

ISSN 2713-220X



**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:  
ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**2022 № 3 (Том 3)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
RESULTS AND PROSPECTS**

**2022 № 3 (Том 3)**

**СОДЕРЖАНИЕ**

**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

- Идармачев Ш.Г., Джамалудинов А.М.* Мониторинг движения неустойчивого скального массива на горе Гуниб 3
- Алиев Р.М., Курбанов Ш.М., Давудов И.А., Абдулкадыров А.С.* Стратегические приоритеты развития топливно-энергетического комплекса Республики Дагестан в современных условиях. 12
- Булавка Ю.А., Кузман А.Э.* Совершенствование технологии производства литиевой пластичной смазки «Литол-24» 18

**РАДИОТЕХНИКА,  
МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА**

- Кардашова Г.Д., Шабанов Ш.Ш., Микаилов М.М., Дибиргаджиев Д.Ш.* Исследование структурных особенностей поверхности излома керамики на основе SiC-AlN и ее свойств 28
- Юсуфов Ш.А., Шамилов И.М.* Моделирование и конструктивное исполнение системы обеспечения теплового режима радиоэлектронных блоков 36

**МАШИНОСТРОЕНИЕ И  
МАШИНОВЕДЕНИЕ**

- Омаров Ш.А.* Высокоскоростной метод магнито-эластоимпульсной формовки металлов 43
- Алимов А.Ю., Ахмедпашаев М.У., Санаев Н.К., Евстратов В.А.* Оценка качества продукции дизельного производства методом профилей 51

**ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

- Азимова Ф.Ш.* Технология создания эко-текстиля на основе экстрактов растений Северного Кавказа 57

**ТРАНСПОРТ**

- Борисова В.А., Строганов Д.Е., Кадочникова Е.Н.* Развитие транспортной инфраструктуры России и анализ угроз возникновения пожаров при эксплуатации транспортных средств 64

- Правила оформления и представления статей 73

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)  
Г.М. Абакаров, д.х.н., профессор (Махачкала)  
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Р.М. Алиев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Х.Х. Ахмадова, д.т.н., профессор (Грозный)  
М.Э. Ахмедов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
П.Ю. Бочкарев, д.т.н., профессор (Саратов)  
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
М.Ю. Карелина, д.т.н., профессор (Москва)  
Д.А. Магомедов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
К.П. Манжула, д.т.н., профессор (С-Петербург)  
А.Н. Мурашкевич, д.т.н., профессор (Минск)  
А.Н. Остриков, д.т.н., профессор (Воронеж)  
Г.К. Сафаралиев, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН (Москва)  
А.Р. Тагилаев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
И.И. Татарченко, д.т.н., профессор (Краснодар)  
С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)  
Т.А. Хежев, д.т.н., профессор (Нальчик)  
Н.К. Юрков, д.т.н., профессор (Пенза)

При перепечатке ссылка на журнал «Научные исследования: итоги и перспективы» обязательна.

Все поступившие в редакцию материалы подлежат рецензированию.

Мнения авторов могут не совпадать с точкой зрения редакции.

Редакция в своей деятельности руководствуется рекомендациями Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Условия публикации статей размещены на сайте: <http://dstu.ru>.

Журнал включен в базы данных eLIBRARY и индексируется в национальной информационно-аналитической системе – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Адрес редакции: 367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70

Телефон: +7 (8722) 62 37 15

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

**ISSN 2713-220X**

**2022 № 3 (Vol. 3)**

**CONTENTS**

**EARTH SCIENCES**

- Idarmachev Sh.G., Jamaludinov A.M.* Monitoring the movement of an unstable rock mass on Mount Gunib 3
- Aliiev R.M., Kurbanov Sh.M., Davudov I.A., Abdulkadyrov A.S.* Strategic priorities for the development of the fuel and energy complex of the Republic of Daghestan in modern conditions 12
- Bulavka Yu.A., Kuzman A.E.* Improving the technology for the production of lithium grease «Litol-24» 18

**RADIO ENGINEERING,  
MICRO- AND NANOELECTRONICS**

- Kardashova G.D., Shabanov Sh.Sh., Mikhailov M.M., Dibirgadzhev D.Sh.* Investigation of the structural features of the fracture surface of ceramics based on SiC-AlN and its properties 28
- Yusufov Sh.A., Shamilov I.M.* Modeling and design execution of the system for ensuring the thermal regime of radio-electronic units 36

**MECHANICAL ENGINEERING**

- Omarov Sh.A.* High-speed method of magnetic-elastopulse forming of metals 43
- Alimov A.Yu., Akhmedpashaev M.U., Sanaev N.K., Evstratov V.A.* Evaluation of the quality of diesel production products by the profile method 51

**CHEMICAL TECHNOLOGY**

- Azimova F.Sh.* Technology for creating ecotextiles based on plant extracts from the North Caucasus 57

**TRANSPORT**

- Borisova V.A., Stroganov D.E., Kadochnikova E.N.* Development of transport infrastructure in Russia and analysis of fire threats during the operation of vehicles 64

- Rules for writing and submitting articles 73

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)
- G.M. Abakarov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
- E.K. Agakhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
- R.M. Aliiev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
- Kh.Kh. Akhmadova, Doctor of Science, Prof. (Grozny)
- M.E. Akhmedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
- M.U. Akhmedpashaev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
- P.Yu. Bochkarev, Doctor of Science, Prof. (Saratov)
- R.V. Guseynov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
- M.Yu. Karelina, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
- D.A. Magomedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
- K.P. Manzhula, Doctor of Science, Prof. (St. Petersburg)
- A.N. Murashkevich, Doctor of Science, Prof. (Minsk)
- A.N. Ostrikov, Doctor of Science, Prof. (Voronezh)
- G.K. Safaraliev, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
- A.R. Tagilayev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)
- I.I. Tatarchenko, Doctor of Science, Prof. (Krasnodar)
- S.U. Uvaisov, Doctor of Science, Prof. (Moscow)
- T.A. Khezhev, Doctor of Science, Prof. (Nalchik)
- N.K. Yurkov, Doctor of Science, Prof. (Penza)

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

All materials received by the editors subject to review.

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

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

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

The journal is included in the eLIBRARY 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**

## МОНИТОРИНГ ДВИЖЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОГО СКАЛЬНОГО МАССИВА НА ГОРЕ ГУНИБ

Ш.Г. Идармачев<sup>1</sup>, А.М. Джамалудинов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра  
Российской академии наук, Махачкала

Россия, 367030, Республика Дагестан, Махачкала, ул. Ярагского, 75

<sup>2</sup>Дагестанский государственный технический университет, Махачкала

367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70

idarmachev@yandex.ru, a-nasir@mail.ru

**Аннотация.** Изучение обвальных геологических процессов на Кавказе в местах проживания людей аэрокосмическими, палеогеографическими, геоморфологическими и другими методами является важной проблемой. Требуется отдельного рассмотрения вопрос геофизического мониторинга неустойчивых массивов в местах расположения населенных пунктов, линий электропередач и других объектов народнохозяйственного значения. Целью работы является изучение механизма неустойчивого состояния скального массива, исследование его характерных признаков на финальном этапе разрушения. Для геофизического мониторинга использовался новый метод инструментального измерения ширины трещины. Разработка состоит из датчика линейного изменения длины с циферблатным регистратором, вольфрамовой проволоки, закрепленной на противоположных торцах трещины отрыва. Преимуществом данного инструмента является отсутствие источника питания, дрейфа нуля, простота конструкции по сравнению с электронными устройствами. Разработанная установка может быть рекомендована для практического применения. На основе мониторинга исследована динамика движения скального массива в течение полутора лет. Установлена сезонная зависимость ширины трещины от температуры атмосферы с обратимым характером изменений. В летний период ширина трещины уменьшается, а зимой – увеличивается, при этом максимальная амплитуда ее изменения составляет 4,57 мм. Обратимый характер изменения ширины трещины за сезонный период, а также отрицательный знак уравнения регрессии рядов данных, показывающих изменения ширины трещины от временной шкалы наблюдений, позволяет сделать вывод о том, что на данном этапе исследований наклона массива в сторону его предполагаемого падения не происходит.

**Ключевые слова:** микросейсмы, землетрясения, стоячие океанические волны, волны Лява и Релея, модулированные колебания, струнный датчик, коэффициент температурного расширения, наклономер.

**Abstract.** The study of landslide geological processes in the Caucasus in the places where people live by aerospace, paleogeographic, geomorphological and other methods is an important problem. The issue of geophysical monitoring of unstable massifs at the locations of settlements, power lines and other objects of national economic importance re-

quires a separate consideration. The aim of the work is to study the mechanism of the unstable state of the rock mass, to study its characteristic features at the final stage of destruction. For geophysical monitoring, a new method of instrumental fracture width measurement was used. The development consists of a linear length change sensor with a dial recorder, a tungsten wire fixed at the opposite ends of the rupture crack. The advantage of this instrument is the absence of a power source, zero drift, simplicity of design compared to electronic devices. The developed setup can be recommended for practical use. On the basis of monitoring, the dynamics of the movement of the rock mass was studied for a year and a half. A seasonal dependence of the crack width on atmospheric temperature with a reversible character of changes is established. In summer, the width of the crack decreases, and in winter it increases, while the maximum amplitude of its change is 4.57 mm. The reversible nature of the change in the width of the fracture over the seasonal period, as well as the negative sign of the regression equation of the data series showing changes in the width of the fracture from the time scale of observations, allows us to conclude that at this stage of the study, the rock mass does not tilt towards its supposed fall.

**Key words:** *microseisms, earthquakes, standing ocean waves, Love and Rayleigh waves, modulated oscillations, string sensor, thermal expansion coefficient, tiltmeter.*

### **Введение**

Обвальные процессы больших скальных массивов на крутых склонах играют доминирующую роль в долгосрочных процессах формирования ландшафтов, являются также опасными геологическими процессами, представляющими угрозу жизнедеятельности людей и объектов инфраструктуры. Классический подход исследований обвальных процессов – это изучение их механизмов разрушения [13], условия окружающей среды до и после события [12] и долгосрочный геофизический мониторинг с помощью дистанционного зондирования радарными, тахеометрами, точечных измерений смещения щелемерами и другими датчиками [7, 10, 11, 4, 17]. Используются также сейсмические методы исследования [2, 15]. Ни один из этих подходов не может обеспечить достоверное представление о процессах разрушения горных пород с высоким временным разрешением, за которым следует неминуемый обвал.

На трудности определения критического состояния обвального процесса накладываются также триггерные процессы воздействия сильных землетрясений, колебания, вызванные силой ветра. Оказывают

свое влияние изменение сезонной температуры, осадки, периоды переходов от заморозков к таянию снежного покрова и др. процессы [16]. Внешними факторами триггерного воздействия могут служить сильные землетрясения, произошедшие на удалении более 1000 км [5, 6], которые вызывают возникновение поверхностных волн Релея и Лява с периодами колебаний от нескольких секунд до нескольких десятков секунд [1]. Поверхностные волны вызывают покачивание высотных зданий амплитудой до 0,5 м, оползни, обвалы на горных склонах, возникновение трещин в грунтах, обрывы телефонных и электрических линий.

Объектом исследований является неустойчивый скальный массив, расположенный над населенным пунктом Гуниб (Дагестан) (координаты: 42.40° с.ш.; 46.94° в.д.) и представляющий опасность обрушения (рисунок 1). Данный участок представляет собой вертикальный блок размером 20×50×60 м, отделенный от основной части массива известняковой толщи, лежащий на слое из алевролитистой глины мощностью до 1 м. Скальный массив вместе с глинистой подложкой наклонен под углом 40° в сторону обрыва. На вершине

массива ширина трещины между цельным и оторванным блоком составляет около 2 м. Учитывая, что прочность на сжатие и сдвиг глин ниже, чем у известняков, деформация твердой части толщи горных

пород будет происходить в сторону уклона по глинистой прослойке. В результате чего в вышележащем слое образуются вертикальные трещины отрыва.



Рисунок 1 – Фото потенциально обвального массива над Гунибом

В 2020 году на скальном массиве проводились сейсмометрические наблюдения для регистрации подвижек и колебаний с помощью цифровой установки. Установка состояла из сейсмометра, операционного усилителя, встроенного в его корпусе и аналого-цифрового преобразователя (АЦП), сопряженного с ноутбуком [2].

Были изучены кинематические параметры скального массива, находящегося в условиях неустойчивого равновесия. Установлено, что микросейсмы штормовых циклонов в океане периодом 14 – 15 с вызывают возникновение модулированных собственных колебаний массива периодом 0,87 с максимальной амплитудой 0,8 мкм.

За небольшой период сейсмометрических наблюдений на скале было зарегистрировано несколько землетрясений магнитудами  $M = 3,0 - 3,6$ , произошедших на

Главном Кавказском хребте. Эпицентры землетрясений находились от Гуниба на расстояниях 35 – 45 км. Запись одного из них, произошедшего 15.09.2020 года с координатами эпицентра:  $42,39^\circ$  с.ш.,  $46,49^\circ$  в.д., приведена на рисунке 2.

На сейсмограмме выделяются две волны, вначале продольная  $V_p$  продолжительностью 12 с, с максимальной амплитудой 12,6 мкм и поперечная  $V_s$  с большей амплитудой (57 мкм) и продолжительностью 20 с. Периоды колебаний обеих волн находятся в пределах  $T = 1,8 - 2,2$  с.

Сравнение периодов колебаний землетрясения и собственных колебаний скалы ( $T = 0,87$  с) показывает, что они не совпадают по фазе. Поэтому на записи землетрясения нет аномальных резонансных колебаний, связанных с частотой собственных колебаний. Внешними фактора-

ми триггерного воздействия могут служить колебания не только от сильных близких землетрясений, но и удаленных, магнитудами  $M \geq 9$ , которые могут спровоцировать

обвалы процессы в массивах горных пород, находящихся в условиях неустойчивого равновесия.

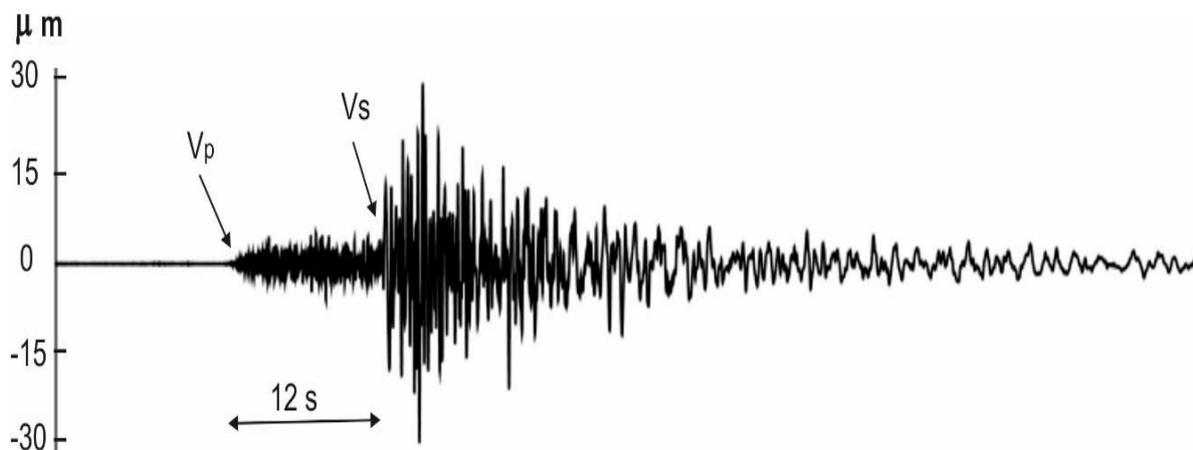


Рисунок 2 – Сейсмограмма землетрясения 15.09.2020 года

### **Методы исследования линейной деформации массива**

Разработка механического устройства для регистрации линейной деформации была обусловлена тем, что в горной местности частые грозы с молниями приводят к порче дорогостоящего электронного оборудования.

Например, в 2020 году серия телеметрических сейсмостанций, установленных на горе Хохфогель в австрийских Альпах, вышла из строя в результате грозовой молнии, проработав всего в течение 44 суток [8, 9]. Электронный двухкоординатный наклономер на горе Гуниб, установленный нами, также вышел из строя от грозовой молнии. Поэтому, чтобы не было сбоя в работе, на исследуемой скале измерение ширины трещины проводилось струнным датчиком собственной конструкции.

Струнный датчик состоит из вольфрамовой проволоки диаметром 0,3 мм, закрепленной на обеих сторонах трещины. В данном месте ширина трещины составляет 197,8 см.

Один конец проволоки закреплен на подвижной части измерительного устройства с циферблатом линейного перемещения марки *NEUTER* (рисунок 3). Натяжение проволоки обеспечивается пружиной. Точность измерения длины составляет 0,01 мм или 10 мкм. Измерительное устройство имеет кожух от воздействия солнца и дождя. Одновременно измеряется температура атмосферы бытовым градусником  $\pm 1^\circ\text{C}$ . На рисунке 4 приведены совмещенные графики струнного датчика и температуры атмосферы за период наблюдений с 18.07.2020 года по 16.01.2022 года.

Анализ графика струнного датчика показывает, что он имеет сезонный ход обратный по фазе с температурой атмосферы. Коэффициент корреляции между ними для всего периода  $K = -0,78$ . С понижением температуры, начиная с октября по март 2020 года, наблюдается расширение трещины, а с повышением температуры с марта по июнь этого же года – ее сжатие.

На относительно коротких интервалах 12 – 15 суток в июле – августе 2020 года изменение температуры не оказывает осо-

бого влияния. Короткие вариации температуры в пределах 15 – 25°C вызывают изменение ширины трещины не более 4% от максимального сезонного значения (4570 мкм). Из чего следует, что на ширину трещины оказывает влияние сезонный ход температуры атмосферы. Некоторое отставание экстремальных значений ширины трещины и температуры атмосферы, при-

мерно на 2 месяца, указывает на физически обоснованную связь между ними, то есть, для прогрева и остывания скального массива требуется определенное время. Можно предположить, что фазы ускорения деформации и их циклические этапы могут быть связаны с осадками в Гунибском районе Дагестана.



Рисунок 3 – Фото струнного измерителя ширины трещины

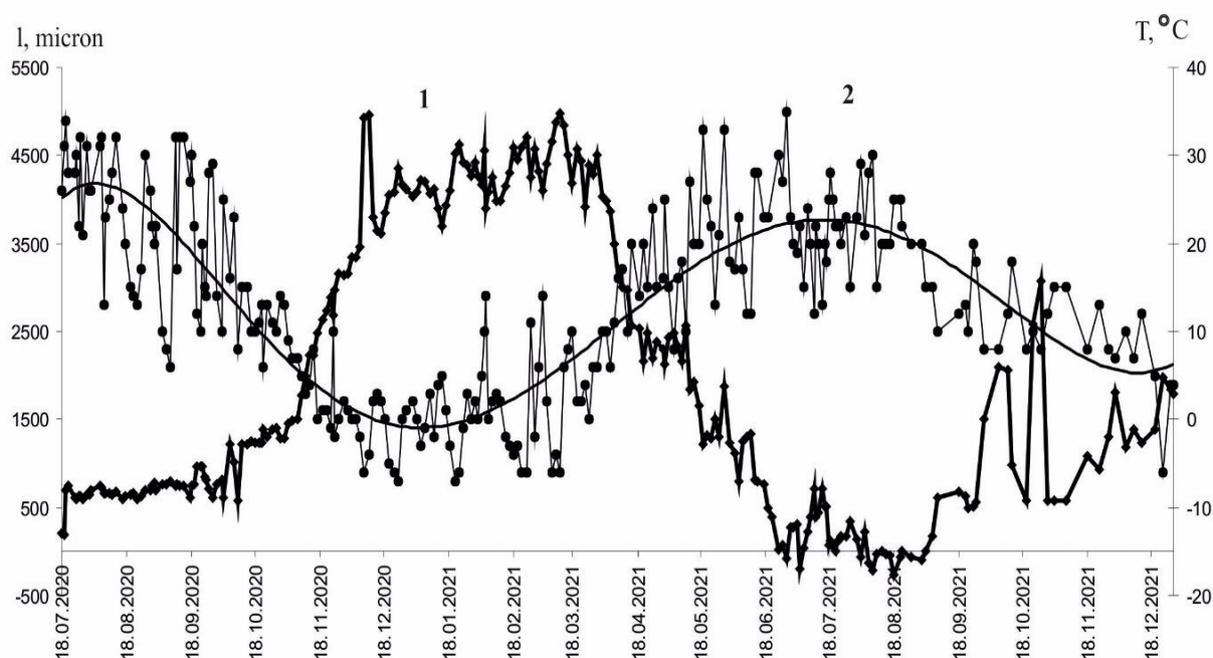


Рисунок 4 – Графики изменения ширины трещины скального массива над Гунибом, измеренной струнным датчиком (1), и температуры атмосферы (2)

Для сравнения в таблице показано месячное количество осадков в 2020 и 2021 гг. Максимальное количество осадков выпало в июле, августе 2020 года, а ускорение деформации скального массива наблюдается в ноябре и декабре 2020 года, при этом количество осадков выпало в разы меньше, чем в июле – августе. Из этого следует, что атмосферные осадки не оказывают прямого влияния на деформационный процесс скального массива. Однако не исключается возможность их влияния спустя некоторое время, необходимое для просачивания дождевой воды в основание массива с глинистой прослойкой. Увлажнение глинистых пород может привести к ее деформации, оседанию массива или подвижке по направлению уклона пласта.

В этом случае график ширины трещины должен испытывать тренд, указывающий на процесс необратимой деформации, связанный с оседанием или наклоном. Расчет уравнения регрессии для данных ряда ширины трещины ( $y = -1,37x$ ) показывает ее уменьшение за период наблюдений.

Однако уравнение с отрицательным знаком может быть ошибочным из-за небольшого периода наблюдений – менее чем полутора лет. В случае оседания или расширения трещины знак уравнения должен быть положительным.

Из данного анализа следует, что основным фактором, оказывающим влияние на динамику скального массива, является сезонная температура атмосферы.

Таблица – Количество осадков в месяц в Гунибе за 2020 и 2021 гг, мм [18]

2020 год						2021 год		
июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль (с 1 по 14)
41	103	120	48	6	21	8	23	12

Температура атмосферы может также влиять на физические характеристики самого струнного датчика. При этом следует учесть, что температура струны будет меняться практически синхронно с температурой атмосферы. Для этого необходимо оценить изменение длины струны для максимального изменения температуры атмосферы на  $24^{\circ}\text{C}$  за короткий период с 27.08.2020 года по 08.09.2020 года по формуле линейного теплового расширения металлов [3]:

$$\Delta l = \alpha \Delta T \quad (1),$$

где  $\Delta l$  – линейное расширение металла;  $\alpha$  – температурный коэффициент;  $\Delta T$  – разность температуры тела. Подставляя численные значения  $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$  для вольфрама,  $\Delta T = 24^{\circ}\text{C}$  и длину струны  $l = 198 \cdot 10^4$  мкм в (1), получаем  $\Delta l = 204$  мкм.

По данным полевых измерений «увели-

чение» ширины трещины за этот период в результате понижения температуры составило  $\Delta l = 100$  мкм. Данное расчетное тепловое изменение длины струны составляет менее 4% от максимальной амплитуды измеренного расширения трещины за весь период наблюдений. Из графиков, приведенных на рисунке 4 видно, что ширина трещины имеет высокую корреляционную связь с температурой атмосферы. Поэтому был сделан расчет по формуле (1) для оценки температурного расширения скалы.

Для этого были взяты следующие численные значения:  $\alpha = 8 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$  – температурный коэффициент известняка [4];  $l = 20 \cdot 10^6$  мкм – поперечная ширина скального массива;  $\Delta T = 45^{\circ}\text{C}$  – максимальная амплитуда сезонной температуры. Подставляя их в (1), имеем  $\Delta l = 7200$  мкм.

Если иметь в виду, что скальный массив расширяется в обе стороны равномерно, то изменение ширины трещины составит только половину  $\Delta l$ , то есть 3200 мкм.

Из этих оценок следует, что тепловое расширение массива может существенно исказить данные измерения ширины трещины, связанные с наклоном скалы.

### **Выводы**

Проведено испытание механического струнного датчика линейного перемещения для измерения динамики «падающего» скального массива на горе Гуниб. Погрешность измерений не превышает 10 мкм или  $10^{-5}$  м. Преимуществом данного инструмента является отсутствие источника питания, дрейфа нуля, простота конструкции по сравнению с электронными устройствами. Установка может быть использована для практического применения. При необходимости в устройстве может быть предусмотрена возможность установления звуковой, световой сигнализации и передачи сигнала тревоги по сотовой связи.

