

ISSN 2713-220X



**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:  
ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**2020 № 4 (Том 1)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
RESULTS AND PROSPECTS**

## 2020 № 4 (Том 1)

### СОДЕРЖАНИЕ

#### ГЕОИНФОРМАТИКА

*Зорина В.В., Михайлюкова П.Г.* Применение радиолокационных спутниковых снимков Sentinel-1SAR для мониторинга льдов и снежного покрова в горах Кавказа

#### РАДИОТЕХНИКА,

#### МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

*Кручонок В.Г.* Исследование радиационной стойкости полупроводниковых детекторов GaAs:Cr к облучению электронами и быстрыми нейтронами

*Ибрагимова А.М.* Модели теплопередачи термоэлектрического полупроводникового устройства контактного типа для элементов и замкнутых объемов

*Асланов Т.Г., Ибрагимов С.А.* Исследование топологии антенны Вивальди

#### ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

*Сердюкова Я.П., Казарова И.Г.* Совершенствование рецептуры кисломолочного напитка лечебно-профилактической направленности

*Курмаз В.В., Гунько С.Н.* Качественные показатели зерна пшеницы озимой в зависимости от длительности и условий хранения

#### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

*Фролов Г.А., Мустафин М.Г.* Разработка алгоритма автоматического определения точности планового положения пункта сети трилатерации

*Усанова Н.П., Усанова В.П., Роденюк Е.Д., Гейер В.А.* Кинетический арт-объект как произведение искусства в современном пространстве города

#### ТРАНСПОРТ

*Кареев М.И., Кищенко М.А., Топольский Л.Ю., Усов Д.Ю., Немтин В.Г.* Разработка мобильной установки разогрева загустевших нефтепродуктов в регионах с холодным климатом

*Суракатов Н.С., Батманов Э.З.* Анализ состояния и перспективы развития нормативной базы, регламентирующей пассивную безопасность легковых автомобилей

Правила оформления и представления статей

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

#### Редакционная коллегия:

Н.С. Суракатов, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)  
Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)  
А.Д. Абакаров, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Г.М. Абакаров, д.х.н., доцент (Махачкала)  
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
А.П. Адамов, 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., доцент (Махачкала)  
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., доцент (Махачкала)  
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Т.А. Исмаилов, 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. 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)  
С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)  
О.М. Устарханов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
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

**2020 № 4 (Vol.1)**

**CONTENTS**

**GEOINFORMATICS**

*Zorina V.V., Mikhailukova P.G.* Application of Sentinel-1 SAR satellite radar images for monitoring ice and snow cover in the Caucasus Mountains

**RADIO ENGINEERING,  
MICRO- AND NANOELECTRONICS**

*Kruchonak V.G.* Investigation of the radiation resistance of GaAs: Cr semiconductor detectors to irradiation with electrons and fast neutrons

*Ibragimova A.M.* Heat transfer models of a contact type thermoelectric semiconductor device for elements and closed volumes  
*Aslanov T.G., Ibragimov S.A.* Vivaldi antenna topology study

**TECHNOLOGIES, PROCESSES AND  
DEVICES OF FOOD PRODUCTION**

*Serdyukova Ya.P., Kazarova I.G.* Improving the formulation of a fermented milk drink of a therapeutic and prophylactic orientation  
*Kurmaz V.V., Gunko S.N.* Quality indicators of winter wheat grain depending on the duration and storage conditions

**BUILDING CONSTRUCTION AND  
ARCHITECTURE**

*Frolov G.A., Mustafin M.G.* Development of an algorithm for automatic determination of the accuracy of the planned position of the trilateration network point

*Usanova N.P., Usanova V.P., Rodenyuk E.D., Geyer V.A.* Kinetic art object as a work of art in the modern city space

**TRANSPORT**

*Kareev M.I., Kishchenko M.A., Topolsky L.Yu., Usov D.Yu., Nemtin V.G.* Development of a mobile unit for heating thickened oil products in regions with a cold climate

*Surakatov N.S., Batmanov E.Z.* Analysis of the state and development prospects of the regulatory framework regulating passive safety of passenger cars

Rules for writing and submitting articles

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

**Editorial team:**

N.S. Surakatov, Ph.D., Associate Prof., Chief editor (Makhachkala)  
G.Kh. Irzaev, Ph.D., Associate Prof., Deputy Chief Editor (Makhachkala)  
A.D. Abakarov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
G.M. Abakarov, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)  
E.K. Agakhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
A.P. Adamov, 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, Associate Prof. (Makhachkala)  
M.U. Akhmedpashaev, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)  
R.V. Huseynov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
T.A. Ismailov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
M.Yu. Karelina, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
D.A. Magomedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
K.P. Manzhula, Doctor of Science, Prof. (St. Petersburg)  
A.N. Ostrikov, Doctor of Science, Prof. (Voronezh)  
G.K. Safaraliev, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
A.R. Tagilayev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
O.M. Ustarkhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
S.U. Uvaisov, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
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 databases 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**

## ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ SENTINEL – 1 SAR ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЬДОВ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ГОРАХ КАВКАЗА

*В.В. Зорина, П.Г. Михайлюкова*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Москва  
victoria.zorina10@gmail.com*

**Аннотация.** Актуальность исследования заключается в применении радиолокационных снимков как средств мониторинга за снежным и ледниковым состоянием и динамикой Главного Кавказского хребта (район Безенги). Отмечается, что последнее столетие ледник отступает. При систематическом наблюдении ледники и снежный покров могут выступать индикаторами климатических изменений как на локальном, так и на глобальном уровне.

**Abstract.** The urgency of the study lies in the use of radar images as a means of monitoring the snow and glacial state and dynamics of the main Caucasian ridge (Bezengi region). It is noted that the glacier has been retreating over the last century. With systematic observation, glaciers and snow cover can act as indicators of climate change, both on local and global levels.

**Ключевые слова:** радиолокационные снимки, снежный покров, мониторинг, динамика.

**Keywords:** radar images, snow cover, monitoring, dynamics.

### **Введение**

Экологический мониторинг является одним из основных подходов к осуществлению оценки состояния и прогноза изменения всей географической среды Земли. Среди них стоит отметить спутниковый мониторинг с применением радиолокационных снимков. Льды и снежный покров – системы со сравнительно динамичным характером, что

объясняет необходимость осуществления мониторинга в таких районах. В первую очередь, с целью предотвращения катастрофических ситуаций, несущих за собой не только экономический ущерб, но и угрозу жизни населения. Также ледники являются источником питьевой воды и питают горные реки. При систематическом наблюдении ледники и снежный покров могут выступать

индикаторами климатических изменений как на локальном, так и на глобальном уровне.

Таким образом, актуальность исследования заключается в применении радиолокационных снимков как средств мониторинга за снежным и ледниковым состоянием и динамикой Главного Кавказского хребта в районе Безенги.

Цель исследования – оценка динамики ледникового покрова горного района Безенги с применением радиолокационных снимков Sentinel-1 SAR. Для достижения цели поставлены определенные задачи, среди которых стоит выделить дешифрирование ледников исследуемой территории.

Объектом исследования выбран центральный район Главного Кавказского Хребта, бассейн ледника Безенги, поскольку это один из крупнейших и сложных ледников Кавказа. Его общая площадь составляет 36,2 км<sup>2</sup>, длина – 17,6 км, площадь области абляции (языка) – 18,8 км<sup>2</sup>, из которых 2,5 км<sup>2</sup> покрыто мореной. Согласно данным [1] ледник Безенги обладает средним отступанием 91 м с ежегодной скоростью отступления 18,2 м.

### **Материалы и методы исследования**

В работе использованы радиолокационные снимки Sentinel-1 – это первая миссия программы Copernicus, проводимая Европейским космическим агентством. В нее входят два спутника – Sentinel-1A (запущен в 2014 году) и Sentinel-1B (запущен в 2016 году), находящиеся на солнечно-синхронной околополярной орбитальной плоскости, снабженные радиолокационным прибором с двойной поляризацией в С-диапазоне. Пространственное разре-

шение составляет 5 м и длина полосы – до 400 км. Таким образом, решено провести выборку относительно новых снимков за 2019-2020 годы на протяжении всего сезона: зимний, весенний, летний и осенний снимки. Это необходимо для оценки возможности дешифрирования ледника в разные сезоны в течение года.

Каждая сцена была предварительно обработана с помощью Sentinel-1 Toolbox с выполнением следующих шагов: удаление теплового шума, радиометрическая калибровка, коррекция местности с использованием SRTM 30 или ASTER DEM для областей с широтой более 60 градусов, где SRTM недоступен. Окончательные значения с поправкой на местность преобразуются в децибелы с помощью логарифмического масштабирования [2]. Данные представлены следующим образом [3]: 26 июня 2019 г., 20 сентября 2019 г., 25 декабря 2019 г., 30 января 2020 г., 6 марта 2020 г., 11 апреля 2020 г., 26 июня 2017 г. – для оценки годовой динамики.

Обработка сформированных радиолокационных изображений (РЛИ) включает процедуры нормализации (состоит из радиометрической и геометрической коррекции), приведения в заданную картографическую проекцию, фильтрацию спекл-шума.

*Радиометрическая коррекция* основывается на использовании уравнения радиолокации и включает:

- устранение искажений интенсивности пиксела за счет изменения коэффициента направленного действия антенны в зависимости от угла наблюдения;
- устранение искажений интенсивности пиксела за счет зависимости

уровня принятого сигнала от наклонной дальности;

- нормализацию размера отражающего элемента поверхности в зависимости от углов наблюдения и топографии местности.

*Геометрическая коррекция* включает операции геокодирования и орто-трансформирования. Геокодирование подразумевает преобразование РЛИ из путевой системы координат (путевая дальность – наклонная дальность) в заданную картографическую проекцию. При этом корректируется различие в величине элемента разрешения в направлении наземной дальности для разных углов скольжения при одинаковой разрешающей способности радиолокационного синтезирования апертуры по наклонной дальности. Геокодирование может выполняться без использования наземных опорных точек, только по орбитальным данным, но, как и для оптических снимков, для достижения высокой точности геопривязки они необходимы. В качестве таких уверенно дешифрируемых объектов целесообразно использовать специальные угловые отражатели.

*Фильтрация спекл-шума.* Спекл-шум затрудняет восприятие радиолокационных снимков, особенно, если территория не имеет множества классов объектов дешифрирования. Его уровень уменьшают, используя различные методы фильтрации, сглаживающие изображение.

### ***Обработка сформированных радиолокационных изображений в ERDAS IMAGINE Radar Toolbox***

Архивы данных, полученных в режиме IV, содержат снимки в двух поля-

ризациях – VV и VH с разрешением 10 метров на пиксель. Учитывая различия в процессе изменения направления поляризации волны при отражении от различных сред, можно получать цветной композит при наложении трех каналов: red – VH, green – VV+VH, blue – VV/VH. После ознакомления с имеющимися методиками использования РЛИ для дешифрирования ледников, было решено использовать изображение blue – VV/VH [4].

Следующим этапом обработки изображения после радиометрической и геометрической коррекции базовыми инструментами Erdas Imagine является фильтрация спекл-шума. Инструмент, используемый для фильтрации – Simple Grid Filter, предлагаемый библиотекой модулей SAGA GIS. Он обладает огромным количеством фильтров по сравнению с другими пакетами программ, применяемыми для сглаживания растров. Фильтр работает по принципу скользящего окна, где радиус указывается пользователем. В данном случае использовано окно 9x9. Затем указывается параметр сглаживания – «Smooth». Этот параметр будет усреднять разницу между ячейкой сетки и окружающими ее ячейками в рамках скользящего окна.

### ***Результаты***

Для наглядности визуализации результата подобран цветовой градиент RdYIBu от синего (для минимальных значений) к красному (для максимальных значений). Максимальные значения сетки идентифицируют ледник или ледниковые отложения, связанные с деятельностью горных ледников. На изображениях они представлены градацией от желтого к красному и особенно за-

метны на летнем снимке (рисунок 1), что связано с уменьшением снежного покрова. Таким образом, ледники не заснежены, что позволяет радиолокации определить их с большей точностью. Во время пика заснеженности Кавказских гор, приходящегося на ноябрь – апрель, в середине сезона (декабрь – январь) наблюдается резкое уменьшение максимальных значений сетки. Также для

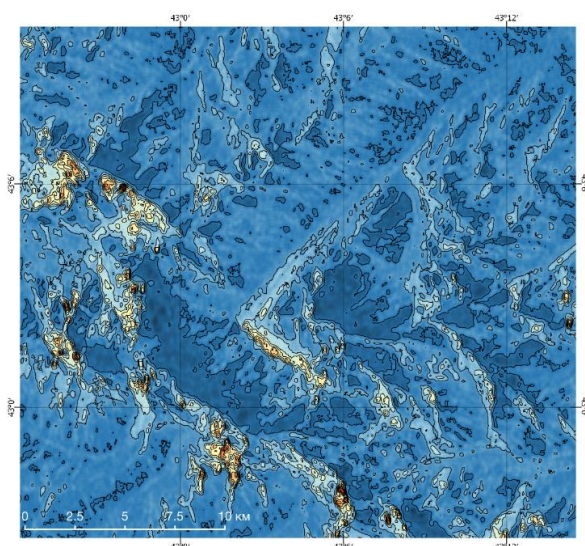


Рисунок 1 – Результат обработки радиолокационных данных Sentinel-1B 28 июня 2019 года

Для того, чтобы провести полуавтоматическое дешифрирование ледников бассейна применена растровая алгебра – расчет разницы значений ячеек растров за июнь и декабрь. Таким образом можно обозначить границы ледников с большей точностью, ввиду минимизации показателей заснеженности. Более точно визуально идентифицировать ледники долины позволяет топографическая карта Главного Кавказского хребта (рисунок 3).

Для мониторинга важно оценить динамику ледника за несколько лет. Для этого необходимо взять первый и последний снимки исследуемой терри-

наглядности нулевые значения раstra окрашены темным цветом, что, в большинстве случаев, соответствует затененным участкам исследуемой территории. Зимние снимки совершенно не позволяют дешифрировать ледник – просматриваются в основном только долины, где происходит аккумулярование твердых атмосферных осадков (рисунок 2).

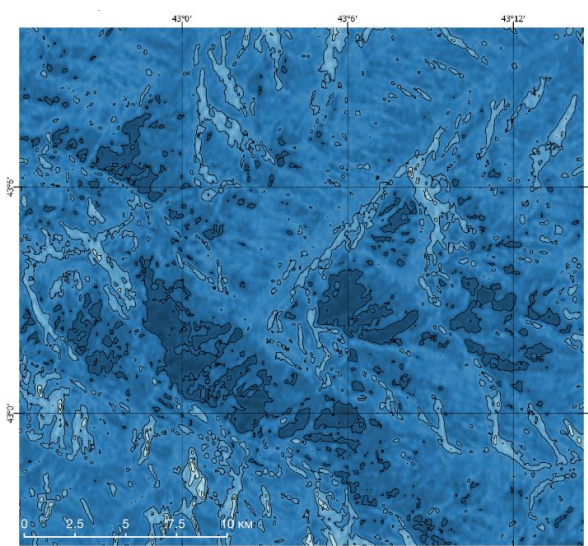


Рисунок 2 – Результат обработки радиолокационных данных Sentinel-1B 25 декабря 2019 года

тории. Поскольку самым благоприятным сезоном определен летний, то дополнительно загружен снимок за июнь 2017 года. Он обработан по тому же алгоритму, что описан выше (рисунок 4).

Разница в значениях показателей за два года демонстрирует динамику ледникового покрова. Для этого использована растровая алгебра. Результат отображает значение в диапазоне  $(-n; +n)$ , где нулевые значения говорят об отсутствии динамики, отрицательные – о положительной динамике, а положительные значения – об отрицательной динамике. Таким образом, подтверждено отступление ледника Безенги.

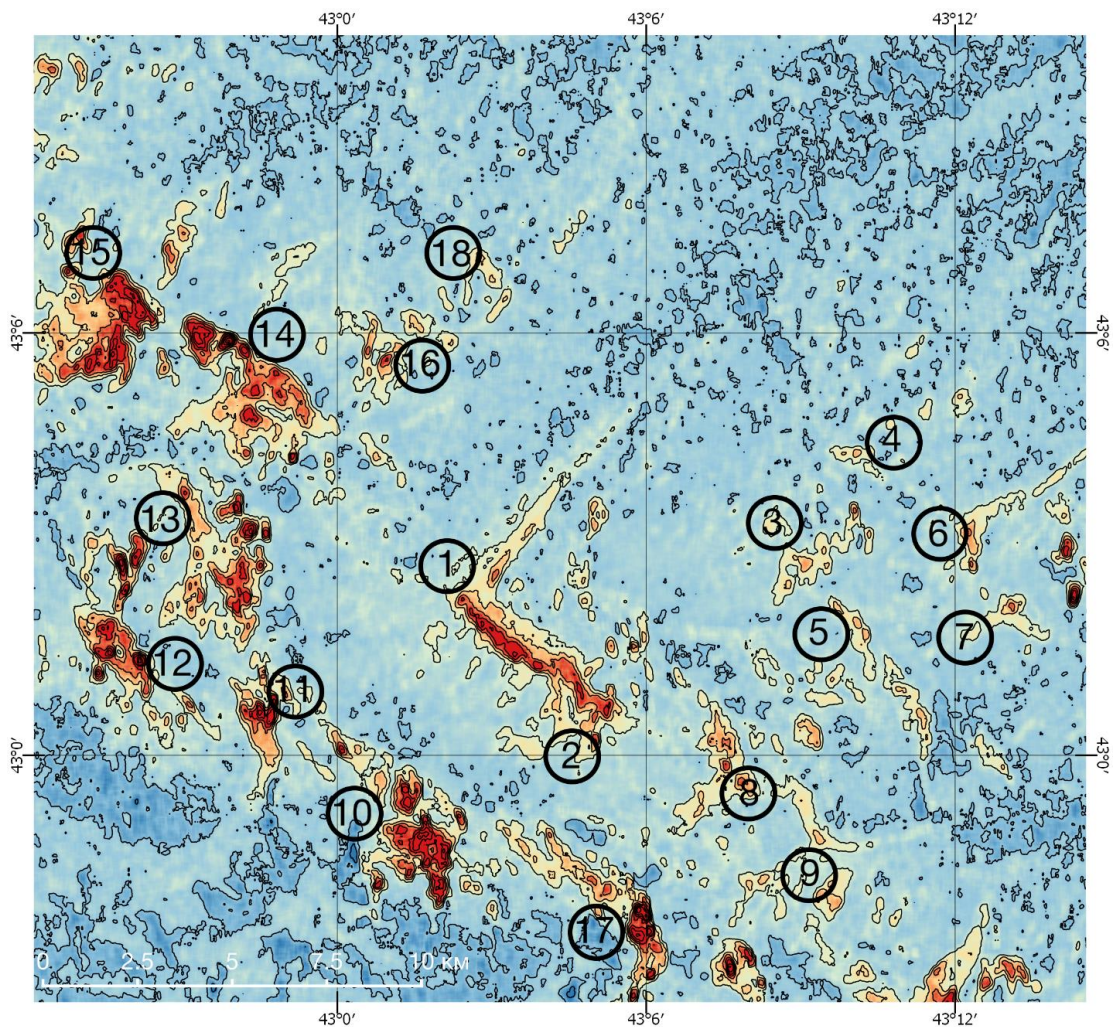


Рисунок 3 – Результат сравнения радиолокационных данных Sentinel-1В за июнь и декабрь 2019 года.

Ледники исследуемой территории: 1. Безенги 2. Башхаауз 3. Кундюм-Мижирги 4. Укю 5. Крумкол 6. Улаузна 7. Тютюн 8. Дыхсу 9. Айлама 10. Зарешо-Халде 11. Лардаад 12. Нагеб 13. Цанери 14. Цаннер 15. Китлод 16. Шаурту 17. Шхара, Намкуами, Корулдаши 18. Булунгу

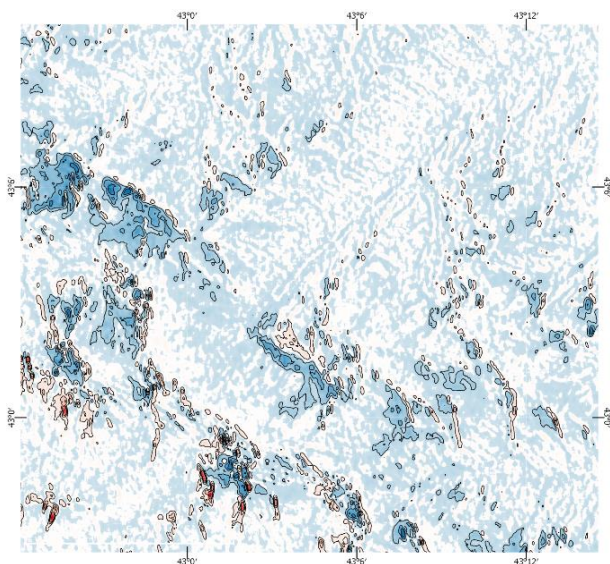


Рисунок 4 – Результат сравнения радиолокационных данных за 2017–2019 гг. Синим цветом показана положительная динамика, красным – отрицательная, белый цвет – отсутствие изменений



### **Заключение**

Применение радиолокационных снимков Sentinel-1 SAR возможно для дешифрирования природных объектов. Также можно отметить их явное преимущество по сравнению со снимками в видимом диапазоне – среди данных Sentinel-2 сложно найти наиболее подходящие для работы с горными территориями. Основные недостатки таких изображений заключаются в облачности (обычно более 10%), а также в наличии теней. Специфичностью дешифрирования обладает горное оледенение – есть сложности в определении

снежного покрова и ледников.

Однако необходимо отметить и недостатки использования радиолокационных снимков по сравнению со снимками в видимом диапазоне. В первую очередь, это кропотливая и последовательная работа по предварительной обработке РЛИ. Поэтому оценка динамики площади оледенения по таким данным является нетривиальной задачей. Тем не менее, применение Sentinel-1 SAR для мониторинга льдов и снежного покрова более подходит для визуальной оценки ситуации.

### **Библиографический список**

1. Ефремов Ю.В., Панов В.Д., Лурье П.М., Ильичев Ю.Г., Панова С.В., Лутков Д.А. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики и взаимосвязей: монография. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2007. – 338 с.
2. Copernicus Open Access Hub [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scihub.copernicus.eu>. (дата обращения: 10.05.2020).
3. Кренке А.Н. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем: монография / А.Н. Кренке, М.Д. Ананичева, П.Ф. Демченко и др. – М.: Планета, 2012. – 39 с.
4. ASF Data Search [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://search.asf.alaska.edu> (дата обращения: 10.05.2020).

### **References**

1. Efremov Yu.V., Panov V.D., Lur'e P.M., Il'ichev Yu.G., Panova S.V., Lutkov D.A. Orografiya, oledenenie, klimat Bol'shogo Kavkaza: opyt kompleksnoj charakteristiki i vzaimosvyazej: monografiya. Krasnodar: Kuban. gos. un-t, 2007. – 338 s.
2. Copernicus Open Access Hub [E'lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: <https://scihub.copernicus.eu>. (data obrashheniya: 10.05.2020).
3. Krenke A.N. Metody` ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizicheskix i biologicheskix sistem: monografiya / A.N. Krenke, M.D. Ananicheva, P.F. Demchenko i dr. – M.: Planeta, 2012. – 39 s.
4. ASF Data Search [E'lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: <https://search.asf.alaska.edu> (data obrashheniya: 10.05.2020).

*Статья поступила 04.12.2020 г.*

*© В.В. Зорина, П.Г. Михайлюкова, 2020*

---

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

---

*Зорина Виктория Викторовна* – магистрант географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

*Victoria Zorina* – Masters student of the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University.

*Михайлюкова Полина Геннадьевна* – кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

*Polina Mikhailyukova* – Candidate of Sciences (Geography), Researcher, Aerospace Methods Laboratory, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ GaAs:Cr К ОБЛУЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОНАМИ И БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ

В.Г. Кручонок

Объединенный институт ядерных исследований

Дубна

uladzimir.kruchonak@cern.ch

**Аннотация.** Исследование радиационной стойкости полупроводниковых детекторов очень важно для их практического применения. Детекторы на основе высокоомного арсенида галлия (GaAs:Cr) и для сравнения кремниевые детекторы облучались различными флюенсами быстрых нейтронов до  $3,7 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  на реакторе ИБР-2, ЛНФ, ОИЯИ и электронами 21 МэВ до дозы 1.5 МГр на ускорителе ЛИНАК-200, ЛЯП, ОИЯИ. Были измерены эффективность сбора заряда и вольтамперные характеристики облученных детекторов. Их деградация после нейтронного облучения была сопоставлена с результатами, полученными при облучении электронами.

**Abstract.** Investigation of radiation hardness of semiconductor detectors is very important for their practical application. High-resistivity gallium arsenide detectors (GaAs:Cr) and for comparison, silicon detectors were irradiated with various fast neutron fluences up to  $3.7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  at the IBR-2 reactor, FLNP, JINR and with 21 MeV electrons up to dose of 1.5 MGy at the LINAC-200 accelerator, DLNP, JINR. The charge collection efficiency and the current-voltage characteristics of irradiated detectors were measured. Their degradation after neutron irradiation was compared with the results obtained by irradiation with electrons.

**Ключевые слова:** радиационная стойкость, полупроводниковые детекторы, GaAs:Cr.

**Keywords:** radiation hardness, semiconductor detectors, GaAs Cr.

### Введение

Основным материалом для производства полупроводниковых детекторов

традиционно является кремний, изготовленный из монокристаллов по технологии производства интегральных

микросхем. Это самый дешевый и распространенный полупроводниковый материал. Технология промышленного производства кремниевых детекторов давно отлажена, их свойства хорошо изучены и такие детекторы всевозможных конфигураций и размеров сегодня успешно используются практически во всех крупных экспериментах в физике элементарных частиц. Тем не менее, кремниевые детекторы обладают основными недостатками:

1. Недостаточно высокая радиационная стойкость. При облучении в кремниевом детекторе быстро растет обратный (темновой) ток и ухудшается соотношение сигнал/шум. Таким образом, в условиях реального эксперимента после набора определенной дозы использование кремниевых детекторов становится затруднительным или невозможным.

