля 2020 г. № 417.
14. <https://news.vtomske.ru/news/198135-gradsovet-odobril-stroitelstvo-tomskogo-kampusa-ryadom-s-oez>.
15. Федеральный закон от 30 декабря 2001 года N 197-ФЗ «Трудовой кодекс Российской Федерации».

### Referenses

1. Glushko N.M., Derenok A.D., Chulkov N.A. Problemy bezopasnosti vuzovskih innovacionnyh centrov novogo pokoleniya (obshchezhitij, kampusov) // Innovacionnye, informacionnye i kommunikacionnye tekhnologii: sbornik trudov XVIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. M., 2021. S. 94-98.
2. <https://www.sibur.ru/TomskNeftehim/>.
3. <http://www.atomsib.ru/proekt-proryv>.
4. Federal'nyj zakon ot 23.11. 1995 g. №174-FZ «Ob ekologicheskoy ekspertize».
5. <https://ria.ru/20161013/1479116133.html>.
6. Specialisty nachali inzhenernye izyskaniya. <https://riatomsk.ru>.
7. <https://www.riatomsk.ru/article/20230412/kampus-tomsk-eksperti/>.
8. Dudin V.N. Stimulyaciya kovidom /Tomskaya oblastnaya profsoyuznaya gazeta «Dejstvie»/ Za prava i interesy lyudej truda. № 27 (1404). 15 iyulya 2021 goda. [S. 2]
9. SP 2.1.2.2844-11 «Sanitarno-epidemicheskie trebovaniya k ustrojstvu, oborudovaniyu i sodержaniyu obshchezhitij dlya rabotnikov organizacij i obuchayushchihsya obrazovatel'nyh uchrezhdenij».
10. Federal'nyj zakon ot 29 dekabrya 2004 g. № 384-FZ «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij».
11. Federal'nyj zakon ot 30 dekabrya 2009 g. № 190-FZ «Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii».
12. Svod pravil SP 379.1325800.2018 «Obshchezhitiya i hostely. Pravila proektirovaniya».
13. Pravila povedeniya, obyazatel'nye dlya ispolneniya grazhdanami i organizacijami, pri vvedenii rezhima povyshennoj gotovnosti ili chrezvychajnoj situacii. Utverzheny postanovleniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 2 aprelya 2020 g. № 417.
14. <https://news.vtomske.ru/news/198135-gradsovet-odobril-stroitelstvo-tomskogo-kampusa-ryadom-s-oez>.
15. Federal'nyj zakon ot 30 dekabrya 2001 goda N 197-FZ «Trudovoj kodeks Rossijskoj Federacii».

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 17.11.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 28.11.2023*

*Принята к публикации / Accepted 03.12.2023*

*© Н.М. Глушко, А.Д. Деренок, Н.А. Чулков, В.А. Кабанов, 2023*

---

### Сведения об авторах

#### List of Authors

---

*Глушко Николай Михайлович* – председатель профсоюзного комитета Национального исследовательского Томского политехнического университета.

*Nikolai Glushko* – Chairman of the Trade Union Committee, National Research Tomsk Polytechnic University.

*Деренок Александр Дмитриевич* – студент Томского государственного архитектурно-строительного университета.

*Alexander Derenok* – Student, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering.

*Чулков Николай Александрович* – кандидат технических наук, доцент отделения базовой подготовки Национального исследовательского Томского политехнического университета.

*Nikolay Chulkov* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Basic Training Department, National Research Tomsk Polytechnic University.

*Кабанов Вячеслав Алексеевич* – студент Национального исследовательского Томского политехнического университета.

*Vyacheslav Kabanov* – Student, National Research Tomsk Polytechnic University.

---

Ссылка для цитирования: Глушко Н.М., Деренок А.Д., Чулков Н.А., Кабанов В.А. Общественная экспертиза безопасности при реализации региональных объектов в Томской области // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 57 - 63. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-57-63.

For citation: *Glushko N.M., Derenok A.D., Chulkov N.A., Kabanov V.A.* Public safety review during the implementation of regional facilities in the Tomsk region // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 57 - 63. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-57-63.

## РАСПОЗНАВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПРОВОДНЫХ ДАТЧИКОВ

Д.С. Жамангарин

Казахский университет технологии и бизнеса, Астана  
Республика Казахстан, г. Астана, ул. К. Мухамедханова, 37а  
dus\_man89@mail.ru

**Аннотация.** Датчики беспроводной сети и их использование в мониторинге дорожного движения, определении плотности движения или скорости транспортных средств и распознавания видов транспортных средств в последнее время находятся в центре внимания исследователей. В статье описывается, как была разработана новая сенсорная схема для предоставления мгновенных и инновационных решений в режиме реального времени в качестве системы обнаружения транспортных средств, которая является более мощной, чем системы, предлагаемые в других исследованиях, и дает результаты с меньшим пределом погрешности благодаря своей квалификации последовательной связи. С помощью предложенного логического алгоритма стало возможным классифицировать мгновенно статус движения на дороге по четырем уровням: отсутствие движения, умеренное движение, интенсивное движение и очень интенсивное движение. В качестве последнего приложения по направлению движения было определено местоположение транспортного средства по оси  $x$ , а также в направлениях слева направо или справа налево. Результат составил 94% точности. Простота предложенных алгоритмов, отсутствие каких-либо сложных математических вычислений, низкая стоимость сенсорного узла и схемы и низкое энергопотребление системы связи демонстрируют превосходство этой системы по сравнению с другими исследованиями.

**Ключевые слова:** беспроводные сенсорные сети, магнитный датчик, пробки на дорогах, обнаружение транспортных средств, длина магнитной подписи.