На основе мониторинга ширины отрывной трещины скального массива исследована динамика в течение полутора лет. Зарегистрировано максимальное изменение ширины трещины на 4570 мкм за сезон 365 суток. Установлена зависимость ширины трещины от сезонной температуры атмосферы. Численные расчеты температурного режима исследуемого массива показывают возможность изменения ширины трещины на 3200 мкм и более.

Ширина трещины за годовой период наблюдений с 18.07.2020 года по 18.07.2021 года возвратилась в исходное положение. Данный факт позволяет полагать, что скальный массив на данном этапе наблюдений не испытывает динамику, связанную с наклоном в сторону его предполагаемого падения. Однако на графике в отдельные периоды наблюдаются скачкообразные изменения большой амплитуды 1500 – 2500 мкм, природу которых предстоит еще выяснить. Это предполагает проведение дальнейших исследований, например, наклонометрических.

### **Библиографический список**

1. Дубянский А.И., Зайцев С.В., Силкин К.Ю. Поверхностные волны сейсмических событий в условиях Воронежского кристаллического массива // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геофизика. 2005. № 1. С. 221–225.
2. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Идармачев И.Ш. Сейсмометрический мониторинг неустойчивого скального массива в Гунибском районе Дагестана (Северный Кавказ) // Геология и геофизика Юга России. 2021. Т. 11. № 2. С. 74–86.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1985. 250 с.
4. Петрунин Г.И., Попов В.Г. Теплофизические свойства вещества Земли: учебное пособие. М.: Изд. МГУ, 2011. 67 с.
5. Рихтер Ч. Элементарная сейсмология. М.: Изд. иностранной литературы, 1963. 670 с.
6. Соболев Г.А., Закржевская Н.А. К вопросу влияния удаленных землетрясений на сейсмичность // Физика Земли. 2013. № 4. С. 29 – 42.
7. Collins B., Stock G.M., Eppes M.E. et oll. Thermal influences on spontaneous rock dome exfoliation // Nature communications. 2018. Т. 10. No 762. P. 1–12.
8. Dietze M. Grain-size distribution unmixing using the package emmangeo // Quaternary Science Journal. 2019. No 68(1). P. 29-46.
9. Dietze M., Krautblatter N., Illien L., Hovius N. Seismic constraints on rock damaging related to a failing mountain peak: the Hochvogel, Allgäu // Earth Surface Processes and Landforms. 2021. Vol. 46. No 2. P. 417–429.
10. Dixon N., Smith A., Flint J., Kyanna R., Clark B., Andjelkovich M. An acoustic emission landslide early warning system for communities in low-income and middle-income countries // Landslides 15.

2018. P. 1631-1644.

11. Di Maio C., Vassallo R., Pascale S., Sdao F. Structure and kinematics of a landslide in a complex clayey formation of the Italian southern Apennines // *Engineering Geology*. 2010. 116(3). P. 311-322.

12. D'Amato J., Hantz D., Jaboyedoff M., Baillet L., Mariscal A. Influence of meteorological factors on rockfall occurrence in a middle mountain limestone cliff // *Natural Hazards and earth system Sciences*. 2016. 16(3). P. 719-735.

13. Frayssines M., Hantz D. Failure mechanisms and triggering in calcareous cliffs of the subalpine ranges (French alps) // *Engineering Geology*. 2006. 86. P. 256-270.

14. Levy C., Baillet L., Jongmans D., Mourot P., Hantz D. Dynamic response of the chamousset rock column (western alps, france) // *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2010. 115(F4). P. 40-43.

15. Nakamura Y. A method of dynamic characteristics estimations subsurface using microtremors on the ground surface // *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*. 1989. (30). P. 25-33.

16. Stock G.M., Collins B.D., Santaniello D.J., Zimmer V.L., Wieczorek G.F., Snyder J.B. Historical rock falls in Yosemite national park // *U.S. Geophysical Survey Data Series*. 2013. (746). P. 17.

17. Walter F., Amann S., Kos A., Kenner R., Phillips M., de Preux A., Huss M., Tognacca C., Clinton J., Diehl T., Bonaomi Y. Direct observations of a three million cubic meter rock-slope collapse with almost immediate initiation of ensuing debris flows // *Geomorphology*. 2020. (351). 106933.

18. Сайт 365 по Цельсию: точный прогноз и история [Электронный ресурс] // URL: <https://pogoda.365c.ru/russia/gunib>. (дата обращения: 17.08.2022).

### Referenses

1. Dubyanskij A.I., Zajcev S.V., Silkin K.Yu. Poverhnostnye volny sejsmicheskikh sobytij v usloviyah Voronezhskogo kristallicheskogo massiva // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geofizika*. 2005. № 1. S. 221–225.

2. Idarmachev Sh.G., Cherkashin V.I., Idarmachev I.Sh. Sejsmometricheskij monitoring neustojchivogo skal'nogo massiva v Gunibskom rajone Dagestana (Severnyj Kavkaz) // *Geologiya i geofizika YUga Rossii*. 2021. T. 11. № 2. S. 74–86.

3. Kuhling H. *Spravochnik po fizike*. M.: Mir, 1985. 250 s.

4. Petrunin G.I., Popov V.G. *Teplofizicheskie svojstva veshchestva Zemli: uchebnoe posobie*. M.: Izd. MGU, 2011. 67 s.

5. Richter Ch. *Elementarnaya sejsmologiya*. M.: Izd. inostranoj literatury, 1963. 670 s.

6. Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A. K voprosu vliyaniya udalennyh zemletryasenij na sejsmichnost' // *Fizika Zemli*. 2013. № 4. S. 29 – 42.

9. Collins B., Stock G.M., Eppes M.E. et oll. Thermal influences on spontaneous rock dome exfoliation // *Nature communications*. 2018. T. 10. No 762. P. 1–12.

10. Dietze M. Grain-size distribution unmixing using the package emmangeo // *Quaternary Science Journal*. 2019. No 68(1). P. 29-46.

9. Dietze M., Krautblatter N., Illien L., Hovius N. Seismic constraints on rock damaging related to a failing mountain peak: the Hochvogel, Allgau // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2021. Vol. 46. No 2. P. 417–429.

10. Dixon N., Smith A., Flint J., Kyanna R., Clark B., Andjelkovich M. An acoustic emission landslide early warning system for communities in low-income and middle-income countries // *Lanslides* 15. 2018. P. 1631-1644.

11. Di Maio C., Vassallo R., Pascale S., Sdao F. Structure and kinematics of a landslide in a complex clayey formation of the Italian southern Apennines // *Engineering Geology*. 2010. 116(3). P. 311-322.

12. D'Amato J., Hantz D., Jaboyedoff M., Baillet L., Mariscal A. Influence of meteorological factors on rockfall occurrence in a middle mountain limestone cliff // *Natural Hazards and earth system Sciences*.

2016. 16(3). P. 719-735.

13. Frayssines M., Hantz D. Failure mechanisms and triggering in calcareous cliffs of the subalpine ranges (French alps) // *Engineering Geology*. 2006. 86. P. 256-270.

14. Levy C., Baillet L., Jongmans D., Mourot P., Hantz D. Dynamic response of the chamousset rock column (western alps, france) // *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2010. 115(F4). P. 40-43.

15. Nakamura Y. A method of dynamic characteristics estimations subsurface using microtremors on the ground surface // *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*. 1989. (30). P. 25-33.

16. Stock G.M., Collins B.D., Santaniello D.J., Zimmer V.L., Wiczorek G.F., Snyder J.B. Historical rock falls in Yosemite national park // *U.S. Geophysical Survey Data Series*. 2013. (746). P. 17.

17. Walter F., Amann S., Kos A., Kenner R., Phillips M., de Preux A., Huss M., Tognacca C., Clinton J., Diehl T., Bonaomi Y. Direct observations of a three million cubic meter rock-slope collapse with almost immediate initiation of ensuing debris flows // *Geomorphology*. 2020. (351). 106933.

18. Sajt 365 po Cel'siyu: tochnyj prognoz i istoriya [Elektronnyj resurs] // URL: <https://pogoda.365c.ru/russia/gunib>. (data obrashcheniya: 17.08.2022).

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

*Дата поступления в редакцию / Received 22.08.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 09.09.2022*

*Принята к публикации / Accepted 11.09.2022*

*© Ш.Г. Идармачев, А.М. Джамалудинов, 2022*

---

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

---

*Идармачев Шамиль Гасанович – доктор физико-математических наук, Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра Российской Академии наук.*

*Shamil Idarmachev – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Geology of the Daghestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.*

*Джамалудинов Абдулнасир Магомедович – преподаватель кафедры архитектуры Дагестанского государственного технического университета.*

*Abdulnasir Jamaludinov – Lecturer at the Department of Architecture, Daghestan State Technical University.*

Ссылка для цитирования: *Идармачев Ш.Г., Джамалудинов А.М. Мониторинг движения неустойчивого скального массива на горе Гуниб // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 3. С. 3 - 11. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-11.*

For citation: *Idarmachev Sh.G., Jamaludinov A.M. Monitoring the movement of an unstable rock mass on Mount Gunib // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 3. P. 3 - 11. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-11.*

## СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Р.М. Алиев, Ш.М. Курбанов, И.А. Давудов, А.С. Абдулкадыров  
Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70  
shalym04@mail.ru

**Аннотация.** Приведена информация по современному состоянию топливно-энергетического комплекса Республики Дагестан, указан высокий углеводородный потенциал шельфа региона. Отмечены также ресурсные возможности республики в области освоения возобновляемых источников энергии. Авторами предложены неотложные меры, которые могли бы активизировать работы в области освоения углеводородного потенциала и ресурсов возобновляемой энергетики Дагестана.

**Ключевые слова:** топливно-экономический комплекс, шельф, возобновляемые источники энергии, нефтяное месторождение, гидроэнергетика, энергетика с нейтральным углеродным следом.

**Abstract.** Information on the current state of the fuel and energy complex of the Republic of Dagestan is given, the high hydrocarbon potential of the region's shelf is indicated. The resource opportunities of the republic in the field of development of renewable energy sources were also noted. The authors propose urgent measures that could intensify work in the development of the hydrocarbon potential and renewable energy resources of Dagestan.

**Key words:** fuel and economic complex, shelf, renewable energy sources, oil field, hydro-power, energy with a neutral carbon footprint.

### Введение

Дагестан является одним из старейших нефтедобывающих районов России, однако текущий уровень добычи нефти и газа не соответствует потенциальным возможностям республики. Между тем по прогнозным ресурсам углеводородов территория Дагестана занимает лидирующее положение среди республик Северного Кавказа. Сегодня Республика Дагестан (РД) обладает немалым углеводородным потенциалом, позволяющим реализовать самые оптимистичные прогнозы добычи нефти и газа на период до 2030 года. В то же время состояние минерально-сырьевой базы нефти характеризуется снижением

разведанных запасов и низкими темпами их восполнения.

### Теоретические и экспериментальные исследования

Объем добычи нефти с газовым конденсатом по итогам 2020 года составил по Дагестану 124 тыс. тонн, что на 25,6% ниже, чем в 2019 году. Иначе, как катастрофическим, такое положение не назовешь. Причины этого хорошо известны: это резкое снижение объема геолого-разведочных работ в республике и низкий коэффициент извлечения нефти. Учитывая географическое расположение Дагестана главным направлением развития нефтегазового

комплекса должно стать освоение шельфовых месторождений. По различным оценкам извлекаемые геологические ресурсы на территории Каспийского шельфа Дагестана могут оцениваться в 500 млн. тонн условного топлива. Тут следует отметить одно очень важное обстоятельство для трудоизбыточного Дагестана: одно рабочее место при морской нефтедобыче создает 8 мест в смежных областях. На шельфе РД выявлено лишь одно нефтяное месторождение – Инчхе-море.

По данным сейсморазведки последних лет, а также по аналогии с Северным и Средним Каспием [1, 2], где выявлен ряд крупных месторождений – им. Ю. Корчагина, Ракушечное, им. Филановского, Хвалынкское, 170 км, Сарматское и Центральное, есть все основания прогнозировать открытие большого количества шельфовых месторождений углеводородов в дагестанском секторе Каспия различного масштаба запасов – от средних до крупных.

Результаты интерпретации сейсмических данных, полученных ОАО «Геотермнефтегаз» в пределах лицензионного блока «Избербашский», расположенного на шельфе Южного Дагестана, указывают на наличие в разрезе многочисленных литологических неоднородностей и позволяют прогнозировать залежи углеводородов в литологических и литолого-стратиграфических ловушках [3].

Данные проведенных сейсмических исследований в пределах шельфа и прибрежной зоны Дагестана позволяют прогнозировать новые перспективные площади не только на шельфе, но и на суше. Исследования показывают значительный потенциал для увеличения запасов и добычи углеводородов на шельфе Дагестана, где выделены различные типы новых перспективных ловушек в отложениях от юрымела до плиоцена включительно. Анализ геологических моделей ловушек углеводородов показывает, что в пределах суши Южного

Дагестана возможно выявление, в основном, мелких по запасам (менее 1 млн. т у.т.), а на территории шельфа – крупных и средних по запасам залежей углеводорода, тектоническое сходство которых позволяет использовать ловушки на суше, как аналоги морских. Освоение морских месторождений, как известно, требует вложения огромных средств, что весьма проблематично для Дагестана, учитывая нынешнюю геополитическую и макроэкономическую ситуацию.

Следует также принять во внимание тренд развития энергетики с низкоуглеродным следом, который в настоящее время стал доминирующим в развитых странах мира. Как известно, добиться углеродной нейтральности можно тремя способами:

- сократить прямые выбросы и перейти на возобновляемые источники энергии;
- обеспечить прямой захват CO<sub>2</sub> из воздуха;
- инвестировать в проекты, направленные на сокращение выбросов углекислого газа.

Сокращение прямых выбросов предприятия считается самым эффективным способом компенсации углеродного следа.

Однако этот путь связан с экономическими ограничениями. Чтобы сократить вред, приходится снижать темпы работы предприятия, уменьшать объемы производства, тем самым снижая доходы. Если оставить темпы производства на том же уровне, придется вложиться в технологии, которые будут работать на снижение выбросов. Этот процесс требует не меньшего количества ресурсов. Прямой захват CO<sub>2</sub> позволяет как бы «заблокировать» попадание углекислого газа в атмосферу. Его закачивают в подходящие для этого подземные пласты или делают частью химических процессов производства.

Углекислый газ перехватывается и перераспределяется в геологические хранилища. Там он остается на очень долгий

период времени. Улавливание газа происходит не из атмосферы, а при сжигании биомассы – растений и сельскохозяйственных культур. С каждым годом в мировой практике становится все больше проектов по компенсации углеродного следа. Один из самых популярных – восстановление лесов. Еще один тип проектов занимается восстановлением среды, в которой содержится так называемый «голубой углерод». Он хранится в прибрежных зонах и морских экосистемах. Растения в них поглощают углекислый газ из атмосферы быстрее, чем леса.

Одним из основных направлений концепции низкоуглеродной энергетики является использование возобновляемых источников энергии. Таким образом сложившаяся ситуация в мире настоятельно диктует необходимость использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в топливно-энергетическом комплексе.

Как указано в Википедии [4] «возобновляемая, или регенеративная, «зелёная», энергия – энергия из энергетических ресурсов, которые являются возобновляемыми или неисчерпаемыми по человеческим масштабам. Основной принцип использования возобновляемой энергии заключается в её извлечении из постоянно происходящих в окружающей среде процессов или возобновляемых органических ресурсов и предоставлении для технического применения.

Возобновляемую энергию получают из таких природных ресурсов, как солнечный свет, водные потоки, ветер, приливы и геотермальная теплота, которые пополняются естественным путём, а также из биотоплива: древесины, растительного масла, этанола [5, 6, 7].

В 2019 году 26,8% мирового энергопотребления было удовлетворено из возобновляемых источников энергии (из которых большая часть (16%) составляет гидроэнергетика). В широком понимании добыча

ископаемых энергоносителей, таких как каменный уголь, нефть, природный газ или торф тоже являются возобновляемыми, но не по человеческим меркам, а по геологическим – на их образование требуется сотни миллионов лет, причем их трата проходит гораздо быстрее.

Россия является одним из мировых лидеров в использовании электроэнергии от возобновляемых источников, но только в области гидроэнергетики. Все остальные направления развиты недостаточно, хотя страна обладает значительным природным потенциалом. Факторы, мешающие в Российской Федерации (РФ) вплотную заниматься альтернативной энергетикой, кроются в наличии огромных ресурсов ископаемого топлива для тепловых электростанций и отсутствии стимулов со стороны государства для развития «зеленой» энергетик.

Так, в Западной Европе выплачиваются повышенные налоги за выброс в атмосферу CO<sub>2</sub>, поэтому «чистые» технологии для генерации электроэнергии гораздо выгоднее использовать. В 2019 году Правительство РФ приняло решение стимулировать развитие солнечной и ветровой энергетик, доведя ее долю до 1% (5 ГВт) в общей выработке.

Ветроэнергетика в РФ является одним из самых перспективных направлений для развития. В России существует достаточное количество зон, благоприятных для установки ветрогенераторов. Это степные районы, предгорья Алтая, Урала и Кавказа, морские побережья. Отличными природными условиями для развития солнечной энергетик обладает Юг России. Наша страна наладила выпуск солнечных панелей, которые устанавливаются при строительстве электростанций. Мощность уже построенных солнечных электростанций составляет от 0,1 до 75 мВт. По данным специалистов, на территории РФ сосредоточен потенциал энергии от геотермаль-

ных источников, превышающий запасы ископаемого топлива. Основные территории его концентрации – полуостров Камчатка и острова Курильской гряды, но присутствуют источники также на Кавказе, в Калининградской области, Западной Сибири. Разведанные объемы геотермальных вод – почти 14 млн. м<sup>3</sup> горячей воды. Это соответствует 30 млн. т топливных ресурсов.

Дагестан является регионом России, где имеется самая большая ресурсная база для генерации гидро- и геотермальной, солнечной и ветровой энергии, что подразумевает огромные возможности для комплексного интегрированного развития ВИЭ. Рассмотрим ресурсы возобновляемых источников энергии Дагестана более подробно.

*Гидроэнергетические ресурсы.* В целом, ресурсы малой гидроэнергетики Дагестана по разным оценкам составляют 16,45 млрд. кВт\*ч/год. Это значение можно считать валовым потенциалом гидроэнергии малых рек Дагестана. Технический потенциал, определяющий реальную возможность использования энергии этого вида, составляет 4,27 млрд. кВт\*ч/год, а экономический потенциал, дающий возможность сооружения рентабельных малых ГЭС в существующих условиях – 2,25 млрд. кВт\*ч/год.

*Геотермальные ресурсы.* Они наряду с гидроэнергией, солнечной и ветровой энергией являются практически неисчерпаемым, возобновляемым и экологически чистым источником энергии, который в перспективе реально может занять значительное место в топливно-энергетическом балансе Дагестана. В настоящее время используется лишь 100 тыс. Гкал или 10% от разведанных запасов (2 млн. Гкал). Таким образом, только лишь при полной реализации разведанных запасов возможный объем замещения природного газа может возрасти на порядок и достигнуть 15% регионального потребления. Самые большие

запасы геотермальной энергии в России, и еще с учетом использования их минеральной составляющей, безусловно, придадут динамику экономическому развитию Дагестана. Например, геотермальные воды Дагестана содержат промышленные запасы лития, дефицит которого сейчас ощущается очень остро. В подземных гидротермальных рассолах глубокого залегания выявлено 55 площадей с промышленным содержанием лития. Для добычи этих рассолов можно использовать существующие скважины на выработанных нефтегазовых месторождениях.

*Ресурсы солнечной энергии.* Дагестан обладает значительным потенциалом в области солнечной энергетики, который только начинает реализовываться. Общий потенциал солнечной энергии оценивается в 8,6 млрд. т у.т. Суммарная величина этого потенциала существенно превышает все актуальные и перспективные уровни потребления топливно-энергетических ресурсов вплоть до 2050 года и позволяет решать проблемы энергоснабжения региона на качественно новом уровне. В среднем на каждый квадратный метр территории Дагестана за год падает около 5000 МДж солнечной энергии (1,2 Гкал), что эквивалентно 170 кг у.т. Годовые же значения солнечной радиации на территории Дагестана могут быть оценены следующими показателями: валовой потенциал – 69343 млрд. кВт\*ч/год; технический потенциал – 693,4 млрд. кВт\*ч/год; экономический потенциал – 34,7 млрд. кВт\*ч/год.

*Ресурсы энергии ветра.* Наиболее подходящей для развития ветровой энергии является прибрежная зона Каспия, а на всей территории республики, можно выработать 251,5 млрд. кВтч/год. Это значение выработки можно считать валовым ветропотенциалом РД. Технический ветропотенциал, который может составить 8 – 10% валового, можно считать равным 20 – 25 млрд. кВтч, а экономический потенциал

– от 2 до 3 млрд. кВтч/год.

*Ресурсы прочих возобновляемых источников энергии.* Помимо рассмотренных природных источников возможно, но с меньшей эффективностью, использование и других ВИЭ: низкопотенциального тепла земли, поверхностных и подземных вод, волновой энергии Каспийского моря, энергии биомассы, из которой можно получать биогаз или синтез-газ для работы котельных. Учитывая значительные ресурсы ВИЭ Республики Дагестан, следует уделить больше внимания их развитию, не забывая при этом о необходимости модернизации и дальнейшего развития нефтегазового комплекса региона.

### **Заключение**

Для ускорения развития нефтегазового комплекса и ВИЭ РД предлагается рекомендовать Правительству РД включить программу разработки шельфа, прилегающего к республике, в федеральную программу освоения шельфа, составить обоснованную комплексную программу освое-

ния ВИЭ до 2030 года с определением приоритетных направлений (добыча лития, зеленая энергетика).

Минэнерго РД на основе цифровизации имеющегося материала провести реальную переоценку прогнозных ресурсов углеводородного сырья по всей территории РД, провести аудит категорийных запасов нефти и газа по разрабатываемым месторождениям с поэтапным включением блоков искусственного интеллекта, обеспечить расширение воспроизводства запасов углеводородов за счет геологоразведочных работ, подготовки месторождений к эксплуатации, как в традиционных, так и в новых районах нефтедобычи.

Необходимо развивать нефтепереработку с получением зеленого водорода, увеличить глубину переработки нефти и качество выпускаемых нефтепродуктов.

Для координации работ ускоренного развития и вовлечения нефтегазового комплекса и потенциала ВИЭ в экономику республики сформировать управление или комитет при Главе РД.

### **Библиографический список**

1. Шарафутдинов Ф.Г., Мирзоев Д.А., Алиев Р.М., Серебряков В.А. Геология нефтегазовых месторождений Дагестана и прилегающей акватории Каспийского моря: монография. Махачкала: Даг. книжное изд., 2001. 297 с.
2. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недра, 2004. 342 с.
3. Алиев Р.М., Курбанов Ш.М. Исследование областей формирования потенциальных ловушек углеводородов на суше Южного Дагестана и шельфе Каспия // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3. № 1. С. 3 – 16.
4. Возобновляемая энергия [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/возобновляемая\\_энергия](https://ru.wikipedia.org/wiki/возобновляемая_энергия) (дата обращения: 12.06.2022).
5. Сидорович В. Мировая энергетическая революция: Как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. М.: Альпина Паблишер, 2015. 208 с.
6. Ушаков В.Я. Возобновляемая и альтернативная энергетика: ресурсосбережение и защита окружающей среды. Томск: СПб Графика, 2011. 137 с.
7. Алхасов А.Б. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие. М.: Изд. дом МЭИ, 2016. 270 с.

### **References**

1. Sharafutdinov F.G., Mirzoev D.A., Aliev R.M., Serebryakov V.A. Geologiya neftegazovykh mestorozhdenij Dagestana i prilegayushchej akvatorii Kaspijskogo morya: monografiya. Mahachkala: Dag. knizhnoe izd., 2001. 297 s.

2. Glumov I.F., Malovickij Ya.P., Novikov A.A., Senin B.V. Regional'naya geologiya i nefte-gazonosnost' Kaspijskogo morya. M.: Nedra, 2004. 342 s.