2. Атомный номер кремния ( $Z=14$ ) слишком мал для эффективной регистрации гамма-квантов с энергией выше нескольких десятков кэВ. Так для сенсора толщиной в 1 мм и энергии гамма-квантов 30 КэВ эффективность их регистрации не превышает 25 %.

В результате в последние годы растет интерес и расширяется применение новых полупроводниковых материалов, одним из которых является GaAs. Благодаря большей плотности и атомному номеру ( $Z_{\text{GaAs}} = 32 > 14$ ), эффективность регистрации гамма-квантов энергий больше 20 КэВ, как минимум, на порядок превосходит эффективность кремния. Кроме этого у GaAs ширина запрещенной зоны выше, чем у кремния, благодаря чему детекторы могут применяться при комнатной температуре и должны обладать потенциально более

высокой радиационной стойкостью.

Группа ученых из Томского государственного университета разработала новую технологию, позволяющую снизить концентрацию глубоких центров захвата электронов, например EL2+, путем добавления компенсирующего глубокого акцептора Cr. В результате такого технологического процесса из материала n-GaAs путем легирования хромом получают полуизолирующие сенсоры GaAs:Cr. Особенность этого материала в том, что он обладает высоким удельным сопротивлением ( $\rho > 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ) и достаточным для сбора заряда временем жизни электронов ( $\tau_n \geq 1 \text{ нс}$ ). Такая технология позволяет получать материал, пригодный для изготовления детекторов площадью до  $80 \text{ см}^2$  и толщиной до 1 мм. Особенность материала в том, что в сборе заряда участвуют, в основном, электроны из-за низкого значения продукта времени жизни подвижности для дырок  $(\mu \times \tau)_p$ . Таким образом, для данного материала эффективность сбора заряда CCE (от англ. charge collection efficiency) для электронов близка к 100%, вклад дырок незначителен, в результате CCE близка к 50% для необлученных сенсоров [1].

### **Облучение детекторов GaAs:Cr и Si электронами на ускорителе ЛИНАК-200**

Ускоритель ЛИНАК-200 был собран в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в начале 2000-х годов. Ускоритель предусматривает отвод пучка с энергией от 10 до 200 МэВ, ток 40-60 мА, длительность импульсов 2 мкс, частоту повторения импульсов 1-25 Гц. Структурно ЛИНАК-200 состоит из инжектора и ускоряющих станций, дли-

на ускорителя около 200 м.

Преимущества пучка ускорителя ЛИНАК-200 в том, что он может работать в широком диапазоне энергий и интенсивностей пучка электронов: как в режиме экстремально малого тока, вплоть до нескольких электронов в импульсе, так и достаточно большого, вплоть до 60 мА.

Это позволяет тестировать разные режимы работы детекторов, выполнять их энергетическую и временную калибровку, изучать радиационную стойкость в пучках электронов и гамма-квантов [2].

Сенсоры GaAs:Cr размером 5×5×0.3 мм изготовлены в Томском государственном университете из материала n-GaAs с использованием метода легирования хромом. Концентрация примесей в таких сенсорах не превышает  $2 \times 10^{17}$  см<sup>-3</sup>. Сенсоры из GaAs:Cr совместно с сенсорами из Si облучались пучком

электронов 21 МэВ с шагами от 25 до 200 кГр до максимальной дозы в 1.5 МГр, скорость набора дозы варьировалась от 50 до 500 кГр/час, при этом контроль дозы осуществлялся методом измерения заряда пучка в цилиндре Фарадея. Установка для облучения сенсоров и контроля дозы показана на рисунке 1.

После облучения измерялись вольт-амперные характеристики и эффективность сбора заряда (CCE) в детекторах. Основными результатами облучения сенсоров GaAs:Cr и Si электронами до дозы в 1.5 МГр являются незначительное (в 3-7 раз) увеличение темнового тока, при этом сбор заряда в сенсорах упал до 10 % от начального. Темновой ток в кремниевых сенсорах вырос на 4 порядка, что привело к утрате их работоспособности при комнатной температуре [3].

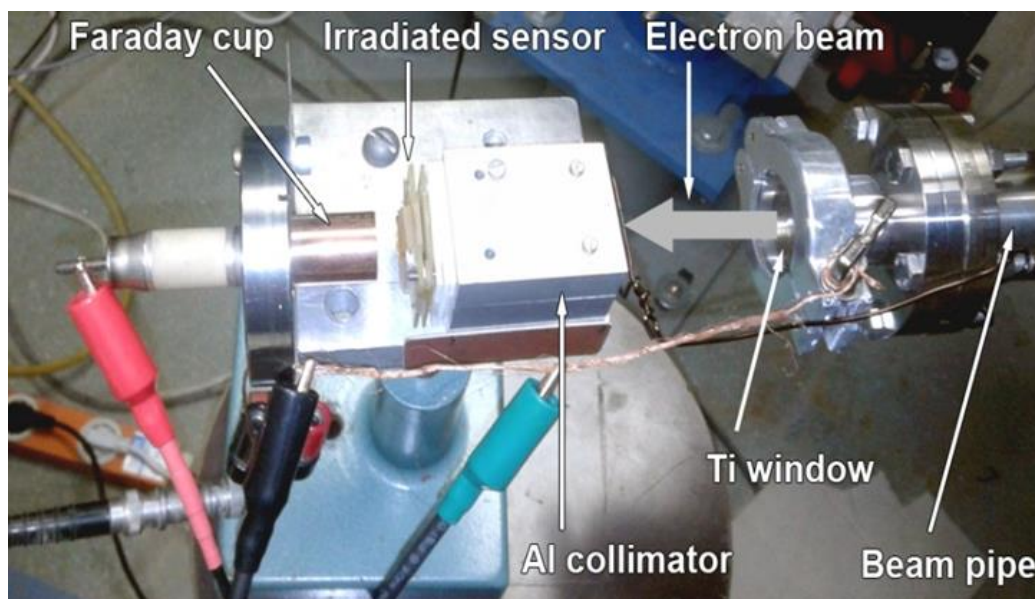


Рисунок 1 – Установка для облучения и контроля дозы

### Облучение детекторов GaAs:Cr и Si быстрыми нейтронами на реакторе ИБР-2 и сравнение результатов облучения

Облучение образцов GaAs:Cr быстрыми нейтронами проходило на нейтронном канале № 3 реактора ИБР-2 в ОИЯИ. Для измерения флюенса нейтронов использовался экспресс-метод нейтронной активации [4], который был дополнен методом измерения эквивалентного потока нейтронов энергии 1 МэВ по повреждениям в Si [5].

Было облучено 6 образцов, расположенных в канале на разном удалении от ядра реактора. Интенсивности нейтронного потока для этих 6-ти точек приведены в таблице 1.

На рисунке 2 представлены вольт-амперные характеристики двух детекторов GaAs:Cr № 1 и № 14 до и после облучения. Темновой ток в сенсорах при максимальном потоке  $3.7 \times 10^{16}$   $\text{n} \times \text{см}^{-2}$  вырос приблизительно на порядок.

Таблица 1 – Облучение шести образцов быстрыми нейтронами канала № 3 реактора ИБР-2. Плотность потока нейтронов измерена методом НАА ( $E_n > 1$  МэВ) и с использованием Si спутника (1 МэВ (Si) эквивалент)

Образец	Плотность потока нейтронов ( $\text{n} \times \text{см}^{-2} \times \text{с}^{-1}$ )	Интегральный поток, метод НАА ( $\text{n} \times \text{см}^{-2}$ )	Интегральный поток, метод Si спутника ( $\text{n} \times \text{см}^{-2}$ )
№ 1_Nov'16	$6,3 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^{11}$	$3,91 \times 10^{11}$
№ 2_Nov'16	$2,3 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{12}$	$1,83 \times 10^{12}$
№ 3_Nov'16	$5,2 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^{13}$	$7,76 \times 10^{13}$
№ 4_Nov'16	$5 \cdot 10^6$	$4,7 \cdot 10^{12}$	$7,22 \times 10^{12}$
№ 5_Nov'16	$1,1 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{16}$	$1,32 \times 10^{15}$
№ 6_Nov'16	-	-	$3,72 \times 10^{16}$

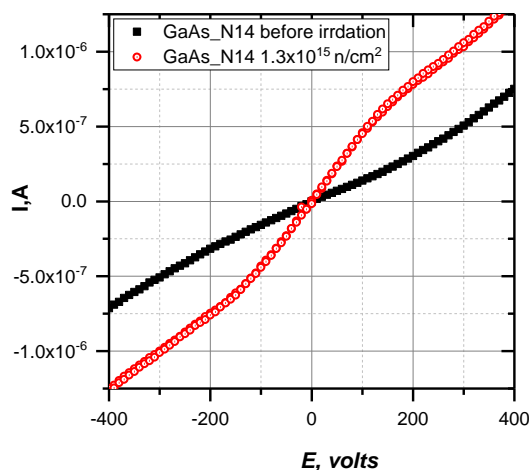
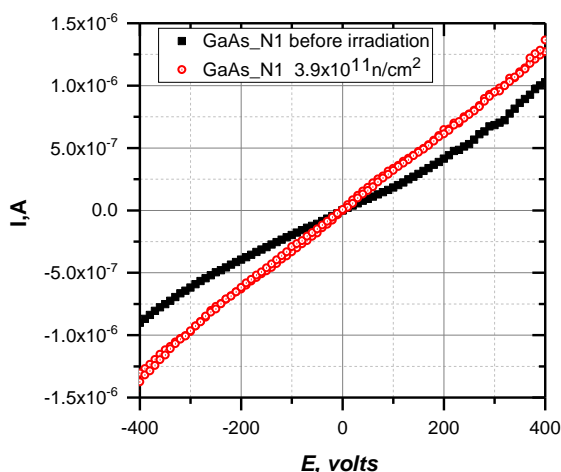


Рисунок 2 – ВАХ сенсоров GaAs:Cr №1(слева) и №14 (справа) до и после облучения. Измерены при температуре 20°C

Такой рост тока в основном вызван введением дефектов смещения в решетке материала из-за радиационного повреждения. Такие дефекты, приводят к образованию глубоких уровней в запрещенной зоне и являются рекомбинационно-генерационными центрами. Если радиационные дефекты приводят к созданию новых уровней в середине запрещенной зоны полупроводника, то они являются эффективными центрами генерации электронно-дырочных пар и, таким образом, вызывают увеличение токов утечки [6].

На рисунке 3 представлены спектры от минимально ионизирующей частицы (МИЧ) для 6-ти детекторов GaAs:Cr до и после облучения. Для детекторов обоих типов видно, что пьедестал и сигнал

МИЧ хорошо разделены, поэтому на графике они показаны одним (черным) цветом. Пьедестал (слева) описывается распределением Гаусса, а его ширина определяет разрешение усилителя и системы считывания, а сигнал (справа), описывается сверткой распределений Ландау и Гаусса, поэтому для него характерен уходящий вправо хвост, соответствующий распределению Ландау. На спектрах сенсоров GaAs:Cr после облучения видно, что с увеличением флюенса нейтронов, пик сигнала постепенно смещается к пьедесталу и при флюенсе  $1.3 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$  сигнал находится практически в той же позиции, что и пьедестал. Это означает, что сенсор полностью утратил свои детектирующие свойства.

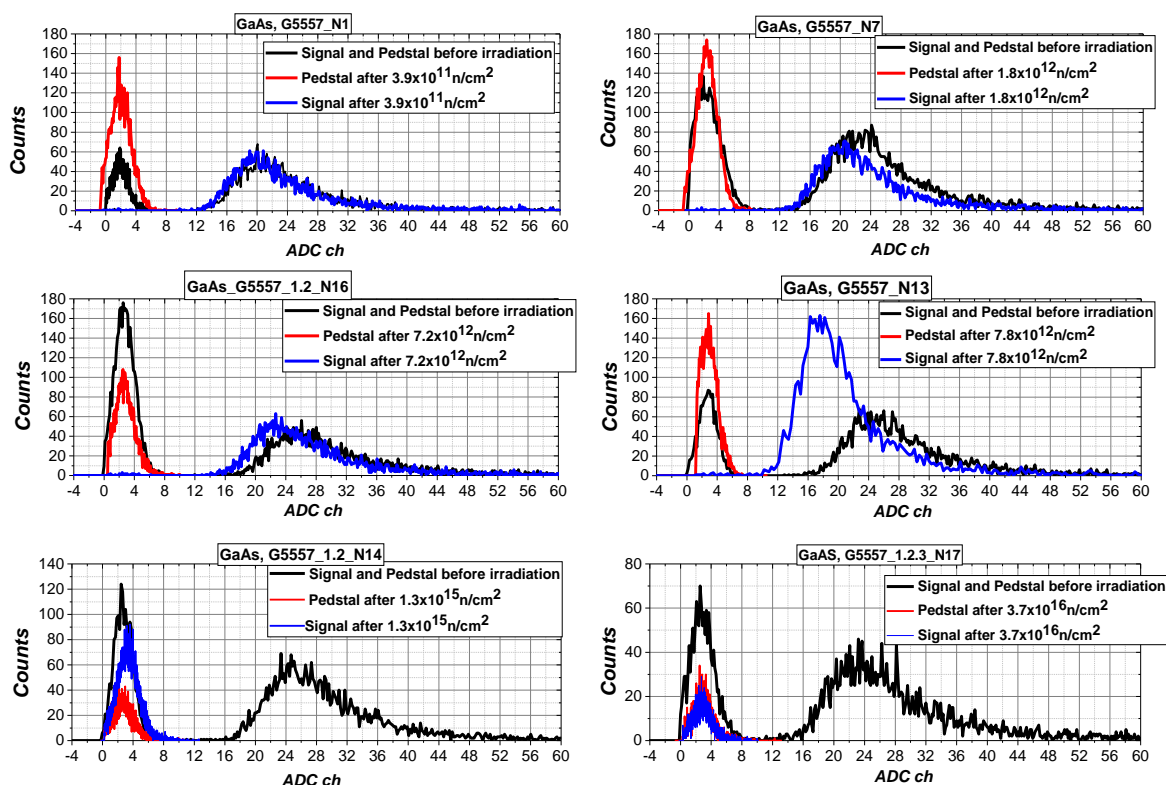


Рисунок 3 – МИЧ спектры сенсоров GaAs:Cr, облученных быстрыми нейтронами до флюенса  $5.2 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ . Пьедестал показан красным цветом, сигнал МИЧ - синим, суммарный спектр – черным. Измерения проходили при комнатной температуре,  $U_{bias} = -200V$

Результаты падения сбора заряда как при нейтронном, так и при электронном облучении могут быть аппроксимированы формулой:

$$CCE = \frac{1}{\alpha \times \Phi^b + 1} \quad (1)$$

где  $\Phi$  – поток частиц,  $\alpha$  и  $b$  – параметры нормализации [3]. Результаты падения эффективности сбора заряда в сенсорах GaAs:Cr в зависимости от потока быстрых нейтронов и электронов 21 МэВ показаны на рисунке 4.

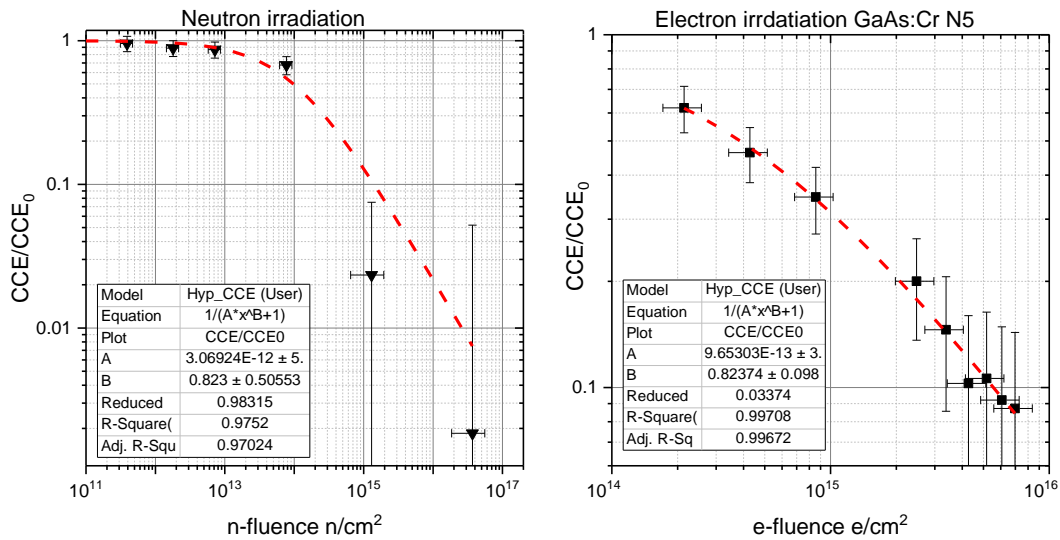


Рисунок 4 – Зависимость CCE от флюенса быстрых нейтронов (слева) и электронов 21 МэВ (справа) для сенсоров GaAs:Cr, аппроксимация выполнена с использованием формулы (1). Измерения выполнены при комнатной температуре,  $U_{bias} = -200V$

Такое фитирование функцией (1) делает возможным приведение повреждений сенсоров GaAs:Cr к единой шкале, в данном случае приведение флюенса электронов 21 МэВ к эквивалентному флюенсу нейтронов. Эквивалентный флюенс нейтронов может быть рассчитан по формуле:

$$\Phi_e = k \times \Phi_n \quad (2)$$

где  $\Phi_e$  – флюенс электронов 21 МэВ,  $\Phi_n$  – флюенс быстрых нейтронов,  $k$  – коэффициент жесткости. Коэффициент  $k$  рассчитан по результатам фитирования функцией (1) и равен 0.28. Как видно из рисунка 5, при таком представлении результаты нейтронного и электронного облучения достаточно хорошо согласуются [7].

## Выводы

На базовых установках ОИЯИ было проведено исследование радиационной стойкости детекторов GaAs:Cr при облучении электронами 21 МэВ и быстрыми нейтронами, измерены вольтамперные характеристики и падение сбора заряда в облученных детекторах. После облучения электронами 21 МэВ до дозы 1.5 МГр, что соответствует флюенсу электронов  $1.4 \times 10^{15}$   $e \times \text{см}^{-2}$  или эквивалентному флюенсу 1 МэВ нейтронов  $4 \times 10^{14}$   $n \times \text{см}^{-2}$ , исследуемые детекторы сохраняют работоспособность, при этом сбор заряда в них падает на порядок. Сравнение результатов облучения быстрыми нейтронами и электронами показывает, что зависи-



мость сбора заряда от потока частиц может быть экстраполирована функцией (1), в результате найден коэффициент жесткости ( $k = 0.28$ ), который можно использовать для преобразования флюенса электронов (21 МэВ) в эквивалентный флюенс быстрых нейтронов (1 МэВ). Использование коэффициента жесткости и функции (1) оправдано для практического применения, они позво-

ляют выполнить расчет допустимых потоков электронов и нейтронов через детекторы из высокоомного GaAs:Cr, а также прогнозировать изменения их рабочих характеристик в условиях реального эксперимента. Это, несомненно, представляет большую практическую ценность для будущего применения детекторов GaAs:Cr в экспериментах с высокой радиационной нагрузкой.

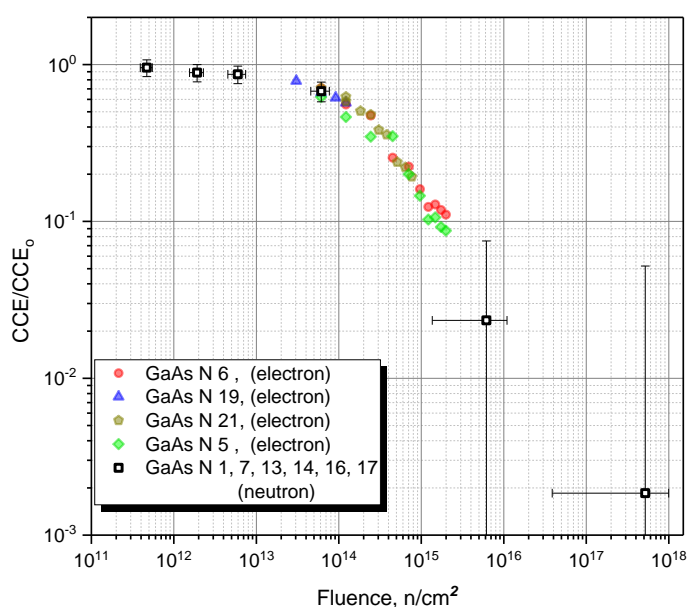


Рисунок 5 – Сравнение зависимостей CCE для сенсоров GaAs:Cr, облученных электронами и нейтронами. Для образцов, облученных нейтронами, поток приведен к эквивалентному потоку быстрых нейтронов

### Благодарности

Автор благодарен коллегам из ИБР-2 и ЛИНАК-200 Абдельшакуру Э. С., Жемчугову А.С., Госткину М.И., Замятину Н.И., Булавину М.В. за помощь в

проведении эксперимента, сборе данных и обработке результатов, а также программе ВМБФ-JINR за поддержку в исследовании и разработке детекторов.

### Библиографический список

1. D. Budnitsky, A. V. Tyazhev et al. Chromium-compensated GaAs detector material and sensors // Journal of Instrumentation. Vol. 9 (2014). Doi: 10.1088/1748-0221/9/07/C07011.
2. Балалыкин Н.И. и др. // Письма в журнал «Физика элементарных частиц и атомного ядра». 2010. Т.7. № 7 (163). С. 848 – 854.
3. U. Kruchonak et al. Radiation hardness of GaAs:Cr and Si sensors irradiated by 21MeV electron beam // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research. A 975 (2020) 164204.
4. Булавин М.В. и др. // Письма в журнал «Физика элементарных частиц и атомного ядра». 2015. Т.12. № 2 (193). С. 517-523.
5. N. I. Zamyatin, A. E. Cheremukhin, A. I. Shafronovskaya // Physics of Particles and Nuclei Letters, 2017, Vol. 14, No. 5, pp. 762–777.

6. M. Yamaguchi and C. Uemura, Changes in the electrical properties of GaAs due to electron irradiation. // Journal of Applied Physics 57 (1985) 604.

7. U Kruchonak et al. Investigation of the radiation hardness of GaAs:Cr semiconductor detectors irradiated with fast neutrons at the reactor IBR-2 // 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1690 012042.

### **References**

1. D. Budnitsky, A. V. Tyazhev et al. Chromium-compensated GaAs detector material and sensors // Journal of Instrumentation. Vol. 9 (2014). Doi: 10.1088/1748-0221/9/07/C07011.

2. Balalykin N.I. i dr. // Pis'ma v zhurnal «Fizika elementarnykh chastic i atomnogo yadra». 2010. T.7. № 7 (163). S. 848 – 854.

3. U. Kruchonak et al. Radiation hardness of GaAs:Cr and Si sensors irradiated by 21MeV electron beam // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research. A 975 (2020) 164204.

4. Bulavin M.V. i dr. // Pis'ma v zhurnal «Fizika elementarnykh chastic i atomnogo yad-ra». 2015. T.12. № 2 (193). S. 517-523.

5. N. I. Zamyatin, A. E. Cheremukhin, A. I. Shafronovskaya // Physics of Particles and Nuclei Letters, 2017, Vol. 14, No. 5, pp. 762–777.

6. M. Yamaguchi and C. Uemura, Changes in the electrical properties of GaAs due to electron irradiation. // Journal of Applied Physics 57 (1985) 604.

7. U Kruchonak et al. Investigation of the radiation hardness of GaAs:Cr semiconductor detectors irradiated with fast neutrons at the reactor IBR-2 // 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1690 012042.

*Статья поступила 18.12.2020 г.*

*© В.Г. Кручонок, 2020*

---

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

---

*Кручонок Владимир Геннадьевич* – научный сотрудник научно-экспериментального отдела встречных пучков лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

*Vladimir Kruchonak* – Researcher, Scientific and Experimental Department of Colliding Beams, Laboratory of Nuclear Problems, Joint Institute for Nuclear Research.

## МОДЕЛИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО УСТРОЙСТВА КОНТАКТНОГО ТИПА ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ И ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМОВ

А.М. Ибрагимова

Дагестанский государственный технический университет  
Махачкала  
ibrasya@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены тепловые схемы термоэлектрических устройств контактного типа для отвода теплоты и термостатирования радиоэлектронной аппаратуры. На их основе предложена расчетная модель, описывающая протекающие в данных приборах электро- и теплофизические процессы. Указано, что существенным фактором, влияющим на работу теплоотводящих устройств, являются условия теплообмена между ними и элементами радиоэлектронной аппаратуры.

**Abstract.** Thermal diagrams of contact-type thermoelectric devices for heat removal and thermostating of radio electronic equipment are considered. On their basis, a computational model is proposed that describes the electrical and thermophysical processes occurring in these devices. It is indicated that a significant factor affecting the operation of heat-removing devices is the conditions of heat exchange between them and the elements of radio electronic equipment.

**Ключевые слова:** радиоэлектронная аппаратура, отвод теплоты, термостабилизация, термоэлектрическое устройство, тепловая схема, расчетная модель.

**Keywords:** radio electronic equipment, heat removal, thermal stabilization, thermoelectric device, thermal circuit, computational model.

### Введение

На сегодняшний день термоэлектрическое приборостроение является одной из наиболее быстро развивающихся отраслей производства. При этом в большинстве случаев разработка термоэлектрических устройств и систем ведется на основе стандартных модулей, выпускаемых как отечествен-

ными, так и зарубежными производителями. Наибольшее распространение термоэлектрическая аппаратура получила в таких областях, как приборостроение, радиоэлектронная и измерительная техника, автоматика, медицина и т.п. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. В радио- и микроэлектронике [8, 9, 10, 11], системах автоматизации метод термоэлектрического

преобразования энергии нашел широкое применение благодаря возможности создания микроминиатюрных охлаждающих и термостабилизирующих устройств, согласующихся как по массогабаритным, так и энергетическим параметрам с объектами воздействия; в медицине [12, 13, 14] термоэлектрическое охлаждение и нагрев используется при проведении тепловых физиотерапевтических процедур, хранении и перевозке биологических материалов, криотерапии и криохирургии; в приборостроении [15], на транспорте термоэлектрическое охлаждение применяется в системах для локального охлаждения объектов, кондиционирования воздуха [11], в измерительной технике – при определении теплофизических параметров материалов.