**Abstract.** Wireless network sensors and their use in traffic monitoring, traffic density or vehicle speed detection, and vehicle type recognition have recently been the focus of researchers. The paper describes how a new sensor circuit has been developed to provide instant and innovative real-time solutions as a vehicle detection system that is more powerful than systems proposed in other studies and produces results with a lower margin of error due to its expertise serial communication. Using the proposed logic algorithm, it is possible to instantly classify the traffic status of a road into four levels: no traffic, moderate traffic, heavy traffic and very heavy traffic. As a final direction of travel application, the location of the vehicle along the  $x$ -axis as well as in the left-to-right or right-to-left directions was determined. The result was 94% accuracy. The simplicity of the proposed algorithms, the absence of any complex mathematical calculations, the low cost of the sensor node and circuit, and the low power consumption of the communication system demonstrate the superiority of this system compared to other studies.

**Key words:** wireless sensor networks, magnetic sensor, traffic jams, vehicle detection, magnetic signature length.

### Введение

В последнее время множество людей

сталкиваются с транспортными проблемами и пробками на дорогах. Для мониторинга дорож-



ного движения, сбора информации о динамике дорожного движения и передачи этой информации водителям были разработаны интеллектуальные транспортные системы [1]. В основе работы этих систем лежит подсчет количества транспортных средств на дороге и определение их скорости, либо получение изображений транспортных средств с помощью видеокамер. В результате пробки на дорогах могут быть уменьшены с помощью анализа информации о дорожном движении или прогнозе трафика [2].

Во многих исследованиях сообщается о разработке системы идентификации транспортных средств с помощью беспроводных сенсорных сетей. Дорожные условия были исследованы с использованием анизотропных магнитных датчиков (AMR) и микрофонных датчиков [3]. В дополнение к этому, акустические датчики [4], ультразвуковые датчики [5] и системы анализа видеокамер или аэрофотоснимков [6] были использованы как часть идентификации транспортного средства с помощью технологии беспроводной сенсорной сети. Идентификация транспортных средств производилась с использованием беспроводных сенсорных сетей с несколькими датчиками, были классифицированы легкие, средние и тяжелые транспортные средства [10]. Процентная точность была проверена в условиях, когда 50 транспортных средств проезжали по дороге слева направо и справа налево. Было замечено, что это исследование дало более точные результаты, чем предыдущее [10].

С другой стороны, построение системы с использованием недорогих аппаратных устройств стало возможным благодаря структуре спроектированной беспроводной сети. Преимущество ее заключается в простоте программирования магнитометра и используемых сенсорных узлов, а также в передаче необходимой информации на координационный узел звездообразной топологии сети. Сенсорные узлы и магнитометр были соединены последовательно, чтобы избежать сложных вычислений и получить более точную информацию. Чтобы предупредить пробки на дорогах, полученная информация о состоянии

дорожного движения, типах транспортных средств или направлении движения может быть мгновенно отправлена через Интернет водителям, планирующим выехать на исследуемую дорогу.

### ***Беспроводные сенсорные сети***

Беспроводная связь осуществляется между приемником и передатчиком без кабельных соединений с помощью световых или электромагнитных волн. Сенсорные сети, построенные с использованием небольших устройств, дешевы и обладают способностью к самоорганизации, что упрощает взаимодействие датчиков. Датчики, также называемые детекторами и зондами, являются чувствительными элементами в электронных приложениях. Основными компонентами сенсорного узла являются микроконтроллер, приемник/передатчик, источник питания, память и один или несколько сенсорных компонентов. Датчик способен определять множество физических величин, таких как длина, количество, площадь, массовый расход, теплопередача, сила, температура, напряжение, ток, сопротивление, окисление/восстановление, плотность потока, конденсация, содержание, магнитный момент и магнитное поле. Различные датчики могут быть использованы в самых разных областях в соответствии с их назначением [9, 10]. Для измерения магнитного поля Земли, идентификации определенного материала или определения металлических свойств объектов используются анизотропные магниторезистивные датчики [11, 12, 13]. Поскольку транспортные средства также содержат различные металлические детали, их можно обнаружить с помощью магнитных датчиков. Аналогичным образом также может быть получена информация о дорожном движении на дороге [14,15].

### ***Магнитные датчики и установка экспериментальной системы***

Магнитные датчики, которые могут производить более точные измерения, теперь разработаны для удобной работы с интегральными схемами. Они стали более выгодными как с

точки зрения размера, так и стоимости. Соответственно, были разработаны AMR, которые могут оптимально обнаруживать магнитное поле Земли [7].

Помимо того, что датчик HMC9583L содержит 16 штифтов в своей внутренней структуре, он имеет четыре пригодных для использования контакта снаружи (рисунок 1). Это

контакты SDA/SPI\_SDI, SCL/SPI\_SCK, GND и VDD (2,16 В–3,6 В) (рисунок 2). Вывод GND предназначен для заземления, а вывод VDD – для подключения питания. Для работы датчика при напряжении 3,3 В через VDD использовалась схема платы питания и источник питания (батарейка типа AA).