3. Aliev R.M., Kurbanov Sh.M. Issledovanie oblastej formirovaniya potencial'nyh lovu-shek uglevodorodov na sushe YUzhnogo Dagestana i shel'fe Kaspiya // Nauchnye issledovaniya: itogi i perspektivy. 2022. T. 3. № 1. S. 3 – 16.

4. Vozobnovlyaemaya energiya [Elektronnyj resurs]: Vikipediya. Svobodnaya enciklopediya. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/vozobnovlyaemaya\\_energiya](https://ru.wikipedia.org/wiki/vozobnovlyaemaya_energiya) (data obrashcheniya: 12.06.2022).

5. Sidorovich V. Mirovaya energeticheskaya revolyuciya: Kak vozobnovlyaemye istochniki energii izmenyat nash mir. M.: Al'pina Pabliher, 2015. 208 s.

6. Ushakov V.Ya. Vozobnovlyaemaya i al'ternativnaya energetika: resursosberezhenie i zashchita okruzhayushchej sredy. Tomsk: SPB Grafiks, 2011. 137 s.

7. Alhasov A.B. Vozobnovlyaemye istochniki energii: uchebnoe posobie. M.: Izd. dom MEI, 2016. 270 s.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 02.07.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 19.08.2022*

*Принята к публикации / Accepted 21.08.2022*

*© Р.М. Алиев, Ш.М. Курбанов, И.А. Давудов, А.С. Абдулкадыров, 2022*

---

#### **Сведения об авторах**

#### **List of Authors**

---

*Алиев Расул Магомедович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтегазового дела Дагестанского государственного технического университета.

*Rasul Aliev* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Oil and Gas Business, Daghestan State Technical University.

*Курбанов Шамиль Магомедрасулович* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры нефтегазового дела Дагестанского государственного технического университета.

*Shamil Kurbanov* – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Oil and Gas Business, Daghestan State Technical University.

*Давудов Ибрагим Асхабович* – старший преподаватель кафедры нефтегазового дела Дагестанского государственного технического университета.

*Ibragim Davudov* – Senior Lecturer of the Department of Oil and Gas Business, Daghestan State Technical University.

*Абдулкадыров Арсен Саидович* – кандидат экономических наук, доцент кафедры нефтегазового дела Дагестанского государственного технического университета.

*Arsen Abdulkadyrov* – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Business, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Алиев Р.М., Курбанов Ш.М., Давудов И.А., Абдулкадыров А.С.* Стратегические приоритеты развития топливно-энергетического комплекса Республики Дагестан в современных условиях // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 3. С. 12 - 17. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-12-17.

For citation: *Aliev R.M., Kurbanov Sh.M., Davudov I.A., Abdulkadyrov A.S.* Strategic priorities for the development of the fuel and energy complex of the Republic of Daghestan in modern conditions // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 3. P. 12 - 17. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-12-17.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТИЕВОЙ ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ «ЛИТОЛ-24»

Ю.А. Булавка, А.Э. Кузман

Полоцкий государственный университет, Новополоцк  
211440, Республика Беларусь, Витебская область, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29  
u.bylavka@psu.by

**Аннотация:** Рассмотрена динамика объемов производства на рынке пластичных смазок России и стран СНГ и структура потребления литиевых смазок. Проведен анализ исходных компонентов сырьевой смеси для производства литиевой пластичной смазки «Литол-24» и технологии его приготовления в промышленных условиях на ОАО «Завод горного воска» (Беларусь). Предложено понижение содержания загустителя и повышение содержания экстракта нефтяного в литиевой пластичной смазке при реализации технологического процесса, что позволяет получать качественный продукт по сниженной стоимости.

**Ключевые слова:** литол, пластичная смазка, загуститель, термообработка.

**Abstract.** The dynamics of production volumes in the market of greases in Russia and CIS countries and the structure of consumption of lithium greases are considered. The analysis of the initial components of the raw mixture for the production of lithium grease "Litol-24" and the technology of its preparation in industrial conditions at the OJSC "Mountain Wax Plant" (Belarus) was carried out. It is proposed to reduce the content of the thickener and increase the content of the oil extract in lithium grease during the implementation of the technological process, which makes it possible to obtain a high-quality product at a reduced cost.

**Key words:** lithol, grease, thickener, heat treatment.

### Введение

На протяжении последних лет одним из главных трендов развития нефтегазового комплекса стран СНГ является масштабная модернизация нефтепереработки и нефтехимии [10-11]. Смазки пластичные (либо консистентные) – особый тип смазочных материалов, применяемых в обслуживании различных видов техники и оборудования, обеспечивая стабильность и долговечность работы механизмов.

В состав консистентных смазок входит базовое жидкое масло и загуститель, в частности, в литиевых пластичных смазках в качестве загустителя используют про-

стые или комплексные соли жирных кислот лития. Загуститель необходим для образования структурного каркаса, он способен удержать в себе базовое масло (дисперсионную среду). Определенное сочетание дисперсионной среды и дисперсной фазы (загустителя) обеспечивает пластичную структуру, благодаря этому смазка не растекается и удерживается в узлах трения [4, 6]. Отличительной особенностью пластичных смазок, по сравнению с жидкими смазочными материалами, является быстрое восстановление разрушенных связей между частицами дисперсной фазы и приобретение ими свойств твердого тела после

снятия нагрузки. Она проявляется в снижении предела прочности и вязкого сопротивления при механическом воздействии этих свойств после снятия нагрузок [2]. Характер такого восстановления зависит от структуры смазок.

Литиевые пластичные смазки выполняют следующие функции: уменьшение коэффициента трения; снижение износа деталей и механизмов для продления срока службы; разделение сопряженных деталей слоем смазки для предотвращения или уменьшения контакта шероховатых поверхностей; защита механизмов и узлов трения от атмосферной коррозии, воздействия агрессивных сред.

Требования, предъявляемые к литиевым пластичным смазкам следующие: снижение трения и износа в процессе работы в широком интервале температур; защита от коррозии деталей и

механизмов; сохранение неизменной консистенции при небольших нагрузках; сохранение функциональных свойств при поглощении небольшого количества загрязняющих примесей.

Цель данной работы является анализ технологического процесса производства литиевой пластичной смазки «Литол-24» на ОАО «Завод горного воска» с целью сокращения вовлечения загустителя.

### **Анализ динамики производства пластичных смазок**

Анализ рынка производства пластичных смазок в России за период 2015-2019 года показал устойчивую тенденцию к увеличению выпуска данного вида нефтехимической продукции [7]. На рисунке 1 видно, что динамика роста объема производства пластичных смазок за 2019 год по сравнению с предыдущим годом составила более 50 % и в целом возрастает линейно.

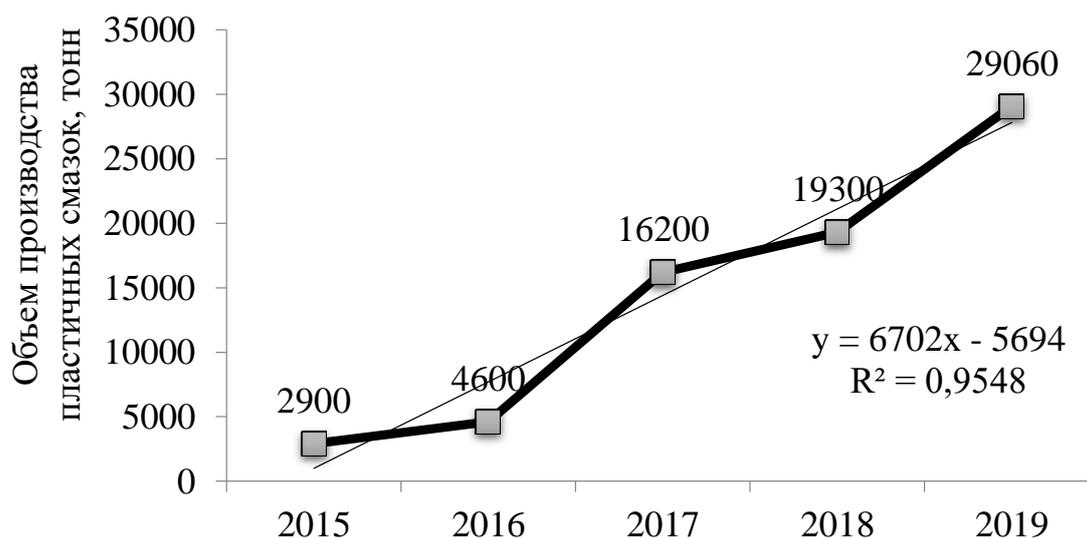


Рисунок 1 – Динамика роста объема производства пластичных смазок в России за 2015-2019 года, тонн

Рассмотренная закономерность обусловлена высоким спросом со стороны нефтеперерабатывающей, металлургической и автомобильной отраслей промышленности. В конечном итоге потребление смазочных материалов зависит от

множества экономических и технологических факторов. На рисунке 2 показано изменение структуры потребления смазочных материалов за 2015 – 2020 годы на территории СНГ.

В настоящее время большая доля от общего выпуска пластичных смазок приходится на долю литиевых, именно литиевые загустители получили наибольшую распространённость благодаря своей универсальности, простоте изготовления и многофункциональности.

Российский рынок смазочных материалов является проциклическим, с одной

стороны, экономический кризис, сложная эпидемиологическая ситуация, санкции западных стран оказывают на него негативное влияние, а с другой стороны, российские предприятия активно проводят политику импортозамещения, что положительно сказывается на спросе отечественных, в том числе белорусских смазочных материалов [8].

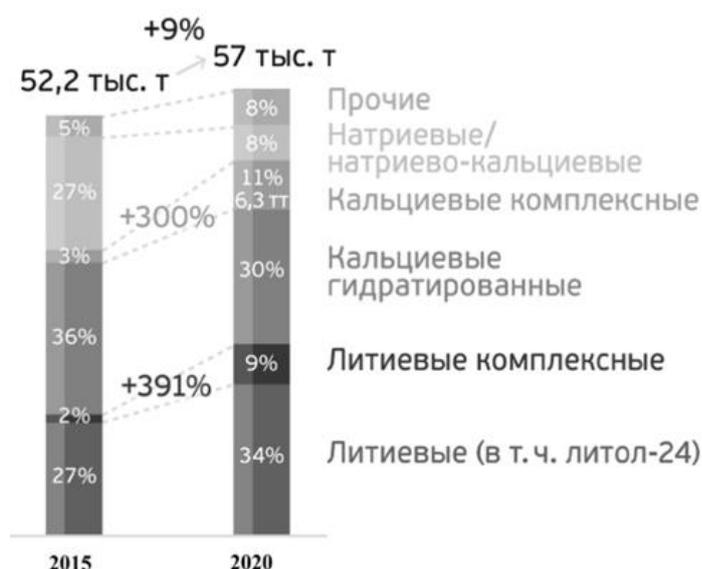


Рисунок 2 – Доля потребления литиевых смазок в общей структуре пластичных смазочных материалов

Качественные характеристики пластичных смазок в странах СНГ представлены двумя видами смазок: выпускаемых по ГОСТ и премиальными марками, производимыми по техническим условиям заводов-изготовителей. В течение последних лет общая динамика потребления смазок демонстрирует стабильный рост: с 2015 по 2020 годы спрос на смазки на рынке вырос на 9%, с 62,2 до 67 тыс. тонн. При этом потребление натриевых и натриево-кальциевых смазок снизилось с 27 до 8%, однако спрос на литиевые смазки вырос на более чем 300%, на кальциевые смазки – на 290%. При этом увеличивается сегмент производства смазок премиум-класса, выпускаемых не по ГОСТ для металлургического комплекса и горной промышленности, машиностроения и сферы обслуживания автотранспорта.

Вместе с тем, основными потребителями стандартизованных смазок являются железнодорожный транспорт и нефтегазовая промышленность. Несмотря на наличие с десятком современных аналогов смазка «Литол-24» остается востребованной благодаря большому опыту использования, высокому качеству, проверенным составам и доступному ценовому диапазону [1]. На рисунке 3 представлена стоимость смазки «Литол-24» различных производителей и его аналогов.

Анализ рынка литиевых пластичных смазок позволил установить, что наиболее высокая цена характерна для смазок производства *MOBILUX* и *Shell*. Наиболее доступный ценовой диапазон у производителей СНГ: Инвент Ойл (Россия), НПК Будмакс (Россия), Завод горного воска (Беларусь), Аксо (Беларусь).

Смазки на основе литиевого мыла обладают высокими водостойкими свойствами в отличие от натриевых

мыльных смазок. Они превосходят кальциевые мыльные смазки по высокотемпературным свойствам.

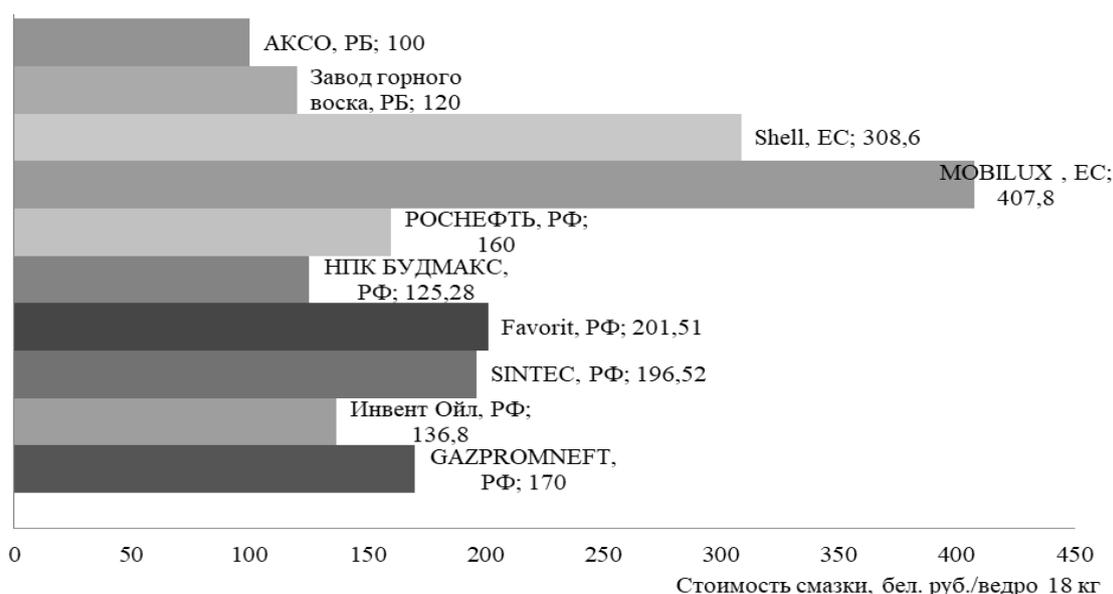


Рисунок 3 – Стоимость смазки «Литол-24» различных производителей и его аналогов

Также литиевые смазки имеют отличные механические свойства такие, как прокачиваемость и устойчивость к сдвигу. Загустители на основе гидроксида лития имеют ограниченную растворимость в воде (~10%), что определяет устойчивость при вымывании или впитывании водой.

Простые и комплексные литиевые смазки имеют хорошие маслоотделительные свойства, которые обеспечивают отличную смазывающую способность продукта и стабильность при хранении. В состоянии покоя литиевые смазки не выделяют много масла (дисперсионной среды), в то время как в зоне контакта данные смазки выделяют достаточное количество масла.

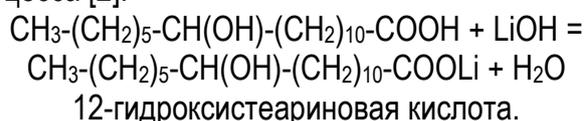
Также стоит отметить нетоксичность простых и комплексных литиевых смазок. В отличие от смазок на основе полимочевины, которые производятся с использованием токсичных изоцианатов и аминов, несмотря на то, что смазки на основе полимочевин имеют срок службы в 3 – 5 раз

превышающий срок службы литиевых смазок, их негативное влияние на живые организмы ограничивает их широкое распространение.

Несомненным достоинством литиевых смазок является их доступная цена. По данным *Vijay Desmukh* стоимость смазок, полученных из полимочевины, алюминиевого комплекса, комплекса сульфоната кальция минимум на 10% выше, чем стоимость комплексной литиевой смазки [3].

#### **Характеристика исходных компонентов и совершенствование технологии производства литиевой пластичной смазки «Литол-24»**

Смазка «Литол-24» изготавливается загущением смеси минеральных масел литиевыми мылами технической 12-гидроксистеариновой кислоты с добавлением присадок. Химическая реакция процесса [2]:



Литиевая соль 12-гидроксистеариновой кислоты (литиевое мыло).

В процессе производства литиевой пластичной смазки «Литол-24» на ОАО «Завод горного воска» в качестве дисперсионной среды используется масло промышленное марки И-20А и экстракт нефтяной производства ОАО «Нафтан». Загуститель включает в себя гидроксид лития, 12-гидроксистеариновую кислоту и воду. Для

улучшения свойств пластичной смазки в нее добавляются такие присадки, как загущающая КП-20, а также антиокислительная Агидол-1.

Характеристика исходных компонентов сырьевой смеси для производства литиевой пластичной смазки «Литол-24» на ОАО «Завод горного воска» приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика исходных компонентов сырьевой смеси

Наименование сырья, материалов, полупродуктов	Наименование показателей, обязательных для контроля	Регламентируемые технические показатели с допустимыми отклонениями
Масло промышленное марка И-20А	Кинематическая вязкость при 40°С, мм <sup>2</sup> /с Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup> Содержание воды	29-35  не более 890 следы
Гидроксид лития моногидрат (LiOH)	Массовая доля LiOH, %	не менее 56,5
12-гидроксистеариновая кислота (12-ГКС)	Кислотное число, мг КОН/г продукта Число омыления, мг	не менее 175  180-190
Присадка загущающая (полиизобутиленовый масляный концентрат) КП-20	Кинематическая вязкость при 100°С, мм <sup>2</sup> /с Массовая доля сульфатной золы, % Реакция, ΔрН, не менее	16,0-25,0  8,5-10,5  2,8
Присадка антиокислительная Агидол-1	Внешний вид  Содержание воды, %	Белый кристаллический порошок без посторонних примесей  Отсутствие
Экстракт нефтяной (ЭН)	Кинематическая вязкость при 100°С, мм <sup>2</sup> /с Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup> Содержание воды	10-25  960-990 следы

Получение пластичной смазки «Литол-24» начинается с приготовления водного раствора гидроксида лития. В реактор 3 подается расчетное количество воды, после чего в реактор небольшими порциями, при перемешивании мешалкой загружается предварительно взвешенное расчетное количество гидроксида лития. Содержимое реактора 3 перемешивают мешалкой при фактической температуре до полного растворения гидроксида лития.

В реактор 1 насосом подается расчетное количество масла промышленного марка И-20А (далее – масло И-20А) и 1/3 от части рассчитанного экстракта нефтяного. Далее из реактора 1 содержимое перекачивается в реактор 2. В реакторе 2 производят нагрев масла И-20А и экстракта нефтяного до температуры 80-90°С при перемешивании мешалкой. Далее в реактор 2 загружается 12-гидроксистеариновая кислота при перемешивании мешалкой.

При температуре 80-90°C и непрерывном перемешивании осуществляется плавление 12-гидро-ксистеариновой кислоты. Из реактора 3 мелкой струйкой подается водный раствор гидроксида лития в реактор 2 при перемешивании мешалкой. Затем производится нагрев реактора 2 до темпера-

туры 97-103°C при перемешивании мешалкой. При данной оптимальной температуре ведется процесс омыления в реакторе 2.

Блок-схема приготовления смазки «Литол-24» показана на рисунке 4.

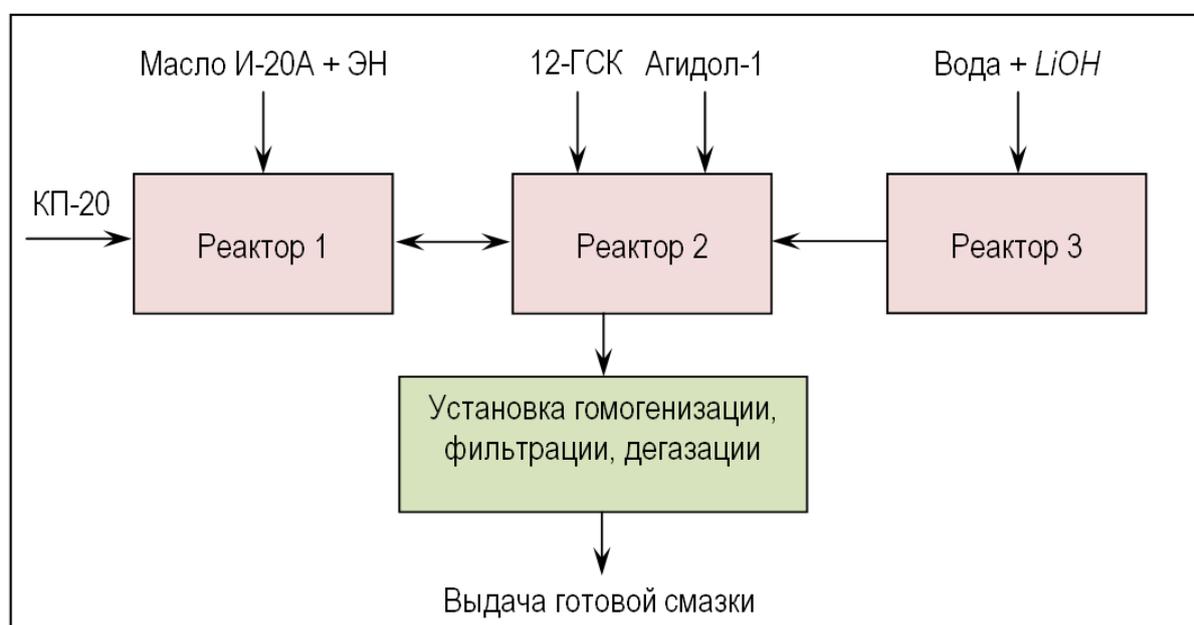


Рисунок 4 – Блок-схема приготовления пластичной смазки «Литол-24»

Во время проведения омыления в реактор 1 загружается оставшаяся часть экстракта нефтяного с одновременным нагревом до температуры 100-105°C при перемешивании мешалкой.

Далее при постоянном перемешивании мешалкой в реактор 1 загружается полиизобутиленовый масляный концентрат КП-20. Содержимое реактора 2 нагревается до температуры 110-120°C при перемешивании мешалкой, ведется процесс выпаривания воды. Далее из реактора 1 насосом подается содержимое в реактор 2. В реакторе 2 ведется процесс перемешивания.

Содержимое реактора 2 подается насосом в реактор 1 и начинается процесс термообработки. Содержимое реактора 1 нагревается путем прокачки через три электронагревателя. На первом этапе тем-

пература в электронагревателях составляет 150°C; на втором этапе температура в первом электронагревателе составляет 175°C, втором – 185°C, третьем – 195°C; на третьем этапе температура в первом электронагревателе составляет 180°C, втором – 190°C, третьем – 200°C. Температура в реакторе составляет 150°C.

Перед перекачкой реактор 2 разогревается до 150°C. Содержимое реактора 1 насосом подается в реактор 2 через электронагреватели.

Далее проводится процесс изотермической кристаллизации в реакторе 2. Смесь в реакторе 2 охлаждаются до температуры 150°C при постоянном перемешивании. При достижении заданной температуры реакционной смеси загружаются небольшими порциями антиокислительная присадка Агидол-1.

Содержимое реактора 2 охлаждается до температуры 100-120°C с одновременной перекачкой смеси из реактора 2 в реактор 1 и обратно из реактора 1 насосом в реактор 2 при перемешивании мешалками. Продолжение процесса охлаждения содержимого реактора 2 до температуры 80-90°C при перемешивании мешалкой.

Далее смесь прокачивается из реактора 2 насосом через установку гомогенизации, фильтрации и дегазации.

Гомогенизация является этапом механической обработки и связана с тем, что после охлаждения расплава пластичная смазка приобретает неоднородную структуру и высокую прочность. При механическом воздействии эта структура необрати-

мо разрушается, образуя новую структуру, которая при следующем разрушении способна многократно восстанавливаться, смазка тем самым приобретает тиксотропные свойства. Фильтрация необходима для удаления механических примесей из смазки. Дегазация используется для удаления воздуха, попадающего в смазку после гомогенизации.

В рамках данного исследования выполнен анализ технологического процесса производства литиевой пластичной смазки «Литол-24» на ОАО «Завод горного воска» с целью сокращения вовлечения загустителя, в таблице 2 приведено соотношение компонентов в действующем и предлагаемом процессах.