### ***Постановка задачи***

Термоэлектрическое устройство, предназначенное для термостабилизации объектов, представляет собой систему автоматического регулирования, в которой термоэлектрическая батарея (ТЭБ) выполняет роль исполнительного механизма, в зависимости от полярности тока, осуществляющего нагрев или охлаждение. При проектировании такого устройства главной задачей является непосредственная разработка конструкции прибора и качественная оценка его параметров. В задачу создания термоэлектрического термостабилизатора также входит расчет теплоизоляции, определение количества термоэлементов, разработка теплоотводящей аппаратуры. На этапе оценки спроектированной конструкции выявляются ее основные технические характеристики и

принимается решение о соответствии их величины требуемым значениям.

Так как ТЭБ должна отводить теплоту во внешнюю среду или наоборот, возникает проблема интенсификации теплообмена между ее спаями и окружающей средой. Интенсифицировать в данном случае теплообмен возможно за счет различных тепловоспринимающих и теплоотводящих поверхностей, например, радиаторных систем различного типа. Обеспечение эффективного теплоотвода от спаев ТЭБ достаточно часто приводит к усложнению конструкции всего термостабилизирующего устройства, повышению его массогабаритных и энергетических показателей. В этом случае необходимость использования термостабилизации температуры посредством ТЭБ должна быть тщательно обоснована.

Целью настоящего исследования является обзор существующих тепловых схем термоэлектрических стабилизаторов температуры, а также обобщенных расчетных соотношений для анализа их работы.

### ***Метод решения***

Тепловые схемы термоэлектрических термостабилизирующих устройств приведены на рисунках 1 и 2. В случае термостабилизации замкнутого объема (рисунок 1) в нем обеспечивается температура  $T_1$  при температуре среды, омывающей внешние спаи ТЭБ,  $T_2$ . Тепловая нагрузка на ТЭБ определяется суммой внутренних тепловыделений  $W'$  и теплопритоков (теплопотерь)  $Q_T$  со стороны среды, омывающей объем статирования  $T_{22}$ . Отметим, что в общем случае температура среды, омывающей объем статирования, может

быть не равна температуре среды, омывающей внешние спаи ТЭБ. Спаи ТЭБ могут, в частном случае, иметь ребрение, как показано на рисунке 1, коэффициенты теплопередачи по внутренней и наружной стороне задаются соответственно как,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

Расчет коэффициентов теплопередачи в связи с разнообразием схем организации теплообмена и его интенсификации целесообразно вывести за рамки автоматизированного расчета. В результате работы ТЭБ через нее пе-

редается в объем статирования или наружу тепловой поток  $q_6$ . В случае наличия объема статирования теплостоков (например, испарение жидкости) соответствующая мощность внутренних источников  $W'$  вводится со знаком минус. Отличие тепловой схемы режима термостабилизации элемента или микросборки (рисунок 2) заключается в том, что под температурой статирования понимается температура корпуса элемента, находящегося в тепловом контакте со спаями ТЭБ.

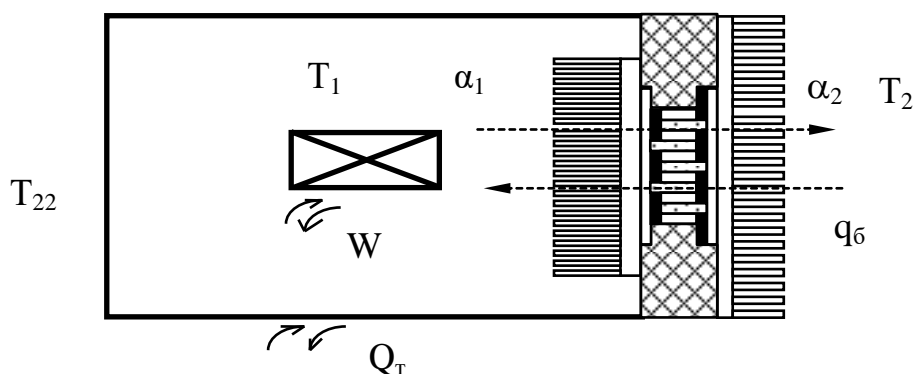


Рисунок 1 – Тепловая схема режима статирования объема

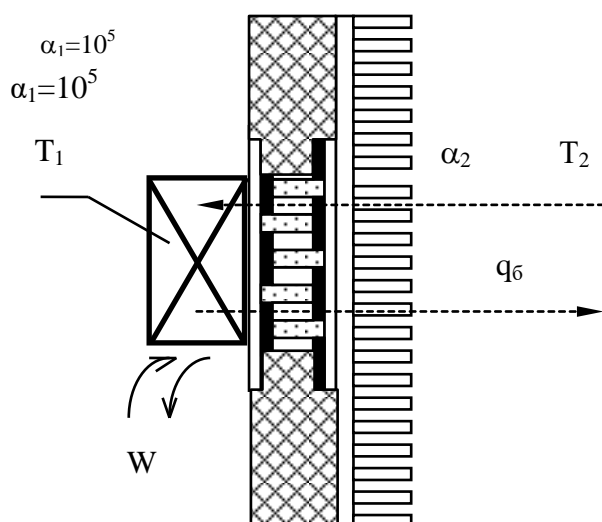


Рисунок 2 – Тепловая схема режима статирования элемента

Условия теплового контакта задаются значением коэффициента теплоотдачи. Величина тепловой нагрузки  $W'$  на ТЭБ определяется с учетом возможного рассеивания части выделяемой (поглощаемой) объектом мощности в окружающую среду.

В методике расчета использованы выражения, приведенные в монографии [15] и преобразованные в соответствии с допущением о том, что спаи ТЭБ обмениваются теплотой со средами постоянной температуры  $T_1$  и  $T_2$ . Тогда выражение для холодопроизводительности имеет вид:

$$Q_1 = \frac{Q_1' \left(1 - 0,5\bar{e} \frac{1}{S_b K_2} - \frac{\lambda}{d K_2}\right) - \frac{\lambda Q_2'}{d K_2}}{\left(1 + 0,5\bar{e} \frac{1}{S_b K_1} - \frac{\lambda}{d K_1}\right) \left(1 - 0,5\bar{e} \frac{1}{S_b K_2} + \frac{\lambda}{d K_2}\right) - \frac{\lambda^2}{d^2 K_1 K_2}} \quad (1)$$

Выражение для теплопроизводительности:

$$Q_2 = \frac{Q_2' \left(1 + 0,5\bar{e} \frac{1}{S_b K_1} + \frac{\lambda}{d K_1}\right) - \frac{\lambda Q_1'}{d K_1}}{\left(1 + 0,5\bar{e} \frac{1}{S_b K_1} - \frac{\lambda}{d K_1}\right) \left(1 - 0,5\bar{e} \frac{1}{S_b K_2} + \frac{\lambda}{d K_2}\right) - \frac{\lambda^2}{d^2 K_1 K_2}}, \quad (2)$$

где

$$Q_1' = 0,5S \left( \bar{e} \frac{IT_1'}{S_b} - \frac{I^2 d}{S_b^2 \sigma} - \frac{2\lambda}{d} (T_2' - T_1') \right), \quad (3)$$

$$Q_2' = 0,5S \left( \bar{e} \frac{IT_2'}{S_b} - \frac{I^2 d}{S_b^2 \sigma} - \frac{2\lambda}{d} (T_2' - T_1') \right) \quad (4)$$

где  $\bar{e}$  – коэффициент термо-э.д.с. вещества;  $S$  – площадь ТЭБ по веществу;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности вещества;  $\sigma$  – удельная электропроводность вещества;  $d$  – высота ветви;  $S_b$  – площадь сечения ветви;  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты теплопередачи соответственно на охлаждающей и нагревающей сторонах;  $T_1$  и  $T_2$  – соответственно температуры охлаждаемой и нагреваемой сред;  $I$  – сила тока питания.

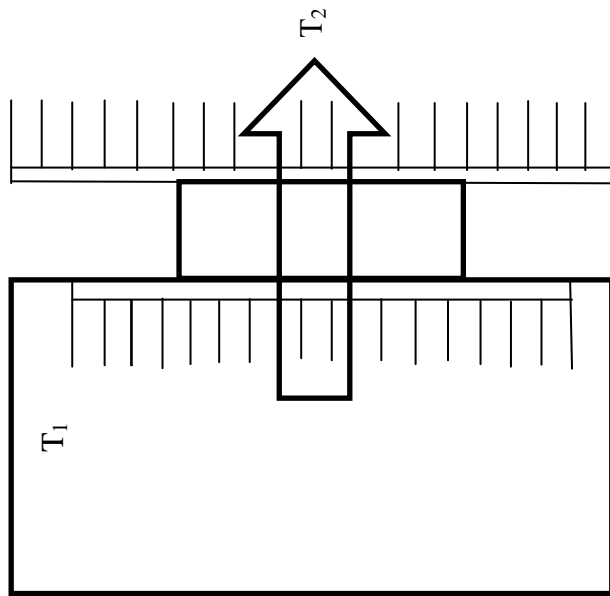
При разработке методики и соответствующих алгоритмов предусматривалось шесть возможных режимов работы ТЭБ: три режима при охлаждении (отводе теплоты) объема (элемента) статирования и три режима при нагреве (подводе теплоты).

На рисунке 3 приведены тепловые схемы для режимов охлаждения, в том числе, когда температура статирования ниже среды, омывающей внешние спаи ТЭБ или, в частном случае, температуры равны, ТЭБ работает как охладитель, понижая за счет подводимой электроэнергии температуру «холодных» спаев ТЭБ и рассеивая ее во внешнюю среду.

В соответствии с выражением (1) заданная холодопроизводительность обеспечивается током питания положительной величины. В том случае, когда естественный температурный напор способствует отводу теплоты от объема (элемента) статирования ( $T_1 > T_2$ ), подачей тока питания развивается

Охладитель и интенсификатор

$$I = 0$$

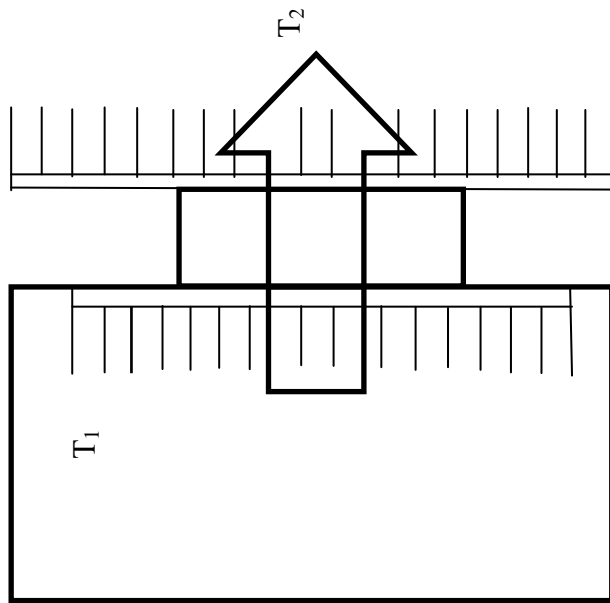


Ток положительный  
 $T_1 \leq T_2$  – охладитель

$T_1 > T_2$  – интенсификатор

Пояснительная схема

$$I < 0$$

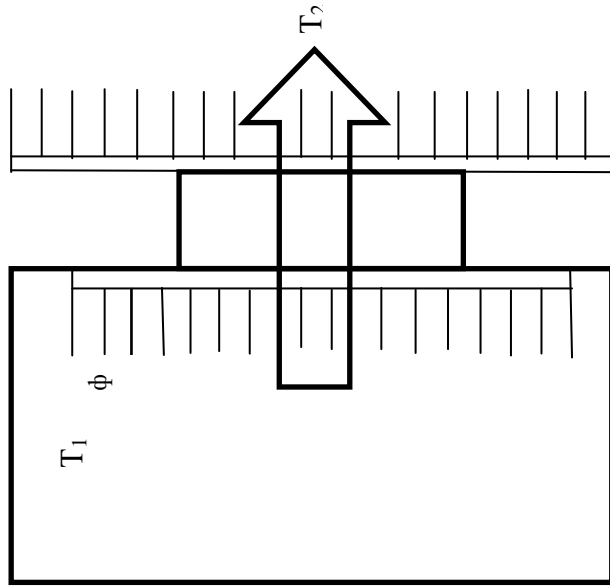


$$T_1 \gg T_2$$

Когда тока нет, теплопотери  
через площадь ТЭБ  
превышают требуемую холодопро-  
изводительность

Блокировка теплового потока

$$I > 0$$

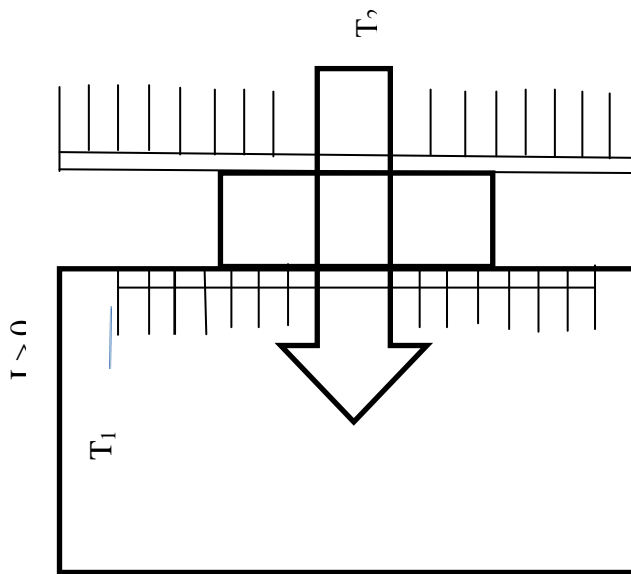


$$T_1 > T_2$$

Ток отрицательный  
Обратным включением тока блоки-  
руются избыточные теплопотери че-  
рез площадь ТЭБ

Рисунок 3 – Тепловые схемы режима охлаждения

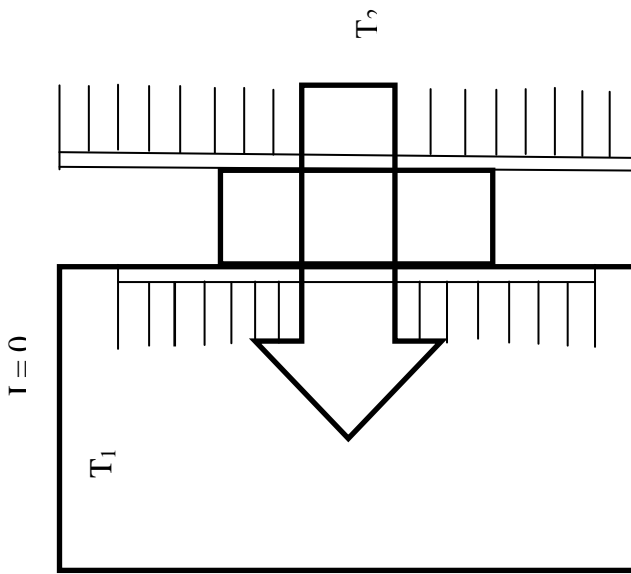
Нагреватель и интенсификатор



$T_1 \leq T_2$  – нагреватель  
 $T_1 > T_2$  – интенсификатор

Ток отрицательный  
Обратным включением тока блокируются избыточные теплотогери через площадь ТЭБ

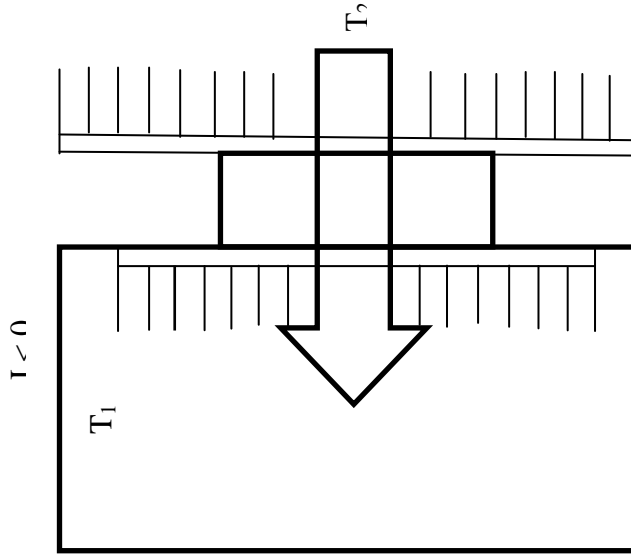
Пояснительная схема



$T_1 \ll T_2$

Когда тока нет, теплопритоки через площадь батареи превышают требуемую теплопроизводительность

Блокировка теплового потока



$T_1 \ll T_2$

Ток отрицательный  
Обратным включением тока блокируются избыточные теплотогери через площадь ТЭБ

Рисунок 4 – Тепловые схемы режима нагрева



дополнительная холодопроизводительность, что соответствует работе ТЭБ в режиме интенсификатора теплопередачи.

При значительных величинах температурного напора ( $T_1 > T_2$ ) или большой площади ТЭБ теплопередача через ТЭБ даже при отсутствии тока питания может превысить требуемую холодопроизводительность, что влечет необходимость «блокировки» теплового потока для обеспечения заданного температурного режима в объеме (элементе) статирования. Блокировка достигается уменьшением холодопроизводительности ТЭБ за счет изменения направления тока питания.

Таким образом, при отводе теплоты от объема (элемента) ТЭБ может быть охладителем или интенсификатором теплопередачи, а также может блокировать избыточные теплотери.

Для режимов нагрева (рисунок 4) ТЭБ также может быть нагревателем и интенсификатором, а также блокировать избыточные теплопритоки за счет изменения направления тока питания.

Указанные особенности, учитывающие частные случаи в комбинациях исходных данных, учтены в алгоритме. Методика расчета ориентирована на применение ЭВМ, что определяет для каждого конкретного случая потребность в отдельных расчетных блоках, реализующих ключевые этапы расчета. В блоке расчета тепловой нагрузки осуществляется ввод температур статирования и внешней среды; определяется, что является объектом статирования – объем или элемент; выполняется, при необходимости, расчет теплопритоков через элементы конструкции, и в результате предъявляется информация

о тепловом состоянии объекта статирования.

Теплопритоки через элементы конструкции вычисляются по формуле:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n \frac{T_{22} - T_1}{0,2 + \sum_{j=0}^m \frac{\sigma_j}{\lambda_j}}, \quad (5)$$

где  $T_1$  и  $T_{22}$  – соответственно температуры статирования и внешней среды (рисунок 1); 0,2 – учитывает термическое сопротивление теплоотдаче при свободной конвекции на стенках ограждения;  $F_i$  – площадь элемента конструкции;  $\sum_{j=1}^m \frac{\sigma_j}{\lambda_j}$  – термическое сопротивление элемента конструкции  $F_i$  (если  $m = 1$ , то элемент однослойный).

Вводится мощность внутренних источников  $W'$  (со знаком плюс) или теплостоков (со знаком минус). Определяется предполагаемая тепловая нагрузка, причем, при  $Q > 0$  объект требуется охлаждать, а при  $Q < 0$  объект требуется нагревать. После предъявления информации об ожидаемой тепловой нагрузке вводится величина холодо- или теплопроизводительности. В дальнейшем расчет выполняется для введенного значения.

Таким образом, расчет теплопритоков носит вспомогательный характер, и сообщение о величине нагрузки имеет чисто информационное значение. задается производительность ТЭБ исходя из соображений скорости выхода на режим, запаса производительности для регулирования и т.п. в соответствии с опытом проектирования.

Как было указано выше, условия теплообмена сред с поверхностями охлаждения и нагрева задаются в виде коэффициентов теплоотдачи. В случае применения для интенсификации теп-

лообмена оребрения с традиционными прямоугольными ребрами данный блок обеспечивает расчет эффективности оребрения и величины коэффициента теплопередачи, приведенного к площади основания оребрения. Если применяется другой тип оребрения и самостоятельно рассчитывается приведенный коэффициент теплопередачи, следует при запросе ввести его величину как величину коэффициента теплоотдачи и указать на отсутствие оребрения.

### **Заключение**

При разработке данной методики принято, что разработчиком термоста-

тирующего ТЭУ определены требуемая холодо- или теплопроизводительность и характеристики теплообменной поверхности со стороны статирования. Необходимо отметить, что приведенные тепловые схемы и разработанная методика являются эффективным инструментом, позволяющим разработчикам сравнивать системы естественного и термоэлектрического охлаждения и проводить целенаправленный выбор термоэлектрических преобразователей в зависимости от представляющих требований.

### **Библиографический список**

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: справочник. - Киев: Наука Думка, 1979. - 768 с.
2. Анатычук Л.И. Современное состояние и некоторые перспективы термоэлектричества // Термоэлектричество. 2007. № 2. С. 7-20.
3. Патент РФ № 2706066. Способ опреснения морской воды при помощи полупроводникового термоэлектрического охлаждающего устройства с ультрафиолетовым излучением при искусственном понижении атмосферного давления / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Челушкина Т.А., Шихахмедова Д.П. // Б.И. № 11, 2019.
4. Семенюк В.А. Термоэлектрическое охлаждение: проблемы и перспективы // Вестник Международной академии холода. 1999. Вып. 4.
5. Сулин А.Б. Термоэлектрические системы охлаждения. Анализ потерь и пути повышения эффективности // Холодильная техника. 2009. № 8. С.36-39.
6. Lyon J.R. Overview of Industry Interest in New Thermoelectric Materials // Thermoelectric Materials – New Directions and Approaches. MRS, 1997.
7. Jianzhong Z., Tiemin W. Application of the thermoelectric cooler in the seventeenth chinese retrievable satellite // Abstracts of the 17th Int. Conf. on Thermoelectrics, Nagoya, Japan, 1998, p.81.
8. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Махмудова М.М., Евдулов Д.В. Исследование системы охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры, работающих в режиме повторно-кратковременных тепловыделений // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2008. № 5. С. 52-59.
9. Исмаилов Т.А., Ибрагимова А.М. Расчетная модель системы термостабилизации элементов радиоэлектронной аппаратуры // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. Т. 46. № 1. С. 42-52.
10. Патент РФ № 2203523. Шкаф для охлаждения радиоэлектронной аппаратуры / Исмаилов Т.А., Цеханская Т.Э., Салманов Н.Р., Юсуфов Ш.А.

11. Цветков Ю.Н., Исмаилов Т.А. Термоэлектрические системы кондиционирования воздуха и приборы контроля. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.
12. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Хазамова М.А., Магоматов Р.А.-М. Математическая модель термоэлектрической системы для локального теплового воздействия на руку человека // Термоэлектричество. 2014. № 1.
13. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Рагимова Т.А. Исследование термоэлектрической системы для локального замораживания тканей гортани // Термоэлектричество. 2015. № 2. С. 62-71.
14. Патент РФ № 2705104. Термоэлектрическое устройство для проведения электрофоретических лечебных процедур / Исмаилов Т.А., Юсуфов Ш.А., Хазамова М.А., Хуламагомедова З.А. // Б.И. № 11, 2019.
15. Цветков Ю.Н., Аксенов С.С., Шильман В.М. Судовые термоэлектрические охлаждающие устройства. – Л.: Судостроение, 1972. – 192 с.
16. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В. Термоэлектрические системы для термостабилизации малогабаритной радиоэлектронной аппаратуры // Холодильная техника. 2002. № 8. С.19-20.

### **References**

1. Anaty`chuk L.I. Termoe`lementy` i termoe`lektricheskie ustrojstva: spravochnik. - Kiev: Nauka Dumka, 1979. - 768 s.
2. Anaty`chuk L.I. Sovremennoe sostoyanie i nekotory`e perspektivy` termoe`lektriches-tva // Termoe`lektrichestvo. 2007. № 2. S. 7-20.
3. Patent RF № 2706066. Sposob opresneniya morskoy vody` pri pomoshhi poluprovodnikovogo termoe`lektricheskogo oxlazhdayushhego ustrojstva s ul`trafioletovym izlucheniem pri iskusstvennom ponizhenii atmosfernogo davleniya / Ismailov T.A., Gadzhiev X.M., Gadzhieva S.M., Chelushkina T.A., Shixaxmedova D.P. // B.I. № 11, 2019.
4. Semenyuk V.A. Termoe`lektricheskoe oxlazhdenie: problemy` i perspektivy` // Vest-nik Mezhdunarodnoj akademii xoloda. 1999. Vy`p. 4.
5. Sulin A.B. Termoe`lektricheskie sistemy` oxlazhdeniya. Analiz poter` i puti po-vy`sheniya e`ffektivnosti // Xolodil`naya texnika. 2009. № 8. S.36-39.
6. Lyon J.R. Overview of Industry Interest in New Thermoelectric Materials // Thermoelectric Materials – New Directions and Approaches. MRS, 1997.
7. Jianzhong Z., Tiemin W. Application of the thermoelectric cooler in the seventeenth chinese retrievable satellite // Abstracts of the 17th Int. Conf. on Thermoelectrics, Nagoya, Japan, 1998, p.81.
8. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Maxmudova M.M., Evdulov D.V. Issledovanie si-stemy` ox-lazhdeniya e`lementov radioe`lektronnoj apparatury`, robotayushhix v rezhime po-vtorno-kratkovremenny`x teplovy`delenij // Izvestiya vuzov Rossii. Radioe`lektronika. 2008. № 5. S. 52-59.
9. Ismailov T.A., Ibragimova A.M. Raschetnaya model` sistemy` termostabilizacii e`lementov radioe`lektronnoj apparatury` // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tex-nicheskogo universiteta. Texnicheskie nauki. 2019. T. 46. № 1. S. 42-52.
10. Patent RF № 2203523. Shkaf dlya oxlazhdeniya radioe`lektronnoj apparatury` / Is-mailov T.A., Cexanskaya T.E`., Salmanov N.R., Yusufov Sh.A.
11. Czvetkov Yu.N., Ismailov T.A. Termoe`lektricheskie sistemy` kondicionirovaniya vozduxa i pribory` kontrolya. – L.: E`nergoatomizdat, 1988. – 240 s.

12. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Xazamova M.A., Magomadov R.A.-M. Matematika-ticheskaya model` termoe`lektricheskoy sistemy` dlya lokal`nogo teplovogo vozdejstviya na ruku cheloveka // Termoe`lektrichestvo. 2014. № 1.

13. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Ragimova T.A. Issledovanie termoe`lektricheskoy sistemy` dlya lokal`nogo zamorazhivaniya tkanej gortani // Termoe`lektrichestvo. 2015. № 2. S. 62-71.

14. Patent RF № 2705104. Termoe`lektricheskoe ustrojstvo dlya provedeniya e`lek-troforeticheskix lechebny`x procedur / Ismailov T.A., Yusufov Sh.A., Xazamova M.A., Xu-lamagomedova Z.A. // B.I. № 11, 2019.

15. Czvetkov Yu.N., Aksenov S.S., Shul`man V.M. Sudovy`e termoe`lektricheskie oxla-zhdayushhie ustrojstva. – L.: Sudostroenie, 1972. – 192 s.

16. Ismailov T.A., Evdulov O.V. Termoe`lektricheskie sistemy` dlya termostabiliza-cii malogabaritnoj radioe`lektronnoj apparatury` // Xolodil`naya texnika. 2002. № 8. S.19-20.

*Статья поступила 24.11.2020 г.*

*© А.М. Ибрагимова, 2020*

---

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

---

*Ибрагимова Асият Магомедовна* – соискатель кафедры теоретической и общей электро-техники Дагестанского государственного технического университета.

*Asiyat Ibragimova* – Applicant, Department of Theoretical and General Electrical Engineering, Daghestan State Technical University.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПОЛОГИИ АНТЕННЫ ВИВАЛЬДИ

Т.Г. Асланов, С.А. Ибрагимов

Дагестанский государственный технический университет  
Махачкала  
tabasik@gmail.com

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных исследований топологии антенны Вивальди, лепестки которой расположены по разные стороны по отношению к диэлектрическому материалу и имеют одну крутизну экспоненты, определяющую кривую лепестка антенны. Получена зависимость ширины диаграммы направленности от крутизны экспоненты и ширины апертуры антенны. Приведены результаты аппроксимации полученных зависимостей. Исследована зависимость полосы рабочих частот от размеров самой антенны. Разработана математическая модель зависимости значений крутизны экспоненты и ширины апертуры антенны от заданной ширины диаграммы направленности и частоты.

**Abstract.** The results of experimental studies of the topology of a Vivaldi antenna are presented, the lobes of which are located on different sides with respect to the dielectric material and have the same exponential slope, which determines the antenna lobe curve. The dependence of the radiation pattern width on the slope of the exponent and the width of the antenna aperture is obtained. The results of approximation of the obtained dependences are presented. The dependence of the operating frequency band on the dimensions of the antenna itself is investigated. A mathematical model of the dependence of the values of the exponential slope and the width of the antenna aperture on the given width of the directional pattern and frequency has been developed.

**Ключевые слова:** антенна Вивальди, крутизна экспоненты, апертура, аппроксимация, диаграмма направленности.

**Keywords:** Vivaldi antenna, steepness of exponents, aperture, approximation, directivity diagram.

### Введение

Антенны Вивальди с расширяющейся щелью нашли применение в технике, используемой в различных отраслях человеческой деятельности, например, военной, авиационной, медицинской, поисковой технике. Связано

это с тем, что у рассматриваемого типа антенны много преимуществ относительно других. Главными из них являются: диапазон рабочих частот, простота конструкции, легкость в изготовлении, большой коэффициент усиления [1]. Следует отметить, что на сегодняш-

ний день отсутствуют полные расчеты зависимости ширины диаграммы направленности антенны Вивальди от основных параметров. По расчету ширины диаграммы направленности опубликовано много работ, но все они носят локальный характер, описывают зависимости для конкретных видов антенн с определенными параметрами ширины диаграммы направленности. Это не позволяет получить полное математи-

$$\begin{cases} x = x_1 + k(x_2 - x_1); \\ y = (e^{R(x_1+k(x_2-x_1))} (y_2 - y_1) + y_1 e^{Rx_2} - y_2 e^{Rx_1}) / (e^{Rx_2} - e^{Rx_1}), \end{cases} \quad (1)$$

где  $R$  – параметр определяющий крутизну экспоненты лепестков антенны;  $y_1$  – перекрытие лепестков антенны относительно оси абсцисс;  $y_2$  – ширина апертуры антенны;  $x$  – переменная, изменяемая в пределах от 0 до  $x_2$  и определяющая функцию  $y$ , которая задает изменение кривой лепестка от перекрытия до крайнего положения апертуры антенны;  $x_1$  – переменная, задающая начальную точку лепестка;  $x_2$  – высота лепестка и высота всей антенны;  $k$  – коэффициент, определяющий шаг построения кривой лепестка антенны.

Компьютерная модель антенны представляется в виде полоски толщиной диэлектрического материала (тефлона) равной 0,5 мм с проводящим слоем, нанесенным в виде лепестков с экспоненциально зависимыми кривыми.

Перекрытие лепестков  $2y_1 = 1,2$  мм.

Задав значение  $x_1 = 0$ , получим антенну с расположением лепестка в начале координат.

Преобразовав уравнение (1) и подставив значения параметров, получим уравнение топологии лепестка:

ческое описание антенны.

В настоящее время антенну Вивальди получают экспериментально с использованием различных программ компьютерного моделирования и проведением испытаний [2].

### **Теоретические и экспериментальные исследования**

Для того, чтобы описать антенну Вивальди, используем уравнение [3, 4]:

$$y = (e^{Rx} (y_2 + 0,6) - 0,6e^{Rx_2} - y_2) / (e^{Rx_2} - 1). \quad (2)$$

Модель реализована в программной среде CST Studio Suite.

Компьютерная модель антенны Вивальди, имеющая параметры  $x_2 = 120$  мм;  $y_2 = 20$  мм и  $R = 0,08$  мм, представлена на рисунке 1. Оба лепестка антенны симметричны друг другу относительно оси абсцисс.

Диэлектрический материал тефлон был выбран в результате исследования зависимости коэффициента стоячей волны (КСВ) антенны от диэлектрической и магнитной проницаемости. Толщина его определена в результате проведенных ранее исследований зависимости толщины от КСВ антенны.

Была выявлена зависимость диапазона рабочих частот от размеров антенны. При моделировании определены значения КСВ при различных значениях пропорционально изменяемых высоты и ширины антенны. Изменение высоты антенны Вивальди соответствовало изменению КСВ как в области высоких, так и в области низких частот. Изме-

ние ширины антенны соответствовало уменьшению КСВ в области высоких частот до определенного уровня, а в области низких частот изменения не наблюдалось. Наибольший эффект был получен при пропорциональном изменении высоты и ширины антенны.

Рисунок 2 отражает изменения КСВ в зависимости от размеров антенны, где кривой 1 соответствует в полто-

ра раза увеличенная по сравнению с начальными размерами антенна, кривой 2 – начальные размеры антенны, а кривой 3 – в полтора раза уменьшенная по сравнению с начальными размерами антенна. При уменьшении размеров антенны диапазон частот смещается в сторону высоких частот, а при увеличении происходит обратное.

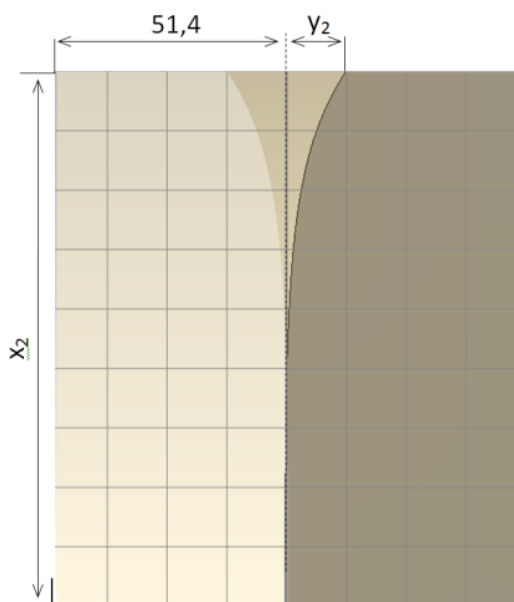
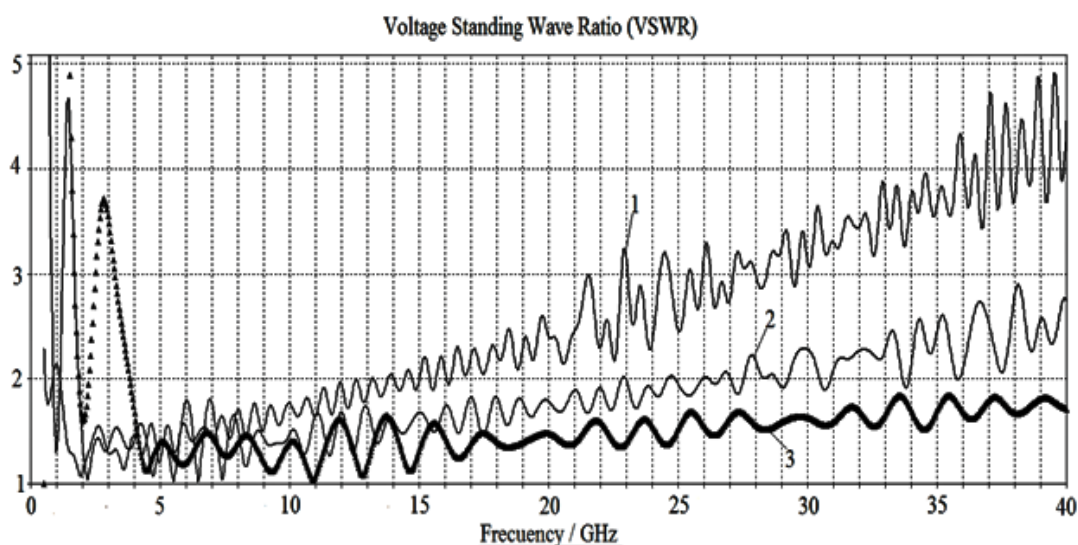


Рисунок 1 – Модель антенны Вивальди

Рисунок 2 – Изменение значения КСВ в зависимости от размеров антенны



Зависимость диапазона рабочих частот от размеров антенны представлен через коэффициент  $d$ . Для исследуемого диапазона частот от 3 до 24

ГГц  $d = 1$ , если задать  $d > 1$ , то диапазон частот сместиться в сторону низких частот, а при  $d < 1$  диапазон частот сместиться в сторону высоких частот. В ре-

зультате введения коэффициента уравнение (2) примет вид:

$$y = \left( \frac{e^{Rx}(y_2 + 0,6) - 0,6e^{Rx_2} - y_2}{e^{Rx_2} - 1} \right) d. \quad (3)$$

Также было установлено, что диаграмма направленности антенны в большей степени зависит от крутизны экспоненты лепестков антенны  $R$  и половинного значения ширины апертуры антенны  $y_2$ . Для исследования этой зависимости был проведен сбор данных, по зависимости диаграммы направленности от крутизны экспоненты и половинного значения ширины апертуры антенны в двух плоскостях: раскрыва антенны ( $\theta = 90^\circ$ ) и в плоскости, перпендикулярной плоскости раскрыва антенны ( $\varphi = 0^\circ$ ), в диапазоне частот от 3 до 24 ГГц. Половинное значение ширины апертуры антенны  $y_2$  менялись от 10 до 50, а значения крутизны экспоненты  $R$  от 0,01 до 0,16. Значения были выбраны исходя из КСВ антенны, который не превышал 2.

В результате анализа и обработки собранных данных были получены отсчеты зависимостей ширины диаграммы направленности от крутизны экспоненты  $R$  и ее половинного значения ширины апертуры антенны  $y_2$  для частот 3; 4; 5,5; 6; 6,5; 7; 8; 14; 19 и 24 ГГц

в плоскости  $\varphi = 0^\circ$  и для частот 3; 8; 14; 19 и 24 ГГц в плоскости  $\theta = 90^\circ$ . Полученные выборки были аппроксимированы соответствующими кривыми. В процессе аппроксимации обеих зависимостей коэффициент детерминации был выше 0,98.

Полученные кривые зависимости ширины диаграммы направленности  $Q$  от крутизны экспоненты лепестков антенны  $R$  и половинного значения ширины апертуры антенны  $y_2$  в двух плоскостях в заданном диапазоне частот представлены на рисунках 3 и 4.

На рисунке 3 кривым 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют частоты 3, 8, 14, 19, 24 ГГц.

На рисунке 4, кривым 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 соответствуют частоты 3, 4, 5,5, 6, 6,5, 7, 8, 14, 24 ГГц.

Из рисунка 4 видно, что в плоскости перпендикулярной плоскости раскрыва антенны исследовано большее количество частот, это связано с изменением зависимости кривых от крутизны экспоненты лепестков антенны и от половинного значения ширины апертуры антенны в диапазоне частот от 3 до 8 ГГц, переходит от обратной к прямой зависимости.

Кривые получены в результате аппроксимации в программе MATLAB и описываются уравнением:

$$y_2 = Rd = \left( a_1 / (a_2 + e^{a_3 Q + a_4}) Q^{a_5} + (e^{a_6 Q + a_7} + a_8) (a_9 \cos(a_{10} Q + a_{11}) + a_{12}) Q^{a_{13}} + \frac{a_{14}}{Q^{a_{15} - a_{16}}} + a_{17} \right) d.$$

Параметры указанного уравнения приведены в таблице.



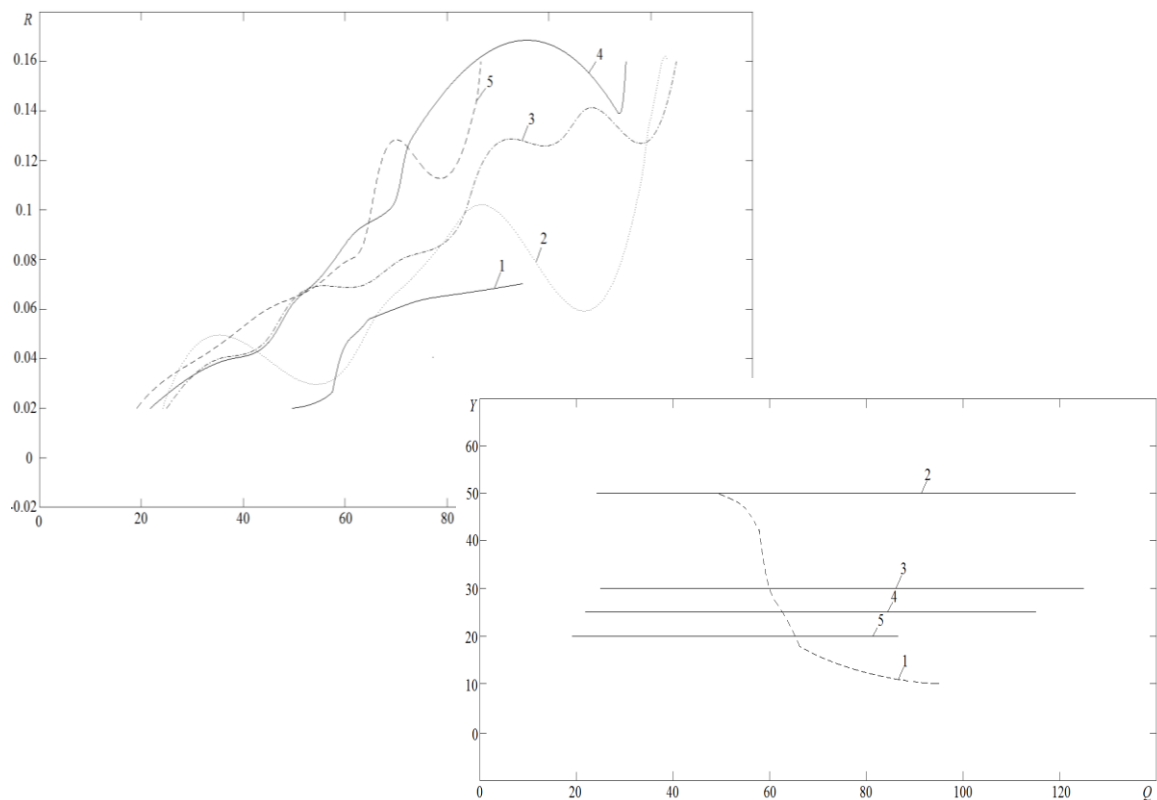


Рисунок 3 – Кривые зависимости ширины диаграммы направленности  $Q$  от кривизны  $R$  и половинного значения ширины апертуры антенны  $y_2$  для плоскости  $\theta = 90^\circ$

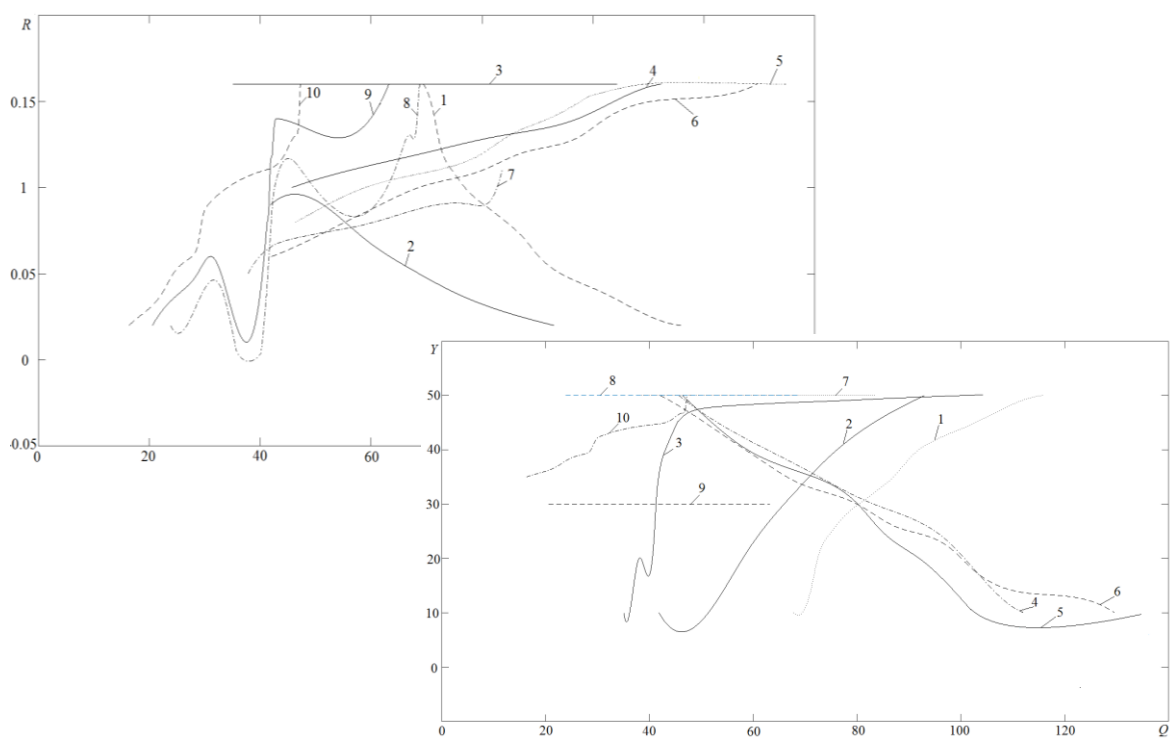


Рисунок 4 – Кривые зависимости ширины диаграммы направленности  $Q$  от кривизны  $R$  и половинного значения ширины апертуры антенны  $y_2$  для плоскости  $\varphi = 0^\circ$

Таблица – Параметры уравнений зависимости регулируемого параметра от ширины диаграммы направленности Q.

F, ГГц	Регулируемый параметр	Параметры уравнений зависимости регулируемого параметра от ширины диаграммы направленности Q	
		Плоскость $\theta = 90^\circ$	Плоскость $\varphi = 0^\circ$
3	R	$a_1 = 2.022; a_2 = 39.26; a_3 = -0.3205; a_4 = 22.88; a_{12} = -0.01734.$	$a_6 = -0.049; a_{12} = 4.2; a_{17} = 0.0085.$
	$y_2$	$a_1 = -11.5; a_2 = 39.26; a_3 = -0.3205; a_4 = 22.88; a_{12} = -0.01734.$	$a_1 = -47.29; a_2 = 13.22; a_3 = -0.1643; a_4 = 13.11; a_5 = 0.6452; a_{17} = -26.23.$
4	R	Зависимость не исследовалась	$a_6 = 0.05022; a_7 = -5.61; a_9 = -1; a_{10} = 0.01422; a_{17} = 0.1167.$
	$y_2$	Зависимость не исследовалась	$a_1 = 0.46; a_2 = 0.01; a_3 = -0.1068; a_4 = 2.422; a_9 = 1; a_{10} = 0.01; a_{17} = 5.255.$
5.5	R	Зависимость не исследовалась	принимает постоянное значение на всем диапазоне Q и равен 0,16
	$y_2$	Зависимость не исследовалась	$a_1 = 0.4043; a_2 = 0.009123; a_3 = -0.4043; a_4 = 11.61; a_{17} = 5.854.$
6	R	Зависимость не исследовалась	$a_1 = 1; a_3 = -0.01007; a_4 = 1.176; a_9 = 1; a_{10} = 0.008; a_{17} = -1.3.$
	$y_2$	Зависимость не исследовалась	$a_1 = -1; a_3 = -0.007152; a_4 = -3.865; a_9 = 1; a_{10} = 0.008; a_{17} = 118.5.$
6.5	R	Зависимость не исследовалась	$a_6 = 0.0131; a_7 = -2.575; a_9 = 1; a_{10} = 0.008; a_{17} = -0.05.$
	$y_2$	Зависимость не исследовалась	$a_6 = 0.0129; a_7 = 3.7; a_9 = -1; a_{10} = 0.008; a_{17} = 118.5.$
7	R	Зависимость не исследовалась	$a_1 = 1; a_3 = 0.003346; a_4 = 6.138; a_5 = 1; a_{17} = -0.01929.$
	$y_2$	Зависимость не исследовалась	$a_1 = -1; a_3 = 0.003346; a_4 = 0.1466; a_5 = 1; a_{17} = 81.72.$
8	R	$a_1 = 1; a_3 = -0.1668; a_4 = 22.86; a_9 = -0.1747; a_{10} = 0.02666; a_{11} = 0.425; a_{14} = 5.61; a_{15} = -1; a_{17} = -0.128.$	$a_1 = 6.634; a_2 = 1.165; a_3 = -0.02; a_4 = 1; a_9 = 1; a_{10} = 0.028; a_{17} = -3.158.$
	$y_2$	принимает постоянное значение на всем диапазоне Q и равен 50	принимает постоянное значение на всем диапазоне Q и равен 50
14	R	$a_6 = 0.02318; a_7 = -2.462; a_9 = 1.147; a_{10} = 0.00347; a_{11} = 2.002; a_{17} = -0.04$	$a_1 = -0.00008659; a_2 = 0.001635; a_3 = 3.703; a_4 = -161.1; a_6 = 0.009877; a_{12} = 0.06274; a_{14} = -0.03668; a_{15} = 1; a_{16} = -70.$
	$y_2$	принимает постоянное значение на всем диапазоне Q и равен 30	принимает постоянное значение на всем диапазоне Q и равен 50
19	R	$a_1 = 1; a_3 = -0.01817; a_4 = 0.2168; a_6 = 0.01817; a_7 = -0.2168; a_9 = -0.0002511; a_{10} = 0.09155; a_{11} = 2.568; a_{13} = 1; a_{17} = -0.8153$	$a_1 = -1.633; a_2 = 23.6627; a_3 = 3.24; a_4 = -132; a_{12} = 0.0014; a_{13} = 1; a_{17} = 0.07274.$
	$y_2$	принимает постоянное значение на всем диапазоне Q и равен 25	принимает постоянное значение на всем диапазоне Q и равен 30
24	R	$a_1 = 1; a_3 = -0.2497; a_4 = 23.18; a_6 = 0.06199; a_8 = 70.077; a_9 = 0.01427; a_{10} = 0.02; a_{17} = -1.028.$	$a_1 = 0.0014; a_3 = -0.1159; a_6 = 0.116; a_9 = -0.00083; a_{10} = 0.16; a_{11} = 1.99; a_{14} = 0.0028; a_{15} = -1; a_{17} = 0.0109.$
	$y_2$	принимает постоянное значение на всем диапазоне Q и равен 20	$a_1 = 0.15; a_3 = -0.1159; a_6 = 0.116; a_9 = -0.0887; a_{10} = 0.16; a_{11} = 1.99; a_{14} = 0.000018; a_{15} = -1; a_{17} = 34.016.$

С помощью представленных уравнений можно вычислить значения крутизны экспоненты и половинного значения ширины апертуры антенны, задав необходимую ширину диаграммы направленности не только для исследованных частот, но и для остальных частот этого диапазона. При проведении вычислений использованы весовые коэффициенты, которые дают возможность учитывать влияние соседних частот на искомую.

В качестве примера рассмотрим случай, когда необходимо узнать значения  $R$  и  $y_2$  с заданной  $Q$  на частоте 10 ГГц в плоскости  $\theta=90^\circ$ . Нам известны уравнения для частот 8 и 14 ГГц между которыми находится необходимая частота. Так как частота 10 ГГц расположена ближе к 8 ГГц, весовой коэффициент будет больше, чем для 14 ГГц. После определения весовых коэффициентов необходимо найти значения  $R$  и  $y_2$  для искомой частоты по следующим формулам:

$$k_1 = 1/(F_2 - F_1) * (F_2 - F_x);$$

$$k_2 = 1/(F_2 - F_1) * (F_x - F_1);$$

$$R_{F_x} = k_1 R_{F_1} + k_2 R_{F_2};$$

$$y_{2F_x} = k_1 y_{2F_1} + k_2 y_{2F_2};$$

где  $k_1, k_2$  – весовые коэффициенты верхней и нижней частоты, соответ-

ственно;  $F_1, F_2$  – верхняя и нижняя частоты, между которыми находится искомая частота;  $F_x$  – искомая частота;  $R_{F_1}, R_{F_2}$  – уравнения зависимости крутизны экспоненты лепестков антенны от ширины диаграммы направленности для верхней и нижней частот, соответственно;  $y_{2F_1}, y_{2F_2}$  – уравнения зависимости половинного значения ширины апертуры антенны от ширины диаграммы направленности для верхней и нижней частот, соответственно;  $R_{F_x}$  – крутизна экспоненты антенны;  $y_{2F_x}$  – половинное значение ширины апертуры.