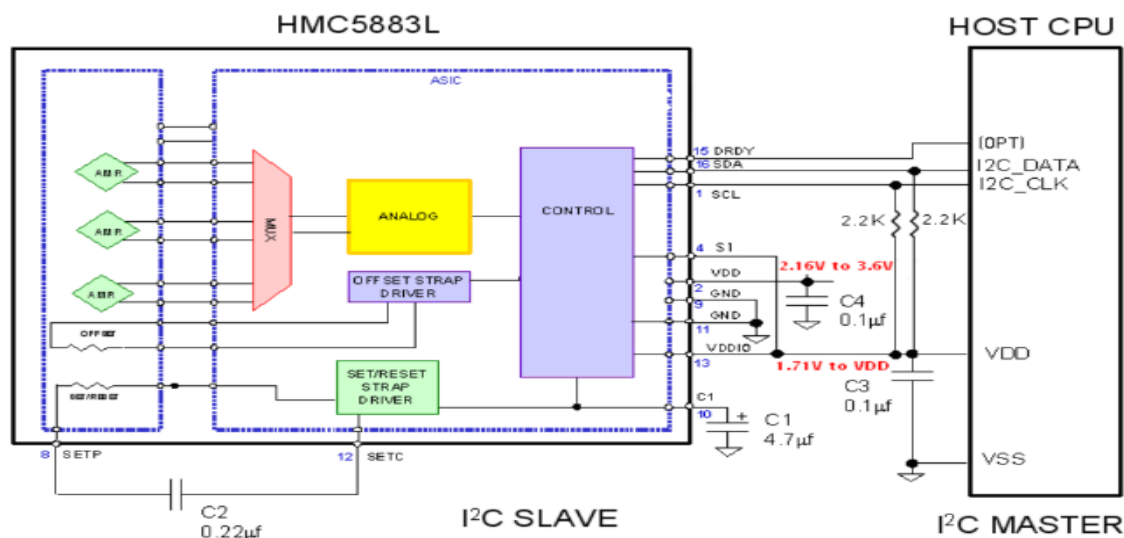


Рисунок 1 – Интегральная схема магнитного датчика HMC9583L

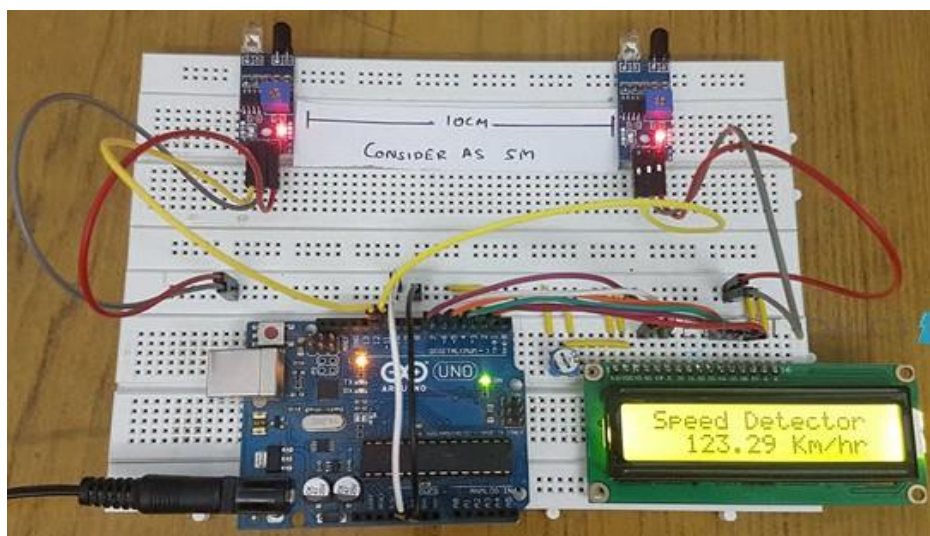


Рисунок 2 – Сенсорная схема, предназначенная для обнаружения транспортных средств

Основной причиной использования этого датчика в данном исследовании является возможность последовательной связи при подключении к узлу датчика через контакты с портом I2C. Таким образом, магнитная информация записывается в регистры данных (X, Y и Z) в двоичном режиме с процессором сенсорного

узла после каждого периода синхронизации, полученного с помощью вывода SCL (Serial Clock). Эта информация, собранная в регистрах, передается на сенсорный узел через вывод SDA (последовательные данные) на последовательно определенной частоте (128 Гц). С другой стороны, для тактовой частоты

биты  $CRA4$ ,  $CRA3$  и  $CRA2$  в регистре  $A$  были сделаны логическими 1, 0 и 00 соответственно. Таким образом, были получены оба более точных данных. Магнитное поле для каждой из трех осей было получено путем преобразования 2-байтового магнитного значения в каждом регистре данных,  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , до их значения по модулю 10. Результирующее значение  $C$  было вычислено с помощью следующего уравнения:

$$C = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1)$$

Значение  $C$  увеличивается, когда транспортное средство приближается к узлам, поскольку транспортные средства содержат большое количество железа, никеля и кобальта (масса двухвалентного железа), и они изменяют фоновое ферромагнитное поле. Магнитное поле Земли по умолчанию составляет приблизительно 500 мГаусс, и измеренное значение увеличивается, когда транспортное средство проезжает мимо магнитного датчика на расстоянии 0,5–1 м. Если значение  $C$  разделить на 256, то магнитное поле определяется в единицах гаусса. Например, если значение  $C$  равно 280, то магнитное поле в этой точке равно 1,09 гаусс. Изменение магнитного поля в каждом направлении вызывает изме-

нение в  $C$ . При обнаружении транспортного средства с помощью магнитометра  $HMC5983L$  значение  $C$  заземляется. Если транспортное средство проезжает мимо магнитного датчика, установленного сбоку или посередине дороги, измеренное значение  $C$  превышает пороговое значение «Нажмите на порог», и будет понятно, что транспортное средство находится на дороге.

Магнитный датчик оснащен микроконтроллерным блоком ( $MCU$ ) со сверхнизким энергопотреблением  $MSP430$ . Кроме того, он содержит разъем  $UART1$ , к которому может быть подключен узел  $Sim900$  для передачи собранных данных в Интернет и разъем  $UART2$  для контроля выхода последовательного порта. Как видно на рисунке 2,  $HMC5983L$  (магнитный датчик), который напрямую подключается к порту  $I2C$  сенсорного узла, может использовать датчик в качестве компаса по трем осям. Во время проектирования в цепи датчика выход платы питания напряжением 3,3 В был подключен к выводу  $VCC$  схемы датчика, как показано на рисунке 3. Угол с магнитными полюсами Земли можно определить с помощью 12-разрядного аналого-цифрового преобразователя с чувствительностью 1-2.