Таблица 2 – Процентное соотношение компонентов в действующем и предлагаемом процессах

Компонент смазки	Соотношение компонентов, % масс.	
	Действующий процесс	Предлагаемый процесс
Экстракт нефтяной	63,44	70,68
Масло промышленное марка И-20А	23,60	21,05
12-гидроксистеариновая кислота	10,35	6,69
Гидроксид лития моногидрат	1,51	0,98
Присадка загущающая КП-20	1,00	0,50
Антиокислительная присадка Агидол-1	0,10	0,10

### Заключение

Выполнен лабораторный анализ основного показателя качества пластичных смазок – пенетрации при температуре 25°C с перемешиванием. Значение для смазки «Литол-24», полученной по действующему соотношению, на производстве составило 223 мм<sup>-1</sup>, а по предлагаемому соотношению с пониженным содержанием загустителя – 235 мм<sup>-1</sup>, что в пределах нормы. Показатели качества смазки «Литол-24» с пониженным содержанием загустителя приведены в таблице 3.

Таким образом, понижение содержания загустителя за счет повышения содер-

жания экстракта нефтяного в литиевой пластичной смазке «Литол-24» при приготовлении на ОАО «Завод горного воска» позволит получать качественный продукт, соответствующий требованиям ГОСТ 21150-2017, но при этом дешевле по стоимости.

Увеличение объема вовлечения в производство пластичных смазок экстракта селективной очистки масел – побочного продукта нефтепереработки, в больших объемах используемого нерационально, как компонент котельного топлива, также снизит нагрузку на окружающую среду.

Таблица 3 – Основные показатели качества смазки «Литол-24» пониженным содержанием загустителя

Наименование показателя	Полученное значение	Значение по ГОСТ 21150-2017	Метод испытания
Внешний вид	Однородная мазь коричневого цвета	Однородная мазь от светло-желтого до коричневого цвета	По п.7.2 настоящего стандарта ГОСТ 21150-2017
Температура апплеадения, °С	185	185	По ГОСТ 6793
Пенетрация при температуре 25°С с перемешиванием, мм <sup>-1</sup>	235	220-250	По ГОСТ 5346 (метод В)
Предел прочности, Па при температуре: - 20°С - 80°С, не менее	800 220	500-1000 200	По ГОСТ 7143 (метод Б)
Коллоидная стабильность, % выделенного масла, не более	11	12	По ГОСТ 7142
Коррозионное воздействие на металлы	выдерживает	выдерживает	По ГОСТ 9.080 с дополнением по 7.3 настоящего стандарта
Испаряемость при температуре 120°С, %, не более	5,5	6	По ГОСТ 9566
Массовая доля свободной щелочи в пересчете на NaOH, %, не более	0,09	0,1	По ГОСТ 6707
Содержание воды	отсутствие	отсутствие	По ГОСТ 2477 с дополнением по 7.4 настоящего стандарта
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,015	0,03	По ГОСТ 6479 с дополнением по 7.5 настоящего стандарта

#### Библиографический список

1. Агабеков В.Е., Косяков В.К. Нефть и газ. Технология и продукты переработки. Ростов н/Д: Феникс, 2014. 458 с.
2. Гапонова А. Влияние структуры и размеров нанозлементов мыльного каркаса литиевых смазок на их реологические свойства: дисс. на соискание степени магистра / Гапонова А. М., 2011. 58 с.
3. Kemble A. Evaluation of industrial bearing grease performance// Eurogrease. 1998. July-August. P. 10-25.
4. Ищук Ю.Л., Чердниченко Г.И. Производство и применение пластичных смазок и перспективы их развития: сборник докладов II всесоюзной научно-практической конференции, Бердянск. Киев: Наукова думка, 1975. 178 с.
5. Любинин И.А. Состояние и перспективы производства пластичных смазок в России и странах СНГ // Химия и технология топлив и масел. 2012. № 1. С. 3-6.
6. Обзор рынка пластичных смазок в России 2001-2020 гг., 4 изд. / отчет. М.: ООО «Исследовательская группа «Инфомайн», 2011. 208 с.

7. Объем производства пластичных смазок в России: [Электронный ресурс]. М., 2022 // URL: <https://tebiz.ru/obem-proizvodstva-plastichnykh-smazok-v-rossii-vyros-na-50>. (Дата обращения: 12.03.2022).

8. Пластичная релокация. Сибирская нефть онлайн-журнал. [Электронный ресурс]. М., 2021 // URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2015-july-august/1108593/>. (Дата обращения: 19.03.2022).

9. Погодаев Л.И., Кузьмин В.И., Петров В.М. Новый пластичный материал // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2006. № 6. С. 34-48.

10. Покровская С.В., Ощепкова Н.В., Булавка Ю.А. Пластичные смазки на основе низкомолекулярного полиэтилена завода «Полимир» ОАО «Нафтан» // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В: Промышленность. Прикладные науки. 2009. № 8. С.173-176.

11. Покровская С.В., Булавка Ю.А., Богданович А.И., Зубова А.В. Применение регенерированного отработанного моторного масла и органического отгона шлама в производстве мыльных и углеводородных пластичных смазок // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В: Промышленность. Прикладные науки. 2012. № 11. С.104-108.

### **Referenses**

1. Agabekov V.E., Kosyakov V.K. Neft' i gaz. Tekhnologiya i produkty pererabotki. Rostov n/D: Feniks, 2014. 458 s.

2. Gaponova A. Vliyaniye struktury i razmerov nanelementov myl'nogo karkasa litievykh smazok na ih reologicheskiye svoystva: diss. na soiskaniye stepeni magistra / Gaponova A. M., 2011. 58 s.

3. Kemble A. Evaluation of industrial bearing grease performance// Eurogrease. 1998. July-August. P. 10-25.

4. Ishchuk Yu.L., Cherednichenko G.I. Proizvodstvo i primeneniye plastichnykh smazok i perspektivy ih razvitiya: sbornik dokladov II vsesoyuznoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Berdyansk. Kiev: Naukova dumka, 1975. 178 s.

5. Lyubinin I.A. Sostoyaniye i perspektivy proizvodstva plastichnykh smazok v Rossii i stranah SNG // Himiya i tekhnologiya topliv i masel. 2012. № 1. S. 3-6.

6. Obzor rynka plastichnykh smazok v Rossii 2001-2020 gg., 4 izd. / otchet. M.: OOO «Issledovatel'skaya gruppa «Infomajn», 2011. 208 s.

7. Ob'em proizvodstva plastichnykh smazok v Rossii: [Elektronnyy resurs]. M., 2022 // URL: <https://tebiz.ru/obem-proizvodstva-plastichnykh-smazok-v-rossii-vyros-na-50>. (Data obrashcheniya: 12.03.2022).

8. Plastichnaya relokatsiya. Sibirskaya neft' onlajn-zhurnal. [Elektronnyy resurs]. M., 2021 // URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2015-july-august/1108593/>. (Data obrashcheniya: 19.03.2022).

9. Pogodaev L.I., Kuz'min V.I., Petrov V.M. Novyy plastichnyy material // Treniye i smazka v mashinakh i mekhanizmakh. 2006. № 6. S. 34-48.

10. Pokrovskaya S.V., Oshchepkova N.V., Bulavka Yu.A. Plastichnyye smazki na osnove nizkomolekulyarnogo polietilena zavoda «Polimir» ОАО «Нафтан» // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. B: Promyshlennost'. Prikladnyye nauki. 2009. № 8. S.173-176.

11. Pokrovskaya S.V., Bulavka Yu.A., Bogdanovich A.I., Zubova A.V. Primeneniye regenerirovannogo otrabotannogo motornogo masla i organicheskogo otgona shlama v proizvodstve mylnykh i uglevodorodnykh plastichnykh smazok // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. B: Promyshlennost'. Prikladnyye nauki. 2012. № 11. S.104-108.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 03.09.2022*

---

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

---

*Юлия Анатольевна Булавка* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и оборудования переработки нефти и газа Полоцкого государственного университета.

*Yuliya Bulavka* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technologies and Instruments for Oil and Gas Processing, Polotsk State University.

*Анна Эдуардовна Кузман* – магистрант Полоцкого государственного университета.

*Anna Kuzman* – Master's Student, Polotsk State University.

Ссылка для цитирования: *Булавка Ю.А., Кузман А.Э.* Совершенствование технологии производства литиевой пластичной смазки «Литол-24» // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 3. С. 18 - 27. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-18-27.

For citation: *Bulavka Yu.A., Kuzman A.E.* Improving the technology for the production of lithium grease "Litol-24" // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 3. P. 18 - 27. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-3-18-27.

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ИЗЛОМА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ SiC-AIN И ЕЕ СВОЙСТВ**

Г.Д. Кардашова<sup>1</sup>, Ш.Ш. Шабанов<sup>2</sup>, М.М. Микаилов<sup>1</sup>, Д.Ш. Дибиргаджиев<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70  
<sup>2</sup>Дагестанский государственный университет, Махачкала  
367000, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а  
gulya-ka11@yandex.ru

**Аннотация.** Работа посвящена установлению закономерностей синтеза и технологических аспектов образования композитной керамики на основе карбида кремния и нитрида алюминия методом горячего прессования, а также исследованию ее структурных свойств методом сканирующей зондовой микроскопии. В работе представлены результаты исследования электро- и теплофизических свойств материалов на основе SiC-AIN различного состава. Результаты могут быть использованы при прогнозировании свойств, разработке и создании новых материалов (твердых растворов) в системе SiC-AIN.

**Ключевые слова:** карбид кремния, нитрид алюминия, керамика, рельеф поверхности, микроструктура, многокомпонентные твердые растворы.

**Abstract.** The work is devoted to the establishment of the laws of synthesis and technological aspects of the formation of composite ceramics based on silicon carbide and aluminum nitride by hot pressing, as well as to the study of its structural properties by scanning probe microscopy. The paper presents the results of a study of the electrical and thermal properties of materials based on SiC-AIN of various compositions. The results can be used to predict properties, develop and create new materials (solid solutions) in the SiC-AIN system.

**Key words:** silicon carbide, aluminum nitride, ceramics, surface topography, microstructure, multicomponent solid solutions.

**Введение**

При получении поликристаллических карбидкремниевых материалов требуется применение различных технологических приемов, обеспечивающих получение заданного состава, структуры и комплекса свойств. При этом следует отметить, что

отработка технологии должна иметь своей целью создание такого промышленного процесса, который может быть воспроизведен в широких масштабах. Керамические материалы на основе карбида кремния изготавливаются в основном по порошковой технологии.

Метод порошковой технологии основан на использовании процессов синтеза неметаллических тугоплавких соединений, их диспергирования до необходимого размера частиц, смешивания порошков с технологическими связками, активаторами, модифицирующими добавками, формообразования и спекания.

Область использования карбида кремния и материалов на его основе постоянно расширяется благодаря сочетанию физико-технических свойств, достигаемых при использовании передовой технологии.

Рентгеноструктурные, тепло-, электрофизические и механические исследования позволяют сделать вывод, что на формирование структуры поликристаллических твёрдых растворов на основе карбида кремния определяющее влияние оказывают химические характеристики порошков, наличие примесей, модифицирующих добавок, дисперсность, а также морфология частиц. В условиях, учитывающих кристаллохимическую природу  $SiC$ , этот материал способен спекаться до высоких плотностей, подобно оксидам.

При спекании карбида кремния в массопереносе участвуют те же диффузионные и дислокационные механизмы с тем лишь отличием, что для их реализации требуются более высокие энергии. Соответственно, чтобы порошкам  $SiC$  обеспечить более высокую активность, их необходимо подвергать более интенсивной, главным образом, механо-химической обработке до преобладания частиц субмикронных размеров.

Диспергирование до субмикронных размеров резко увеличивает химическую активность материала. Источником аномальной химической активности является тонкий разрушенный слой на поверхности частиц, образовавшийся в результате пластической деформации. В процессе механо-химической активации теплосодержание твёрдых тел может возрасти на поряд-

ков. Немаловажным является то, что температура спекания вследствие активности ультрадисперсных порошков снижается на  $200 - 300^{\circ}C$ .

Уплотнение карбида кремния возможно также введением активирующих добавок. Образуя твёрдые растворы, добавки деформируют решётку, повышают концентрацию вакансий, создают обусловленные градиентом концентраций напряжения, что облегчает самодиффузию.

Происходит изменение параметров решетки  $SiC$ , сопровождающееся политипными переходами, вплоть до полной перестройки кристаллической решетки в соответствии с условиями равновесия Гиббса и общим требованием минимума свободной энергии спечённого тела.

Целью проводимых исследований было выявление и анализ структурных особенностей поверхности излома керамики на основе  $SiC-AIN$  и ее свойств. Керамические материалы в системе  $SiC-AIN$  имеют большое практическое значение.

Известно, что в этой системе образуются непрерывные твердые растворы [1, 2]. Исследованию теплофизических свойств керамики на основе  $SiC-AIN$  посвящено немного работ, хотя электрофизические свойства карбида кремния и нитрида алюминия изучены достаточно глубоко [1, 3, 4].

### **Экспериментальные результаты**

В настоящей работе объектом исследования являлись образцы керамики  $SiC-AIN$  состава  $SiC(10\%)-AIN(90\%)$ ,  $SiC(30\%)-AIN(70\%)$ ,  $SiC(50\%)-AIN(50\%)$ ,  $SiC(70\%)-AIN(30\%)$ ,  $SiC(90\%)-AIN(10\%)$ , полученные методом горячего прессования.

Для получения керамики  $SiC-AIN$  использовался зелёный порошок карбида кремния дисперсностью 2,4 мкм и порошок нитрида алюминия дисперсностью 1 мкм. Порошки смешивались в соотношениях, указанных выше, и подвергались процессу

горячего прессования при температуре 2170 – 2420 К, давлении горячего прессования до 35 МПа. Процесс горячего прессования проводился в среде  $N_2$  в течение 1

часа. Кажущаяся плотность измерялась методом гидростатического взвешивания. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Плотность образцов керамики

№	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Политип	T, К	Вес % AlN
1	3,165±20	6H,15R	2170	10
2	3,212±10	6H,15R	2170	30
3	3,217±10	2H,4H	2150	50
4	3,221±10	2H	2150	70
5	3,223±20	2H	2150	90

Видно, что плотность образцов в интервале составов от 30 вес. % до 90 вес. % AlN остается практически постоянной и составляет теоретическую плотность.

Это указывает на неизменность макроструктуры образцов и достаточно высокую стабильность технологии их получения. Макроструктура поверхности карбидокремниевой керамики исследовалась после предварительной шлифовки алмазными пастами (1 – 64 мкм) и полировки.

Сканирование поверхности проводилось на атомно-силовом микроскопе. Использовался зондовый датчик для полуконтактных методик.

Предварительно устанавливалась рабочая частота резонанса зондового датчика (установка рабочей частоты пьезодрайвера). Сканирование проводилось образцом, а не зондом. Устанавливался начальный уровень сигнала Mag (20 – 25 ед) и рабочий уровень коэффициента усиления цепи обратной связи.

Участок сканирования составлял в среднем 35x35 мкм при скорости сканирования 0,5 Гц (строка за 2 с). Фотографии сканирования представлены на рисунке 1.

Результаты сканирования показали, что размер зерна в керамике на основе карбида кремния с добавкой 10% вес. AlN составляет 10 – 20 мкм (рисунок 1а).

С увеличением содержания AlN размер зерен уменьшается (рисунок 1 б, в),

по-видимому, это обусловлено тем, что нитрид алюминия препятствует рекристаллизации карбида кремния.

Также был проведен для сравнения растровой электронной микроскопией качественный химический и структурный анализ образцов  $SiC_{0,7}-AlN_{0,3}$ ,  $SiC_{0,5}-AlN_{0,5}$ ,  $SiC_{0,3}-AlN_{0,7}$ ,  $SiC_{0,1}-AlN_{0,9}$  на элементы Si, Al, N, C при разрешении детектора 127 эВ. Излучение проводилось по самым ярким спектрам в режиме Ka.

Используемый метод требует предварительного травления шлифа, поэтому для снятия нарушенных слоев, образец керамики подвергался химическому травлению в расплаве KOH при температуре 750 К в течение 20 минут при периодическом перемешивании. Это позволило добиться полного стравливания нарушенных слоев и получения почти зеркальной поверхности, что позволило одновременно осуществить локальный микрорентгеноспектральный анализ химического состава образца.

Для анализа было выбрано самое крупное зерно. Брался средний спектр излучения по всему образцу. Скорость счетчика детектора пропорциональна концентрации того элемента, содержание которого определяется. Анализ частицы (размером ~ 1 мкм) показывает на наличие значительного количества кремния и углерода и малого количества алюминия и азота (рисунок 2).

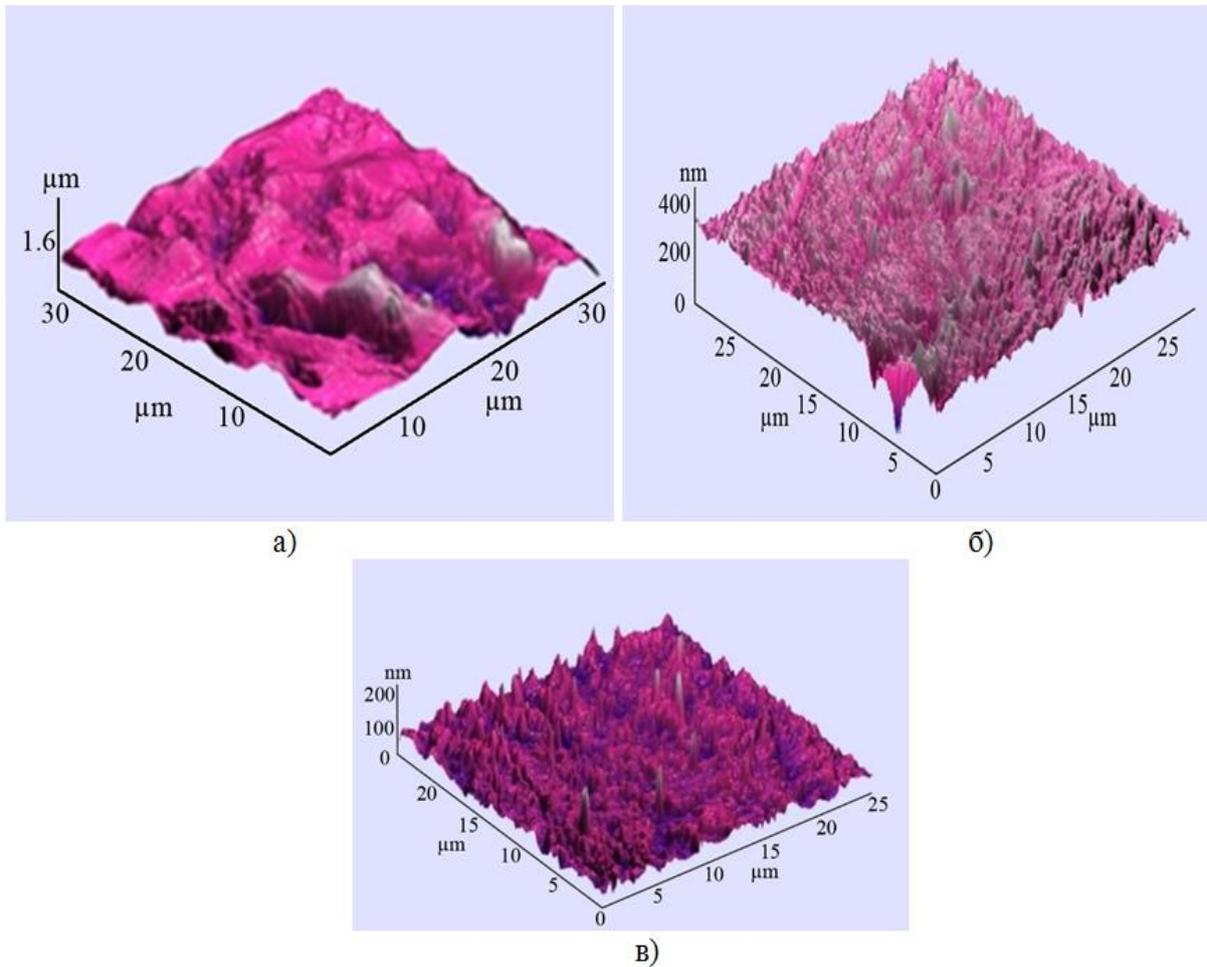


Рисунок 1 – Фотографии поверхности излома образца керамики на основе SiC–AlN: а) (90%SiC – 10%AlN), б) (30%SiC – 70%AlN), в) (10%SiC – 90%AlN)

По периферии этого зерна наблюдается увеличение концентрации Al и N, что говорит об образовании твердого раствора карбида кремния с нитридом алюминия в приповерхностном слое. На исследуемых образцах горячепрессованных керамических материалов SiC-AlN определены упругие модули в зависимости от состава. В наших измерениях использовался точеч-

ный метод возбуждения и регистрации колебаний образца в диапазоне частот 30...1500 кГц [5]. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Значения модулей упругости лежат ниже аддитивной прямой керамических SiC и AlN с нулевой пористостью, что связано с влиянием пористости наших образцов.

Таблица 2 – Упругие свойства керамики SiC-AlN

AlN,%	C11	std C11	C44	std C44	E	std E	$\mu$	std $\mu$
10	439.20	6.7	175.30	4.4	409.45	10.2	0.1679	0.0050
30	434.58	8.2	165.40	4.3	394.57	8.2	0.1928	0.0062
50	403.18	8.1	148.38	3.1	358.73	9.3	0.2088	0.0074
70	375.71	7.8	132.09	2.7	324.65	7.8	0.2289	0.0064
90	334.94	8.5	114.47	2.9	283.98	9.7	0.2404	0.0072

### Обсуждение результатов

Температурные зависимости электропроводности керамики  $\text{SiC-AIN}$  с различным процентным содержанием  $\text{AIN}$  представлены на рисунке 3. Как следует из рисунка 3, для образца  $\text{SiC-AIN}$  с содержанием  $\text{AIN}$  (10 вес.%) можно выделить три температурные области: область примесной проводимости (III), область примесного

истощения (II) и область собственной проводимости (I). Таким образом, электропроводность керамики  $\text{SiC-AIN}$  с низким содержанием  $\text{AIN}$  ( $< 10$  вес.%) имеет температурную зависимость, характерную для полупроводникового  $\text{SiC}$ . Для образцов с высоким содержанием  $\text{AIN}$  температурная зависимость электропроводности имеет вид, характерный для диэлектриков.

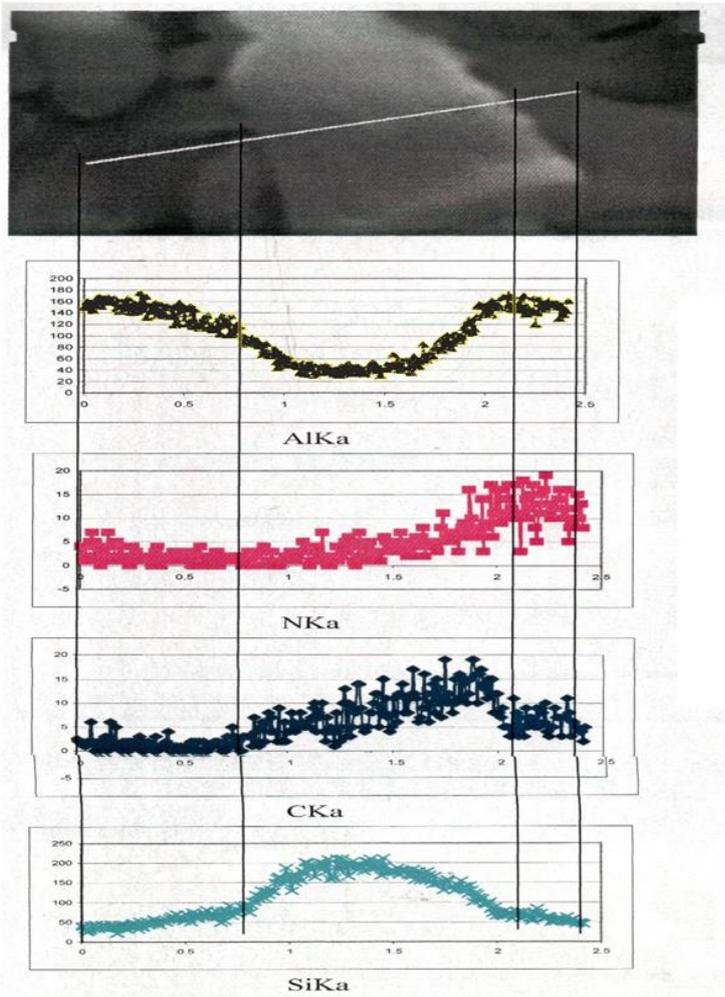


Рисунок 2 – Результаты элементного анализа керамики  $\text{SiC-AIN}$  (30% вес.  $\text{AIN}$ )

Действительно, как показано в [6], рост процентного содержания  $\text{AIN}$  в керамике  $\text{SiC-AIN}$  приводит к увеличению ширины запрещенной зоны. На рисунке 4 представлена температурная зависимость теплопроводности керамики составов  $\text{SiC}$ ,  $\text{SiC}_{0,5}\text{-AIN}_{0,5}$  и  $\text{AIN}$ . Видно, что с увеличением концентрации  $\text{AIN}$  и температуры, теплопроводность керамики на основе твердых растворов  $\text{SiC-AIN}$  падает.