### Заключение

В результате проведенных исследований получена математическая модель, позволяющая описать антенну Вивальди с зеркальным расположением лепестков для всего диапазона частот. При проверке модели на адекватность средняя относительная погрешность не превышала 3%. Полученная математическая модель позволяет получить значения крутизны экспоненты и половинного значения ширины апертуры антенны для различных частот. В результате можно построить антенну Вивальди с нужной топологией.

### Библиографический список

1. С. Fairclough. Анализ конструкции антенны Вивальди [Электронный ресурс]. 2015. Режим доступа: <https://www.comsol.ru/blogs/vivaldi-antenna-design-analysis/>. Дата обращения 11.04.2018.
2. TSA, или антенна Вивальди [Электронный ресурс]. 2014. Режим доступа: <http://dl2kq.de/ant/3-90.htm>. Дата обращения 13.04.2018.
3. Maaskant R., Analytical and Numerical Modeling of Currents on Vivaldi Antennas for Radio Astronomy, ASTRON Eindhoven University of Technology. – 100 p. 2003.
4. T.G. Aslanov and A.N. Zhukov. Choice of geometry of directional lobes of Vivaldi, depending on the base width of the radiation pattern and a frequency band. 2013. IX International Conference on Antenna Theory and Techniques, Odessa, 2013, pp. 352-354, doi: 10.1109/ICATT.2013.6650775.

### References

1. C. Fairclough. Analiz konstrukcii anteny Vival'di [Elektronnyj resurs]. 2015. Rezhim dostupa: <https://www.comsol.ru/blogs/vivaldi-antenna-design-analysis/>. Data obrashcheniya 11.04.2018.
2. TSA, ili antenna Vival'di [Elektronnyj resurs]. 2014. Rezhim dostupa: <http://dl2kq.de/ant/3-90.htm>. Data obrashcheniya 13.04.2018.
3. Maaskant R., Analytical and Numerical Modeling of Currents on Vivaldi Antennas for Radio Astronomy, ASTRON Eindhoven University of Technology. – 100 p. 2003.
4. T.G. Aslanov and A.N. Zhukov. Choice of geometry of directional lobes of Vivaldi, depending on the base width of the radiation pattern and a frequency band. 2013. IX International Conference on Antenna Theory and Techniques, Odessa, 2013, pp. 352-354, doi: 10.1109/ICATT.2013.6650775.

Статья поступила 25.11.2020 г.  
© Т.Г. Асланов, С.А. Ибрагимов, 2020

---

### Сведения об авторах List of Authors

---

*Асланов Тагирбек Гайдарбекович* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой управления и информатики в технических системах и вычислительной техники Дагестанского государственного технического университета.

*Tagirbek Aslanov* – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering, Daghestan State Technical University.

*Ибрагимов Султансаид Абдулагаджиевич* – аспирант кафедры управления и информатики в технических системах и вычислительной техники Дагестанского государственного технического университета.

*Sultansaid Ibragimov* – postgraduate student of the Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering, Daghestan State Technical University.

# ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

---

---

УДК 641.56

doi: 10.21822/2713-220X-2020-1-4-36-42

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЦЕПТУРЫ КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПИТКА ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Я.П. Сердюкова, И.Г. Казарова

Донской государственный аграрный университет  
Персиановский  
jana.serdyukova@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрена возможность использования растительного сырья в разработке напитка из продукции животного происхождения. Изучены витаминный, минеральный состав, пищевые и энергетические показатели растительных компонентов. Проведены исследования пищевой ценности функционального продукта. При разработке и оптимизации рецептуры молочного напитка важным моментом является качественный состав пищевых ингредиентов, который обеспечивает энергией, микро- и макро-элементами, необходимыми нутриентами физиологические потребности организма с учетом возраста и существующих медико-биологических рекомендаций.

**Abstract.** The possibility of using plant raw materials in the development of a drink from animal products is considered. The vitamin, mineral composition, nutritional and energy parameters of plant components have been studied. Studies of the nutritional value of a functional product have been carried out. When developing and optimizing the formulation of a milk drink, an important point is the qualitative composition of food ingredients, which provides energy, micro- and macro-elements, necessary nutrients, the physiological needs of the body, taking into account age and existing medical and biological recommendations.

**Ключевые слова:** ласси, растительные компоненты, рецептура, витамины, минералы, энергетическая ценность.

**Keywords:** lassi, herbal ingredients, recipe, vitamins, minerals, energy value.

**Введение.** Актуальным направлением в разработке молочной продукции функциональной направленности является применение растительных компонентов. Изучению их свойств и возможности использования для обогащения

пищевых продуктов посвящено множество работ [1, 2].

Целью исследований является разработка кисломолочной продукции функциональной направленности.

### **Экспериментальная часть**

Кисломолочные продукты – полноценный источник белка и кальция, необходимых человеку для полноценной работы сердечно-сосудистой, костной и нервной систем. При этом кальций в таких продуктах содержится в оптимальном соотношении с фосфором, благодаря чему он хорошо усваивается. Кисломолочные продукты усваиваются намного лучше, чем молоко. Если молоко усваивается организмом всего на 32%, то благодаря лакто- и бифидобактериям, которые расщепляют молочный белок, кисломолочные продукты усваиваются более чем на 90% [1-4].

Кисломолочные продукты – идеальный вариант для тех, кто страдает от непереносимости лактозы (молочного сахара), так как молочнокислые бактерии вырабатывают вещества, которые способствуют усвоению молочного сахара и тяжело перевариваемых белков [5, 6]. Молочная кислота способствует увеличению числа полезных бактерий, которые, в свою очередь, защищают стенки кишечника от инфекций. Поэтому кисломолочные продукты рекомендуют для нормализации микрофлоры кишечника при дисбактериозе, запорах и колитах, а также при употреблении антибиотиков.

Кисломолочные продукты нормализуют моторную функцию кишечника, уменьшая образование газов. Употребление кисломолочных продуктов улучшает метаболизм, потому что благода-

ря сквашиванию цельного молока в продуктах остаются витамины В, Е, D, А, соли кальция, магния, фосфора, а также незаменимые аминокислоты. В детском и подростковом возрасте кисломолочные продукты способствуют укреплению скелета.

В 100 г авокадо содержится 3% суточной нормы белка, жиров – 18% и углеводов – 3% [7]. Врачи-диетологи рекомендуют авокадо людям с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта, а также для общего улучшения состояния организма. Манногептулоза, которой больше всего содержится именно в авокадо, положительно влияет на состояние нервной системы, уменьшая чувство усталости и сонливость.

В 100 г лайма содержатся 1% суточной нормы белка и 3% углеводов. Суммарное содержание сахаров – 1,7 г, клетчатки – 2,8 г [8, 9]. Лайм представляет собой фрукт-антиоксидант, в его составе гармонично сочетаются вещества, которые отсрочивают старение на клеточном уровне, понижают уровень «плохого» холестерина, предупреждают атеросклероз.

В 100 г петрушки содержится 4% суточной нормы белка, 1% жиров и 2% углеводов. Петрушка содержит 6,3 г углеводов в 100 г продукта, это примерно 57% всей энергии из порции или 25 ккал [2]. Данное растение содержит огромное количество витаминов, микро- и макроэлементов, которые играют важную роль в построении клеток и поддержании их жизнедеятельности. Польза петрушки для организма неоценима и не ограничивается лишь улучшением обменных процессов в тканях.

В состав молока входят вода, бел-

ки, насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жиры, углеводы в виде дисахаридов и лактозы, витамины и микро- и макроэлементы, в том числе ретинол, тиамин, рибофлавин, кобаламин, витамин D, а также значительное количество кальция, калия, магния и других элементов, в том числе натрия, хлор, фосфор и сера, а также разные соли, среди которых есть цитраты, фосфаты и хлориды [10-14].

Употребление сливок обеспечит организм витаминами B1, B2, A, D, C, E,

PP. Параллельно с ними в организм со сливками поступают и полезные минеральные соли, а также цинк, кальций, хлор, селен, йод, молибден, калий и фосфор [7, 9, 12].

В таблице 1 представлены пищевая ценность и химический состав рассматриваемых продуктов. Витаминный состав вводимых ингредиентов представлен в таблице 2.

Содержание минеральных веществ (макро- и микроэлементов) представлено в таблице 3.

Таблица 1 – Химический состав и пищевая ценность (на 100 г.)

	Авокадо	Лайм	Петрушка
Белки, г	14,66	0,20	0,79
Жиры, г	2,00	0,70	2,97
Углеводы, г	8,53	10,54	6,33
Вода, г	73,23	88,26	87,71
Зола, г	1,58	0,30	2,20
Калорийность, ккал	160	30	36

Таблица 2 – Витаминный состав (на 100 г.) и доля от суточной нормы, % (в скобках)

Витамины	Авокадо	Лайм	Петрушка
	Содержание		
Витамин А	7,0 мкг (0,8)	2,0 мкг (0,2)	421,0 мкг (46,8)
Бета-каротин	62,0 мкг (1,2)	30,0 мкг (0,6)	5054,0 мкг (101,1)
Альфа-каротин	24,0 мкг (0,5)	-	-
Витамин Е	2,1 мг (14,2)	0,2 мг (1,5)	0,8 мг (5,1)
Витамин К	21,0 мкг (17,5)	0,6 мкг (0,5)	1640,0 мкг (1366,7)
Витамин С	10,0 мг (11,1)	29,1 мг (32,3)	133,0 мг (147,8)
Витамин В1	0,1 мг (5,6)	0,0 мг (2,5)	0,1 мг (7,8)
Витамин В2	0,1 мг (10,0)	0,0 мг (1,5)	0,1 мг (7,5)
Витамин В3	1,7 мг (10,9)	0,2 мг (1,3)	1,3 мг (8,2)
Витамин В4	14,2 мг (2,8)	5,1 мг (1,0)	12,8 мг (2,6)
Витамин В5	1,4 мг (27,8)	0,1 мг (4,3)	0,4 мг (8,0)
Витамин В6	0,3 мг (19,8)	0,0 мг (3,3)	0,1 мг (6,9)
Витамин В9	81,0 мкг (20,9)	8,0 мкг (2,0)	152,0 мкг (98,0)

Таблица 3 – Минеральный состав (на 100 г.) и доля от суточной нормы, % (в скобках)

	Авокадо	Лайм	Петрушка
Минералы	Содержание		
Кальций, мг	12,0 (1,2)	33,0 (3,3)	138,0 (13,8)
Железо, мг	0,6 (5,5)	0,6 (6,0)	6,2 (62,0)
Магний, мг	29,0 (7,3)	6,0 (1,5)	50,0 (12,5)
Фосфор, мг	52,0 (7,4)	18,0 (2,6)	58,0 (8,3)
Калий, мг	485,0 (10,3)	102,0 (2,2)	554,0 (11,8)
Натрий, мг	7,0 (0,5)	2,0 (0,2)	56,0 (4,3)
Цинк, мг	0,6 (5,8)	0,1 (1,0)	1,1 (9,7)
Медь, мг	0,2 (21,1)	0,1 (7,2)	0,1 (16,6)
Марганец, мг	0,1 (6,2)	0,0 (0,3)	0,2 (7,0)
Селен, мкг	0,4 (0,7)	0,4 (0,7)	0,1 (0,2)
Фтор, мкг	7,0 (0,2)	-	-

### Результаты

В результате изучения полезных свойств вышеперечисленных компонентов была разработана рецептура напитка функциональной направленности (таблица 4). Технология приготовления Ласси – индийского молочного коктейля: заранее измельченные овощи смешиваем в блендере вместе с молоком, сливками, петрушкой, соком лайма, сахаром, солью и перцем. Перед подачей

добавить в бокал лед, посыпать содержимое тертой цедрой лайма.

Энергетическая ценность на одну порцию составляет 341 ккал (калорийность рассчитана для сырых продуктов). В одной порции напитка содержится 7,3 г белков, 28 г жиров и 16,9 г углеводов. Вариант готовой продукции представлен на рисунке.

Таблица 4 – Разработанная рецептура (6 порций)

Наименование	Масса нетто
Молоко	500 мл
Сливки, 10%	500 мл
Авокадо	300 г
Лайм	100 г
Чеснок	8 г
Петрушка	20 г
Красный лук	50 г
Фруктоза	15 г
Соль	4 г
Перец черный молотый	4 г



Рисунок – Разработанный кисломолочный напиток



### **Заключение**

Анализ данных показывает, что использование авокадо, лайма и петрушки обогащает кисломолочный коктейль витаминами и минералами. Эти обстоятельства указывают на возможность

использования вышеперечисленных компонентов при производстве молочной продукции функциональной направленности, характеризующейся высокой биологической ценностью используемых растительных материалов.

### **Библиографический список**

1. Казарова И.Г., Сердюкова Я.П. Использование сахарозаменителя в производстве продукции функционального питания // Теория и практика современной аграрной науки: сборник III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Том 2. 28 февраля 2020 г. - Новосибирск, 2020. С. 388-390.
2. Казарова И.Г., Сердюкова Я.П. Разработка рецептуры десерта функционального назначения с использованием сахарозаменителя // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство: материалы IV международной научно-технической конференции, 9-10 ноября 2017 г. - Воронеж, 2017. С. 558-560.
3. Широкова, Н.В., Кочуева Я.В., Морозова Э.О., Гавриш А.С. Разработка технологии кисломолочного продукта с гепатопротекторными свойствами // Научные основы создания и реализации современных технологий здоровьесбережения: материалы VI межрегиональной научно-практической конференции. 2019 г. С. 205-208.
4. Широкова Н.В., Афанасьева М.М. Растительное сырье при производстве кисломолочного продукта // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: материалы национальной научно-практической конференции, посвященной д.б.н., профессору Е.П. Ващекину. 22-23 января 2020 г. – С. 157-159.
5. Венецианский А.С., Шкарина Д.А., Панасенко А.В. Современное состояние переработки молочной сыворотки // Проблемы развития рынка товаров и услуг: перспективы и возможности субъектов РФ: сборник VI всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Красноярск, 14-16 мая 2020 г. С. 463-468.
6. Казарова И.Г., Сердюкова Я.П. Перспектива использования растительных компонентов в разработке молочной продукции функциональной направленности // Теория и практика современной аграрной науки; сборник научных трудов. 2020. С. 388-390.
7. Широкова Н.В., Беляевская А.В. Использование сухих растительных экстрактов в разработке технологий кисломолочных продуктов // Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса юга России: материалы национальной научно-практической конференции. 2019. С. 609-613.
8. Беляевская А.В., Широкова Н.В. Технологические аспекты производства обогащенного кисломолочного напитка // Биотехнологии и инновации в агробизнесе: материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 350-355.
9. Скрипин П.В., Кобыляцкий П.С., Широкова Н.В., Беляевская А.В. Аспекты расширения ассортимента функциональной кисломолочной продукции // Инновации в производстве продуктов питания: от селекции до технологии пищевых производств: материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 49-52.
10. Беляевская, А.В., Широкова Н.В. Обоснование дозировки и способа внесения пищевых волокон в функциональный кисломолочный продукт // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам: материалы III международной научно-практической конференции. 2018. С. 120-123.

11. Енальева Л.В., Тупольских Т.И., Агафонова В.В., Нестеренко А.В. Исследование биологической ценности экстракта ирги как биологически активного компонента в производстве ферментированных молочно-сывороточных напитков для геродиетического питания // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы международной научно-практической конференции в рамках 21-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш». 2018. С. 566-568.

12. Курочкина Н.Н., Енальева Л.В. Разработка технологии комбинированного кефирного напитка с комплексом функциональных ингредиентов используемых для биокоррекции различных патологических состояний // Вестник Донского государственного университета». 2012. № 4. С. 93-100.

13. Клименко А.И., Крючкова В.В., Скрипин П.В., Друкер О.В., Контарева В.Ю., Горлов И.Ф., Мосолова Н.И., Белик С.Н. и Мищенко А.А. Способ производства кисломолочного продукта, обогащенного фитоконпонентами и пребиотиком // Патент Российской Федерации № 2681291, заявл. 15.12.2017, опубл. 05.03.2019.

14. Широкова Н.В., Скрипин П.В., Сердюкова Я.П. Биотехнология и оценка качества обогащенного кисломолочного продукта // Научная жизнь. 2019. № 7. С. 1141-1149.

### **References**

1. Kazarova I.G., Serdyukova YA.P. Ispol'zovanie saharozamenitelya v proizvodstve produktsii funktsional'nogo pitaniya // Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoj nauki: sbornik III nacional'noj (vserossijskoj) nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Tom 2. 28 fevralya 2020 g. - Novosibirsk, 2020. S. 388-390.

2. Kazarova I.G., Serdyukova YA.P. Razrabotka receptury deserta funktsional'nogo naznacheniya s ispol'zovaniem saharozamenitelya // Innovacionnye tekhnologii v pishche-voj promyshlennosti: nauka, obrazovanie i proizvodstvo: materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, 9-10 noyabrya 2017 g. - Voronezh, 2017. S. 558-560.

3. SHirokova, N.V., Kochueva YA.V., Morozova E.O., Gavrish A.S. Razrabotka tekhnologii kislomolochnogo produkta s gepatoprotekturnymi svojstvami // Nauchnye osnovy so-zdaniya i realizacii sovremennyh tekhnologij zdorov'esberezheniya: materialy VI mezh-regional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2019 g. S. 205-208.

4. SHirokova N.V., Afanas'eva M.M. Rastitel'noe syr'e pri proizvodstve kislomolochnogo produkta // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva: materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj d.b.n., professoru E.P. Vashchekinu. 22-23 yanvarya 2020 g. – S. 157-159.

5. Venecianskij A.S., SHkarina D.A., Panasenko A.V. Sovremennoe sostoyanie pererabotki molochnoj syvorotki // Problemy razvitiya rynka tovarov i uslug: perspektivy i vozmozhnosti sub"ektov RF: sbornik VI vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Krasnoyarsk, 14-16 maya 2020 g. S. 463-468.

6. Kazarova I.G., Serdyukova YA.P. Perspektiva ispol'zovaniya rastitel'nyh komponentov v razrabotke molochnoj produktsii funktsional'noj napravlenosti // Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoj nauki; sbornik nauchnyh trudov. 2020. S. 388-390.

7. SHirokova N.V., Belyaevskaya A.V. Ispol'zovanie suhih rastitel'nyh ekstraktov v razrabotke tekhnologij kislomolochnyh produktov // Prioritetnye napravleniya nauchno-

tehnologicheskogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa yuga Rossii: materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2019. S. 609-613.

8. Belyaevskaya A.V., SHirokova N.V. Tekhnologicheskie aspekty proizvodstva obogashchennogo kislomolochnogo napitka // Biotekhnologii i innovacii v agrobiznese: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2018. S. 350-355.

9. Skripin P.V., Kobylyackij P.S., SHirokova N.V., Belyaevskaya A.V. Aspekty rasshireniya assortimenta funkcional'noj kislomolochnoj produkcii // Innovacii v proizvodstve produktov pitaniya: ot selekcii do tekhnologii pishchevyh proizvodstv: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2018. S. 49-52.

10. Belyaevskaya, A.V., SHirokova N.V. Obosnovanie dozirovki i sposoba vneseniya pishchevyh volokon v funkcional'nyj kislomolochnyj produkt // Molodye issledovateli agropromyshlennogo i lesnogo kompleksov – regionam: materialy III mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2018. S. 120-123.

11. Enal'eva L.V., Tupol'skih T.I., Agafonova V.V., Nesterenko A.V. Issledovanie biologicheskoy cennosti ekstrakta irgi kak biologicheskii aktivnogo komponenta v proizvodstve fermentirovannyh molochno-syvorotochnykh napitkov dlya gerodieticheskogo pitaniya // Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii v ramkah 21-j mezhdunarodnoj agropromyshlennoj vystavki «Interagromash». 2018. S. 566-568.

12. Kurochkina N.N., Enal'eva L.V. Razrabotka tekhnologii kombinirovannogo kefirnogo napitka s kompleksom funkcional'nykh ingredientov ispol'zuemykh dlya biokorrekcii razlichnykh patologicheskikh sostoyanij // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo universiteta». 2012. № 4. S. 93-100.

13. Klimenko A.I., Kryuchkova V.V., Skripin P.V., Druker O.V., Kontareva V.YU., Gorlov I.F., Mosolova N.I., Belik S.N. i Mishchenko A.A. Sposob proizvodstva kislomolochnogo produkta, obogashchennogo fitokomponentami i prebiotikom // Patent Rossijskoj Federacii № 2681291, zayavl. 15.12.2017, opubl. 05.03.2019.

14. SHirokova N.V., Skripin P.V., Serdyukova YA.P. Biotekhnologiya i ocenka kachestva obogashchennogo kislomolochnogo produkta // Nauchnaya zhizn'. 2019. № 7. S. 1141-1149.

*Статья поступила 03.10.2020 г.  
© Я.П. Сердюкова, И.Г. Казарова, 2020*

---

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

---

*Сердюкова Яна Пламеновна* – кандидат биологических наук, доцент кафедры пищевых технологий Донского государственного аграрного университета.

*Yana Serdyukova* – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technologies, Don State Agrarian University.

*Казарова Изабелла Гайковна* – магистрант биотехнологического факультета Донского государственного аграрного университета.

*Isabella Kazarova* – Master's student of the biotechnological faculty of the Don State Agrarian University.

## КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ ОЗИМОЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТИ И УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ

*В.В. Курмаз, С.Н. Гунько*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
Киев  
cgunko@gmail.com*

**Аннотация.** *Приведены результаты исследований влияния сортовых особенностей, условий и продолжительности хранения зерна озимой пшеницы на изменение ее технологических свойств. Установлено, что решающим фактором, который влияет на изменения технологических свойств, является исходное качество зерна и только потом сортовые особенности и режимы хранения.*

**Abstract.** *The results of studies of the influence of varietal characteristics, conditions and duration of storage of winter wheat grain on changes in its technological properties are presented. It has been established that the decisive factor that affects the changes in technological properties is the initial grain quality and only then the varietal characteristics and storage regime.*

**Ключевые слова:** *пшеница озимая, условия хранения, срок хранения, технологические свойства зерна пшеницы, качество хлеба.*

**Keywords:** *winter wheat, storage conditions, shelf life, technological properties of wheat grain, bread quality.*

### **Введение**

В зерновом балансе Украины ведущее место принадлежит пшенице озимой [1]. Лишь небольшая часть пшеницы от производителя поступает к индивидуальному потребителю. Большую ее часть сначала сохраняют или перерабатывают [2, 3, 4]. Можно повысить урожайность и увеличить валовые сборы зерна, но не получить должного эффекта, если на разных этапах продви-

жения продукта к потребителю произойдут большие ее потери [5].

Международная организация продовольствия рассматривает уменьшение потерь пшеницы в качестве и количестве при хранении как один из важнейших путей сокращения дефицита продовольствия в мире [5].

Цель исследований – установление влияния сортовых особенностей, условий и продолжительности хранения зерна на технологические показатели.

### **Материалы и методика исследований**

Для исследований использовали зерно пшеницы озимой сортов Мионовская 65 и Полесская 90. Зерно пшеницы хранили при двух режимах: в охлажденном (5 – 10 °С) и сухом состоянии (контроль). Объектом исследований было качество зерна пшеницы в процессе длительного хранения при различных режимах хранения.

В опытных образцах зерна пшеницы определяли влажность, натуру, стекловидность, количество и качество клейковины и число падения.

### **Результаты исследований**

Сохранность зерновой массы, как объекта хранения зависит от различных

факторов. Наиболее важной является влажность, влияющая на состояние и стойкость. Она имеет большое технологическое значение, не зависит от сорта и является общим для определенной группы культур. Научно доказано, что зерновые массы можно хранить длительное время с минимальными потерями, если они находятся в сухом состоянии, то есть не имеют свободной влаги. Зерно было заложено на хранение с влажностью 13,0-14,2 %. В процессе хранения влажность зерна менялась, однако эти изменения не превышали ее критические значения. Меньшие колебания показателя влажности наблюдались при хранении в охлажденном состоянии.

*Таблица 1 – Влажность зерна разных сортов пшеницы озимой в зависимости от режимов и продолжительности хранения, %*

Режим хранения	До хранения	Срок хранения, месяцев				
		1	3	6	9	12
<b>Полесская 90</b>						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	13,0	12,4	13,0	13,5	14,5	14,0
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		13,7	13,6	13,3	13,0	13,1
<b>Мионовская 65</b>						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	14,2	13,8	14,0	14,2	14,5	14,2
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		13,5	13,4	13,3	13,4	13,2

При хранении в условиях обычного зернохранилища происходили большие колебания влажности, что объясняется перепадами температур и колебаниям

относительной влажности воздуха в нерегулируемых условиях хранения.

Показатель влажности влияет на процессы, происходящие в зерне, и на

изменения других показателей качества. Натура зерна является одним из таких. Многочисленными исследованиями установлено, что существует обратная зависимость между показателем натуры и влажностью зерна. То есть, чем больше воды и примесей имеется в образце зерна, тем меньше его натурная масса.

Зерно, которое имеет высокий показатель натуры, содержит больше эндосперма и меньше оболочек. Выход муки, при других одинаковых условиях,

будет больше с зерна, которое имеет высокую натуру. Натура является одной из важных физических показателей зерна пшеницы, характеризующий его качество. В зависимости от влажности в процессе хранения отмечались изменения в натуре зерна, представленные в таблице 2. Большие значения натуры и меньшие колебания ее значений получили при хранении в охлажденном состоянии, так как при таком режиме влажность зерна ниже и она более стабильна при хранении.