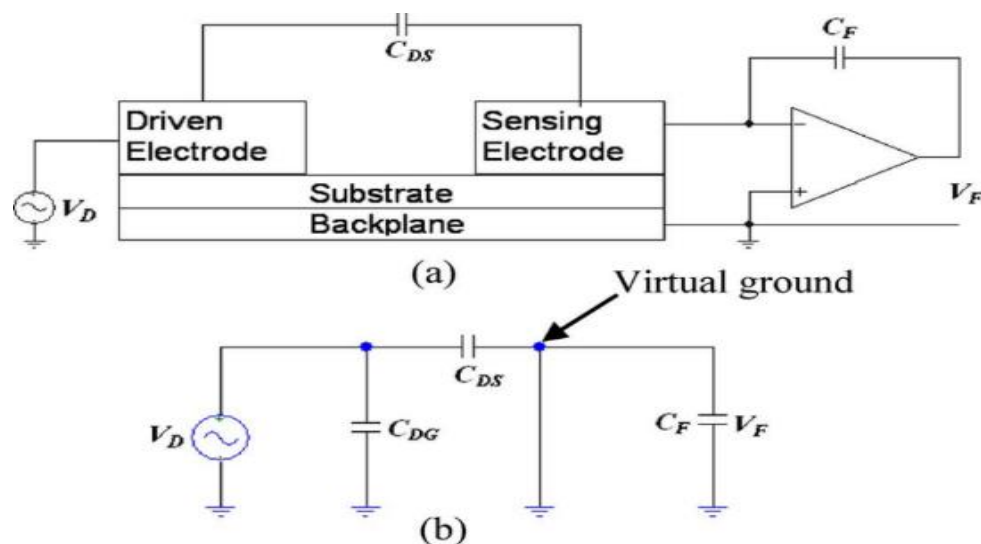


Рисунок 3 – Структурная схема схемы датчика

Кроме того, датчик на осях может взаимодействовать с сенсорными узлами по протоколу  $I2C$ , когда металлический предмет приближается к датчикам компаса. Во время про-

граммирования датчика считывались все значения на осях датчика и результирующее значение ( $C$ ) вычислялось с использованием уравнения (1). Если датчик используется про-

сто для наблюдения за воздействием других объектов на магнитометр, а не в качестве компаса, то результирующего значения будет достаточно.

### **Экспериментальные приложения**

После проектирования многоцелевого сенсорного узла и схемы в качестве экспериментальной работы были выполнены три приложения, и результаты были проанализированы с помощью программного обеспечения *Matlab*.

Прежде всего, четырехуровневая мгновенная информация о пробках на однопольной дороге была получена путем обнаружения транспортного средства магнитным датчиком, установленным на сенсорных узлах. Затем проезжающие мимо транспортные средства классифицировались по одной из четырех категорий: легковые автомобили, микроавтобусы, автобусы и грузовики.

### **Определение загруженности дорожного движения**

В этой части исследования обнаружение транспортных средств было связано с металлом, обнаруженным на транспортных средствах и внутри них. В этом приложении беспроводная сенсорная сеть была сконструирована для определения состояния дорожного движения на 100-метровой дороге с тремя сенсорными узлами. Три узла, использованные в исследовании, были запрограммированы как конечное устройство (*ED*), в то время как другой общий узел был запрограммирован как координатор.

Фактически, узел-координатор ничем не отличается от других узлов. Он просто получает магнитные данные одновременно от трех других датчиков благодаря звездообразной топологии конструкции. Настройка сети начинается, когда координирующий узел включается с помощью платы питания. Когда датчики узлов 1, 2 и 3, которые являются ЭЦП, включаются с помощью платы питания, координатор отправляет запрос на подключение к сети в течение каждого заданного времени измерения  $tm$ .

Узел-координатор был запрограммирован в соответствии с линейным алгоритмом. Дру-

гими словами, координатор отправляет одновременный запрос каждому узлу *ED* и ожидает ответа в течение каждого периода  $tm$ , который может быть интерпретирован мигающим желтым светом на узлах. Когда ЭЦП подключаются к сети и отправляют данные координатору, загорается желтый индикатор. Узел-координатор назначает 16-разрядный короткий адрес *ED*, который подключается к сети.

Поскольку координационный узел подключен к компьютеру с программным интерфейсом через *USB*, полученные данные могут быть проверены с помощью программного обеспечения для последовательного порта *Tera Term*. Эти данные были импортированы в среду *Matlab workspace* с помощью функции последовательной связи, найденной в *Matlab*.

### **Предлагаемый алгоритм обнаружения заторов на дорогах**

Предложен алгоритм определения загруженности дорожного движения с помощью обнаружения транспортных средств. Для этого три узла были размещены вдоль дороги с определенными интервалами и полученные результаты были проанализированы.

Результирующее значение магнитного поля было вычислено из значений магнитного поля  $M_x$ ;  $M_y$  и  $M_z$ , полученных узлами 1, 2 и 3 с *HMC5983L* с использованием уравнения (1). В предыдущих исследованиях [7, 15] для обнаружения транспортных средств принимались во внимание только значения  $M_x$  или  $M_z$ . Но известно, что магнитное поле является векторной величиной в трех измерениях, поэтому в данном исследовании используется результирующее поле по трем осям.

Алгоритм определения условий дорожного движения приведен ниже:

*Main:*

$C_{полоса} \leftarrow 255,$

$D_n \downarrow 50 \text{ meters}$

$X \leftarrow 8,$

Compute  $t_{max}, t_{min}, C_{max}$

$td \leftarrow \frac{(t_{min}, t_{max})}{2}$

$tm \geq td,$

while each ( $tm$  and  $Node(i, t \leq 3)$  and  $tm \leq 30$

minutes

if  $Sc(i) > C_{полоса}$

if  $C_{(t)} \leq Sc(i) \leq C_{max}$

```

then
td(i) ↓ td (i)+toffset
else
then
td(i) ↓ td(i)- toffset
td(t+1) ↓ td(t + 1)- toffset
end
td ↓ td(i)
Nf(i) ← 1
delay for td,
Nf(i) ← 0
else then
delay for 90 ms
end

```

В основной части алгоритма 1 активируются сенсорные узлы. В ходе исследования пороговое значение сначала было определено как 252. Плотность дорожного движения оценивалась по четырем категориям.