Уменьшение теплопроводности от  $\text{SiC}$  к  $\text{AIN}$  обусловлено ростом ангармоничности тепловых колебаний от  $\text{SiC}$  к  $\text{AIN}$ , ослаблением межатомных связей. На это также указывает линейный рост КТР  $W = W/\alpha T$  (рисунок 5).

Анализ полученных изображений поликристаллических спеков порошка  $\text{SiC-AIN}$  дает возможность утверждать, что полученный материал представляет собой

поликристаллический твердый раствор  $\text{SiC-AIN}$  в виде спеков частиц размерами до 10 мкм.

Показано, что керамика  $\text{SiC-AIN}$  с низким содержанием  $\text{AIN}$  (< 10 %) имеет температурную зависимость электропроводности, характерную для полупроводника. Температурные зависимости электропроводности керамики с 10 % -  $\text{AIN}$  имеют три

основные области: область примесной проводимости, область примесного истощения и область, приближающаяся к собственной проводимости.

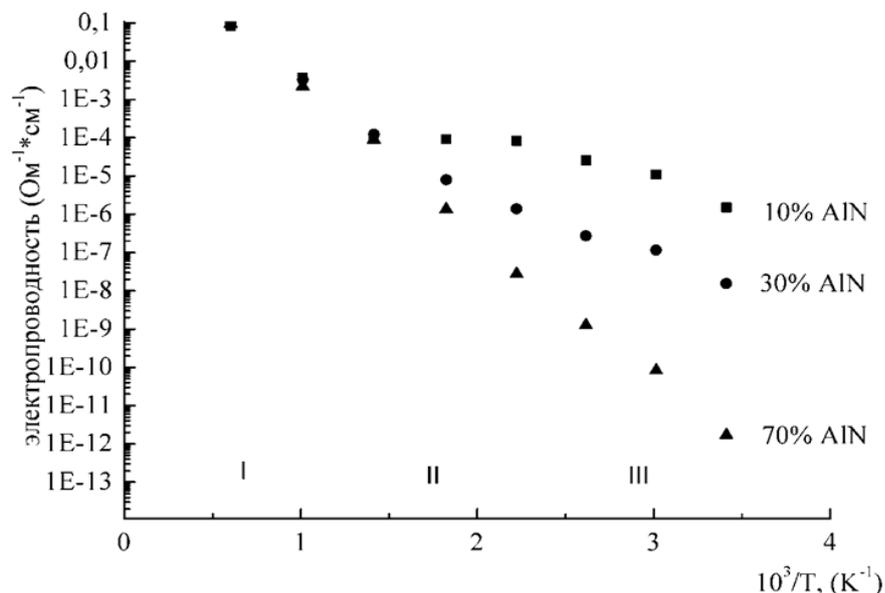


Рисунок 3 – Температурная зависимость электропроводности керамики  $\text{SiC-AIN}$  от содержания  $\text{AIN}$

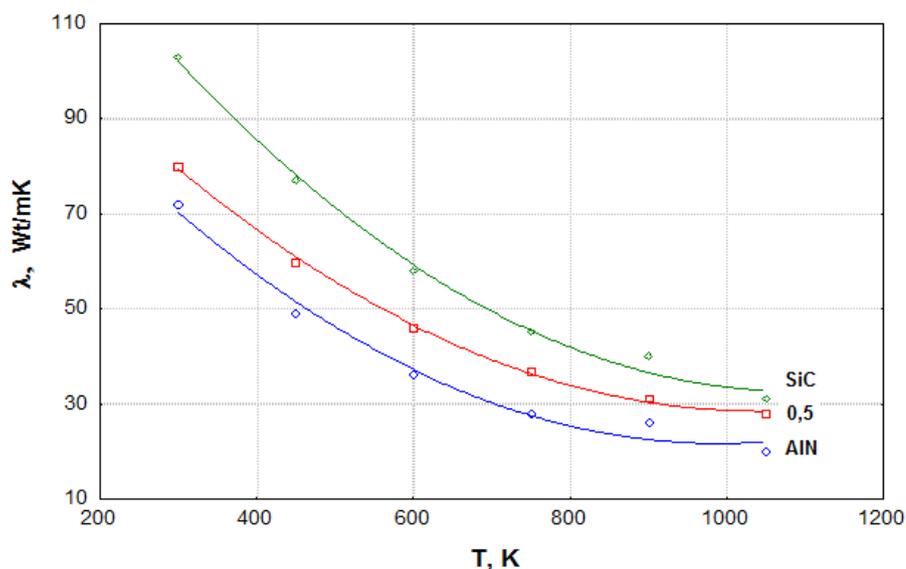


Рисунок 4 – Температурная зависимость теплопроводности ( $\text{SiC}$ ,  $\text{SiC}_{0,5}\text{-AIN}_{0,5}$ ,  $\text{AIN}$ )

Систему  $\text{SiC-AIN}$  можно считать гомогенным изотропным телом, где упругие параметры, их атомные объёмы и веса идентичны. Поэтому влияние изменений де-

фекта массы  $\Delta M$  и упругих параметров решётки ( $\Delta a$ ) на теплопроводность должны быть незначительными.

Экспериментальные результаты температурной зависимости теплопроводности керамики SiC-AIN хорошо описываются уравнением  $\lambda \sim T^{-0.96}$ . При комнатных тем-

пературах и содержании AIN в SiC менее 50% вес. наши данные находятся в хорошем согласии с литературными данными.

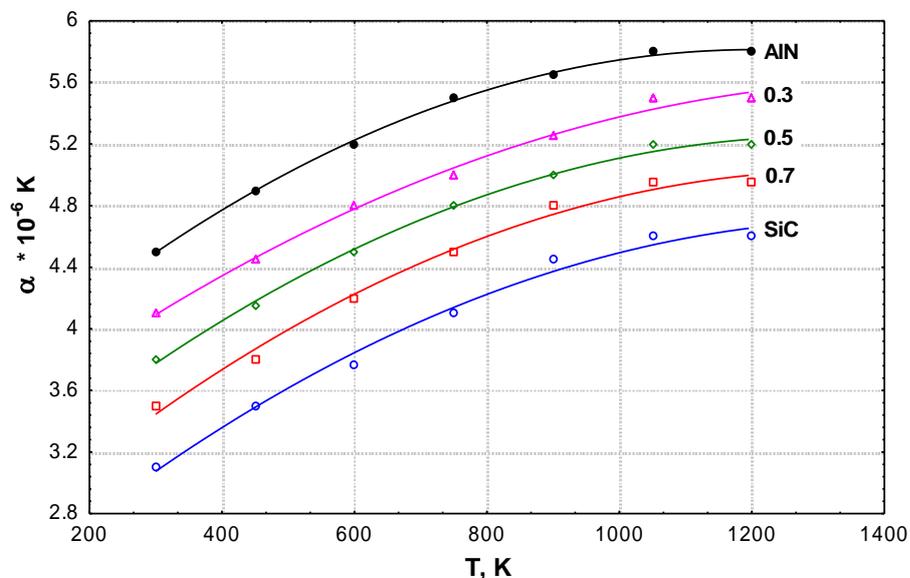


Рисунок 5 – Температурная зависимость КТР  $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$

### Заключение

Полученные результаты позволяют установить закономерности синтеза композитной керамики на основе карбида крем-

ния и нитрида алюминия методом горячего прессования, а также оптимизировать технологию ее получения.

### Библиографический список

1. Кардашова Г.Д. Процессы спекания и электрофизические свойства керамики на основе карбида кремния с активирующими добавками: дис. ... канд. физ.-мат. наук 01.04.07/ Кардашова Г.Д. Махачкала. 2004. 159 с.
2. Kardashova G.D. and Shabanov Sh.Sh. Technological features of receiving and research of high density ceramic materials on the basis of silicon carbide // 2019. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 525 012020.
3. Dallaeva D.S., Kardashova G.D., Safaraliev G.K., Tománek P. High-density ceramic materials on the basis of silicon carbide // Key Engineering Materials. 2014. Vol. 592-593. P. 397-400.
4. Шабанов Ш.Ш., Кардашова Г.Д., Абдуллаев Т.Э., Юнусова Н.Р. Электропроводность горячепрессованных керамических материалов на основе карбида кремния при высоких температурах // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. 2016. Т. 31. № 1. С. 51-56.
5. Пашук Е.Г., Халилов Ш.А. Установка для измерения упругих свойств методом ультразвуковой резонансной спектрометрии // Физическая электроника: материалы IV всероссийской конференции, Махачкала, 23-26 октября 2006 г. Махачкала: Изд. ДГУ, 2006. С. 225-228.
6. Сафаралиев Г.К., Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. и др. Получение и свойства поликристаллических твердых растворов SiC-AIN // Физика и техника полупроводников. 1993. Т. 27. № 3. С. 402-408.

### Referenses

1. Kardashova G.D. Processy spekaniya i elektrofizicheskie svojstva keramiki na osnove karbida kremniya s aktiviruyushchimi dobavkami: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk 01.04.07/ Kardashova G.D. Mahachkala. 2004. 159 s.

2. Kardashova G.D. and Shabanov Sh.Sh. Technological features of receiving and research of high density ceramic materials on the basis of silicon carbide // 2019. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 525 012020.

3. Dallaeva D.S., Kardashova G.D., Safaraliev G.K., Tománek P. High-density ceramic materials on the basis of silicon carbide // Key Engineering Materials. 2014. Vol. 592-593. P. 397-400.

4. Shabanov Sh.Sh., Kardashova G.D., Abdullaev T.E., Yunusova N.R. Elektroprovodnost' goryachepressovannykh keramicheskikh materialov na osnove karbida kremniya pri vysokikh temperaturah // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1: Estestvennye nauki. 2016. T. 31. № 1. S. 51-56.

5. Pashuk E.G., Halilov Sh.A. Ustanovka dlya izmereniya uprugih svoystv metodom ul'trazvu-kovoj rezonansnoj spektrometrii // Fizicheskaya elektronika: materialy IV vserossijskoj konferencii, Mahachkala, 23-26 oktyabrya 2006 g. Mahachkala: Izd. DGU, 2006. S. 225-228.

6. Safaraliev G.K., Tairov Yu.M., Cvetkov V.F. i dr. Poluchenie i svoystva polikristalicheskikh tverdykh rastvorov SiC-AlN // Fizika i tekhnika poluprovodnikov. 1993. T. 27. № 3. S. 402-408.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 02.07.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 14.08.2022*

*Принята к публикации / Accepted 26.08.2022*

*© Г.Д. Кардашова, Ш.Ш. Шабанов, М.М. Микаилов, Д.Ш. Дибиргаджиев, 2022*

---

#### **Сведения об авторах**

#### **List of Authors**

---

*Кардашова Гюльнара Дарвиновна* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники Дагестанского государственного технического университета.

*Gulnara Kardashova* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics, Daghestan State Technical University.

*Шабанов Шабан Шафиевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной физики Дагестанского государственного университета.

*Shaban Shabanov* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Physics, Daghestan State University.

*Микаилов Мурад Муртазалиевич* – студент Дагестанского государственного технического университета.

*Murad Mikailov* – Student, Daghestan State Technical University.

*Дибиргаджиев Дибиргаджи Шамильевич* – аспирант кафедры физики Дагестанского государственного технического университета.

*Dibirgadzhi Dibirgadzhiyev* – Postgraduate Student of the Department of Physics, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Кардашова Г.Д., Шабанов Ш.Ш., Микаилов М.М., Дибиргаджиев Д.Ш.* Исследование структурных особенностей поверхности излома керамики на основе SiC-AlN и ее свойств // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 3. С. 28 - 35. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-28-35. For citation: *Kardashova G.D., Shabanov Sh.Sh., Mikailov M.M., Dibirgadzhiyev D.Sh.* Investigation of the structural features of the fracture surface of ceramics based on SiC-AlN and its properties // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 3. P. 28 - 35. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-3-28-35.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ

Ш.А. Юсуфов, И.М. Шамилов

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70  
yshirali@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается математическая модель температурного поля платы в составе блока радиоэлектронной системы и предлагается конструктивное исполнение системы обеспечения теплового режима. Показано, что оптимизация температурного поля пластины возможна путем использования в качестве системы обеспечения тепловых режимов принудительного воздушного охлаждения, при котором циркулируемый в блоке воздух охлаждается в термоэлектрическом теплообменнике.

**Ключевые слова:** система обеспечения теплового режима, математическая модель, шкаф радиоэлектронной системы, термоэлектрическое охлаждение, термоэлектрический теплообменник.

**Abstract.** The article considers a mathematical model of the temperature field of the board as part of the radio-electronic system unit and proposes a design for the system for ensuring the thermal regime. It is shown that optimization of the temperature field of the plate is possible by using forced air cooling as a system for providing thermal modes, in which the air circulating in the block is cooled in a thermoelectric heat exchanger.

**Key words:** thermal regime maintenance system, mathematical model, radio electronic system cabinet, thermoelectric cooling, thermoelectric heat exchanger.

### Введение

Надежность радиоэлектронных систем (РЭС) в большей мере определяется тепловым режимом отдельных элементов и узлов в целом, входящих в состав системы. Статистические исследования показали, что при повышении температуры на каждые 10°C в диапазоне 40 – 80°C надежность радиоэлектронной аппаратуры в среднем уменьшается на 25 % [1].

Проблема отвода избыточного тепла в блоках РЭС еще более остро стоит при размещении различных функциональных блоков в шкафу. В этом случае нарушение температурного режима одного блока ведет не только к его выходу из строя, но и

оказывает влияние на другие блоки в составе шкафа. Проектирование шкафов для аппаратуры РЭС ведется с учетом возможности обеспечения либо централизованного охлаждения, либо автономного для каждого блока в отдельности.

Как правило, наиболее распространенными схемами являются использование принудительного воздушного и жидкостного охлаждения.

При анализе теплового поля РЭС используется допущение, что тепловая мощность элементов и узлов радиоэлектронного устройства распределена по объему равномерно. Однако частым случаем считается, когда источник тепловыделений в

блоке кассетной конструкции с плотной компоновкой локализован в некоторой области, меньшей, чем размеры самого блока или электронной платы.

### Модель температурного поля в пластине

Анализ температурного поля электронной платы с тепловыделяющими элементами проводится на модели пластины с дискретным источником энергии. Обычно решение этих задач весьма громоздко, поэтому прибегают к применению различных приближенных методов и последующему графоаналитическому представлению результатов.

Математическая формулировка задачи определения температурного поля в пластине при использовании представления дискретного источника энергии в виде ступенчатой функции принимает следующий вид:

$$\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} + q(x, y) - b^2 \vartheta = 0, \vartheta = T - T_c$$

$$q(x, y) = \sum_{j=1}^J q_j(x, y);$$

$$q(x, y) = \begin{cases} \frac{P_i}{4\Delta\xi_j \Delta\eta_j \delta \lambda} & \text{в области тепловыделений} \\ 0 & \text{вне области тепловыделений} \end{cases}$$

$$\left. \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right|_{x=L_x} = \left. \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \right|_{y=0} = \left. \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \right|_{y=L_y} = 0$$

где  $T$  – температура в любой точке пластины;  $T_c$  – температура окружающей среды;  $\theta$  – перегрев любой точки пластины над окружающей средой;  $L_x, L_y$  – размеры пластины;  $\delta$  – толщина пластины;  $\lambda$  – эффек-

тивный коэффициент теплопроводности пластины;  $\alpha$  – суммарный коэффициент теплоотдачи с обеих сторон боковой поверхности ( $\alpha = \text{const}$ );  $q(x, y)$  – поверхностная плотность теплового потока от локальных источников, равная нулю вне зон расположения источников и постоянная в пределах зоны действия каждого  $j$ -го источника;  $P_j$  – мощность, рассеиваемая  $j$ -м локальным источником;  $2\Delta\xi_j, 2\Delta\eta_j$  – размеры области, в которой расположен источник тепловыделений.

В статье [2] с помощью изложенного в [3] обобщенного метода Канторовича получено достаточно простое по форме приближенное аналитическое решение задачи.

Моделирование показало, что тепловыделяющие элементы на электронной плате имеют высокие пиковые значения температуры, а участки, не содержащие тепловыделяющих элементов, имеют температуры, близкие к температуре окружающей среды.

Для снижения пиковых значений температуры тепловыделяющих элементов можно использовать локальное охлаждение с применением полупроводниковых термоэлектрических модулей.

Это решение для одного источника мощностью  $P$  с координатами центра  $\xi, \eta$  и размерами  $\Delta\xi, \Delta\eta$  записывается в виде

$$\vartheta(x, y) = P\varphi_x(x)\varphi_y(y)/(\alpha\Delta\xi\Delta\eta),$$

Функция  $\varphi_x$  зависит от

$$\bar{x} = x/L_x, \bar{\xi} = \xi/L_x, \Delta\bar{\xi} = \Delta\xi/L_x \text{ и } K_x;$$

$$\varphi_x = \begin{cases} K_x \text{ch}(p_x \bar{x}), & \bar{x} \in [0, \bar{\xi} - \Delta\bar{\xi}] \\ K_x \text{ch}(p_x \bar{x}) - \text{ch}[p_x (\bar{x} - \bar{\xi} + \Delta\bar{\xi})] + 1, & \bar{x} \in [\bar{\xi} - \Delta\bar{\xi}, \bar{\xi} + \Delta\bar{\xi}] \\ K_x \text{ch}(p_x \bar{x}) - \text{ch}[p_x (\bar{x} - \bar{\xi} + \Delta\bar{\xi})] + \text{ch}[p_x (\bar{x} - \bar{\xi} - \Delta\bar{\xi})], & \bar{x} \in [\bar{\xi} + \Delta\bar{\xi}, 1] \end{cases}$$

Функция  $\varphi_y$  зависит от  $\bar{y} = y/L_y, \bar{\eta} = \eta/L_y, \Delta\bar{\eta} = \Delta\eta/L_y$  и  $K_y$ :

$$\varphi_y = \begin{cases} K_y \operatorname{ch}(p_y \bar{y}), \bar{y} \in [0, \bar{\eta} - \Delta \bar{\eta}] \\ K_y \operatorname{ch}(p_y \bar{y}) - \operatorname{ch}[p_y (\bar{y} - \bar{\eta} + \Delta \bar{\eta})] + 1, \bar{y} \in [\bar{\eta} - \Delta \bar{\eta}, \bar{\eta} + \Delta \bar{\eta}] \\ K_y \operatorname{ch}(p_y \bar{y}) - \operatorname{ch}[p_y (\bar{y} - \bar{\eta} + \Delta \bar{\eta})] + \operatorname{ch}[p_y (\bar{y} - \bar{\eta} - \Delta \bar{\eta})], \bar{y} \in [\bar{\eta} + \Delta \bar{\eta}, 1] \end{cases}$$

Функции  $K_x, K_y, p_x, p_y$  имеют вид:

$$K_x = \frac{2 \operatorname{sh}(p_x \Delta \bar{\xi}) \operatorname{ch}[p_x (1 - \bar{\xi})]}{\operatorname{sh} p_x}, \quad K_y = \frac{2 \operatorname{sh}(p_y \Delta \bar{\eta}) \operatorname{ch}[p_y (1 - \bar{\eta})]}{\operatorname{sh} p_y}$$

$$p_x = \frac{1_x}{1_y} \sqrt{B_y \left[ 1,5 - \left( \frac{\operatorname{sh}(2\sqrt{B_y})}{2\sqrt{B_y}} + 1 \right)^{-1} \right]}, \quad p_y = \frac{1_y}{1_x} \sqrt{B_x \left[ 1,5 - \left( \frac{\operatorname{sh}(2\sqrt{B_x})}{2\sqrt{B_x}} + 1 \right)^{-1} \right]}$$

Как показывает сопоставление с точным решением, погрешность расчета перегрева в центре источника по приближенному решению не превышает 12 % при  $0,05 \leq \Delta \bar{\xi}, \Delta \bar{\eta} \leq 1,0$ ;  $0 < B_x, B_y \leq 10$

Моделирование показало, что тепло выделяющие элементы на электронной плате имеют высокие пиковые значения температуры, а участки, не содержащие тепло выделяющих элементов, имеют температуры, близкие к температуре окружающей среды. Для снижения пиковых значений температуры тепло выделяющих элементов можно использовать локальное охлаждение с использованием полупроводниковых термоэлектрических модулей.

Однако при объединении ряда плат в кассетную конструкцию подобный метод ведет к увеличению массогабаритных показателей конструкции в целом, а, кроме того, необходимо еще и решать задачу отвода тепла с горячих спаев термоэлектрических модулей. Отсюда можно сделать вывод о возможности оптимизации температурного поля пластины путем использования в качестве системы обеспечения тепловых режимов принудительного воздушного охлаждения, при котором циркулируемый в блоке воздух охлаждается в термоэлектрическом теплообменнике.

В данном решении температура окружающей среды принимается постоянной вдоль всей электронной платы, что характерно для одиночных электронных плат. В

случае, когда плата является частью блока кассетной конструкции (т.е. является одной из стенок одиночного канала), данная модель дает значительную погрешность. Это было показано выше, когда температура внутри канала зависит от координаты  $x$ .

### **Конструктивное решение системы охлаждения для радиоэлектронных систем**

В работе [4] предлагается устройство для крепления радиоэлектронных блоков в системах охлаждения, содержащее ребренное изнутри охлаждаемое основание и опорную панель, между которыми размещены съемные блоки с возможностью теплового контактирования с нижним охлаждаемым основанием. С последнего тепло снимается проходящим внутри воздухом.

Однако данное решение имеет лишь одно (нижнее) охлаждаемое основание, к которому блок прижимается своей нижней плоскостью. Отсутствие второго (верхнего) охлаждаемого основания, во-первых, снижает эффективность охлаждения, а во-вторых, приводит к неравномерному охлаждению блоков. Это связано с тем, что тепловое сопротивление между охлаждаемым основанием и электрорадиоэлементами (ЭРЭ) будет меньшим для расположенных в нижней части блока ЭРЭ, и большим для ЭРЭ в верхней части. В результате этого перегрев последних будет

выше, а надежность функционирования блока снизится.

Кроме того, дополнительный перегрев будет иметь место у блоков, расположенных ближе к выходу воздуха из охлаждаемого основания, так как воздух при движении в полости охлаждаемого основания постепенно нагревается. Это также приводит к дополнительному снижению надежности аппаратуры.

В работе [5] предлагается использовать комбинированное кондуктивно-воздушное охлаждение. Блок содержит несущий корпус с полым верхним и нижним теплообменниками с внутренним оре-

брением, съемные модули с возможностью теплового контактирования каждого из них с верхним и нижним теплообменниками. В теплообменниках и установочных плоскостях модулей выполнены соосные отверстия для прохождения воздуха. Недостатком этого решения является неравномерность охлаждения модулей, размещаемых в блоке. Для прохождения воздуха в отверстия из одного теплообменника в другой с попутным обдувом модулей необходимо наличие разности давлений воздуха между теплообменниками (рисунок 1).