Таблица 2 – Натура зерна различных сортов озимой пшеницы в зависимости от условий и продолжительности хранения, г/л

Режим хранения	До хранения	Срок хранения, месяцев				
		1	3	6	9	12
Полесская 90						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	751	754	752	750	745	748
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		748	749	750	748	749
Мироновская 65						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	768	772	766	764	760	762
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		774	775	775	776	780

Стекловидность – это один из показателей, характеризующих мельничные свойства зерна пшеницы. В настоящее время исследователями достаточно хорошо изучена разница между стекловидным и мучнистым зерном. Крахмал, который заполняет клетки, плотно и прочно связан промежуточным азотсодержащим веществом. В мучнистых, среди крахмальных зерен, промежуточное вещество не такое плотное, а в не-

которых местах и вовсе отсутствует. Результатом этого является то, что остаются небольшие участки, которые заполнены воздухом. Эти особенности строения влияют на цвет зерновки. Чем более интенсивный красный цвет, тем больше содержится в зерне белка и тем больше стекловидность зерна. Однако исследования зерна сортов новой селекции показали, что не существует

четкой корреляции между этими показателями.

Результаты исследований по изменению стекловидности исследуемых

сортов пшеницы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Стекловидность зерна различных сортов озимой пшеницы в зависимости от условий и продолжительности хранения, %

Режим хранения	До хранения	Срок хранения, месяцев				
		1	3	6	9	12
Полесская 90						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	20	20	22	24	22	22
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		20	20	25	24	24
Мироновская 65						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	38	34	34	35	36	36
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		38	36	36	34	36

Как свидетельствуют полученные результаты (таблица 3) стекловидность опытных образцов пшеницы озимой была достаточно низкой: от 20 до 38 %. В течение года хранения значительных изменений в количестве стекловидных зерен не было зафиксировано. Отмечалось незначительное повышение стекловидности зерна в начале хранения, когда проходит послеуборочное созревание, но не по обоим сортам. Рост показателя обусловлен прохождением биохимических процессов, образования более сложных веществ (белков, жиров). В целом можно отметить, что ни режим, ни продолжительность хранения на изменение показателя стекловидности не влияли.

Автолитическая активность зерна пшеницы зависит от активности его ферментов  $\alpha$  и  $\beta$  – амилазы и состояния

крахмала в зерновке. Размер крахмальных зерен влияет на их состав, скорость набухания, молекулярную массу, вязкость, чувствительность к действию ферментов и, как результат, играет важную роль в формировании качества зерна и продуктов его переработки. В муке нормального качества автолитическая активность низкая и не оказывает негативного влияния на качество хлеба.

Если зерно собирают в дождь, то это может стать причиной его прорастания. В нем возрастает активность ферментов, особенно  $\alpha$ -амилазы. Крахмал превращается в декстрины, а затем в сахара. Это ухудшает хлебопекарные свойства муки. Хлеб из неё липкий, с пустотами в мякоти и имеет темноокрашенную корочку.

В результате исследований было установлено, что число падения, кото-

рое характеризует амилолитическую активность зерна пшеницы, в различных сортах неодинаковая (таблица 4).

Таблица 4 – Число падения зерна разных сортов озимой пшеницы в зависимости от условий и продолжительности хранения, с

Режим хранения	До хранения	Срок хранения, месяцев				
		1	3	6	9	12
Полесская 90						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	320	311	313	302	314	317
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		311	311	310	310	308
Мироновская 65						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	259	277	281	286	281	291
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		262	260	269	264	269

Число падения в обоих опытных образцах зерна озимой пшеницы имело достаточно высокие значения: 259 - 320 с. Из-за этого зерно пшеницы имело достаточно низкие хлебопекарные свойства. Необходимо отметить, что число падения при хранении в сухом состоянии (контроль) было выше, чем при хранении в охлажденном состоянии. Кроме того, этот показатель при хранении в охлажденном состоянии более стабилен.

Количество и качество клейковины зависят от сорта и условий выращивания. Динамика изменений этих показателей в зависимости от режимов и продолжительности хранения представлена в таблицах 5 и 6.

Н.С. Беркутова и И.А. Шведова утверждают, что в процессе послеубо-

рочного созревания, как в первые 30 дней после сбора, так и в последующие сроки (2-3 месяца), количество клейковины существенно не меняется [6]. Наши исследования подтверждают эти выводы. За это время увеличение количества клейковины составило максимум 1,1 %. Качество сырой клейковины улучшилась, она стала более упругой. В процессе хранения клейковина укреплялась в нерегулируемых условиях до 6 месяцев, а при дальнейшем хранении ослабевала на 2,0 ед. ИДК (измеритель деформации клейковины), по сравнению с предыдущим сроком хранения, тогда как в регулируемых условиях она укреплялась до 12 месяцев (таблица 6).



Таблица 5 – Количество клейковины зерна разных сортов озимой пшеницы в зависимости от условий и продолжительности хранения, %

Режим хранения	До хранения	Срок хранения, месяцев				
		1	3	6	9	12
Полесская 90						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	29,8	30,0	30,9	31,5	30,9	30,6
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		30,2	30,4	31,2	30,8	30,3
Мироновская 65						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	21,6	21,6	21,7	21,6	21,2	21,4
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		21,2	21,4	21,2	21,1	21,6

Таблица 6 – Качество клейковины зерна разных сортов озимой пшеницы в зависимости от условий и продолжительности хранения, ед. ИДК

Режим хранения	До хранения	Срок хранения, месяцев				
		1	3	6	9	12
Полесская 90						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	105	97	97	94	96	96
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		100	98	95	94	94
Мироновская 65						
1. Нерегулируемый температурный режим (контроль)	100	98	96	94	96	96
2. Регулируемый температурный режим (5-10 °С)		100	98	98	96	94

### Выводы

1. Основные качественные показатели зерна озимой пшеницы в первые месяцы его хранения в сухом состоянии (контроль) интенсивно улучшаются по сравнению с хранением его в охлажденном состоянии.

2. Хранить зерно пшеницы озимой с влажностью в пределах критической и с

хорошими исходными качественными показателями целесообразно в сухом состоянии не более 9 месяцев. При более длительном сроке хранения такое зерно нужно хранить в охлажденном состоянии, так как качественные показатели становятся более стабильными и подвергаются меньшим изменениям.

### **Библиографический список**

1. Жемела Г.П., Шевельов В.І., Олексюк О.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. - Полтава: РВВ TERRA, 2003. - 420 с.
2. Іваненко Ф.В., Сінченко В.М. Технологія зберігання та переробки сільськогосподарської продукції: навч. метод. посібник для самостійного вивчення дисципліни. - Київ: КНЕУ, 2005. - 221 с.
3. Рибалко О.І. Якість пшениці врожаю – 2008 // Хранение и переработка зерна. 2008. № 8. С. 33.
4. Вобликов Е.М., Буханцов В.А., Маратов Б.К. Послеуборочная обработка и хранение зерна. - Ростов на Дону: МарТ, 2001. - 240 с.
5. Подпратов Г.І., Скалецька Л.Ф., Сеньков А.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. - Київ: Центр інформаційних технологій, 2010. - 495 с.
6. Грюнвальд Н.В. Проблемы качества зерна, возникшие в процессе его длительного хранения // Хранение и переработка зерна. 2006. № 5. С. 31–33.

### **References**

1. Zhemela G.P., Shevel'ov V.I., Oleksyuk O.M. Tekhnologiya zberigannya i pererobki produkczii roslinnictva. - Poltava: RVV TERRA, 2003. - 420 s.
2. Ivanenko F.V., Sinchenko V.M. Tekhnologiya zberigannya ta pererobki sil's`kogospodars`koї produkczii: navch. metod. posibnik dlya samostijnogo vivchennya disciplini. - Kiev: KNEU, 2005. - 221 s.
3. Ribalko O.I. Yakist` psheniczi vrozhayu – 2008 // Xranenie i pererabotka zerna. 2008. № 8. S. 33.
4. Voblikov E.M., Buxanczov V.A., Maratov B.K. Posleuborochnaya obrabotka i xranenie zerna. - Rostov na Donu: MarT, 2001. - 240 s.
5. Podpreatov G.I., Skalez`ka L.F., Sen`kov A.M. Tekhnologiya zberigannya i pererobki produkczii roslinnictva. - Kiev: Centr informacziijnix texnologij, 2010. - 495 s.
6. Gryunval`d N.V. Problemy` kachestva zerna, voznikshie v processe ego dlitel`nogo xraneniya // Xranenie i pererabotka zerna. 2006. № 5. S. 31–33.

*Статья поступила 17.11.2020 г.  
© В.В. Курмаз, С.Н. Гунько, 2020*

---

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

---

*Курмаз Владислав Викторович* – магистрант агробиологического факультета Национального университета биоресурсов и природопользования Украины.

*Vladislav Kurmaz* – Undergraduate of Agrobiological Faculty, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine.

*Гунько Сергей Николаевич* – кандидат технических наук, доцент Национального университета биоресурсов и природопользования Украины.

*Sergei Gunko* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine.

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПЛАНОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТА СЕТИ ТРИЛАТЕРАЦИИ

Г.А. Фролов, М.Г. Мустафин

Санкт-Петербургский горный университет  
Санкт-Петербург  
frgleb@gmail.com

**Аннотация.** Предлагается использовать вычислительные ресурсы программ общего назначения Microsoft Excel и Visual Basic for Applications для решения геодезических задач. Представлены результаты автоматизации процесса оценки плановой точности положения геодезических пунктов сети трилатерации. Определены зависимости значений среднеквадратических отклонений планового положения пунктов от количества исходных пунктов и схемы сетей.

**Abstract.** It is proposed to use the computing resources of general-purpose programs Microsoft Excel and Visual Basic for Applications for solving geodetic problems. The results of automation of the process of assessing the planned accuracy of the position of geodetic points of the trilateration network are presented. The dependences of the values of the standard deviations of the planned position of the points on the number of starting points and the network diagram are determined.

**Ключевые слова:** трилатерация, геодезическая сеть, уравнивание, оценка точности, схема геодезической сети, моделирование.

**Key words:** trilateration, geodetic network, adjustment, accuracy estimation, geodetic network diagram, modeling.

### Введение

Вследствие преимущественного использования в геодезии геопространственных данных, отличающихся сложной и динамической структурой, наиболее эффективным вариантом решения задач, связанных с такого рода инфор-

мацией, является математическое моделирование координатно-привязанных данных. Этот подход позволяет эффективно обобщить и выявить внутренние закономерности пространственных систем [1].

Специфичность передачи геодезической информации принуждает применять определенные математические методы для ее обработки. В попытках создания математических моделей, способных отразить эту специфичность, важно вложить в нее основные свойства моделируемого объекта.

Автоматизации можно подвергнуть только те виды работ, которые описаны в полной степени, детально изучены, в которых однозначно известно, какой процесс следует за каким, известны исходы при любых обстоятельствах. В современных условиях геодезические сети создаются преимущественно методами спутниковой геодезии, но помимо них существуют методы триангуляции, трилатерации, полигонометрии и геодезические засечки. В рамках данной работы рассматривается метод трилатерации. Для целей автоматизации алгоритма вычисления плановой точности положения пунктов сетей трилатерации было решено создать программный комплекс, который бы основывался на принципе вычисления погрешностей углов треугольников через учет погрешностей измерений длин их сторон [2].

При сгущении геодезических сетей с целью построения опорных точек вблизи района работ часто выполняют построения, представляющие собой ряды треугольников триангуляции или трилатерации с базисом и азимутом (дирекционным углом) одной стороны, либо с базисными сторонами и азимутом на концах, а также системы полигонометрических ходов, чаще имеющих вытянутую форму. То есть сгущение государственных геодезических сетей высоких классов выполняется теми же методами, которые используются и при

построении самих исходных сетей. При этом выполнение указанных работ требует оценки точности построения тех или иных сетей с учетом метода их построения [3, 4, 5].

Использование метода трилатерации при сгущении геодезических и маркшейдерских сетей в настоящее время стало возможным благодаря появлению на рынке геодезических приборов точных и высокоточных светодальномеров, а также электронных тахеометров. При использовании светодальномеров измеряют только длины сторон сетей, а при использовании электронных тахеометров реализуется как измерение длин сторон, так и измерение углов. Такие сети относятся к линейно-угловым сетям.

### ***Теоретические исследования***

Первым этапом решения поставленной задачи является вычисление координат определяемых пунктов через координаты исходных пунктов и расстояния до них. Составленная процедура в дальнейшем применяется для автоматического определения координат всех пунктов с неизвестными координатами. (рисунок 1)

При наличии в сети трилатерации 4-х пунктов с неизвестными координатами, 3-х пунктов с известными координатами и 11-ю измеренными расстояниями, возникает задача уравнивания, так как нахождение координат искомых пунктов, а, следовательно, и оценка точности их положения может быть выполнена с использованием различных измерений (расстояний). Для данной конфигурации сети минимальным необходимым количеством измерений будет 8 расстояний, так как у каждого из иско-

мых пунктов определяются по 2 координаты. Из этого следует, что в данной сети имеется 3 избыточных измерения, которые необходимо учесть, чтобы получить однозначные значения искомым параметров. Для решения задачи опре-

деления плановой точности положения пункта геодезической сети трилатерации был использован строгий способ уравнивания – параметрический, выполняемый по методу наименьших квадратов.

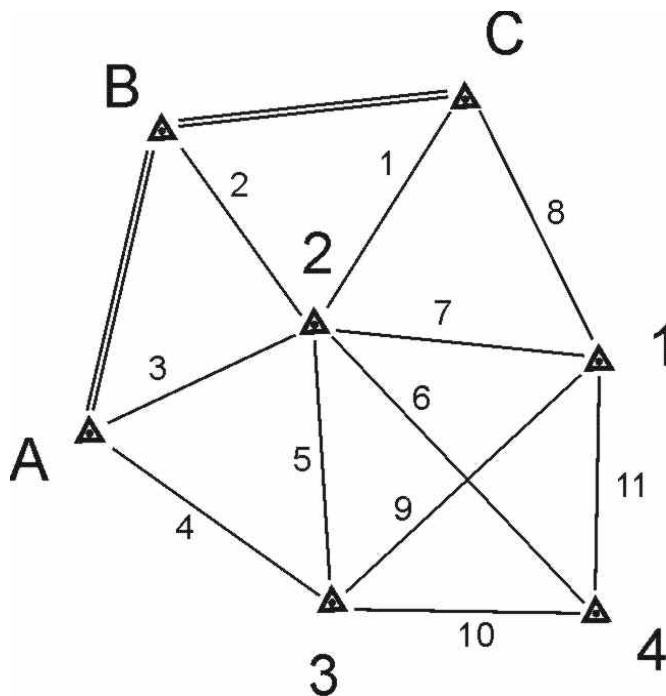


Рисунок 1 – Схема сети трилатерации

Для составления матрицы коэффициентов параметрических уравнений поправок  $A$  устанавливается зависимость между поправками в значения измеренных длин и поправками в предварительные значения координат определяемых пунктов. Вводятся обозначения:  $S'_{ij}$  – измеренная длина;  $S_{ij}$  – уравненное значение длины;  $S^0_{ij}$  – длина, полученная по значениям предварительных координат.

Следовательно:

$$S_{ij} = S^0_{ij} + \delta S_{ij}; S_{ij} = S'_{ij} + v_{s,ij}$$

где  $\delta S_{ij}$  – поправка в предварительное значение длины;  $v_{s,ij}$  – поправка в измеренное значение.

$$\delta S_{ij} + (S^0_{ij} - S'_{ij}) = v_{s,ij}$$

Выражение в скобках далее обозначено как  $l_{s,ij}$ . Следовательно, полный дифференциал функции:

$$S_{ij}^2 = (X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$$

$$2S_{ij}\delta S_{ij} = 2\Delta x(\delta x_j - \delta x_i) + 2\Delta y(\delta y_j - \delta y_i)$$

Отсюда

$$\delta S_{ij} = -\frac{\Delta x}{S_{ij}}\delta x_i - \frac{\Delta y}{S_{ij}}\delta y_i + \frac{\Delta x}{S_{ij}}\delta x_j + \frac{\Delta y}{S_{ij}}\delta y_j$$

$$a_{s,ij} = -\frac{\Delta x}{S_{ij}} = -\cos \alpha_{ij}$$

$$b_{s,ij} = -\frac{\Delta y}{S_{ij}} = -\sin \alpha_{ij}$$

Параметрическое уравнение для измеренного между пунктами  $i$  и  $j$  расстояния примет вид:

$$a_{s,ij}\delta x_i + b_{s,ij}\delta y_i - a_{s,ij}\delta x_j - b_{s,ij}\delta y_j + l_{s,ij} = v_{s,ij}$$

Подпрограмма, предназначенная для вычисления коэффициентов уравнений поправок, решала обратные геодезические задачи по разностям координат пунктов в стороне, после чего была составлена матрица  $A$ , в которой:

$$Ax_i = -\cos \alpha_{ij}$$

$$Ay_i = -\sin \alpha_{ij}$$

$$Ax_j = \cos \alpha_{ij}$$

$$Ay_j = \sin \alpha_{ij}$$

где  $i, j$  – номера пунктов;  $\alpha_{ij}$  – дирекционный угол стороны.

Ковариационная матрица ошибок измерений  $K$  была составлена исходя из новки равноточности измерений:

$$K_{i,i} = \delta_S^2$$

где  $\delta$  – среднеквадратическое отклонение расстояний.

Весовая матрица, матрица коэффициентов нормальных уравнений, матрица координат определяемых пунктов [6]:

$$P = \delta^2 K^{-1}$$

$$N = A^T P A$$

$$K_X = \delta^2 N^{-1}$$

Средние квадратические ошибки определения координат пункта  $M_x$  и  $M_y$  были определены по соответствующим значениям матрицы  $K$ .



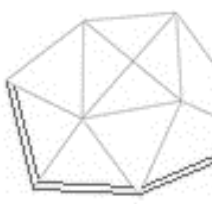
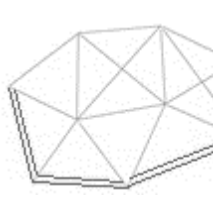
$$M_x = \sqrt{K_{x_{2n-1,2n-1}}}$$

$$M_y = \sqrt{K_{y_{2n,2n}}}$$

где  $n$  – номер пункта.

В таблице 1 представлены варианты конфигурации сети, рассмотренной в данной работе.

Таблица 1 – Конфигурации сетей трилатерации

Кол-во исх. пунктов	2	3	4	5
Схема сети трилатерации				

При помощи созданного на языке программирования Visual Basic for Application программного комплекса [7, 8], были определены среднеквадратические погрешности (СКП) планового положения пунктов при изменяющемся количестве исходных пунктов (от 2 до 5).

СКП планового положения пункта рассчитаны по формуле:

$$M_{xy} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

Результаты в мм приведены в таблице 2. Величины СКП, в зависимости от количества использованных исходных пунктов в сети показаны на графике (рисунок 2).

Таблица 2 – СКП планового положения пункта

Количество исходных пунктов	2	3	4	5
Наименование пункта				
Пункт 1	23,35	15,67	10,88	9,57
Пункт 2	12,94	10,21	9,79	9,54
Пункт 3	20,44	15,65	12,55	12,12
Пункт 4	28,25	20,02	12,60	10,82

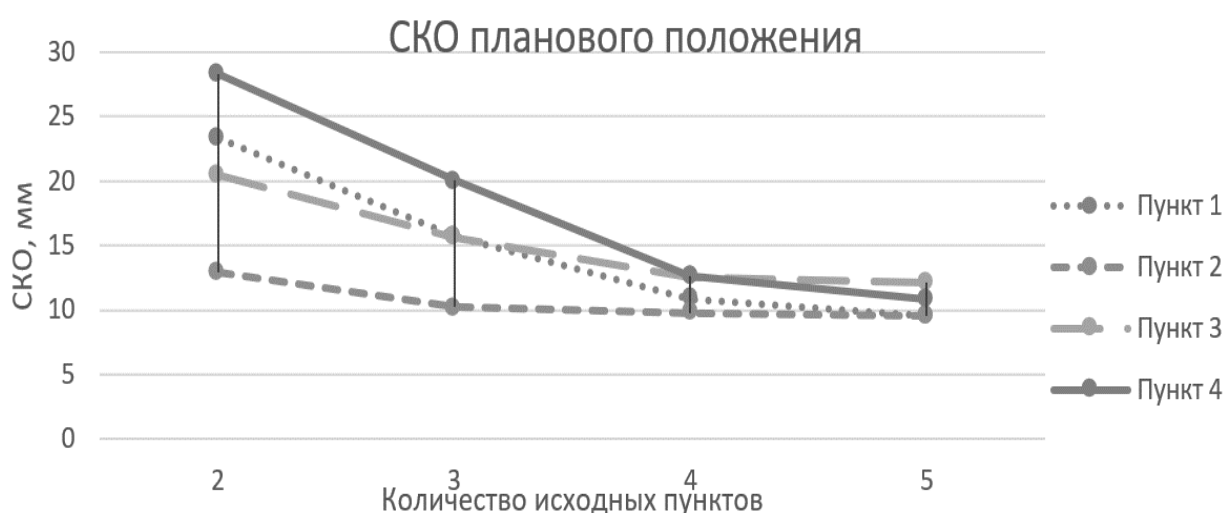


Рисунок 2 – Графики СКП планового положения

### Заключение

Автоматизация процессов расчета разнообразных задач является крайне

актуальной проблемой, особенно, для вопросов геодезии. Решение рассмотренной задачи без автоматизации за-

нимает значительное количество времени за счет большого объема расчетов. Автоматизация дает возможность минимизировать количество грубых ошибок, вносимых при расчете, что существенно ускоряет процесс обработки полученных данных.

Исследование показало, что среднеквадратическая погрешность планового положения пункта в сети трилатерации уменьшается с увеличением количества задействованных в ней исход-

ных пунктов. Результатом исследования стал алгоритм автоматического определения точности планового положения пункта сети трилатерации, выполненный с использованием инструментальных средств пакетов Visual Basic for Application и Microsoft Excel. Программы позволили получить зависимости значений среднеквадратической погрешности планового положения пунктов от количества исходных пунктов в сети и схемы сетей.

### **Библиографический список**

1. Коробочкин М.И. Математическое моделирование в геодезии. – М.: ГУЗ, 2011. – 316 с.
2. Большаков В. Д., Маркузе Ю. И., Голубев В. В. Уравнивание геодезических построений: справочное пособие. - М.: Недра, 1989. - 413 с.
3. Скворцов А.В., Костюк Ю.Л. Эффективные алгоритмы построения триангуляции Делоне // Геоинформатика. Теория и практика. Вып. 1. - Томск: Изд-во ТГУ, 1998. С. 22–47.
4. Юнес Жад Ахмад. Обоснование технологии создания спутниковой геодезической сети для условий низких широт: дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук: 25.00.32. – СПб., 2018. -149 с.
5. Мустафин М.Г., Чан Т.Ш. Использование топоцентрической прямоугольной системы координат при решении инженерно-геодезических задач // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2018. Т. 23. № 3. С. 61-73.
6. Гудков В. М., Хлебников А. В. Математическая обработка маркшейдерско-геодезических измерений. – М.: Недра, 1990. - 335 с.
7. Кудрявцев Н.Г., Кудин Д.В., Беликова М.Ю. Программирование на VBA MS Excel. - Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2015. -116 с.
8. Паппас К., Мюррей У. Программирование на С и С++. – М.: Изд. группа BHV, 2000. - 320 с.

### **References**

1. Korobochkin M.I. Matematicheskoe modelirovanie v geodezii. – М.: GUZ, 2011. -316 s.
2. Bol'shakov V. D., Markuze YU. I., Golubev V. V. Uravnivanie geodezicheskikh postroenij: spravochnoe posobie. - М.: Nedra, 1989. - 413 s.
3. Skvorcov A.V., Kostyuk YU.L. Effektivnyye algoritmy postroeniya triangulyacii Delone // Geoinformatika. Teoriya i praktika. Vyp. 1. - Tomsk: Izd-vo TGU, 1998. S. 22–47.
4. YUnes ZHad Ahmad. Obosnovanie tekhnologii sozdaniya sputnikovoj geodezicheskoy seti dlya uslovij nizkih shirot: diss. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk: 25.00.32. – S-Pb., 2018. -149 s.
5. Mustafin M.G., CHan T.SH. Ispol'zovanie topocentricheskoy pryamougol'noj si-stemy koordinat pri reshenii inzhenerno-geodezicheskikh zadach // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij. 2018. T. 23. № 3. S. 61-73.
6. Gudkov V. M., Hlebnikov A. V. Matematicheskaya obrabotka markshejdersko-



geodezicheskikh izmerenij. – M.: Nedra, 1990. - 335 s.

7. Kudryavcev N.G., Kudin D.V., Belikova M.YU. Programmirovanie na VBA MS Excel. - Gorno-Altajsk: RIO GAGU, 2015. -116 s.

8. Pappas K., Myurrej U. Programmirovanie na S i S++. – M.: Izd. gruppa BHV, 2000. - 320 s.

*Статья поступила 19.06.2020 г.*

*© Г.А. Фролов, М.Г. Мустафин, 2020*

---

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

---

*Фролов Глеб Андреевич* – студент строительного факультета Санкт-Петербургского горного университета

*Gleb Frolov* – Student of the Faculty of Civil Engineering, St. Petersburg Mining University

*Мустафин Мурат Газизович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геодезии Санкт-Петербургского горного университета.

*Murat Mustafin* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Engineering Geodesy, St. Petersburg Mining University.

## КИНЕТИЧЕСКИЙ АРТ-ОБЪЕКТ КАК ПРОИЗВЕДЕНИЕ ИСКУССТВА В СОВРЕМЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ГОРОДА

Н.П. Усанова<sup>1</sup>, В.П. Усанова<sup>2</sup>, Е.Д. Роденюк<sup>1</sup>, В.А. Гейер<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет

<sup>2</sup>Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)

Ростов-на-Дону

nadezhda.pavlovna.14@mail.ru

**Аннотация.** В публикации затрагивается тема взаимодействия между кинетическим произведением искусства и городом. Уникальные малые архитектурные формы и арт-объекты – своего рода визитные карточки как городов, так и стран.

Их главная функция – создание комфортной и благоприятной среды для человека. Данные объекты могут выступать не только в качестве украшения, дополнения к архитектурным, градостроительным комплексам, но и быть отчасти независимой точкой притяжения.