Например, если бы все значения, поступающие от датчиков, были «1», тогда существует условие «очень интенсивный трафик»,

и если все значения были «0», то трафика нет. В таблице 1 указаны все возможные условия дорожного движения. Как видно из таблицы 1, если узел 1 выдавал «0», узел 2 выдавал «1» и узел 3 выдавал «1», трафик считался интенсивным. С другой с другой стороны, поскольку узел 1 был расположен в начале дороги, а узел 3 – в конце, то транспортное средство сначала проезжает мимо узла 1, затем узла 2 и достигает узла 3. Учитывая, что дорога однополосная и скорость транспортных средств составляет  $V_{max} = 60$  км/ч, минимальное время в пути между двумя узлами, расположенными на расстоянии 50 м друг от друга, составляет  $t_{min} = 3$  с. Кроме того, при минимальной скорости  $V_{min} = 40$  км/ч максимальное время в пути составляет  $t_{max} = 4,5$  с.

Следовательно, согласно алгоритму 1,  $td = 3,75$  с. С другой стороны,  $tm$  было определено равным 4 с, поскольку оно должно быть больше, чем  $td$ .

Таблица 1 – Состояние дорожного движения в соответствии с данными датчиков.

Узел 1	Узел 2	Узел 3	Состояние дорожного движения
0	0	0	Никакого движения
0	0	1	Стабильное движение
0	1	0	Стабильное движение
0	1	1	Интенсивное движение
1	0	0	Стабильное движение
1	0	1	Интенсивное движение
1	1	0	Интенсивное движение
1	1	1	Очень интенсивное движение

В качестве еще одного приложения для этой части исследования каждый час проводился мониторинг транспортных средств, проезжающих мимо узла 3 в конце 100-метровой дороги. Результаты были получены с помощью программного обеспечения *Matlab*, где время 00:00 было принято за 0-й час, а время 23:00 - за 23-й. Количество транспортных средств, проезжавших мимо между 17-м и 18-м часами, было намного больше (135), чем в другие временные интервалы, и, следовательно, движение считалось интенсивным. Кроме того, количество транспортных средств, проезжающих мимо между 4-м и 5-м часами, намного меньше, чем в другие временные интервалы, и поэтому движение считается

умеренным.

### Классификация транспортных средств

Магнитный датчик был подключен к порту I2C сенсорного узла, как и в предыдущих приложениях. Схема датчика, которую можно считать конечным узлом, передает магнитные данные на узел, который был запрограммирован как общий узел. ED преобразует магнитную информацию по трем осям (x, y и z) в результирующее магнитное поле с помощью программы, которую мы написали, и передает значение на общий узел каждые 90 мс. Магнитный датчик HMC5983L передает полученные данные на общий узел каждые 90 мс.

```
int main(void){
```



```

hallnit();
printf("\n\r HMC5983L_TEST \n\r");
HMC5983LInit();
hmc.c=-999;
while(){
hmc.c=HMC5983L_Read(&hmc,0);
if(hmc.c!=-999){
printf("\n\r C:%d", (int)hmc.c);}
else{
printf("\n\r error \n\r");}
delayMs(90);}}

```

$MSL$  может быть рассчитан с помощью разности магнитных амплитуд ( $DM$ ) и времени заполнения ( $Dt$ ), как в следующем уравнении:

$$MSL = \Delta M * \Delta t \quad (2)$$

В зависимости от размера  $MSL$  тип

транспортного средства может быть определен как легковой автомобиль, микроавтобус, автобус или грузовик. Это зависит от длины и массы содержащихся в нем металлов. На рисунке 4 показан алгоритм, предложенный для классификации транспортных средств. Сто транспортных средств, состоящих из равного количества легковых автомобилей, микроавтобусов, автобусов и грузовиков, были пропущены датчиками на дороге в случайном порядке, и зафиксированы минимальные предельные значения  $MSL$ ,  $Ic$ ;  $Im$ ;  $Ib$  и  $It$  для легковых автомобилей, микроавтобусов, автобусов и грузовиков (таблица 2).