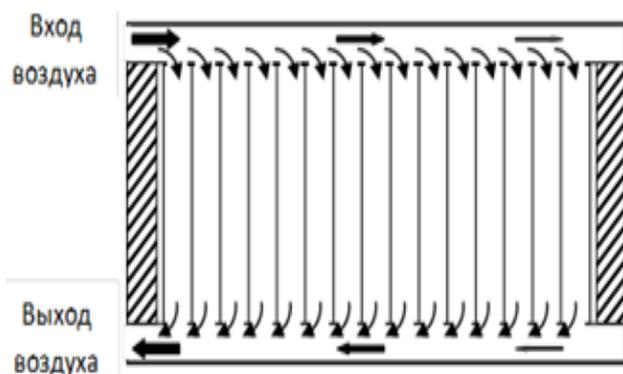


Рисунок 1 – Пропускная способность воздуха в теплообменнике

Однако распределение воздуха по теплообменникам вдоль блока симметричное. При этом в верхнем и нижнем теплообменниках наибольшее количество воздуха проходит через ребрение левой части, а меньшее – через ребрение правой (рисунок 2).

Из-за этого кондуктивная составляющая теплоотвода в левой части блока будет больше, а в правой меньше. В этом случае кондуктивная составляющая теплоотвода для каждого из модулей будет также ассиметричной за исключением, быть может, какого-то из средних модулей.

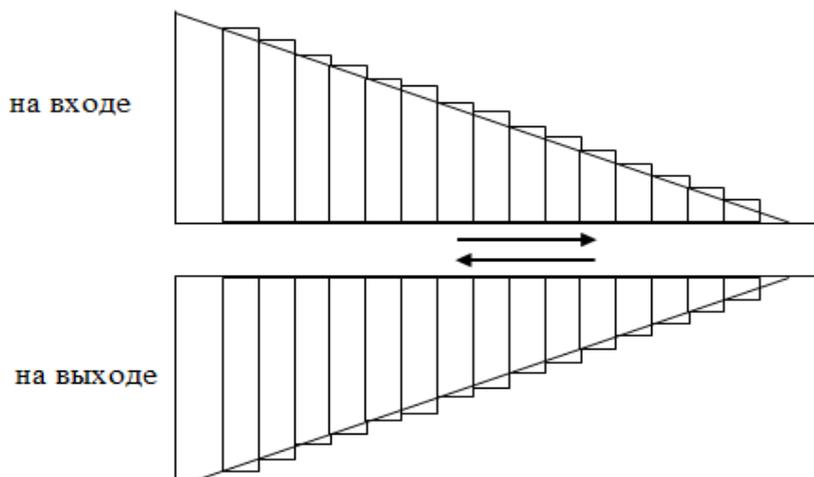


Рисунок 2 – Симметричность распределения воздуха в теплообменнике

Например, у модулей, расположенных слева, будет иметь место в основном кондуктивная передача тепла на верхний теплообменник, а у модулей справа – на нижний.

Дополнительную неравномерность охлаждения блоков вносит постепенный нагрев воздуха при его движении вдоль ребер. Неравномерное охлаждение модулей приводит к неравномерному перегреву ЭРЭ над окружающей средой, а, следовательно, к снижению надежности радиоэлектронного блока.

Другим недостатком рассматриваемого известного решения является то, что модули с кондуктивным теплоотводом весьма часто имеют плотную компоновку и содержат ЭРЭ или конструктивные элементы, препятствующие прохождению воздуха внутри них. На практике модули, как правило, разрабатываются под конкретные виды охлаждения: кондуктивное, воздушное и др. Поэтому модули с кондуктивным теплоотводом во многих случаях нельзя использовать в шкафах с воздушным охлаждением с продувом их воздухом. К недостаткам известной конструкции можно также отнести и то, что через съемные модули проходит воздух, который может даже при условии фильтрации содержать мелкие частицы пыли и других загрязнений окружающей среды. Это может привести к отказу любого из модулей при попадании загрязнений на их токоведущие части и снизить надежность блока в целом.

Кроме того, известный блок представляет собой одноэтажную конструкцию, в то время как наиболее широкое применение имеют многоэтажные, являющиеся более рациональными в технико-экономическом отношении и обеспечивающие более высокую плотность компоновки при размещении радиоэлектронной аппаратуры по сравнению с одноэтажными.

Для устранения указанных недостатков предлагается использовать следующую конструкцию шкафа для радиоэлектронных систем.

В шкафу РЭС, содержащем несущий корпус, образованный полыми верхним и нижним теплообменниками с внутренним продольным оребрением и полыми боковыми стенками с выполненными на их внутренних сторонах, на уровне полостей теплообменников отверстиями для прохода воздуха, размещены съемные модули между теплообменниками с возможностью тепловой связи каждого из них, а также патрубки с вентиляторами, прикрепленные к верхним торцам боковых стенок.

В верхнем и нижнем теплообменниках и в боковых стенках изнутри выполнены продольные перегородки, разделяющие их полости на соответствующие друг другу каналы, количество которых равно  $2n$ , где  $n$  – целое положительное число, имеющее смысл, а патрубки с вентиляторами в количестве, равном числу каналов, размещены в шахматном порядке.

Кроме того, в шкафу между верхним и нижним теплообменниками размещено необходимое количество межэтажных перекрытий, выполненных в виде полых теплообменников с внутренним продольным двухсторонним оребрением, в которые введены продольные перегородки, разделяющие их полости на каналы, соответствующие каналам боковых стенок и верхнего, нижнего теплообменников.

Надежность радиоэлектронного устройства в таком шкафу повышается, так как в смежных каналах любого из теплообменников воздух движется в противоположных направлениях (рисунок 3) и относительно равных количествах (рисунок 4), благодаря чему происходит выравнивание температурного поля всех теплообменников и улучшаются условия охлаждения модулей.

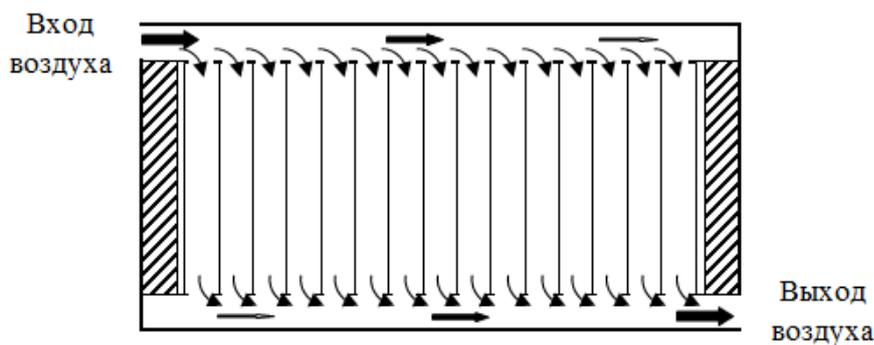
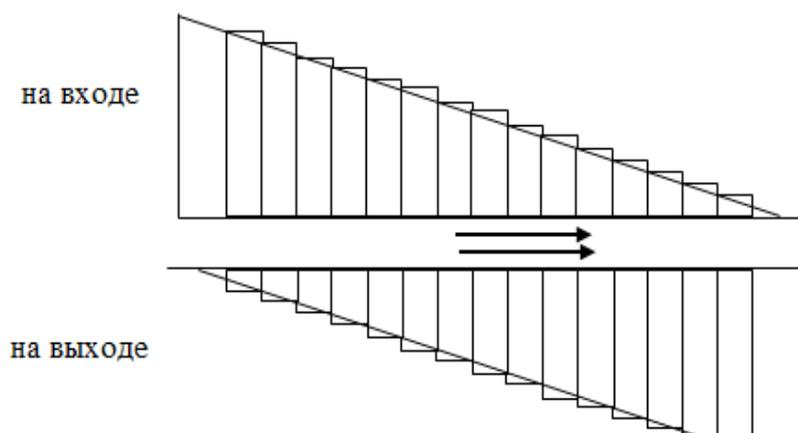


Рисунок 3 – Движение воздуха в смежных каналах

Рисунок 4 – Равномерность распределения воздуха в теплообменнике



### Заключение

По результатам моделирования теплового поля пластины сделан вывод о том, что оптимизация ее температурного поля возможна путем использования в качестве системы обеспечения тепловых режимов принудительного воздушного охлаждения, при котором циркулируемый в блоке воздух охлаждается в термоэлектрическом теплообменнике.

Предложена конструкция шкафа для радиоэлектронных систем с теплообменниками. В смежных каналах любого из теплообменников воздух движется в противоположных направлениях и равных количествах, что способствует выравниванию температурного поля всех теплообменников и улучшению условий охлаждения модулей.

### Библиографический список

1. Роткоп Л.Л., Гидалевич В.Б., Гунн Л.А., Максименко В.Д. Оценка влияния тепловых режимов в РЭА на ее надежность // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО. 1972. Вып.1. С. 18-24.
2. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В. Методы расчета теплового режима приборов. М.: Радио и связь, 1990. 312 с.
3. Акаев А.К., Дульнев Г.Н. Обобщение метода Л.В. Канторовича применительно к краевым задачам теплопроводности // Инженерно-физический журнал. 1971. Т. 21, № 3.
4. Устройство для крепления радиоэлектронных блоков. Авторское свидетельство СССР № 873484 (61). 1981. Бюл. № 38 (51) /Ризо А.М., Шалупкин А.Г., Каримов А.Г.
5. Шкаф радиоэлектронной аппаратуры. Патент РФ № 2163061. 2001 / Бутылин В.М.

### Referenses

1. Rotkop L.L., Gidalevich V.B., Gunn L.A., Maksimenko V.D. Ocenka vliyaniya teplovyh rezhimov v REA na ee nadezhnost' // Voprosy radioelektroniki. Ser. TRTO. 1972. Vyp.1. S. 18-24.
2. Dul'nev G.N., Parfenov V.G., Sigalov A.V. Metody rascheta teplovogo rezhima priborov. M.: Radio i svyaz', 1990. 312 s.
3. Akaev A.K., Dul'nev G.N. Obobshchenie metoda L.V. Kantorovicha primenitel'no k kraevym zadacham teploprovodnosti // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal. 1971. T. 21, № 3.
4. Ustrojstvo dlya krepleniya radioelektronnyh blokov. Avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 873484 (61). 1981. Byul. № 38 (51) /Rizo A.M., SHalupkin A.G., Karimov A.G.
5. Shkaf radioelektronnoj apparatury. Patent RF № 2163061. 2001 / Butylin V.M.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 02.08.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 19.08.2022*

*Принята к публикации / Accepted 02.09.2022*

*© Ш.А.Юсуфов, И.М. Шамилов, 2022*

---

### Сведения об авторах

#### List of Authors

---

*Юсуфов Ширали Абдулкадиевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и общей электротехники Дагестанского государственного технического университета.

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

*Шамилов Ибрагим Мехтиевич* – студент факультета компьютерных технологий, вычислительной техники и энергетики Дагестанского государственного технического университета.

*Ibragim Shamilov* – Student of the Faculty of Computer Technology, Computer Engineering and Energy of the Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Юсуфов Ш.А., Шамилов И.М.* Моделирование и конструктивное исполнение системы обеспечения теплового режима радиоэлектронных блоков // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 3. С. 36 - 42. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-36-42.

For citation: *Yusufov Sh.A., Shamilov I.M.* Modeling and design execution of the system for ensuring the thermal regime of radio-electronic units // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 3. P. 36 - 42. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-3-36-42.

## ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МЕТОД МАГНИТО-ЭЛАСТОИМПУЛЬСНОЙ ФОРМОВКИ МЕТАЛЛОВ

Ш.А. Омаров

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, просп. Имама Шамиля, д. 70  
keger1963@mail.ru

**Аннотация.** Показана возможность интенсификации формоизменяющих операций механообработки магнито-эластоимпульсной формовкой путем предварительной обработки заготовки импульсным магнитным полем. Такая обработка приводит к уменьшению доверительного интервала точек диаграммы предельного деформирования в 1,3–1,5 раза. Сделана оценка предельного формоизменения заготовок из легкоплавких материалов в условиях магнито-эластоимпульсной формовки. Разработана расчетно-экспериментальная методика получения диаграммы предельных деформаций тонколистового металла для процессов формовки подвижными средами. Суть ее заключается в разрушении образцов давлением полиуретана.

**Ключевые слова:** интенсификация формообразующих операций, листовая штамповка подвижными средами, магнито-эластоимпульсная штамповка, напряженно-деформированное состояние, диаграмма предельных деформаций, пластичность, пульсирующее импульсное магнитное поле.

**Abstract.** The possibility of intensifying the forming operations of machining by magnetic-elastopulse molding by pre-treatment of the workpiece with a pulsed magnetic field is shown. Such processing leads to a decrease in the confidence interval of points in the limiting strain diagram by 1.3–1.5 times. An estimate is made of the limiting shape change of workpieces made of fusible materials under the conditions of magnetic-elastopulse molding. A computational-experimental method has been developed for obtaining a diagram of limiting deformations of thin-sheet metal for molding processes with moving media. Its essence lies in the destruction of samples by the pressure of polyurethane.

**Key words:** intensification of shaping operations, sheet stamping with moving media, magnetic-elastomer-pulse stamping, stress-strain state, ultimate strain diagram, plasticity, pulsating pulsed magnetic field.

### Введение

В настоящее время в машиностроении и авиастроении существует необходимость разработки новых технологий, обеспечивающих повышение производительности труда, снижение энерго- и ма-

териалоемкости, при этом необходимо, чтобы изготовленная продукция соответствовала всем техническим требованиям соответствующих машиностроительных и авиакосмических производств.

Современный уровень развития вы-

числительной техники, ее доступность для инженерных расчетов при проектировании процессов листовой штамповки позволяют с высокой точностью прогнозировать параметры напряженно-деформированного состояния заготовки.

В большинстве работ по исследованию предельного деформирования отмечается, что при динамическом нагружении диаграмма предельных деформаций лежит ниже по сравнению со случаем статических испытаний [1]. Поэтому целью настоящей работы было создание методики получения диаграммы предельных деформаций тонколистового металла для процессов формовки подвижными средами.

В настоящее время различают диаграммы предельных деформаций для вариантов, когда деформации измеряются в начале шейкообразования и когда измерение осуществляется при нарушении сплошности материала [2].

Существует достаточно много способов получения диаграмм предельных деформаций. Все они сводятся к тому, чтобы достичь разрушения листового материала при различных предсказуемых или измеримых деформированных состояниях [3].

### ***Постановка проблемы***

Опыт показал, что применение традиционных технологий с сугубо механическими действиями для решения технологических задач по деформации металлических изделий (обжим, раздача, штамповка, доведение изгиба заготовки до необходимого уровня четкости, внешнее устранение вмятин на поверхности корпусов) существующими традиционными методами обработки становится уже неприемлемым [4]. Магнитно-эластоимпульсная штамповка (МЭИШ) позволяет на магнитно-импульсных установках (МИУ) получать детали независимо от проводимости материала заготовки.

Интенсификации формоизменяющих

операций, как правило, связаны с повышением предельной степени формоизменения.

На предельную степень формоизменения листовых материалов, в общем случае, влияют большое число факторов, определяемых химическим составом материала, величиной, структурным состоянием, количеством неметаллических включений, состоянием поверхности и микротрещинами, а также другими физико-механическими характеристиками материала заготовки. Влияние оказывают также детали технологической оснастки, технологические процессы, определяемые видом напряженно-деформированного состояния деформируемой части заготовки, характером трения, скоростью деформирования, а также рядом других факторов, определяющих процесс проектирования и изготовления детали [5].

### ***Анализ особенностей магнитно-импульсной обработки металлов в современных обрабатывающих технологиях***

Основной помехой при формовке становится недостаточная пластичность обрабатываемого металла. При достижении определенного уровня механических нагрузок, необходимых для реализации поставленной производственной задачи, в зоне нагрузки происходит разрыв металла. Не менее значимой и актуальной проблемой магнитно-импульсной обработки является проблема эффективности силового воздействия на тонкостенные металлы. Последнее определение объектов обработки, как известно, объединяет в совокупности их геометрические и электрофизические характеристики, а также временные параметры действующего поля.

Фактически тонкостенность означает режим интенсивного проникновения. Здесь имеет место не только известное из классики ослабление сил магнитного давления,

но и проявление целого ряда сопутствующих физических эффектов, обусловленных «прозрачностью» обрабатываемой заготовки [6].

Как показано в работах по обработке давлением, высокоскоростное импульсное действие приводит к появлению нового качества в поведении обрабатываемого металла. Это новое качество получило название гиперпластичности. Практическое использование эффекта гиперпластичности позволяет деформировать без разрушения и штамповать изделия, производство которых невозможно известными методами.

Высокоскоростные методы формовки позволяют увеличить степень предельного формоизменения путем выхода за пределы диаграммы пластической неустойчивости.

Все это может быть реализовано при импульсной формовке, за счет сообщения заготовке ограниченной кинетической энергии, что принципиально не достижимо при статической формовке эластичными средами, когда запас потенциальной энергии деформируемой системы превышает работу пластического деформирования заготовки. За счет этого в процессах высокоскоростного деформирования в значительной степени достигается увеличение предельного формоизменения по сравнению с квазистатическими в среднем на 10-25% [7].

На параметры предельного деформирования металла в значительной степени влияют факторы, определяемые схемой нагружения заготовки. К ним можно отнести схемы, обеспечивающие уменьшение показателя пластичности, а также схемы, обеспечивающие более равномерный характер деформирования по всей поверхности заготовки.

Одной из возможных схем, обеспечивающих уменьшение показателя пластичности, является схема с противодавлени-

ем, которая может быть реализована и в процессах МЭИШ. Увеличение степени однородности деформации при формовке эластичной средой может быть осуществлено формовкой в два этапа (реверсивная формовка).

На первом этапе используется вкладыш и осуществляется реверсивная формовка за счет подтяжки фланцевой части заготовки. Далее осуществляется формовка основного рельефа. Кроме того, возможна подтяжка фланца заготовки за счет специальной формы эластичного блока (фрикционная формовка).

Данные схемы достаточно просто реализуются в условиях МЭИШ. В значительной степени такие технологические решения использованы в ранее известных исследованиях процессов МЭИШ.

Увеличить предельную степень формоизменения можно за счет характеристики самого материала заготовки, а, именно, повышая его пластичность и уменьшая его прочностные характеристики путем применения рекристаллизационного отжига, локального деформирования, дрессировкой, использованием эффектов электропластичности и сверхпластичности.

С точки зрения применения МЭИШ особенно перспективной представляется предоперационная обработка пульсирующим импульсным магнитным полем. В работах, посвященных этим методам, сделано предположение, что влияния на характеристики материала можно достичь увеличением предельной степени формоизменения или уменьшением статистического разброса величины критической степени деформирования, а также путем управления остаточным напряжениями.

Особенностью МЭИШ является то, что она осуществляется на МИУ, которую можно использовать не только для деформирования, но и для влияния на характеристики материала путем предварительной обработки материала заготовки им-

пульсным магнитным полем.

Очевидно, что на одной и той же конденсаторной батарее можно создавать два различных разрядных контура. Вопросы, касающиеся влияния сильных импульсных магнитных полей на свойства проводящих материалов, начали освещаться в литературе, начиная с начала семидесятих годов.

Они носили в основном характер описания экспериментальных исследований электропластической деформации моно- и поликристаллических чистых металлов. Достаточно полное описание этих работ отражено в обзорной информации [8], где объяснен электропластический эффект и показано, что реально он достигается при плотностях тока не ниже  $10^3$  А/мм<sup>2</sup>.

Это с точки зрения восстановления запаса пластичности весьма важно в процессах обработки с большими степенями пластических деформаций, где время восстановления занимает сотые доли секунды. Хотя на микроуровне разогрев может быть незначительным, в зонах дефекта возможно осуществление адиабатического процесса при скоростях разогрева порядка  $10^4$  К/с.

Энергия выделяется в тех зонах, где необходимо «исправить» структуру для получения оптимальных свойств материала. При этом влияние тока большой плотности (выше  $10^3$  А/мм<sup>2</sup>) вызывает концентрацию электромагнитного поля на дефектах кристаллической решетки, что приводит к возникновению мощных локальных температурных полей.

Помимо возможного локального адиабатического разогрева металла эффекты воздействия магнитного поля могут проявляться через действие пондеромоторных сил, термических напряжений, ударных волн, теплового удара.

Исходя из физики процесса отметим, что импульс магнитного поля, взаимодействуя с материалом детали, обуславливает возникновение вихревых токов. При

прохождении импульса электрического тока через металл происходит повышение его температуры за счет джоулева разогрева.

Диссипация тепловой энергии в металле может снизить сопротивление деформированию в момент действия импульса электрического тока в результате резкого повышения пластичности материала (термическое разупрочнение) и оказывать остаточные действия – изменять механические характеристики, определяемые после разгрузки.

Разными авторами предложены различные гипотезы о механизмах воздействия магнитного поля на металл. Как наиболее общую, следует отметить гипотезу Б.В. Малыгина. Согласно ей магнитоимпульсная обработка представляет комплексное воздействие на металл магнито-стрикционных процессов и механических деформаций, тепловых и электромагнитных вихревых потоков, локализованных в местах концентрации магнитного потока, а также систему процессов, направленно ориентирующих «спинхарактеристики» внешних электронов атомов металлов пограничной зоны контакта зерен (перегруженного участка кристаллита). В целом магнитоимпульсная обработка предусматривает сочетание электромагнитного и термодинамического способов управления неравновесной структурой вещества.

Таким образом, можно ожидать, что предварительная обработка заготовок пульсирующим импульсным магнитным полем может оказывать влияние на увеличение пластичности металлов с различными магнитными свойствами, проявляющейся в интенсификации процессов ползучести, релаксации напряжений, снижения напряжения течения при активном растяжении, а также снижении прочности.

При выборе технологического оборудования для получения конкретной детали в процессах МЭИШ важным этапом явля-

ется расчет энергоемкости процесса.

Для постановки такой технологической задачи нужно рассматривать взаимодействие элементов сложного физического комплекса: разрядного контура МИУ, системы «индуктор – подвижный элемент», преобразующего энергию разрядного тока в энергию магнитного поля и далее в кинетическую энергию подвижного элемента, системы «подвижный элемент – эластичная среда», системы «эластичная среда – деформируемая заготовка».

Сложностью для математического моделирования и численного решения является переменность диффузионных процессов в спирали индуктора и подвижном элементе технологического устройства [8], а также волновые явления в эластичной среде, а именно, механические переходные процессы в элементах технологических устройств. Это обусловлено также тем, что все электромеханические явления взаимосвязаны.

Учитывая сложность математического моделирования процессов МЭИШ, определяющих связное влияние всех параметров процесса, а также технологическую направленность моделирования, допускающую достаточно большие погрешности в прогнозировании заданных параметров, целесообразным является принятие ряда допущений, облегчающих сам процесс моделирования и его практическое применение.

### ***Технологическое устройство для магнито-эластоимпульсной штамповки***

Вид расчетной модели зависит от величины допустимой погрешности прогнозирования данного параметра.

Опыт инженерных расчетов процессов МЭИШ позволяет оценить предельную допустимую погрешность величиной 15 – 25%. Такое значение предельной ошибки

вполне согласуется с величиной статистического разброса справочных характеристик кривой деформационного упрочнения материала заготовки, входящих в исходные данные для расчета.

Разработка и практическая реализация математической модели с меньшей ошибкой прогнозирования энергоемкости неэффективна из-за ее относительной сложности [9].

Достижимая погрешность определяется приближением физической модели к реальному процессу и адекватным математическим описанием этой физической модели. Технологическое устройство МЭИШ, наиболее характерное в практическом применении, представлено на рисунке.

Магнито-эластоимпульсная штамповка деталей из особо тонколистовых материалов (толщиной менее 0,1...0,2 мм) при размерах заготовки в плане менее 30...50 мм обладает рядом особенностей, что определяет параметры технологического устройства и МИУ, требуемой для реализации процесса. Между верхней и нижней плитами 1 механического прижима расположен контейнер 2, подвижный элемент 6 и плоский спиральный индуктор 7. Внутри контейнера находится подкладная плита 3 и полиуретан 4. Индуктор подключен к магнито-импульсной установке 8. Конденсаторная батарея С заряжается через повышающий трансформатор Тр и высоковольтный выпрямитель В.

При разряде батареи при помощи управляемого разрядника Р сильный импульсный ток протекает через спираль индуктора.

Возникающее давление импульсного магнитного поля перемещает подвижный элемент, создает импульсное давление в полиуретане. За счет этого давления происходит штамповка заготовки, установленной на поверхности матричного блока.