Кинетические арт-объекты – результат переосмысления искусства и времени, в котором мы живем. Использование достижений науки позволяет более полно изложить замысел автора.

**Abstract.** The publication addresses the topic of interaction between a kinetic artwork and a city. Unique small architectural forms and art objects are a kind of visiting cards of both cities and countries.

Their main function is to create a comfortable and supportive environment for humans. These objects can act not only as a decoration, addition to architectural, town-planning complexes, but also be partly an independent point of attraction.

Kinetic art objects are the result of rethinking art and the time in which we live. Using the achievements of science allows you to more fully describe the author's intention.

**Ключевые слова:** кинетический арт-объект, искусство, информационные технологии, город, комфортная городская среда, благоустройство, урбанистика.

**Key words:** kinetic art object, art, information technology, city, comfortable urban environment, landscaping, urbanism.

Создание кинетических арт-объектов, как и иных объектов, целью которых является эстетическое благоустройство территории – актуальное направление в градостроительной дея-

тельности, отвечающее запросам комфортной среды и программе стратегического развития «умный город».

Зачем городу нужны арт-объекты?

В современном территориальном имиджмейкинге действует принцип шотландского урбаниста П. Геддеса «Думай глобально, действуй локально» [1]. Глобальная стандартизация дает широкий спектр возможностей по налаживанию культурных связей в масштабе всего человечества. Однако она имеет и отрицательный эффект: исчезновение уникальности, особых черт, характеристик, визитных карточек, «языка» народов и их городов.

Собственно потому потребность территорий в уникальности, культурном и архитектурном разнообразии с каждым годом становится все более острой.

Чтобы решить данную проблему не обязательно сносить типовую застройку и заново возводить новые жилые и общественные здания, тем более, что на это потребуются немислимые для малых городов средства. На помощь могут прийти иные архитектурные объемы: разные виды малых архитектурных форм, арт-объектов, навесных фасадов. Также стоит уделить внимание и стрит-арту, который имеет выраженный урбанистический характер и способен малыми силами и вложениями преобразить пространство.

Они не просто выполняют функцию «декора», но и становятся новыми точками притяжения людей, что, в свою очередь, способствует решению проблем, связанных с организацией досуга населения. Комфортная и эстетически грамотно сформированная среда привлекает внимание человека к своим локациям.

Уникальные арт-объекты, малые архитектурные формы и инсталляции способствуют созданию туристических

центров, привлечению инвестиционного капитала, освоению мало привлекательных и заброшенных территорий, самовыражению.

Человечество растет и развивается. Технологии не стоят на месте и предлагают нам все больше возможностей для реализации своих идей. Достижения науки и техники стали частью нашей жизни, как в масштабе одного человека, так и всего общества в целом. Многим даже представить сложно свою жизнь без гаджетов, социальных сетей и бытовых приборов, облегчающих жизнь и деятельность человека.

С развитием технологий требования и подходы меняются, меняется и восприятие, и взаимодействие с городской средой. Комфортный город сейчас – умная, технологически совершенная система, соответствующая запросам жителей. Искусство и современное искусство, в особенности, все чаще обращают свой взгляд на научно-технические достижения не только как к идее и образу, но и как инструменту для более полного выражения мысли автора.

Мы живем в век технологий, когда человек способен исследовать моря и океаны, осваивать космос, познакомиться с незримой жизнью бактерий и вирусов, понять работу своего тела, расширить горизонты знания, стать на шаг ближе к загадкам устройства мира. Это находит свой отголосок в социально-экономической, культурно-бытовой и духовной сферах жизни общества.

Что касается искусства, то его связь с научно-техническим прогрессом вполне обоснована. Общество нуждается в новых, понятных только ему, образах. Ведь «каждый культурный период

создает свое собственное искусство, которое не может быть повторено. Стремление вдохнуть жизнь в художественные принципы прошлого может в лучшем случае вызвать художественные произведения, подобные мертворожденному ребенку» [2].

Мы не чувствуем как древние греки, не понимаем их уклад, внутреннюю жизнь. И попытки использовать греческие принципы в искусстве создают лишь формы, похожие на формы прошлого, но без внутреннего содержания они останутся бездушным на все времена. Но при этом, они рисовали не механизм в движении, а саму идею движения и для этого им пришлось деконструировать пространство на динамические фрагменты.

Очевидно, что воплотить эту идею в реальность при помощи традиционной живописи и станковой скульптуры невозможно. Творцы искали новые художественные методы, приемы и средства для отображения современной действительности.

Изменения в области технологий спровоцировали изменения и в мироощущении человеком окружающей его действительности, пространства и своего положения в мире, требовали поиска нового способа художественного выражения.

И если наша века в истории, так или иначе, связана с научно-техническим прогрессом, то почему бы это не использовать в искусстве и смежных с ним направлениях? Одним из вариантов такого взаимодействия является так называемый кинетизм.

Кинетическое искусство зародилось в 20—30-х годах 20 века. Именно в это время художникам удалось преодолеть

традиционную статичность формы и интегрировать её в окружающую среду. Попытки создания динамической пластики отражены в таких направлениях как футуризм, русский конструктивизм, дадаизм и Баухауз.

Кинетические арт-объекты – набирающее популярность направление, наиболее ярко отражающее достижения мыслительной деятельности человечества. Одно дело, когда скульптурная композиция статична, другое, когда приводима в движение по траекториям, задуманным творцом, в результате чего произведения искусства оживают на глазах своих зрителей.

Суть кинетизма заключается в том, что с помощью света и движения можно создать произведение искусства – движущиеся установки, производящие при перемещении интересные сочетания света, тени и формы.

Популярность данного направления обусловлена тем, что «всякое произведение искусства есть дитя своего времени, часто оно и мать наших чувств» [2]. И то, что мы пытаемся воссоздать образы прошлого, следовать его принципам, нормам, правилам – не панацея от духовного и эстетического голода.

Списанные у былых мастеров произведения не будут поняты обществом в том масштабе, в котором были оценены своей эпохой. Арт-объекты без смысла – не арт-объекты. Ведь в данном случае искусство – это невербальный способ познания мира и себя в мире. Голодные души не должны уходить голодными.

В кинетизме основным художественно-практическим средством формирования новых форм выразительности является движение.

«С этой целью художники-«кинетики» используют возможности движения предметных конструкций, различных механизмов, иллюзорных изображений и оптических эффектов, создаваемых как «традиционными» средствами искусства – кинематографа, телевидения, видео, так и на основе новых, нередко ими же самими проектируемыми источниками света и цвета, – неоновыми и лазерными лучами, средствами цветомузыки» [3].

Одно из более синтетичных взаимодействий разного рода методик кинетического формообразования прослеживается в цветомузыке.

Ещё большее распространение в кинетическом искусстве имеют лазеры и лазерные приборы. На основе таких светотехнических идей, как электронная развертка луча и пропускание его сквозь различные оптические среды и осуществляется поиск новых формообразующих свойств.

Появление мощных, многоцветных лазеров и технические установки позволило на их основе воплощать в жизнь самые безумные идеи творцов. Что, в свою очередь, может достигаться посредством создания масштабных цветосветовых композиций, проецируемых на облаках и высотных зданиях.

Также большой интерес вызывает и развитие кинетизма в области управляемых динамических конструкций в проектах по созданию комфортной городской среды.

Наибольший интерес на данном этапе формируется вокруг идей связанных с развитием кинетической формы при создании управляемых динамических световых конструкций, звукового, цветового и температурного климата в

архитектурных проектах подземного, подводного, «космического» строительства. Идея преодоления статичности и инерции материала за счет специфического художественного синтеза формы и движения оказалась необычайно продуктивной и привлекательной во многих аспектах.

Основная тенденция создания широкого спектра многообразных концепций кинетической формы позволяет говорить о «квазикинетическом» направлении в современном искусстве, его многообразии и свободе самовыражения.

Движение конструктивных элементов и всего арт-объекта в целом не только как физико-механическое действие, но и как воплощение идеи художника – оптико-иллюзорного, метафизического сюжета.

Эксперименты и идеи, связанные с кинетическим формообразованием, кинетизмом вообще включены в настоящее время в область собственно художественной деятельности.

Кинетизм сегодня как формодвижение и формотворчество обладает значительным потенциалом генерирования новых технических решений и художественных идей, влияет на другие течения современного искусства, выполняя своего рода общехудожественную функцию.

Как и во многих других направлениях, здесь также стоит вопрос о систематизации как самих концептуально-художественных идей, способов, методов и явлений, так и самого формообразования в целом.

Ведь «подлинное значение может иметь только духовное содержание того, что материально. Если не хватает

содержания, не хватает и самой жизни. Где есть жизнь, там есть и содержание. Бессодержательное безжизненно» [4].

Логично предположить, что и искусству, как и всему на свете, не быть прежним. И, если у нас в руках есть возможность более полно изложить свою мысль в творчестве, то не стоит ей пренебрегать.

Современное искусство уже тесно взаимодействует с информационными технологиями и иными достижениями науки. К одним из наиболее ярких примеров стоит отнести работы американского скульптора Энтони Хоу (рисунки 1 и 2).



Рисунок 2 – Арт-объект Oingo, Энтони Хоу

От фантастических существ, свободно разгуливающих по песчаным пляжам, до капель дождя, застывших в воздухе и приводимых в движение с помощью специального мотора. Разве это не прекрасно? Не только у творцов появились возможности, но и у зрителей. Понять. Оценить. Задуматься.

Мастер начинает свою работу с разработки концепции, после чего продолжает придавать своей идее более реалистичные формы, определяет траекторию движения в САПР - Rhinoceros 3D, затем посредством лазерной и фрезерной резки изготавливает необходимые детали и собирает арт-объект.

Он создает автономные кинетические скульптуры, взаимодействующие с ветром и светом окружающей среды. Эти произведения искусства похожи на научно-фантастическое оборудование, а, порой, и на астрономические или микробиологические объекты. Таковым является и кинетический арт-объект In Cloud III.

Рисунок 1 – Арт-объект In Cloud III, Энтони Хоу



Арт-объекты, инсталляции, малые архитектурные формы выполняют сразу несколько задач: повышают и инвестиционную привлекательность пространств, преобразовывают спальные районы, способствуют реновации заброшенных территорий, увеличивают количество продаж в магазинах

и торговых центрах, стабилизируют туристический поток.

Но не стоит забывать что, «чем более искусство подражает эпохе, тем менее передает ее дух». Технологии – инструмент в руках творца, не самоцель, а способ для выражения мысли.

Создание кинетических арт-объектов, несущих в себе определенные смысловые нагрузки – отличный способ для обеспечения эмоционального и психологического комфорта человека в пространстве города, достигнутого путем избавления среды от однородности.

### **Библиографический список**

1. Геддес П. Развитие городов: пер. с англ.; 2-е изд. – М.: Strelka Press, 2016. – 170 с.
2. Кандинский В.В. О духовном в искусстве. – М.: Эксмо-Пресс, 2016. – 160 с.
3. Липов А.Н. Оптико-кинетическое искусство. Поиски новых типов формообразования. – М.: ИФ РАН, 2006. – 165 с.
4. Райт Ф.Л. Исчезающий город: пер. с англ.; 2-е изд. – М.: Strelka Press, 2018. – 180с.

### **References**

1. Geddes P. Razvitie gorodov: per. s angl.; 2-e izd. – M.: Strelka Press, 2016. – 170 s.
2. Kandinskij V.V. O duhovnom v iskusstve. – M.: Eksmo-Press, 2016. – 160 s.
3. Lipov A.N. Optiko-kineticheskoe iskusstvo. Poiski novyh tipov formoobrazovaniya. – M.: IF RAN, 2006. – 165 s.
4. Rajt F.L. Ischezayushchij gorod: per. s angl.; 2-e izd. – M.: Strelka Press, 2018. – 180s.

*Статья поступила 14.10.2020 г.*

© Н.П. Усанова, В.П. Усанова, Е.Д. Роденюк, В.А. Гейер, 2020

---

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

---

*Усанова Надежда Павловна* – студент Донского государственного технического университета.

*Nadezhda Usanova* – Student, Don State Technical University.

*Усанова Валентина Павловна* – студент Ростовского государственного экономического университета.

*Valentina Usanova* – Student, Rostov State Economic University.

*Роденюк Евгений Дмитриевич* – бакалавр Донского государственного технического университета.

*Evgeny Rodenyuk* – Bachelor, Don State Technical University.

*Гейер Владимир Александрович*, доцент кафедры градостроительства и проектирования зданий Донского государственного технического университета.

*Vladimir Geyer* – Associate Professor of the Department of Urban Planning and Building Design, Don State Technical University.

## РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ РАЗОГРЕВА ЗАГУСТЕВШИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В РЕГИОНАХ С ХОЛОДНЫМ КЛИМАТОМ

*М.И. Кареев, М.А Кищенко, Л.Ю. Топольский, Д.Ю. Усов, В.Г. Немтин*

*Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований  
материально-технического обеспечения ВС РФ)  
Военной академии материально-технического обеспечения  
имени генерала армии А.В. Хрулева  
Москва  
m.kareev@mail.ru*

**Аннотация.** *Операции налива и слива загустевших нефтепродуктов в транспортные емкости вызывают значительные трудности в регионах с холодным климатом. Для решения данных проблем выполняют подогрев нефтепродуктов, обладающих высокой вязкостью. Предложена альтернативная технология индукционного разогрева, реализованная в виде мобильной индукционной установки. Питание электромагнитных индукторов осуществляется за счет отбора мощности дизельного двигателя грузового автомобиля.*

**Abstract.** *The operations of loading and unloading thickened oil products into transport containers cause significant difficulties in regions with a cold climate. To solve these problems, oil products with high viscosity are heated. An alternative induction heating technology is proposed, implemented in the form of a mobile induction unit. The electromagnetic inductors are powered by taking off the power of the truck's diesel engine.*

**Ключевые слова:** *вязкие нефтепродукты, индукционный нагрев, сливно-наливные операции, мобильная установка, регионы с холодным климатом, коробка отбора мощности.*

**Keywords:** *viscous oil products, induction heating, loading and unloading operations, mobile unit, regions with a cold climate, power take-off.*



### **Введение**

Технологические операции налива и слива загустевших нефтепродуктов при их транспортировке создают серьезные сложности и приводят к большим трудозатратам. Большую долю затрат составляют операции, связанные с их предварительным разогревом, ввиду их высокой вязкости [1, 2].

Существующие способы подогрева темных нефтепродуктов имеют множество недостатков, которые приводят к превышению нормативных сроков разгрузки цистерн и неполному сливу из них нефтепродуктов.

### **Описание мобильной индукционной установки**

Учитывая вышеперечисленные недостатки, необходим поиск и развитие альтернативных способов разогрева вязких нефтепродуктов, одним из которых является индукционный нагрев [3, 4].

Для разогрева вязких нефтепродуктов в регионах с холодным климатом предлагается использовать мобильную индукционную установку, которая представляет собой передвижной комплекс индукторов, выступающих в роли электрических проводников с изоляционным материалом. Форма индукторов повторяет форму нагреваемого объекта. Раздвижные индукционные плиты, прижимаемые пневмосистемой к наружной поверхности цистерны, вызывают возникновение вихревых токов, на участках под пластинами, вследствие электромагнитной индукции, которые и обеспечивают нагрев жидкости в цистерне до требуемой температуры.

На рисунке 1 представлен макет мобильной индукционной установки для разогрева загустевших нефтепродуктов в регионах с холодным климатом, а на рисунке 2 представлен процесс разогрева нефтепродуктов в автоцистерне с применением мобильной индукционной установки.



*Рисунок 1 – Макет мобильной индукционной установки*



*Рисунок 2 – Процесс разогрева нефтепродуктов в автоцистерне*

Кроме того, была разработана 3D-модель мобильной индукционной установки для разогрева загустевших нефтепродуктов в регионах с холодным климатом.

Работа данной установки основана на принципе электромагнитной индукции, который заключается в передаче электромагнитной энергии от источника энергии к нагреваемому объекту без контакта между ними. Раздвижные индукторы на телескопическом приводе, по которым протекает переменный ток, возбуждают в корпусе цистерны на участках под пластинами встречный вихревой электрический ток, который является причиной нагрева этих участков [5, 6].

В качестве источника питания электромагнитных индукторов используется коробка отбора мощности. Она предназначена для отбора части крутящего момента двигателя внутреннего сгора-

ния базового автомобиля с целью его преобразования в электроэнергию для последующей передачи электромагнитным индукторам. Таким образом, мобильная установка индукционного нагрева является автономной, так как она работает благодаря энергии дизельного двигателя грузового автомобиля.

Предлагаемая альтернативная технология индукционного нагрева с реализацией на шасси грузового дизельного автомобиля имеет следующие достоинства:

- мобильность установки, смонтированной на шасси грузового автомобиля;
- автономность работы за счет установленной коробки мощности;
- быстрота нагрева за счет высокой концентрации и локализации энергии;
- автоматическое управление процессом нагрева;

- возможность бесконтактной передачи энергии нагреваемому объекту позволяет применять нагрев в пожароопасных и взрывоопасных зонах;

- широкий диапазон размеров нагреваемых резервуаров, емкостей и цистерн;

- экологическая безопасность.

Предлагаемая мобильная индукционная установка является новым высокопроизводительным методом разогрева авто- и железнодорожных цистерн. Она позволяет производить быстрый высокоточный нагрев до заданной температуры, используя автоматическое управление процессом.

### **Заключение**

Таким образом, проведен анализ проблем, возникающих при транспортировке загустевших нефтепродуктов в регионах с низкими температурами. Для решения выявленных трудностей был предложен проект мобильной индукционной установки для разогрева вязких нефтепродуктов в регионах с холодным климатом. Данная установка обладает рядом преимуществ, по сравнению с существующими технологиями, основными из которых являются: мобильность, широкий диапазон размеров нагреваемых резервуаров и экологическая безопасность.

### **Библиографический список**

1. Абузова Ф.Ф., Бронштейн И.С., Новоселов В.Ф. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении. – М.: Недра, 1981. – 248 с.

2. Хасанов М.Р., Мастобаев Б.Н. Подогрев вязких нефтепродуктов при их транспортировке и хранении // История науки и техники 2000: тезисы докл. I всероссийской научно-практической конференции. – Уфа, 2000. С. 70.

3. Кареев М.И., Немтин В.Г., Усов Д.Ю. Применение СВЧ-разогрева при транспортировке загустевших нефтепродуктов в регионах с холодным климатом // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов XI международной научно-практической конференции. (Югра, 23–25 мая 2019 г.) – Томск: Изд. Томского политехнического университета, 2020. С. 135-137.

4. Кареев М.И. Анализ возможности применения СВЧ-технологии для разогрева транспортных емкостей, содержащих высоковязкие нефтепродукты в регионах с холодным климатом // Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых ученых: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Грозный, 29– 30 мая 2020 г.). – Грозный: Изд. Чеченского государственного университета, 2020. С. 634-637.

5. Кареев М.И., Кищенко М.А., Топольский Л.Ю. Анализ возможности применения индукционного разогрева емкостей, используемых для транспортирования вязких нефтепродуктов в регионах с холодным климатом // Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых ученых: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Грозный, 29– 30 мая 2020 г.). – Грозный: Изд. Чеченского государственного университета, 2020. С. 632-634.

6. Кареев М.И., Немтин В.Г., Кищенко М.А., Усов Д.Ю. Проблемы при транспортировке вязких нефтепродуктов и пути их решения // Развитие экономической науки на транспорте: экономическая основа будущего транспортных систем (Санкт-Петербург, 19 декабря 2019 г.). – СПб.: ООО «ИНСЭИ-оценка», 2019. С. 364-367.

### References

1. Abuzova F.F., Bronshtejn I.S., Novoselov V.F. Bor`ba s poteryami nefi i nefteproduktov pri ix transportirovke i xranenii. – M.: Nedra, 1981. – 248 s.
2. Xasanov M.R., Mastobaev B.N. Podogrev vyazkix nefteproduktov pri ix transportirovke i xranenii // Istorija nauki i texniki 2000: tezisy` dokl. I vserossijskoj nauch-no-prakticheskoj konferencii. – Ufa, 2000. S. 70.
3. Kareev M.I., Nemtin V.G., Usov D.Yu. Primenenie SVCh-razogreva pri transportirovke zagustevshix nefteproduktov v regionax s xolodny`m klimatom // Innovacionny`e texnologii v mashinostroenii: sbornik trudov XI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. ( Yugra, 23–25 maya 2019 g.) – Tomsk: Izd. Tomskogo politexnicheskogo uni-versiteta, 2020. S. 135-137.
4. Kareev M.I. Analiz vozmozhnosti primeneniya SVCh-texnologii dlya razogreva transportny`x emkostej, sodержashhix vy`sokovyazkie nefteprodukty` v regionax s xolodny`m klimatom // Aktual`ny`e problemy` sovremennoj nauki: vzglyad molody`x ucheny`x: materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molody`x ucheny`x, aspirantov i studentov (Grozny`j, 29– 30 maya 2020 g.). – Grozny`j: Izd. Chechenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2020. S. 634-637.
5. Kareev M.I., Kishhenko M.A., Topol`skij L.Yu. Analiz vozmozhnosti primeneniya indukcionnogo razogreva emkostej, ispol`zuemy`x dlya transportirovaniya vyazkix nefteproduktov v regionax s xolodny`m klimatom // Aktual`ny`e problemy` sovremennoj nauki: vzglyad molody`x ucheny`x: materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii molody`x ucheny`x, aspirantov i studentov (Grozny`j, 29– 30 maya 2020 g.). – Grozny`j: Izd. Chechenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2020. S. 632-634.
6. Kareev M.I., Nemtin V.G., Kishhenko M.A., Usov D.Yu. Problemy` pri transportirovke vyazkix nefteproduktov i puti ix resheniya // Razvitie e`konomicheskoy nauki na transporte: e`konomicheskaya osnova budushhego transportny`x sistem (Sankt-Peterburg, 19 dekabrya 2019 g.). – SPb.: OOO «INSE`I-ocenka», 2019. S. 364-367.

*Статья поступила 12.10.2020 г.*

© М.И. Кареев, М.А. Кищенко, Л.Ю. Топольский, Д.Ю. Усов, В.Г. Немтин, 2020

---

### Сведения об авторах List of Authors

---

*Кареев Максим Игоревич* – старший оператор научной роты, Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения ВС РФ) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева.

*Maxim Kareev* – Senior Operator of a Scientific Company, Research Institute (Military-System Research of the Material and Technical Support of the Russian Armed Forces), Military Academy of Material and Technical Support named after General of the Army A.V. Khrulev.

*Кищенко Максим Андреевич* – старший оператор научной роты, Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения ВС РФ) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева.

*Maxim Kishchenko* – Senior Operator of a Scientific Company, Research Institute (Military-System Research of Material and Technical Support of the Russian Armed Forces), Military Academy of Material and Technical Support named after General of the Army A.V. Khrulev.

*Топольский Леопольд Юрьевич* – старший оператор научной роты, Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения ВС РФ) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева.

*Leopold Topolsky* – Senior Operator of a Scientific Company, Research Institute (Military-System Research of Material and Technical Support of the Russian Armed Forces), Military Academy of Material and Technical Support named after General of the Army A.V. Khrulev.

*Усов Дмитрий Юрьевич* – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения ВС РФ) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева.

*Dmitriy Usov* – Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher, Scientific Research Institute (Military-Systemic Research of Material and Technical Support of the Russian Armed Forces), Military Academy of Material and Technical Support named after General of the Army A.V. Khrulev.

*Немтин Владимир Григорьевич* – кандидат экономических наук, профессор, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований материально-технического обеспечения ВС РФ) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева.

*Vladimir Nemtin* – Candidate of Economic Sciences, Professor, Senior Researcher, Scientific Research Institute (Military-System Research of Material and Technical Support of the Russian Armed Forces), Military Academy of Material and Technical Support named after General of the Army A.V. Khrulev.

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩЕЙ ПАССИВНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Н.С. Суракатов, Э.З. Батманов

Дагестанский государственный технический университет

Махачкала

batmanov.1978@mail.ru

**Аннотация.** Проведен анализ состояния нормативной базы, регламентирующей пассивную безопасность легковых автомобилей. Отмечено, что недостатки, связанные с повышением пассивной безопасности автотранспортных средств, препятствуют принятию обоснованных решений о применении в Российской Федерации отдельных международных нормативов (Правил Европейской экономической комиссии ООН) и не позволяют управлять уровнем безопасности автомобиля.

**Abstract.** The analysis of the state of the regulatory framework governing the passive safety of passenger cars. It is noted that the disadvantages associated with increasing the passive safety of vehicles impede the adoption of informed decisions on the application of certain international standards in the Russian Federation (the UN Economic Commission for Europe Rules) and do not allow to control the level of vehicle safety.

**Ключевые слова:** конструктивная безопасность, транспортное средство, пассивная безопасность, дорожно-транспортное происшествие, нормативная база.

**Keywords:** constructive safety, vehicle, passive safety, road traffic accident, regulatory framework.

### Введение

Автомобильный транспорт является одним из элементов транспортно-дорожного комплекса РФ и связующим звеном, обеспечивающим функционирование всех отраслей экономики. Транспорт способствует неуклонному росту и совершенствованию производства, систематическому повышению благосостояния народа. Основной задачей автомобильного транспорта яв-

ляется более полное и своевременное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в перевозках, ускорения доставки грузов и передвижения пассажиров на основе существенного повышения и качества всей работы транспортной системы.

В настоящее время наблюдается значительный рост автомобилей, где наиболее массовым является выпуск легковых автомобилей. Как известно,

растет парк автотранспортных средств, увеличиваются объемы пассажирских перевозок, причем темпами большими, чем на других видах пассажирского автотранспорта. По статистике из зарегистрированных автомобилей в мире порядка 50 млн. единиц (80%) составляют легковые автомобили. Как следствие высокий удельный вес их в транспортном потоке на дорогах всех стран. Причем характерным является то, что рост производства и выпуск автомобилей значительно превышают темпы роста сети автомобильных дорог.