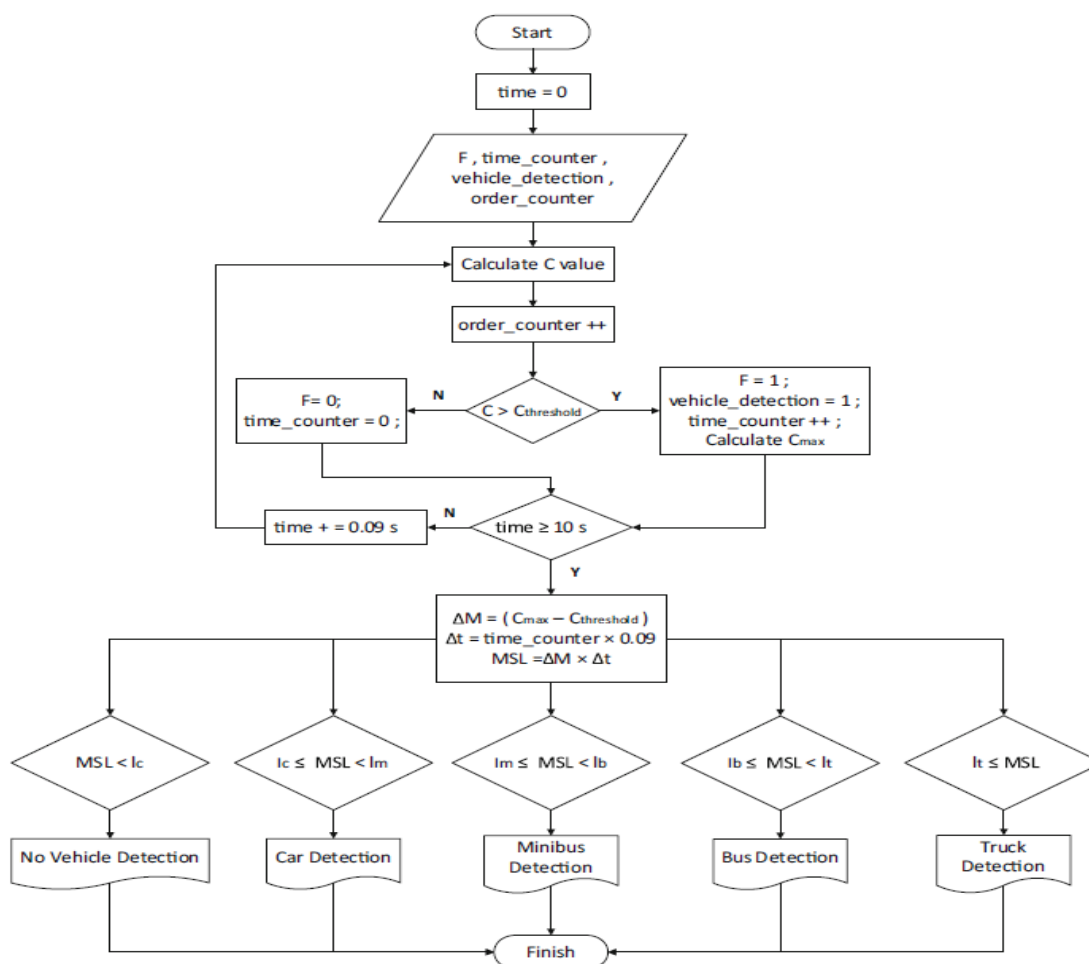


Рисунок 4 – Алгоритм, предложенный для классификации транспортных средств

В этом приложении сначала было сделано так, чтобы автомобиль проезжал по дороге с постоянной скоростью 40 км/с. Известно, что обычный автомобиль может иметь длину от

3,6 м до 5,0 м. Таким образом, длина магнитной подписи ( $MSL$ ) для этого автомобиля может быть найдена из уравнения (2) как значение 3,78. Это значение находится между  $Ic$  и



$I_m$  и, следовательно, обнаруженное транспортное средство было легковым автомобилем. Чтобы четко различать временной интервал обнаружения и значения  $C$ , были нанесены только значения между 4-й и 7-й секунда-

ми. Как видно из рисунка 5, в течение временного интервала обнаружения транспортного средства  $\Delta t$  было зафиксировано для девяти образцов.

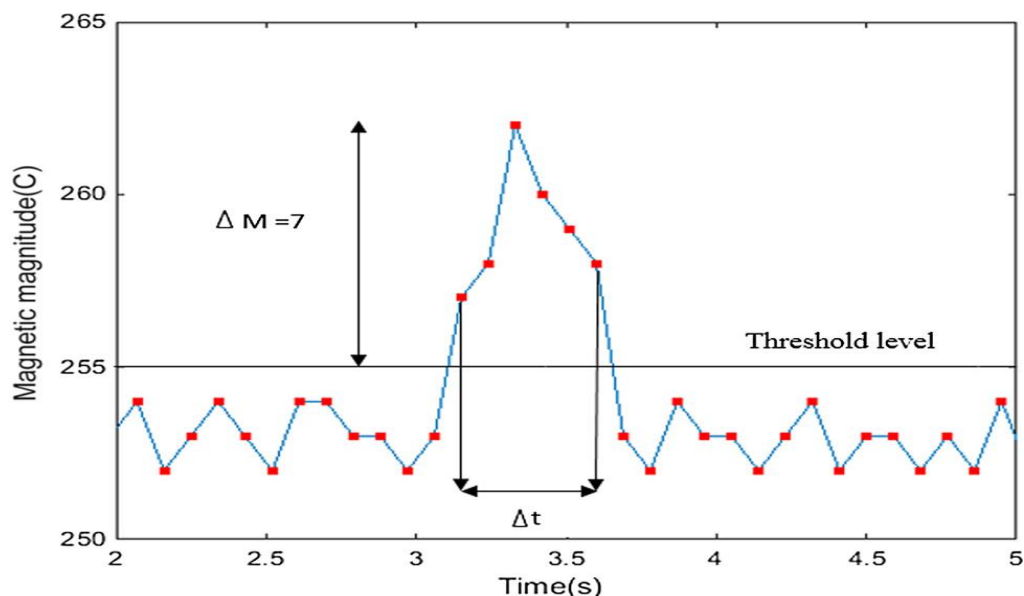


Рисунок 5 – График зависимости результирующего магнитного поля от времени

### Определение направления движения транспортных средств

На этом участке было определено направление движения проезжающих мимо транспортных средств. Направление движения транспортных средств может быть слева

направо или справа налево. Направление определяется, когда результирующее магнитное поле  $C$  в одном из узлов превышает пороговое значение за определенное время до того, как другой узел обнаружит транспортное средство.

Таблица 2 – Точность для предложенного алгоритма определения направления движения транспортного средства

Направление движения транспортного средства	Количество проехавших транспортных средств	Слева направо	Справа налево	Точность предложенного алгоритма (%)
Слева направо	28	26	2	92.9
Справа налево	22	1	21	95.4
Общее количество транспортных средств	50	26	21	94

Как видно из таблицы 2, точность 92,9% была достигнута для транспортных средств, движущихся слева направо, и 95,4% для транспортных средств, движущихся справа налево. В целом, точность системы составляет 94%.