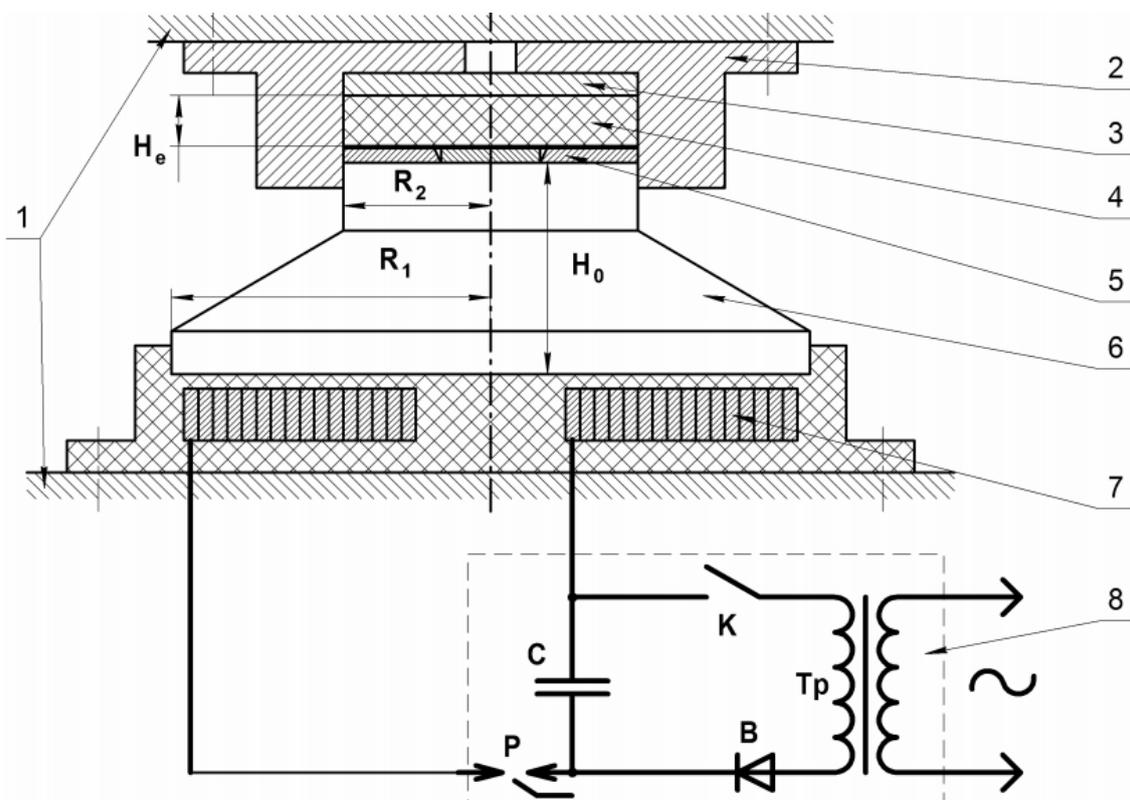


Рисунок – Схема технологического устройства для МЭИШ и МИУ:

1 – верхняя и нижняя плиты механического прижима; 2 – контейнер; 3 – подкладная плита; 4 – полиуретан; 5 – матричный блок с заготовкой из тонколистового материала; 6 – ступенчатый подвижный элемент; 7 – плоский спиральный индуктор; 8 – блок магнитно-импульсной установки

### Заключение

Разработана методика получения диаграммы предельных деформаций тонколистового металла для процессов формовки подвижными средами, в которой механика разрушения материала образца близка к механике соответствующего технологического процесса: нагружение и разрушение листовых образцов осуществляется при помощи полиуретана.

Показана возможность ожидания, что предварительная обработка заготовок пульсирующим импульсным магнитным полем может оказывать влияние на увеличение пластичности металлов с различными магнитными свойствами, проявляющейся в интенсификации процессов ползучести, релаксации напряжений, снижения напряжения течения при активном растяжении, а также снижении прочности.

### Библиографический список

1. Мамутов А.В., Мамутов В.С. Расчеты процессов штамповки подвижными средами при помощи комплекса LS-DYNA // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. № 2(147). Т. 1. С. 127-131.
2. Аксенов Л.Б., Мамутов В.С., Мамутов А.В. Построение диаграмм предельных деформаций для прогнозирования разрушения тонколистовой заготовки при высокоскоростной вытяжке-формовке // Кузнечно-штамповочное производство. 2002. № 4. С. 9-12.
3. Омаров Ш.А. Перспективные способы обработки материалов // Актуальные проблемы обработки резанием современных материалов: матер. научно-практ. конф. Махачкала: Изд. ДГТУ, 2017. С. 53-57.

4. Омаров Ш. А. Расчет энергосиловых параметров магнитно-эластоимпульсной формовки // Кузнечно-штамповочное производство. 2020. № 7. С. 17-27.
5. Омаров Ш. А. Совершенствование предельного формоизменения при обработке материалов давлением // Проблемы механики и управления: матер. межд. научной конф., 16–22 сентября 2018 г., Махачкала. М.: Изд. МГУ, 2018. С. 306–310.
6. Омаров Ш. А. Разработка технологических процессов магнитно-эластоимпульсной формовки листовых материалов на основе математического моделирования энергосиловых и деформационных параметров: автореф. дис....канд. техн. наук 05.03.05 / Омаров Ш.А. Санкт-Петербург. 1995. 19 с.
7. Омаров Ш.А., Махмудов К.Д. Экспериментальные исследования магнитно-эластоимпульсной формовки // Достижения и проблемы развития технологии и машин обработки давлением: сборник XXII межд. научно-техн. конф. (22-25 апреля 2019 года, Краматорск). Краматорск: Изд. ДГМА, 2019. С. 123 – 127.
8. Расчет взаимодействия сильных импульсных пульсирующих магнитных полей с металлами / П.В. Верещагин, Г.Н. Здор, В.С. Мамутов, Ш.А. Омаров. Санкт-Петербург: СПбГТУ, 1992. 15 с. Деп в ВНИИТЭМР, № 45-мш. 92.
9. Муртазалиев Г.М., Айдемиров К.Р., Омаров Ш.А., Пайзулаев М.М., Муртузов М.М. Математическое моделирование энергосиловых параметров магнитно-эластоимпульсной формовки // Инновационные проекты и технологии машиностроительных производств: матер. IV всерос. научно-техн. конф. Омск: Изд. ОГУПС, 2021. С.165-171.

#### **Referenses**

1. Mamutov A.V., Mamutov V.S. Raschety processov shtampovki podvizhnymi sredami pri pomoshchi kompleksa LS-DYNA // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. 2012. № 2(147). Т. 1. С. 127-131.
2. Aksenov L.B., Mamutov V.S., Mamutov A.V. Postroenie diagramm predel'nyh deformacij dlya prognozirovaniya razrusheniya tonkolistovoj zagotovki pri vysokoskorostnoj vytyazhke-formovke // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2002. № 4. С. 9-12.
3. Omarov Sh.A. Perspektivnye sposoby obrabotki materialov // Aktual'nye problemy obrabotki rezaniem sovremennyh materialov: mater. nauchno-prakt. konf. Mahachkala: Izd. DGTU, 2017. С. 53-57.
4. Omarov Sh. A. Raschet energosilovyh parametrov magnitno-elastoimpul'snoj formovki // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2020. № 7. С. 17-27.
5. Omarov Sh. A. Sovershenstvovanie predelnogo formoizmeneniya pri obrabotke materialov davleniem // Problemy mekhaniki i upravleniya: mater. mezhd. nauchnoj konf., 16–22 sentyabrya 2018 g., Mahachkala. M.: Izd. MGU, 2018. С. 306–310.
6. Omarov Sh. A. Razrabotka tekhnologicheskikh processov magnitno-elastoimpul'snoj formovki listovyh materialov na osnove matematicheskogo modelirovaniya energosilovyh i deformacionnyh parametrov: avtoref. dis....kand. tekhn. nauk 05.03.05 / Omarov Sh.A. Sankt-Peterburg. 1995. 19 s.
7. Omarov Sh.A., Mahmudov K.D. Eksperimental'nye issledovaniya magnitno-elastoimpul'snoj formovki // Dostizheniya i problemy razvitiya tekhnologii i mashin obrabotki davleniem: sbornik XXII mezhd. nauchnotekhn. konf. (22-25 aprelya 2019 goda, Kramatorsk). Kramatorsk: Izd. DGMA, 2019. С. 123 – 127.
8. Raschet vzaimodejstviya sil'nyh impul'snyh pul'siruyushchih magnitnyh polej s metallami / P.V. Vereshchagin, G.N. Zdor, V.S. Mamutov, Sh.A. Omarov. Sankt-Peterburg: SPbGTU, 1992. 15 s. Dep v VNIITEMR, № 45-msh. 92.
9. Murtazaliev G.M., Ajdemirov K.R., Omarov Sh.A., Pajzulaev M.M., Murtuzov M.M. Matematicheskoe modelirovanie energosilovyh parametrov magnitno-elastoimpul'snoj formovki // Innovacionnye proekty i tekhnologii mashinostroitel'nyh proizvodstv: mater. IV vseros. nauchno-tekhn. konf. Omsk: Izd. OGUPS, 2021. С.165-171.

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов*

*The author declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 03.09.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 19.09.2022*

*Принята к публикации / Accepted 24.09.2022*

*© Ш.А. Омаров, 2022*

---

**Сведения об авторе**

**List of Author**

---

*Омаров Шамиль Абдулаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры сопротивления материалов, теоретической и строительной механики Дагестанского государственного технического университета.

*Shamil Omarov* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Department of Strength of Materials, Theoretical and Structural Mechanics, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Омаров Ш.А.* Высокоскоростной метод магнито-эластоимпульсной формовки металлов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 3. С. 43 - 50. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-43-50.

For citation: *Omarov Sh.A.* High-speed method of magnetic-elastopulse forming of metals // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 3. P. 43 - 50. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-3-43-50.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ПРОФИЛЕЙ

А.Ю. Алимов<sup>1</sup>, М.У. Ахмедпашаев<sup>2</sup>, Н.К. Санаев<sup>2</sup>, В.А. Евстратов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Завод «Дагдизель», Каспийск

368305, Республика Дагестан, г. Каспийск, ул. Ленина, 1

<sup>2</sup>Дагестанский государственный технический университет, Махачкала

367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, просп. Имама Шамиля, 70

alimovadam@mail.ru

**Анотация.** В статье представлен оценочный критерий экономической эффективности дизельных двигателей – интегральный коэффициент качества, который определяется методом профилей. Профиль качества продукции — это выстроенное посредством графиков отображение технико-экономических показателей, определяющих качественные свойства изделия. Приведен пример оценки экономической эффективности дизелей двух российских предприятий методом профилей.

**Ключевые слова:** профиль, качество изделия, интегральный коэффициент качества, критерий, дизельный двигатель.

**Abstract.** The article presents an evaluation criterion for the economic efficiency of diesel engines – an integral quality factor, which is determined by the profile method. The product quality profile is a display of technical and economic indicators, built by means of graphs, that determine the quality properties of the product. An example of evaluating the economic efficiency of diesel engines of two Russian enterprises using the profile method is given.

**Key words:** profile, product quality, integral quality factor, criterion, diesel engine.

### Введение

В рыночной экономике новая техника должна оцениваться, прежде всего, с точки зрения потребителя. Конкурентоспособность продукции должна учитываться по двум основным взаимосвязанным параметрам «цена – качество» [1].

Параметр, по которому определяется экономическая эффективность продукции, должен учитывать все вложения, затраченные за период эксплуатации изделия. Этим требованиям наиболее полно соответствует ориентировочный норматив эффективности вложений – чистая текущая стоимость (ЧТС).

Часто, при эксплуатации новых изделий, затруднительно оценить выгоду от их

применения [2].

В случае сложности определения чистого дохода от использования новой техники его необходимо оценить по показателю приведенных чистых расходов (ПЧР):

$$\text{ПЧР} = \sum_{t=0}^{T_{\text{эф}}} \text{ПТР}t + \sum_{t=0}^{T_{\text{эф}}} \text{П}t,$$

где ПТР $t$  – приведенные текущие расходы за  $t$ -й период, П $t$  – приведенные инвестиции за  $t$ -й период.

Хотя критерии ЧТС и ПЧР являются комплексными факторами, определяющими качественные свойства новой техники, однако при их расчете ряд важных для потребителя свойств изделия, определяющих его качество, остаются вне поля зрения. С учетом вышеизложенного предлагается показатель совокупного коэффици-

ента качества  $K_k$ , определяемый посредством профилей.

### Теоретические и экспериментальные исследования

Профиль качества продукции – это выстроенное определенным образом посредством графиков отображение технико-экономических показателей, определяющих качественные свойства изделия. Полученный профиль товара используется для сравнения его качественных характеристик с другими конкурентными товарами методом сличения профилей, изображенных на одном и том же графике. Поле графика делится на  $(n - 1)$  равных частей, где  $n$  – число технико-экономических показателей, отобранных согласно пожеланиям покупателей изделий. Исходя из положения, что на конкурентном рынке все свойства изделия, характеризующие его качество, важны, весомость всех технико-экономических показателей принимается одинаковой. Ширина  $H$  поля выбирается произвольно. Каждый показатель объекта откладывается на делительной шкале.

На рисунках 1, 2, 3 приведены профи-

ли дизелей, выпускаемых АО «Завод «Дагдизель» и характеризующиеся такими технико-экономическими показателями, как номинальные мощность и частота, количество цилиндров и их диаметр, ход поршня, моторесурс, габаритные размеры и другие. В таблице приведены показатели 7 моделей двигателей одного класса, освоенных на предприятии [3].

Суть состоит в том, что чем больше площадь профиля, тем выше качество объекта. Профиль позволяет объединить разноразмерные показатели дизельных двигателей с помощью одного обобщенного показателя и изобразить их на одном оценочном поле.

Совокупный коэффициент качества изделия определяется как отношение площадей профиля и оценочного прямоугольного поля:

$$K_k = S_{пр} / S.$$

Для построения профиля объекта выбирается наиболее значимые с точки зрения потребителей технико-экономические показатели и прямоугольное оценочное поле.

Профиль дизеля ДП 26  $K_k = 0,579$

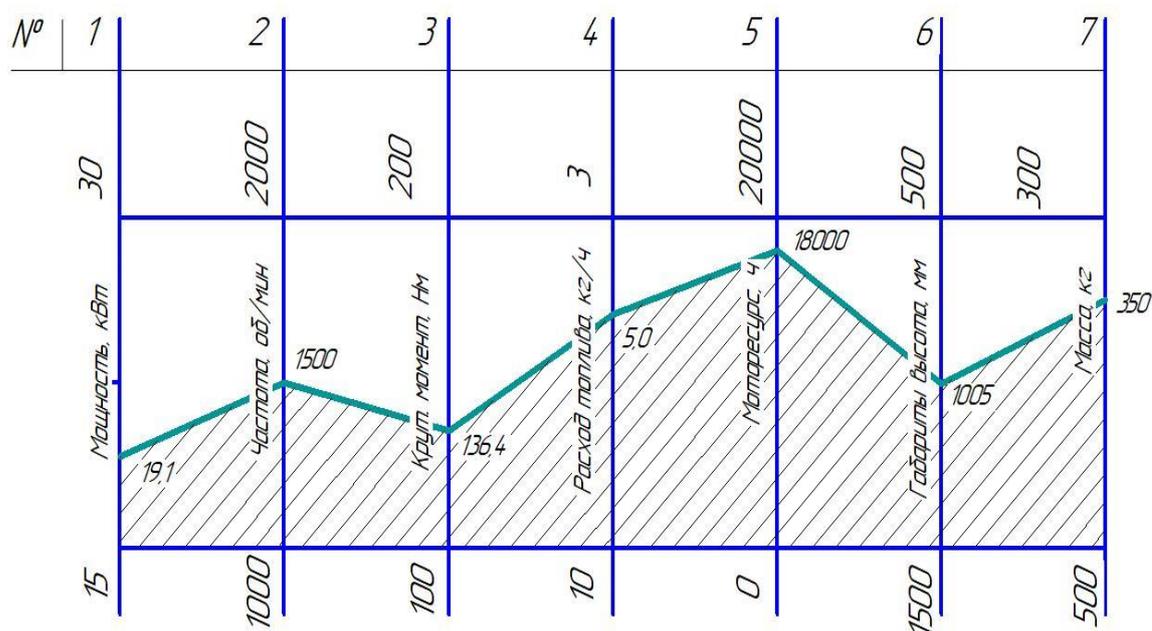


Рисунок 1 – Профиль дизельного двигателя 5Д4 (ДП26)

Профиль дизеля ДП 30  $K_k = 0,591$

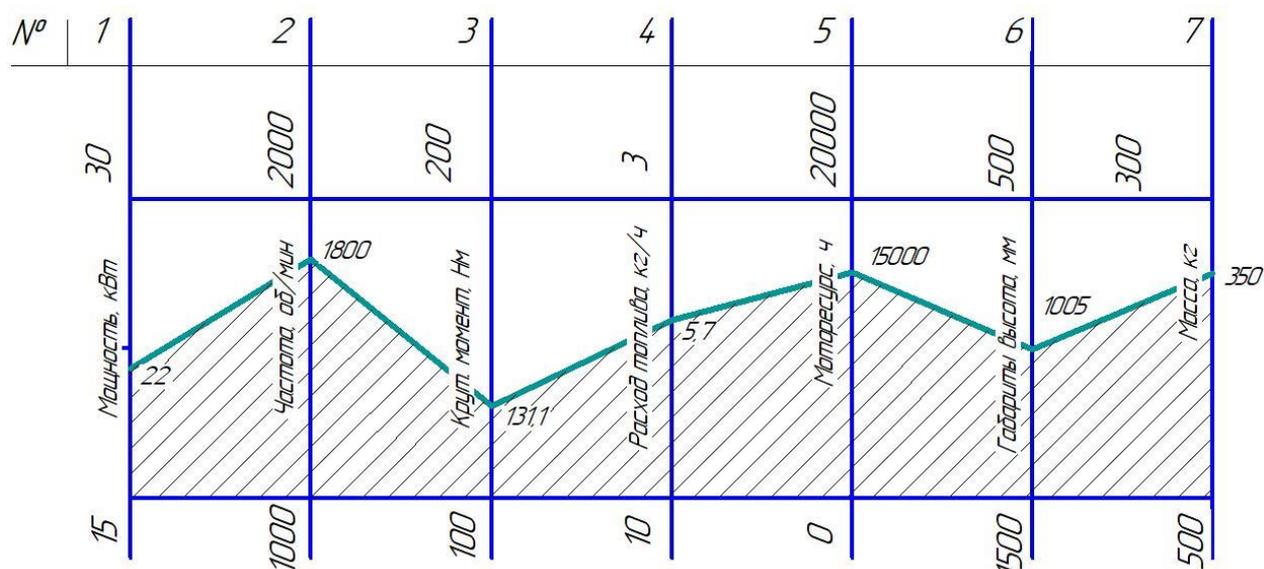


Рисунок 2 – Профиль дизельного двигателя ДП 30

Профиль дизеля ДП-31М  $K_k = 0,625$

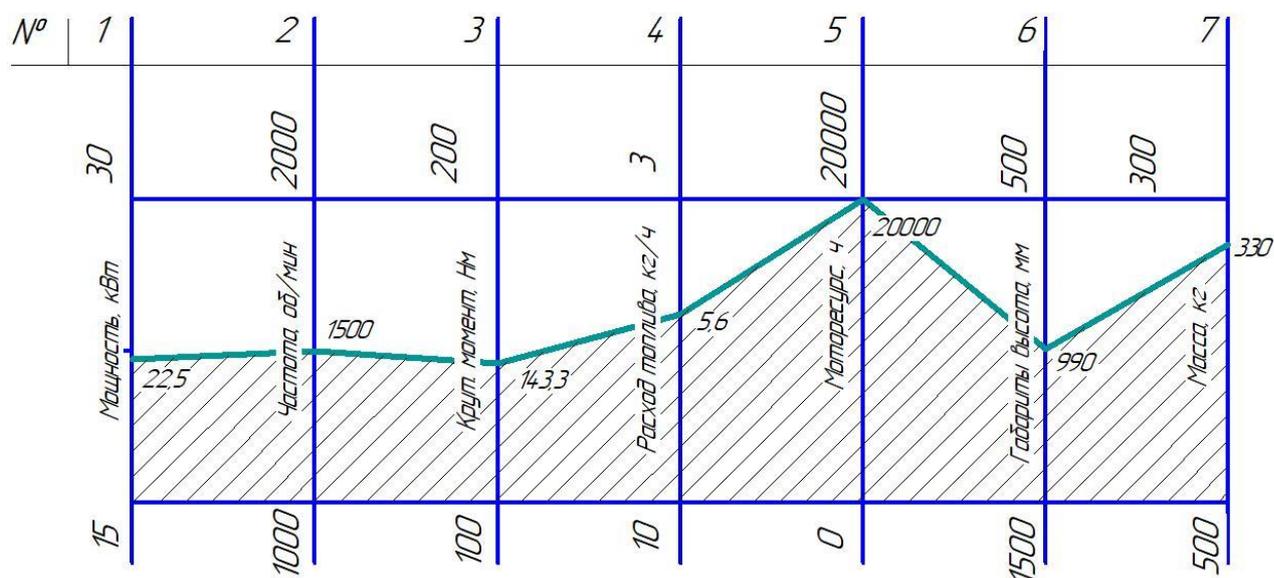


Рисунок 3 – Профиль дизельного двигателя ДП 31М

Площадь, ограниченная профилем, равна

$S_{пр} = h (X_1/2 + X_2 + X_3 + \dots + X_{n-1} + X_n/2)$ ,  
 где  $h$  – расстояние между длительными шкалами (выбирается произвольно), мм;  
 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  – координаты вершин профиля, мм.

Площадь оценочного поля:

$$S = h (n - 1)H,$$

где  $H$  – ширина оценочного поля.

Тогда интегрированный коэффициент качества:

$$K_k = (X_1/2 + X_2 + \dots + X_{n-1} + X_n/2) / (n - 1)H.$$

Например, для дизеля 5Д4 (ДП26), выпускаемого АО «Завод «Дагдизель», интегрированный коэффициент качества рассчитывается как

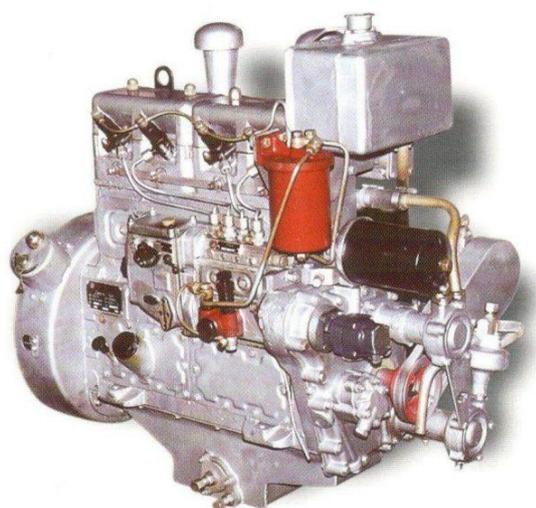
$$K_k = (25/2 + 22,5 + 15 + 30 + 33,5 + 25 + 25/2) / 6 \cdot 45 = 0,579.$$

Таблица – Технико-экономические показатели дизельных двигателей (АО «Завод «Дагдизель»)

Показатели дизелей	Марка дизеля						
	ДП18	ДП18-03	ДП26	ДП30	ДП31	ДП31М	ДП31А*
Номинальная мощность, кВт(л.с.)	13,2(18)	11,0 (15)	19,1 (26)	22 (30)	22,5 (31)	22,5(31)	22,5(31)
Номинальная частота, об/мин	1800	1500	1500	1800	1500	1500	1500
Диаметр цилиндра, мм	95	95	95	95	95	95	95
Ход поршня, мм	110	110	110	110	110	110	110
Число цилиндров	2	2	4	4	4	4	4
Максим. крутящий момент, Нм	77,3	82,4	136,4	131,1	143,3	143,3	143,3
Часовой расход топлива, кг/ч	3,2	2,7	5	5,7	5,9	5,6	5,9
Ресурс до капит. ремонта, ч	16000	20000	18000	15000	20000	20000	20000
Габариты, мм не более	Длина	680	680	900	900	900	900
	Ширина	550	550	540	540	540	540
	Высота	1020	1020	1005	1005	970	990
Масса сухая, кг	230	230	350	350	350	330	350

Метод профилей был применен для сравнения качества двигателей российского и белорусского предприятий, специализирующихся на их промышленном выпуске. На рисунке 4 показан внешний вид дизельных двигателей ДП-31 АО «Завод «Дагдизель» и Д-243 ОАО «Минский мо-

торный завод», которые сравнили по интегрированному коэффициенту качества методом профилей. Результаты сравнения представлены на рисунке 5. Дизель АО «Завод «Дагдизель» заметно выигрывает по качеству.