Следует отметить, что наряду с положительной ролью роста автопарка в мире, проявляются и его отрицательные стороны. К ним можно отнести загрязнение окружающей среды, вред для здоровья людей, градостроительные проблемы, требующие расширения площадей для стоянки и движения транспортных средств, увеличение потребности в нефтепродуктах. Особо следует отметить рост числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

С учетом сказанного становится очевидным, что проблема повышения безопасности выпускаемых легковых автомобилей имеет социальную и экономическую значимость и является одной из важных проблем автомобилизации страны. Интенсивность движения на дорогах непрерывно возрастает, вовлекая все большие массы людей и материальных средств, обустройство дорог существенно отстает. Большую роль в этом процессе играют совершенство конструкции автомобилей и методов их испытаний.

Казалось бы, по степени весомости, прежде всего, надо заниматься водителем, так как он должен быть постоянно

готов к действиям в неожиданно меняющейся дорожной обстановке, что обеспечивается устойчивостью и интенсивностью его внимания. Длительность пребывания водителя в подобном состоянии определяется наиболее распространенной категорией из теории надежности – запасом прочности. В свою очередь, надежность характеризуется пригодностью, работоспособностью, подготовленностью, мотивацией. Однако, в силу слабой организации и оперативности, водителем занимаются меньше всего. Система подготовки водителей через какие-то мелкие и частные структуры явно слаба; при этом в ней почти полностью отсутствует психологическая подготовка водителей, а она – главный элемент подготовки.

Дорожная составляющая более организована, но слишком отстает от темпа роста парка автомобилей. Составляющей среды занимаются тоже очень мало структур. Обучению водителей в этом направлении уделяют явно недостаточно внимания. В результате из всей системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» наибольшее внимание уделяется одной составляющей – автомобилю. Все международные структуры Европейской экономической комиссии Организации Объединенных наций (ЕЭК ООН) тоже занимаются, в основном, только безопасностью автомобиля.

В последнее время в этой области все большее внимание уделяется комплексному (системному) подходу, в частности, методам оценки безопасности автомобилей. Как считают специалисты, такая стратегия может дать наибольший народнохозяйственный эффект для страны. Нет сомнений, что

повышение пассивной безопасности автотранспортных средств и, в частности, легковых автомобилей, является одним из приоритетных направлений в общем комплексе задач по повышению безопасности дорожного движения.

Отсутствие методов, позволяющих установить функциональную корреляцию между характеристиками технических устройств, применяемых в конструкции автомобиля для обеспечения пассивной безопасности, с частотой и тяжестью травмирования человека при ДТП не дает возможность оценить и ранжировать мероприятия по повышению пассивной безопасности по степени их влияния на снижение потерь при ДТП, а также принимать обоснованные решения о применении в России отдельных международных нормативов (Правил ЕЭК ООН), т.е. управлять уровнем безопасности автомобиля.

### ***Теоретические исследования***

Из четырех основных типов ДТП (лобовое столкновение, боковое столкновение, удар сзади, опрокидывание) наиболее частыми и опасными являются лобовые (60% всех ДТП) и боковые столкновения. Поэтому неудивительно, что первые периоды проведения работ по повышению пассивной безопасности автомобилей отмечались широким внедрением мероприятий по обеспечению безопасности водителей и пассажиров именно при лобовых столкновениях (оптимизация ударно-прочностных характеристик передней части автомобиля, внедрение ремней безопасности, безопасных рулевых управлений и т.д.). В результате этого лобовые столкновения, несмотря на то, что их относительное число не уменьшилось, постепенно

становятся не самыми травмоопасными (к сожалению, на дорогах России при крайне низком числе водителей и пассажиров, использующих ремни безопасности, лобовые столкновения по-прежнему приносят наибольшее число погибших и травмированных при ДТП).

С начала 90-х годов в ряде стран с развитой автомобилизацией (например, США) лидерство по числу пострадавших переходит к боковым столкновениям.

Рассмотрим развитие нормативной базы, регламентирующей безопасность легковых автомобилей при лобовых и боковых столкновениях.

Лобовые столкновения автотранспортных средств (особенно под углом и со смещением) с другими автомобилями и неподвижными препятствиями по глобальности деформации конструкции и тяжести травмирования пользователей являлись и продолжают быть самым тяжелым видом ДТП. Это многократно подтверждено отечественными и зарубежными статистическими исследованиями. Поэтому вполне оправданы громадные средства, затрачиваемые производителями автомобилей на разработку и внедрение технических решений, направленных на защиту пользователя при этом виде ДТП.

За последнюю четверть XX века автомобилисты достигли существенных успехов в обеспечении травмобезопасности лобовых столкновений.

В начальный период развития работ по повышению пассивной безопасности за базовые нормативы принимались условия обеспечения безопасности при наиболее легко воспроизводимых и стабильных, хотя и не самых частых, разновидностях ДТП.



Специалисты многих стран мира уделяют значительное внимание изучению последствий лобовых столкновений легковых автомобилей. Для этого на специальных полигонах проводят испытания автомобилей на столкновения. В ходе таких испытаний автомобили получали значительные повреждения узлов и деталей передней части, происходившие обычно в следующем порядке: бампер, крылья, капот, радиатор, в который вдавливался вентилятор и водяной насос. Затем в ряде случаев наблюдался прогиб рамы и деформация пола автомобиля. Все эти процессы протекали в течение 0,06-0,08 с.

Для имитации лобовых столкновений был принят прямой наезд со скоростью 50 км/ч на плоское недеформированное препятствие, расположенное перпендикулярно территории движения. Хотя такие условия встречаются не чаще чем в 3-5% от реальных столкновений, однако они были сравнительно легко и стабильно воспроизводимы. И такой подход, в то время когда автомобильная промышленность и наука не обладали большими техническими возможностями, был вполне оправданным.

При создании новых автомобилей конструкторы обязаны уделять особое внимание элементам, опасным для человека. Должна быть полностью исключена возможность ранения людей. Решать эту задачу можно, устранив опасные элементы, или качественно изменив их форму. Идеальным вариантом было бы создание зоны для пассажира и водителя, исключаящей какой-либо контакт с внутренними деталями салона.

Логично, что стендовые испытания отдельных элементов автомобиля, вли-

яющих на травмобезопасность водителей и пассажиров при лобовых столкновениях (это требования Правил ЕЭК ООН №№ 11, 12, 14, 16, 17, 21, 26, 33, 34 и 44) базировались на имитации условий выбранного базового способа воспроизведения полномасштабного лобового столкновения.

В чем заключаются основные функциональные требования указанных выше правил ЕЭК ООН, которые и сегодня входят в число обязательных предписаний при одобрении типа автотранспортного средства в РФ?

Отдельные узлы (передняя часть кузова и салона, дверные замки, рулевые укрепления, ремни безопасности и места их крепления, сиденья и детали интерьера передней части салона) легковых автомобилей, от ударно-прочностных и геометрических характеристик которых зависит уровень безопасности водителей и пассажиров при лобовых столкновениях, должны:

- выдерживать статическую или динамическую нагрузку, эквивалентную той нагрузке, с которой воздействует на эти элементы тело человека 50% репрезентативности (или масса самого узла) при перегрузке 20-30g в направлении вдоль продольной оси автомобиля;

- не образовывать травмоопасные перегрузки при имитации соударения головой и грудью с перечисленными выше элементами на скорости около 25 км/ч в зоне контакта (Правила №№ 12, 21);

- обеспечивать необходимое жизненное пространство в деформированном при ДТП автомобиле (Правила №№ 12, 33);

- геометрические параметры наружных поверхностей деталей, образующих интерьер автомобиля, должны иметь максимально возможную площадь в зонах вероятного контакта с телом человека с тем, чтобы при соударениях, по возможности, снизить уровень локальных перегрузок (Правило № 26).

Отдельно от перечисленных выше стоят Правила № 16 и № 44, предписывающие наряду с обычными стендовыми также испытания, где в качестве испытательного оборудования используются некоторые подобию человека (упрощенные антропометрические манекены).

Человеческое тело как физически, так и биологически представляет собой систему весьма сложного характера. Если рассматривать его как механическую систему, то вполне ясно, что оно содержит большое количество как линейных, так и нелинейных элементов и их механические свойства оказываются весьма неустойчивыми и разнообразными для каждого человека. В биологическом отношении положение становится еще более тяжелым, если учесть еще и психологические эффекты. При изучении характеристики реагирования человека на вибрации и удары необходимо учитывать как механические, так и психологические эффекты.

Рассматривая человеческое тело как механическую систему, при низких частотах вибраций или ударов его можно приблизительно аппроксимировать линейной системой с сосредоточенными параметрами.

Так, Правилами № 16 ЕЭК ООН (Ремни безопасности и их установка) в

отношении ремней безопасности и удерживающих средств для взрослых пользователей (водителей и пассажиров) автотранспортным средством предусмотрено полномасштабное динамическое нагружение систем ремней в условиях имитации базового способа воспроизведения лобового столкновения (на стенде-имитаторе) с применением «одноногого» манекена, отдаленно напоминающего человека выше среднего роста и весом 75 кг. При этом нормируется максимальное перемещение манекена под действием инерционной нагрузки.

Правилами № 44 ЕЭК ООН (Детские удерживающие устройства и их установка) в отношении удерживающих устройств для детей, находящихся в автотранспортных средствах, предусмотрены полномасштабные динамические испытания удерживающих устройств (на стенде-имитаторе) в аналогичных условиях с применением манекенов детей разной массы: до 10 кг, от 9 до 18 кг, от 15 до 25 кг и от 26 до 36 кг. При этом оцениваются предельные величины перегрузок, действующих в грудной клетке манекенов и максимальные величины перемещений под действием инерционной нагрузки. Кроме того, нормируются конструктивные решения сидений, их основные геометрические и прочностные характеристики, гигиенические характеристики применяемых материалов.

Как видно из приведенного выше краткого обзора, на начальном этапе развития работ по пассивной безопасности, имитирующие человека манекены использовались преимущественно как испытательное приспособ-

ление, создающее специфические нагрузки на исследуемый объект-узел или деталь автомобиля. Критерии оценки степени безопасности конструкции еще напрямую не связывались с допускаемыми травмобезопасными воздействиями на человеческий организм.

Такой «упрощенный» подход, обусловленный уровнем развития автомобильной науки и экспериментальных технологий, на определенном этапе полностью оправдался. В странах с развитой автомобилизацией была сбита первая волна роста потерь от ДТП и обеспечен приемлемый общий уровень безопасности эксплуатирующего парка легковых автомобилей.

Дальнейшее развитие экспериментальной техники и технологий и коренное изменение процесса проектирования, основанное на применении высокопроизводительной вычислительной техники и мощного специализированного программного обеспечения, позволили поднять работы по обеспечению безопасности пользователей в процессе ДТП на качественно новый уровень. В середине 90-х годов XX века представилась возможность перейти к системному подходу, когда безопасность автомобиля, как комплекса технических решений, стала оцениваться по достаточно прямым травматическим воздействиям, получаемым пользователем в нормируемых условиях ДТП.

Этому в большей мере способствовало появление антропометрических манекенов взрослого человека, конструкция которых постоянно совершенствуется. Соответственно техническому прогрессу и степени готовности ведущих производи-

телей автомобилей развивалась и нормативная база.

Появилась техническая возможность для существенного повышения безопасности при лобовых ударах за счет применения при проведении исследований:

- биомеханических критериев травмирования человека;
- антропометрических манекенов 3 поколения для биомеханической оценки последствий лобового удара;
- полномасштабных моделей, имитирующих ударно-прочностные свойства передней части автомобиля;
- автоматических надувных систем.

В июле 1995 года были приняты Правила № 94 ЕЭК ООН в отношении защиты водителей и пассажиров автомобилей при лобовых столкновениях. В соответствии с ними принципиальным отличием оценки пассивной безопасности при лобовых столкновениях являются:

- использование недеформируемого препятствия, расположенного под углом 30° к траектории движения;
- обязательное размещение на всех местах переднего ряда сидений антропометрических манекенов 3 поколения (Hybrid III), оснащенных необходимой измерительной и регистрирующей аппаратурой;
- нормирование некоторых биомеханических параметров воздействий на манекены.

Однако упомянутый документ был как переходный, фиксирующий уже достигнутое состояние.

В 1996 году были приняты Директива ЕЭС 96/79, а с 1998 года вступили в действие аутентичные требования упомянутой Директивы ЕС

поправки серии 01 к Правилам № 94, которым в настоящее время должны соответствовать новые модели автомобилей. Дополнительно стал нормироваться ряд параметров воздействия на манекены.

Для возможности оценки соответствия конструкции автомобиля используемым биомеханическим критериям при проведении полномасштабных испытаний применяется не менее двух антропометрических манекенов 3 поколения типа Hybrid III и современный комплекс измерительной и регистрирующей аппаратуры.

Кроме того, нормируются показатели состояния автотранспортного средства после столкновения. Эти требования направлены на то, чтобы обеспечить возможность максимально быстрой эвакуации манекенов (пользователей) из автомобиля после ДТП без причинения им дополнительных повреждений, на отсутствие течи топлива и острых выступающих частей в интерьере кузова.

Аналогичные этапы развития прошли нормативы, регламентирующие требования пассивной безопасности при боковых столкновениях. Если вернуться к логистическому закону развития работ по пассивной безопасности, то с 1969 по 1990 годы практически не было разработано и реализовано автомобильной промышленностью существенных мероприятий по повышению пассивной безопасности автомобилей при боковых столкновениях. В большой степени это было связано со сложностью исследований биомеханики боковых столкновений и отсутствием технической базы для их проведения.

Поэтому неудивительно, что до 1995 года практически отсутствовали международные предписания (например, Правила ЕЭК ООН), регламентирующие требования и методы оценки безопасности при боковых столкновениях (единственное упоминание имелось в Правилах № 21 ЕЭК ООН, касающихся травмобезопасности деталей интерьера кузова легкового автомобиля, что существенно не могло повлиять на обеспечение безопасности водителя и пассажиров при боковых ударах).

Правда в СССР, а затем в РФ, в качестве государственного стандарта (ГОСТ 21961-76) в 1976 году был принят неутвержденный в свое время проект Правил ЕЭК ООН «Безопасность водителей и пассажиров автомобилей при боковых столкновениях» ГОСТ предусматривал следующую процедуру испытаний.

В боковину неподвижно установленного автомобиля – объекта испытаний – под прямым углом ударяладвигающаяся со скоростью 35-38 км/ч тележка (подвижное препятствие) массой 1100 кг, имитирующая легковой автомобиль. Ударная плита тележки имела размеры 1380х600 мм с радиусом кривизны 3000 мм в горизонтальной плоскости. Основным измерителем безопасности являлось остаточное поперечное пространство салона автомобиля, которое после испытаний должно было быть не менее  $n \cdot 350$  мм, ( $n$  – число мест для ряда сидений).

Анализ результатов испытаний, проведенных в соответствии с требованиями ГОСТ 21961-76, показал, что существенного повышения безопасности для водителей и пассажиров этот норматив не может обеспечить, так как ме-

тодика испытаний не имитирует условия реального воздействия от ударяющего автомобиля на боковину объекта испытаний, а применяемые критерии оценки безопасности в крайне недостаточной мере характеризуют тяжесть травмирования водителей и пассажиров легкового автомобиля.

Отсутствие в испытываемом объекте манекенов и использование в качестве ударного элемента жесткой недеформируемой плиты не позволяют определять при такой имитации бокового столкновения оптимальные и травмобезопасные сочетания жесткости боковины с зазором между боковиной и телом человека в автомобиле и результирующим перемещением человека при ударе.

Только в середине 90-х годов XX века, когда работы по исследованию пассивной безопасности вышли на новый качественный уровень, появились возможности для существенного повышения безопасности при боковом ударе. Сложные механизмы биомеханики бокового удара удалось изучить за счет применения при проведении исследований:

- биомеханических критериев травмирования человека;
- антропометрических манекенов для биомеханической оценки последствий бокового удара;
- полномасштабных моделей, имитирующих ударно-прочностные свойства передней части автомобиля;
- автоматических надувных систем для защиты при боковом ударе.

В июле 1995 года были приняты Правила № 95 ЕЭК ООН в отношении защиты водителей и пассажиров автомобилей при боковых столкновениях.

Принципиальным отличием оценки подушек безопасности при боковых столкновениях в соответствии с Правилами № 95 является использование при испытаниях специального манекена и деформируемого ударного элемента.

В испытаниях используется специальный манекен, способный имитировать механику взаимодействия человека с боковиной кузова. Наиболее распространенной моделью, приспособленной для использования при боковых столкновениях, является манекен «Eurosid».

Размеры и масса манекена для бокового удара соответствует взрослому мужчине 50% репрезентативности. Он внешне отличается от антропометрических манекенов, используемых при фронтальных столкновениях, отсутствием нижних частей и верхних конечностей (предплечья и кисти).

Манекен состоит из металлического и частично-пластикового скелета (каркаса), обеспечивающего имитацию подвижности тела человека при взаимодействии поперечных нагрузок. Снаружи скелет покрыт пластиком, поролоном и резиной, имитирующих «живую» ткань.

При исследованиях с манекенами необходимо покрывать элементы салона автомобиля специальной краской. Желательно покрывать автомобиль, подобный серийным, но с легко деформируемыми элементами салона, и провести серию испытаний с использованием современных технических средств (киноаппаратуры, всевозможные датчики, качественная регистрирующая и измерительная аппаратура). Перемещения манекена должны быть тщательно

зафиксированы, определены замедления и нагрузки.

Для имитации геометрических характеристик и ударно-прочностных свойств передней части наезжающего на боковину легкового автомобиля, в новой методике испытаний используются полномасштабная физическая модель, состоящая из шести независимых, деформирующихся при ударе блоков (располагаются в два ряда), и устанавливаемая в качестве ударного элемента на подвижном препятствии (тележке) общей массой 950 кг.

Размеры ударного элемента (ширина 1500+10 мм, высота 500+5 мм) моделируют геометрическую форму и размеры передней части автомобиля, а толщина верхнего ряда (440 + 5 мм) и нижнего (500 + 5 мм) блоков моделируют деформируемую зону передка с учетом выступающей части бампера.

Каждый блок состоит из алюминиевых сотовых элементов (ячеек), ориентированных в том же направлении, что и целый блок.

Передняя (лицевая) поверхность ударного элемента покрывается алюминиевыми листами, чтобы снизить влияние местного проникновения путем распределения нагрузки по всей площади ударного элемента. Внутри блоков устанавливаются промежуточные листы фольги (мембраны), моделирующие взаимосвязь элементов, составляющих переднюю часть автомобиля.

Рассмотренный выше новый качественный уровень научно-исследовательских работ по повышению пассивной безопасности при боковых столкновениях позволил широко реализовать в автомобилях категории М1

следующие конструктивные мероприятия:

- оптимизация ударно-прочностных характеристик боковой части автомобиля, в том числе с использованием дополнительных продольных брусьев в сочетании с надежной и прочной связью элементов системы «брус – дверной замок – центральная стойка»;

- оптимизация ударно-прочностных характеристик элементов интерьера боковой части кузова в зонах возможного контакта с телом человека при боковых столкновениях;

- применение ковшеобразных сидений;

- применение автоматических надувных систем для защиты тела человека, в том числе его головы при боковом ударе.

Весь комплекс нормативов (шестнадцать Правил ЕЭК ООН), регламентирующих пассивную безопасность легковых автомобилей, целесообразно подразделить на три группы:

- нормативы, комплексно регламентирующие подушки безопасности легковых автомобилей и требующие для оценки проведения полномасштабных испытаний (краш-тестов);

- нормативы, регламентирующие подушки безопасности отдельных элементов (узлов) легкового автомобиля;

- нормативы, регламентирующие требования к специальным удерживающим средствам, используемым для обеспечения подушки безопасности автомобилей.

Нормативы, комплексно регламентирующие пассивную безопасность легковых автомобилей (Правила ЕЭК ООН №№ 32, 33, 34, 94, 95) включают в себя требования в отношении прочностных

свойств кузова автотранспортных средств и защиты пользователей (водителя и пассажиров) в случаях различных видов столкновений и при возникновении пожара.

Предписания в отношении технических требований и методов испытаний, приведенные в Правилах № 94 и № 95 (Защита водителя и пассажиров в случае фронтального и бокового столкновений, соответственно) были разработаны в 90-х годах XX века и имеют современный, качественно новый уровень требований по повышению пассивной безопасности. При проведении комплекса испытаний используются биомеханические манекены, позволяющие при испытании (краш-тесте) определять критерии травмирования пользователей транспортного средства, то есть, оценить степень тяжести травмирования.

Предписания в соответствии с Правилами №№ 32, 33, 34, разработанные на двадцать лет раньше Правил № 94, 95, базируются на морально устаревшем методе воспроизведения условий лобового столкновения или удара сзади, в результате которого можно оценить лишь прочность кузова и поведение антропометрического манекена, не учитывая степени его «травмирования». Эти Правила будут существенно изменены с учетом современных требований.

### **Заключение**

С учетом проведенного анализа можно отметить, что одним из важнейших методических положений, которые следует учитывать при внедрении мероприятий по повышению пассивной безопасности автомобилей, является необходимость оценки и прогнозирования эффективности принимаемых ре-

шений. При этом оценка разработок должна соответствовать общепринятым положениям определения эффективности внедряемых мероприятий.

Управление научно-техническим прогрессом, уточнение его направлений, очередность реализации программ, выбор наилучших вариантов, определение масштабов производства и внедрение новой техники осуществляется на основе расчета экономического эффекта. Народнохозяйственный эффект определяется исходя из общих принципов расчета эффективности общественного производства.

При определении экономического эффекта основным является умение рассчитывать (прогнозировать) снижение народнохозяйственных потерь от ДТП при внедрении отдельного мероприятия по повышению безопасности.

Внедрение комплекса мероприятий по модернизации выпускаемых моделей и разработка более безопасных автомобилей связаны, в большей степени, с конкурентной борьбой фирм за рынки сбыта, что, в конечном итоге, ведет к систематическому уменьшению количества ДТП и их тяжести. К сожалению, данное явление не относится к России, в которой, особенно в последние годы, отмечается крайне высокая степень тяжести последствий ДТП. Важное значение при внедрении мероприятий по повышению пассивной безопасности автотранспортных средств в условиях нашей страны при практически полном отсутствии конкуренции (ввиду постоянного неудовлетворения покупательского спроса на автомобили) и особенностях условий эксплуатации приобретает научное обоснование (оценка) технико-экономической эффек-

тивности предлагаемых мероприятий.

### **Библиографический список**

9. Афанасьев Л.Л., Дьяков А.Б., Иларионов В.А. Конструктивная безопасность автомобилей. - М.: Машиностроение, 1983. - 215 с.
10. Немцов Ю.М., Майборода О.В. Эксплуатационные качества автомобиля, регламентированные требованиями безопасности движения. - М.: Транспорт, 1977. – 144 с.
11. Немцов Ю.М., Веселов А.И. Требования безопасности и развития конструкции легковых автомобилей. - М.: НИИНавтопром, 1973. – 163 с.
12. Рябчинский А.И. Пассивная безопасность автомобиля. - М.: Машиностроение, 1983. – 144 с.
13. Рябчинский А.И. Механизм травмирования человека в автомобиле и биомеханика дорожно-транспортных происшествий. - Таллин: Валгус, 1979. – 127 с.
14. Рябчинский А.И. Международная регламентация безопасности конструкции транспортных средств / учебное пособие. - М.: Машиностроение, 1989. – 65 с.

### **References**

1. Afanasyev L.L., Dyakov A.B., Ilarionov V.A. Constructive safety of cars. - M.: Mechanical Engineering, 1983. – 215 s.
2. Nemtsov Yu.M., Mayboroda O.V. The performance of the car, regulated by the requirements of traffic safety. - M.: Transport, 1977. – 144 s.
3. Nemtsov Yu.M., Veselov A.I. Safety requirements and development of the design of passenger cars. - M.: NIINavtoprom, 1973. – 163 s.
4. Ryabchinsky A.I. Passive safety of the car. - M.: Mashinostroenie, 1983. - 144 s.
5. Ryabchinsky A.I. The mechanism of human injury in a car and biomechanics of road traffic accidents. - Tallinn: Valgus, 1979. – 127 s.
6. Ryabchinsky A.I. International regulation of the safety of the construction of vehicles / MADI textbook. - M.: Mechanical Engineering, 1989. - 65 s.

*Статья поступила 19.11.2020 г.*

© Н.С. Суракатов, Э.З. Батманов, 2020

---

### **Сведения об авторах**

#### **List of Authors**

---

*Суракатов Нурмагомед Сайпулаевич* – кандидат экономических наук, доцент, ректор Дагестанского государственного технического университета.

*Nurmagomed Surakatov* – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Rector, Dagestan State Technical University

*Батманов Эдвард Загидинович* – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой организации и безопасности дорожного движения Дагестанского государственного технического университета.

*Edward Batmanov* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Organization and Road Safety, Dagestan State Technical University.



## 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, rcc, 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 заголовки.

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:

**05.12.00 – Радиотехника и связь.**

05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии. 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

**05.02.00 – Машиностроение и машиноведение**

05.02.02 – Машиноведение системы приводов и детали машин. 05.02.04 – Трение и износ в машинах. 05.02.08 – Технология машиностроения.

**05.27.00 – Электроника.**

05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

**05.22.00 – Транспорт.**

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте. 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта.

**25.00.00 – Науки о Земле.**

25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

25.00.35 – Геоинформатика.

**05.18.00 – Технология продовольственных продуктов.**

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодоовощной продукции и виноградарства.

05.18.06 – Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов. 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ. 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания.

**05.23.00 – Строительство.**

05.23.21 – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. 05.23.07 – Гидротехническое строительство. 05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология.

**05.17.00 – Химическая технология.**

05.17.01 – Технология неорганических веществ. 05.17.04 – Технология органических веществ. 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов.

05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:  
итоги и перспективы  
2020 № 4 (Том 1)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
results and prospects  
2020 № 4 (Vol. 1)**

Ответственный за выпуск – Ирзаев Г.Х.  
Компьютерная верстка – Алиева П.А.  
Дизайн обложки – Тагиев М.Х.

Подписано в печать 15.12.2020 г. Дата выхода в свет 27.12.2020 г.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 9,47. Уч.-изд. л. 3,92. Тираж 500. Заказ № 753

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 ”