### Заключение

В этом исследовании были разработаны три приложения обнаружения транспортных средств с помощью беспроводных магнитных

датчиков, результаты были оценены и проанализированы с помощью различных программных средств. В первом из этих приложений в течение 30 минут анализировалось состояние дорожного движения на 100 м однополосной дороги. Для выполнения этого приложения были использованы плата питания, магнитный датчик и три сенсорных узла с батареями. Цель состояла в том, чтобы изучить дорожное движение на расстоянии 100 м,

установив три датчика на расстоянии 50 м друг от друга. Состояние дорожного движения было классифицировано следующим образом с учетом плотности движения: отсутствие движения, умеренное движение, интенсивное движение и очень интенсивное движение. Благодаря полученным результатам можно было ежесекундно наблюдать мгновенную плотность движения.

Во втором приложении транспортные средства, движущиеся по дороге, были разделены на четыре типа: легковые, микроавтобусы, автобусы и грузовики. В этой классификации был предложен и использован параметр *MSL*. В результате самая высокая точность была достигнута в классификации грузовых автомобилей (100%), в то время, как самая низкая точность была достигнута для микро-

автобусов и автобусов (92%). В этом приложении были получены более значимые, чувствительные и точные результаты для грузовых автомобилей, поскольку они имеют большие размеры и содержат много металла.

Но рациональнее будет сконструировать сенсорный узел, плату питания, магнитный датчик и аккумулятор в едином интегрированном электронном носителе. Таким образом, можно избежать проблем, возникающих при размещении автодрома на дороге. Кроме того, цепь датчика может быть защищена от непогоды с помощью чехла из пластикового волокна. Благодаря большому количеству сенсорных узлов движение на более длинной дороге или на дороге с двумя полосами движения может контролироваться в течение более длительного времени.

#### **Библиографический список**

1. Haoui A, Kavalier R and Varaiya P 2008 Wireless magnetic sensors for traffic surveillance. *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.* 16(3): 294–306.
2. Lei Z, Wang R and Cui L 2011 Real-time traffic monitoring with magnetic sensor networks. *J. Information Sci. Eng.* 27(4): 1473–1486.
3. Gil Jimenez V P and Fernandez M J 2015 Simple design of wireless sensor networks for traffic jams avoidance. *J. Sensor* 2015: 1–7.
4. Nooralahiyani A Y, Kirby H R and McKeown D 1998 Vehicle classification by acoustic signature. *Math. Comput. Model.* 27(9): 205–214.
5. Jo Y and Jung I 2014 Analysis of vehicle detection with wsnbased ultrasonic sensors. *Sensors* 14(8): 14050–14069.
6. Leitloff J, Rosenbaum D, Kurz F, Meynberg O and Reinartz P 2014 An operational system for estimating road traffic information from aerial images. *Remote Sensing* 6(11): 11315–11341.
7. Michael J C and Withanawasam L S 1999 Vehicle detection and compass applications using AMR magnetic sensors. Honeywell, Plymouth, USA.
8. Chen W and Chen L 2005 A realtime dynamic traffic control system based on wireless sensor network. In: *Proceedings of the 2005 International Conference on Parallel Processing Workshops* .pp 258–264.
9. Nadeem T, Dashtinezhad S, Liao C and Iftode L 2004. *TrafficView: a scalable traffic monitoring system*. IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM'04), pp 1–14.
10. Ng E H, Tan S L and Guzman J G 2008 Road traffic monitoring using a wireless vehicle sensor network. *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System*. Bangkok, Thailand.
11. Haijian L, Honghui D, Limin J and Moyu R 2014 Vehicle classification with single multi-functional magnetic sensor and optimal MNS-based CART. *Measurement* 55: 142–152.
12. Lifu W, Nong Z and Haiping D 2015 Real-time identification of vehicle motion-modes using neural networks. *Mech. Syst. Signal Process.* 51: 632–645.
13. Haoui A, Kavalier R and Varaiya P 2008 Wireless magnetic sensors for traffic surveillance. *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.* 16(3): 294–306.
14. Sun C 2000 An investigation in the use of inductive loop signatures for vehicle classification. *California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2002-4*.
15. Cheung S Y, Coleri S, Dundar B, Ganesh S, Tan C W and Varaiya P 2004 Traffic measurement and vehicle classification with a single magnetic sensor. *California PATH Research Report UCB-ITS-PWP-2004-7*.

#### **Referenses**

1. Haoui A, Kavalier R and Varaiya P 2008 Wireless magnetic sensors for traffic surveillance. *Transp. Res.*

Part C: Emerg. Technol. 16(3): 294–306.

2. Lei Z, Wang R and Cui L 2011 Real-time traffic monitoring with magnetic sensor networks. J. Information Sci. Eng. 27(4): 1473–1486.
3. Gil Jimenez V P and Fernandez M J 2015 Simple design of wireless sensor networks for traffic jams avoidance. J. Sensor 2015: 1–7.
4. Nooralahiyan A Y, Kirby H R and McKeown D 1998 Vehicle classification by acoustic signature. Math. Comput. Model. 27(9): 205–214.
5. Jo Y and Jung I 2014 Analysis of vehicle detection with wsnbased ultrasonic sensors. Sensors 14(8): 14050–14069.
6. Leitloff J, Rosenbaum D, Kurz F, Meynberg O and Reinartz P 2014 An operational system for estimating road traffic information from aerial images. Remote Sensing 6(11): 11315–11341.
7. Michael J C and Withanawasam L S 1999 Vehicle detection and compass applications using AMR magnetic sensors. Honeywell, Plymouth, USA.
8. Chen W and Chen L 2005 A realtime dynamic traffic control system based on wireless sensor network. In: Proceedings of the 2005 International Conference on Parallel Processing Workshops. pp 258–264.
9. Nadeem T, Dashtinezhad S, Liao C and Iftode L 2004. TrafficView: a scalable traffic monitoring system. IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM'04), pp 1–14.
10. Ng E H, Tan S L and Guzman J G 2008 Road traffic monitoring using a wireless vehicle sensor network. International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication System. Bangkok, Thailand.
11. Hajjian L, Honghui D, Limin J and Moyu R 2014 Vehicle classification with single multi-functional magnetic sensor and optimal MNS-based CART. Measurement 55: 142–152.
12. Lifu W, Nong Z and Haiping D 2015 Real-time identification of vehicle motion-modes using neural networks. Mech. Syst. Signal Process. 51: 632–645.
13. Haoui A, Kavalier R and Varaiya P 2008 Wireless magnetic sensors for traffic surveillance. Transp. Res. Part C: Emerg. Technol. 16(3): 294–306.
14. Sun C 2000 An investigation in the use of inductive loop signatures for vehicle classification. California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-2002-4.
15. Cheung S Y, Coleri S, Dundar B, Ganesh S, Tan C W and Varaiya P 2004 Traffic measurement and vehicle classification with a single magnetic sensor. California PATH Research Report UCB-ITS-PWP-2004-7.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов*

*The author declare no conflicts of interests*

*Дата поступления в редакцию / Received 17.11.2023*

*Одобрена после рецензирования / Revised 28.11.2023*

*Принята к публикации / Accepted 03.12.2023*

*© Жамангарин Д.С., 2023*

---

#### **Сведения об авторе**

#### **List of Author**

---

*Жамангарин Дусмат Саматулы* – доктор философии, ассоциированный профессор Казахского университета технологии и бизнеса.

*Dusmat Zhamangarin* – Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Kazakh University of Technology and Business.

---

Ссылка для цитирования: *Жамангарин Д.С.* Распознавание транспортных потоков с использованием беспроводных датчиков // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 4. С. 64 - 73. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-64-73.

For citation: *Zhamangarin D.S.* Recognition of traffic flows using wireless sensors // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 64 - 73. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-4-64-73.

## Правила оформления и представления статей

1. Статья, направляемая в редакцию журнала «Научные исследования: итоги и перспективы», должна быть тщательно отредактирована и представлена в электронном виде в формате текстового редактора «MS Word 2007» (параметры страницы – А4; поля – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12; межстрочный интервал – 1,0). Текст статьи представляют в редакцию по электронной почте: naukajournal@mail.ru.

2. Статья должна содержать краткий обзор проблемы, из которого следует постановка задачи, обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать выводы, свидетельствующие о новизне полученных результатов. Текст статьи должен быть четко структурирован и иметь подзаголовки: введение, теоретические и (или) экспериментальные исследования, заключение, список литературы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: – инициалы и фамилии авторов, – полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные), – краткая (5-7 строк) аннотация (курсив), – ключевые слова (5-7 слов). Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке. Затем идет текст самой статьи и библиографический список. Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке. Количество авторов рекомендуется не более пяти.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров Excel, Quattro Pro, MS Graph. Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны во встроенном редакторе формул. Каждая формула, на которую есть ссылка в статье, должна иметь номер, расположенный у правой границы поля страницы.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Библиографический список должен быть оформлен по ГОСТ 7.0.5-2008 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц. Нумерация источников указывается в порядке упоминания в тексте.

8. При необходимости к статье прилагаются заключение о возможности открытого опубликования и экспертное заключение комиссии по экспортному контролю.

9. Все статьи проходят проверку на оригинальность.

10. Статья рецензируется ведущим учёным в данной области, как правило, доктором наук.

11. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

12. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

13. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Датой поступления статьи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

14. Статьи публикуются бесплатно.

«Научные исследования; итоги и перспективы» – рецензируемый научно-технический журнал, публикующий статьи по следующим научным направлениям и специальностям:

### **2.1. Строительство и архитектура**

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения. 2.1.4. Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. 2.1.5. Строительные материалы и изделия. 2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология. 2.1.7. Технология и организация строительства. 2.1.11. Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия. 2.1.12. Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности.

### **2.2. Электроника, фотоника, приборостроение и связь**

2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника. 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств. 2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники. 2.2.6. Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы. 2.2.7. Фотоника. 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды. 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры. 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения. 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии. 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. 2.2.16. Радиолокация и радионавигация.

### **2.5. Машиностроение**

2.5.3. Трение и износ в машинах. 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы. 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. 2.5.6. Технология машиностроения. 2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы. 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

### **2.6. Химические технологии, науки о материалах, металлургия**

2.6.4. Обработка металлов давлением. 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы. 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов. 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий. 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности. 2.6.17. Материаловедение.

### **2.8. Недропользование и горные науки**

2.8.1. Технология и техника геологоразведочных работ. 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин. 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр. 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. 2.8.5. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика. 2.8.7. Теоретические основы проектирования горнотехнических систем.

### **2.9. Транспортные системы**

2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте. 2.9.4. Управление процессами перевозок. 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта. 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы. 2.9.9. Логистические транспортные системы.

### **4.3. Агроинженерия и пищевые технологии**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса. 4.3.3. Пищевые системы. 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:  
итоги и перспективы  
2023 № 4 (Том 4)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
results and prospects  
2023 № 4 (Vol. 4)**

Ответственный за выпуск – Ирзаев Г.Х.  
Компьютерная верстка – Джабуева Ж.И  
Дизайн обложки – Тагиев М.Х.

Подписано в печать 10.12.2023 г. Дата выхода в свет 12.12.2023 г.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 8,32. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 500. Заказ № 231

Электронная версия журнала  
«Научные исследования: итоги и перспективы»  
размещена на сайте [www.dstu.ru](http://www.dstu.ru)

Учредитель/редакция/издатель  
Дагестанский государственный технический университет  
Адрес: 367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70.  
Тел. +7 (8722) 62 37 15  
E-mail: [naukajournal@mail.ru](mailto:naukajournal@mail.ru)

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ИП Тагиева Р.Х.  
г. Махачкала, ул. Батырая, 149. Тел.: 8 928 048 10 45

**“ ф о р м а т ”**