а)



б)

Рисунок 4 – Дизель ДП-31 АО «Завод «Дагдизель» (а), дизель Д-243 ОАО «Минский моторный завод» (б)

Сравнение профиля дизеля Д-243 ОАО "ММЗ"  $K_k=0,440$   
и профиля дизеля ДП 31 АО "Завод Дагдизель"  $K_k=0,515$

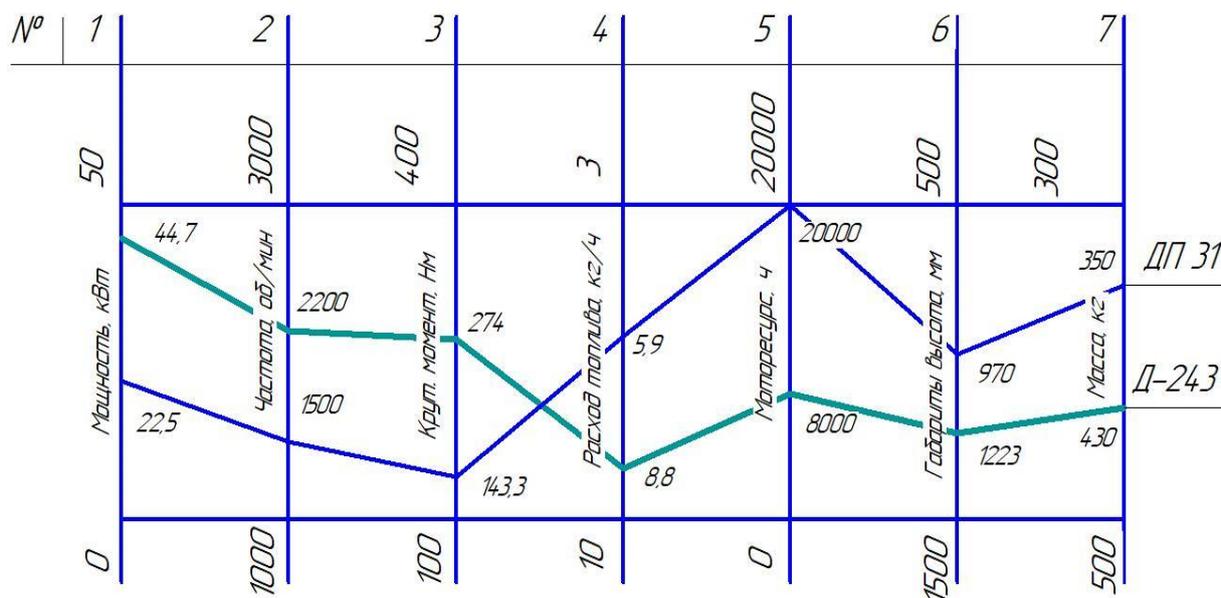


Рисунок 5 – Сравнение профиля дизеля Д-243 ОАО «ММЗ» и профиля дизеля ДП-31 АО «Завод «Дагдизель»

### Заключение

Сравнивая показатели цены и качества большого количества аналогичных дизельных двигателей, возможно отследить зависимость цены от совокупного коэффициента качества  $C = f(K_k)$ .

По показателям чистой текущей стоимости и приведенных текущих расходов

может быть оценена экономическая эффективность дизельных двигателей, но они не характеризуют их качество в целом. Предложенный метод профилей позволяет с помощью одного критерия – интегрированного коэффициента, объективно оценить качество дизельных двигателей.

### Библиографический список

1. Пострелова А.В., Маркин М.С. Оценка конкурентоспособности предприятия // Молодой ученый. 2013. № 6 (53). С. 398-402.
2. Кикоть И.И. Методика формирования продуктового портфеля на основе чистой текущей стоимости // Потребительская кооперация. 2019. № 3 (66). С. 60-63.
3. Дизели Ч 8,5/11 Ч 9,5/11. Руководство по эксплуатации 2452018РЭ. М. 160 с.

### Referenses

1. Postrelova A.V., Markin M.S. Ocenka konkurentosposobnosti predpriyatiya // Molodoj uchenyj. 2013. № 6 (53). S. 398-402.
2. Kikot' I.I. Metodika formirovaniya produktovogo portfelya na osnove chistoj tekushchej stoimosti // Potrebitel'skaya kooperaciya. 2019. № 3 (66). S. 60-63.
3. Dizeli CH 8,5/11 CH 9,5/11. Rukovodstvo po ekspluatatsii 2452018RE. M. 160 s.

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

Дата поступления в редакцию / Received 11.09.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 24.09.2022

---

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

---

*Алимов Адам Юзбегович* – главный технолог Акционерного общества «Завод Дагдизель».  
*Adam Alimov* – Chief Technologist of the Joint-Stock Company «Plant Dagdiesel».

*Ахмедпашаев Магомедпаша Узайруевич* – доктор технических наук, профессор кафедры конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств и материаловедения Дагестанского государственного технического университета.

*Magomedpasha Akhmedpashaev* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Design and Technological Support of Machine-Building Production and Materials Science, Daghestan State Technical University.

*Санаев Надир Кельбиханович* – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств и материаловедения Дагестанского государственного технического университета.

*Nadir Sanaev* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Technological Support of Machine-Building Industries and Materials Science, Daghestan State Technical University.

*Евстратов Владимир Афанасьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств и материаловедения Дагестанского государственного технического университета.

*Vladimir Evstratov* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design and Technological Support of Machine-Building Industries and Materials Science, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Алимов А.Ю., Ахмедпашаев М.У., Санаев Н.К., Евстратов В.А.* Оценка качества продукции дизельного производства методом профилей // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 3. С. 51 - 56. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-51-56.

For citation: *Alimov A.Yu., Akhmedpashaev M.U., Sanaev N.K., Evstratov V.A.* Evaluation of the quality of diesel production products by the profile method // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 3. P. 51 - 56. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-3-51-56.

## ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЭКО-ТЕКСТИЛЯ НА ОСНОВЕ ЭКСТРАКТОВ РАСТЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Ф.Ш. Азимова

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70  
faina\_azimova@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы создания лечебного эко-текстиля, терапевтический эффект которого зависит от качественного и количественного содержания флавоноидов в растительном экстракте. Предложена эффективная методика экстракции и определения содержания флавоноидов. Разработана инновационная технологическая схема получения эко-текстиля колорированием: приготовление композиции, нанесение ее на текстильную основу способом печати, сушка, резка, стерилизация и упаковка.

**Ключевые слова:** биологически активные соединения, зверобой продырявленный, колорирование, концентрация, косметология, лечебные свойства, растительный экстракт, флавоноид, эко-текстиль.

**Abstract.** The issues of creating therapeutic eco-textiles, the therapeutic effect of which depends on the qualitative and quantitative content of flavonoids in the plant extract, are considered. An effective method for extraction and determination of the content of flavonoids is proposed. An innovative technological scheme for obtaining eco-textiles by coloring has been developed: preparing a composition, applying it to a textile base by printing, drying, cutting, sterilization and packaging.

**Key words:** biologically active compounds, St. John's wort, coloring, concentration, cosmetology, medicinal properties, plant extract, flavonoid, eco-textile.

### Введение

Республика Дагестан и другие регионы Северного Кавказа славятся богатой флорой, большим разнообразием растений, обладающих биологической активностью [1, 2, 3]. Выработка и использование экстрактов этих растений позволило бы создавать современный и востребованный вид продукта – экологический текстиль.

Согласно международным стандартам, к вредным веществам, содержание которых недопустимо в текстиле или подверга-

ется контролю, отнесены: пестициды, формальдегиды, фталаты, тяжелые металлы, хлорорганические носители, защитные вещества, такие как пента-, тетра-хлорфенол и др. Контроль за pH средой ткани позволяет исключить его повышенную кислотность или щелочность. Важным фактором является природа красителя (искусственный или природный), стойкое закрепление его на материале, поскольку это ограждает кожу от вредного воздействия красителя. Не допускается примене-

ние хлорсодержащих отбеливателей, фторорганических отделочных препаратов, искусственных красителей. При окрашивании разрешается колорирование в светлые тона и нанесение рисунка только на лицевую сторону способом печати. Другое направление – создание лечебного и профилактического экотекстиля, влияющего на улучшение здоровья человека. Для выполнения строгих требований к экотекстилю, а тем более придания ему лечебного воздействия, необходимы научные и экспериментальные исследования технологии создания эко-текстиля.

Ранее в процессе проведенных исследований автором были рассмотрены и изучены состав и свойства 120 растений, произрастающих на территории Северного Кавказа, из которых были отобраны в качестве объектов исследования зверобой продырявленный, рододендрон кавказский золотистый, кермек, девясил, чертополох и мальва [4, 5, 6, 7]. Биологическая активность получаемых из этих растений продуктов в большей степени зависит от технологии их экстракции, которая сегодня недостаточно совершенна и предполагает использование высоких температур [8, 9].

Растительные флавоноиды термолабильны, поэтому для решения данной задачи необходимо понижение температуры экстракции. Проанализировав несколько видов экстрагирования, предложили экстракцию из водного раствора, как более экологичный процесс, где отпадает надобность избавляться впоследствии от легко воспламеняемого экстрагента. Доказано, что терапевтический эффект экотекстиля напрямую зависит от качественного и количественного содержания флавоноидов в растительном экстракте. На содержание флавоноидов, в свою очередь, влияют многие факторы, среди которых количество света и тепла в процессе роста растения, температура, состав почвы, время сбора [10].

### **Определение содержания флавоноидов**

В процессе нанесения загустки, содержащей биополимеры и растительные экстракты, на текстильное волокно (хлопчатобумажная ткань, ткань трикотажного плетения и ткань из полиамидного волокна) наблюдается массоперенос молекул гидрогеля и молекул растительного экстракта. По законам массопереноса молекулы сначала диффундируют в структуру волокна, проникая в межволоконное пространство, затем следует процесс сорбции молекулами волокна молекул растительного экстракта. В процессе сорбции образуются химические связи, чаще всего, водородные. За счет того, что молекулы растительных флавоноидов имеют активные группы, они соединяются с активными группами волокон. Со временем система приходит в равновесие. Количество флавоноидов, продифундировавших в структуру волокна и связанных с текстильным материалом, определяет биоактивность косметического материала, обеспечивает противовоспалительные, ранозаживляющие, регенерирующие и другие свойства этого материала.

В процессе исследования возникает необходимость определения количественного содержания флавоноидов в структуре ткани [8, 11]. За основу был взят экстракт зверобоя продырявленного (рисунок).

Разработана следующая методика экстракции. 50 грамм измельченного растительного сырья травы зверобоя в течение 40-50 минут экстрагировали в объеме дистиллированной воды объемом 200 мл. Экстракцию проводили шесть раз, до истощения растительного сырья, добавляя объем воды в колбе.

Навеску нетканого материала массой 5 г помещали в содержимое колбы и выдерживали при температуре 60 – 70°C. Через 15, 30, 45 и 60 минут пропитки из содержимого колбы отбирались пробы объемом 2 мл. Содержимое доводили до пер-

воначального объема.

Пробы помещались в кюветы и снимались спектры поглощения в видимой части

области на спектрофотометре ShimadzuUV-3600.



Рисунок – Зверобой продырявленный

Расчет проводили по рутину, для чего готовили стандартный раствор сравнения. 0,05 г (точная навеска) государственного стандартного образца рутина растворяли в 70 мл 70 % этилового спирта на водяной бане. Затем добавляли 30 мл 70 % спирта.

Содержание флавоноидов в исследуемых образцах определяли по формуле:

$$C\% = \frac{D_x \cdot a_{cm} \cdot 100 \cdot W}{D_{cm} \cdot V},$$

где  $a_{cm}$  – концентрация стандартного раствора;  $D_x$ ,  $D_{cm}$  – оптические плотности анализируемого и стандартного раствора;  $\frac{W}{V}$  – разведение и аликвота анализируемого раствора.

#### **Технология получения экотекстиля колорированием**

Для создания новых лечебных и профилактических материалов, используемых в косметологии и дерматологии, необходимо было разработать технологию их по-

лучения. За основу для разработки такой технологии принят широко известный в легкой промышленности способ печати (колорирование материалов). Наш выбор обоснован известными данными об использовании этой технологии для получения лечебных салфеток «Колетекс» с различными лекарственными препаратами [9].

Загустку на основе биогелеобразователей готовили по способу приготовления основы для печатания текстильных промышленных материалов при колорировании тканей.

Растительный экстракт смешивали с биополимером. Состав пропитки включал в себя гелеобразователь, растительный экстракт и дистиллированную воду. В качестве глеобразующей основы были выбраны пектин, агар-агар и эластин (5%).

Навеску сухого порошка альгината натрия взвешивали на технических весах с точностью до 0,001 г. В колбу с дистиллированной водой при постоянном помешивании небольшими порциями высыпалась

навеска альгината. Количество загустителя зависит от получаемой концентрации загустки. Содержимое выдерживалось в течение 24 часов для набухания при температуре 18-20С<sup>0</sup>. Каждые три-четыре часа содержимое перемешивалось с помощью мешалки. Затем в разбухший биополимер небольшими порциями вводился растительный экстракт. Полученную композицию перемешивали, процеживали.

Текстильный материал, прошедший операцию щелочно-переснокислового беления закрепляли на рамке на печатном столе.

Полимерную композицию, приготовленную по вышеуказанной методике, наносили на материал с помощью резиновой ракля через сетчатый шаблон из полиамидной ткани с ситом № 23-32. Исходная концентрация композиции на текстильном материале определяла количество проходов через раклю. В конкретном рассматриваемом случае это число составило 6 проходов, что обеспечило достаточную глубину проникновения композиции в структуру волокна.

Затем в течение 12-16 часов следовала сушка при температуре 20-25С<sup>0</sup> на воздухе без дополнительного вентилирования. Аналогично готовилась биокомпозиция с использованием агар-агара и пектина.

Технологическая схема получения материалов по указанному способу и ее аппаратное оформление выглядят следующим образом:

- приготовление композиции, обладающей необходимыми для использования в печати технологическими свойствами и включающей нужные для получения создаваемого материала комплексы препаратов;

- нанесение приготовленной композиции на печатном оборудовании (например, печатный стол, каретка для полунепрерывного нанесения с подогреваемым сто-

лом) на текстильную основу;

- сушка текстильного материала с нанесенной полимерной композицией (в сушилке печатной машины или на воздухе);

- резка материала по форме изделий, их упаковка и стерилизация в дозе, обязательной для изделий медицинского назначения.

Важной задачей данных научных исследований является разработка методики нанесения на текстильный материал биологически активных веществ растительного происхождения и создание гелеобразующей основы, содержащей биологически активные вещества растительного происхождения. При разработке новых материалов для медицины и косметологии и технологии их получения текстильный материал рассматривается как основа, носитель для биологически активных веществ и лекарственных препаратов. Основной составляющей в процессе применения экотекстиля является проницаемость биологически активных веществ через кожу. Важными факторами для проницаемости тех или иных веществ через кожу являются температура и влажность. Уровень *pH* кожи служит препятствием к проникновению в глубокие слои кожи микроорганизмов. Поэтому важно, чтобы экотекстиль не изменял уровень *pH* поверхности кожи [3, 12].

Все указанные выше обстоятельства ставят проблему дальнейшего изучения растительного сырья, разработки обоснованной технологии их использования.

### **Заключение**

Проведенные исследования позволили получить такие результаты:

- теоретическое обоснование роли растительных экстрактов в получении лечебного текстиля;

- разработка методики извлечения сухих и жидких растительных экстрактов;

- экспериментальное обоснование эффективных лечебных свойств растительных экстрактов – марены, рододендрона, кермека, крушины, девясила, зверобоя, горца птичьего, мальвы;

- разработка методики определения концентрации биологически активных веществ;

- спектральный анализ растительных экстрактов;

- практическая разработка эффективной методики нанесения растительных экстрактов на текстильную основу, в составе которой правильный выбор текстильного материала в качестве основы, формирование характеристик наборов растительных экстрактов и биологически активных веществ, используемых для получения медицинского текстиля.

Для получения новых материалов с комплексом ценных свойств с использованием описанной технологической схемы разработан состав композиции, выбраны

выбрать подходящие по технологическим и медицинским параметрам для печати текстильный и нетекстильный материал. Разработан технологический регламент получения лечебных изделий.

В результате проведенных работ получена партия косметологических лечебных салфеток, пропитанных экстрактами растений. Салфетки могут применяться для ухода за кожей лица, профилактики старения, устранения отеков, регенерации тканей и увлажнении. Разработаны салфетки для области вокруг глаз, губ, области подбородка, крыльев носа.

Проведенные исследования отражены в целом ряде полученных объектов интеллектуальной собственности в виде патентов [13, 14, 15]. Инновационные разработки эко-текстиля и косметологических средств позволили обосновать целесообразность их внедрения на экспериментальном участке малого предприятия по производству эко-текстиля.

#### **Библиографический список**

1. Большая энциклопедия народной медицины / Под ред. Непокойчицкого Г.А. М.: АСТ, 2012. 1247 с.
2. Алексеев Б.Д., Расулов М.М. Заготовка и охрана лекарственных растений Дагестана. Махачкала: Дагкнигоиздат, 1983. 84 с.
3. Шретер А.И., Муравьева Д.А., Пакалн Д.А., Ефимова Ф.В. Лекарственная флора Кавказа. М.: Медицина, 1979. 568 с.
4. Азимова Ф.Ш., Шагина Н.А. Влияние минеральных протрав на процесс крашения шубной овчины растительным красителем кермека // Кожевенно-обувная промышленность. 2009. № 4. С. 33-34.
5. Шагина Н.А., Азимова Ф.Ш. Способ крашения шубной овчины растительным красителем зверобоя по алюминиевой протраве // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011. № 2 (21). С. 178-180.
6. Азимова Ф.Ш., Шагина Н.А. Способ колорирования шубной овчины растительным красителем зверобоя // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2021. № 2 (392). С. 160-163.
7. Азимова Ф.Ш., Шагина Н.А., Гаджимурадова Р.М. Методика качественного и количественного анализа растительных экстрактов, содержащих биологически активные вещества // Естественные и технические науки. 2020. № 5 (143). С. 33-36.
8. Гаммерман А.Ф., Кадаев Г.Н., Яценко-Хмелевский А.А. Лекарственные растения (растения – целители): справ. пособие. М.: Высшая школа, 2012. 544 с.
9. Чиков П.С. Лекарственные растения. М.: Лесная промышленность, 1982. 384 с.
10. Гаммерман А.Ф., Кадаев Г.Н. Лекарственные растения. М.: Высшая школа, 1975. 470 с.

11. Блажей А., Шутый Л. Фенольные соединения растительного происхождения. М.: Высшая школа, 2003. 243 с.
12. Азимова Ф.Ш. Разработка технологии колорирования ковровых текстильных материалов красителями растительного происхождения: дисс.... канд. техн. наук: 05.19.01. М., 2006. 125 с.
13. Патент РФ № 2541134. Способ получения сухого растительного экстракта зверобоя продырявленного: заявл. 06.12.2012: опубликовано 10.02.2015 / Шагина Н.А.; заявитель ДГТУ. Бюл. № 4. 4 с.
14. Патент РФ № 2586137. Способ колорирования шерстяной ткани растительным красителем коры мушмулы СВЧ обработкой: заявл. 09.01.2014: опубликовано 10.06.2016 / Шагина Н.А., Азимова Ф.Ш.; заявитель ДГТУ. Бюл. № 16. 5 с.
15. Патент РФ № 2493306. Способ протравного крашения шерстяной ткани растительным красителем чертополоха поникающего: заявл. 11.01.2012: опубликовано 20.09.2013 / Шагина Н.А., Азимова Ф.Ш.; заявитель ДГТУ. Бюл. № 26. 4 с.

### **Referenses**

1. Bol'shaya enciklopediya narodnoj mediciny / Pod red. Nepokojchickogo G.A. M.: AST, 2012. 1247 s.
2. Alekseev B.D., Rasulov M.M. Zagotovka i ohrana lekarstvennyh rastenij Dagestana. Machakala: Dagknigoizdat, 1983. 84 s.
3. SHreter A.I., Murav'eva D.A., Pakaln D.A., Efimova F.V. Lekarstvennaya flora Kavkaza. M.: Medicina, 1979. 568 s.
4. Azimova F.Sh., Shagina N.A. Vliyanie mineral'nyh protrav na process krasheniya shubnoj ovchiny rastitel'nyh krasitelem kermeka // Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost'. 2009. № 4. S. 33-34.
5. Shagina N.A., Azimova F.Sh. Sposob krasheniya shubnoj ovchiny rastitel'nyh krasitelem zveroboya po alyuminievoj protrave // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2011. № 2 (21). S. 178-180.
6. Azimova F.Sh., Shagina N.A. Sposob kolorirovaniya shubnoj ovchiny rastitel'nyh krasitelem zveroboya // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2021. № 2 (392). S. 160-163.
7. Azimova F.Sh., Shagina N.A., Gadzhimuradova R.M. Metodika kachestvennogo i kolichestvennogo analiza rastitel'nyh ekstraktov, sodержashchih biologicheski aktivnye veshchestva // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2020. № 5 (143). S. 33-36.
8. Gammerman A.F., Kadaev G.N., YAcenko-Hmelevskij A.A. Lekarstvennye rasteniya (rasteniya – celiteli): sprav. posobie. M.: Vysshaya shkola, 2012. 544 s.
9. CHikov P.S. Lekarstvennye rasteniya. M.: Lesnaya promyshlennost', 1982. 384 s.
10. Gammerman A.F., Kadaev G.N. Lekarstvennye rasteniya. M.: Vysshaya shkola, 1975. 470 s.
11. Blazhej A., SHutyj L. Fenol'nye soedineniya rastitel'nogo proiskhozhdeniya. M.: Vysshaya shkola, 2003. 243 s.
12. Azimova F.Sh. Razrabotka tekhnologii kolorirovaniya kovrovyyh tekstil'nyh materialov krasitelyami rastitel'nogo proiskhozhdeniya: diss.... kand. tekhn. nauk: 05.19.01. M., 2006. 125 s.
13. Патент РФ № 2541134. Способ получения сухого растительного экстракта зверобоя продырявленного: заявл. 06.12.2012: опубликовано 10.02.2015 / Шагина Н.А.; заявитель ДГТУ. Бюл. № 4. 4 с.
14. Патент РФ № 2586137. Способ колорирования шерстяной ткани растительным красителем коры мушмулы СВЧ обработкой: заявл. 09.01.2014: опубликовано 10.06.2016 / Шагина Н.А., Азимова Ф.Ш.; заявитель ДГТУ. Бюл. № 16. 5 с.
15. Патент РФ № 2493306. Способ протравного крашения шерстяной ткани растительным красителем чертополоха поникающего: заявл. 11.01.2012: опубликовано 20.09.2013 / Шагина Н.А., Азимова Ф.Ш.; заявитель ДГТУ. Бюл. № 26. 4 с.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

*The author declare no conflicts of interests.*

Дата поступления в редакцию / Received 18.06.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 03.07.2022

Принята к публикации / Accepted 16.09.2022

© Ф.Ш. Азимова, 2022

---

**Сведения об авторе**

**List of Author**

---

*Азимова Фаина Шамиловна* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии пищевых производств и общественного питания Дагестанского государственного технического университета.

*Faina Azimova* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Production Technology and Public Catering, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Азимова Ф.Ш.* Технология создания эко-текстиля на основе экстрактов растений Северного Кавказа // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 3. С. 57 - 63. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-57-63.

For citation: *Azimova F.Sh.* Technology for creating eco-textiles based on plant extracts from the North Caucasus // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 3. P. 57 - 63. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-3-57-63.

## РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИИ И АНАЛИЗ УГРОЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*В.А. Борисова, Д.Е. Строганов, Е.Н. Кадочникова*

*Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы  
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным  
ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург  
196106, Санкт-Петербург, Московский пр., 149  
vf10@yandex.ru*

**Аннотация.** Рост аварий и пожаров на транспортных объектах является результатом интенсивного развития транспортной инфраструктуры. В статье рассмотрены темпы наращивания производственных мощностей транспортной отрасли и влияние этих процессов на повышение пожарной опасности при эксплуатации транспортных средств. Проведен подробный анализ пожаров на железнодорожном и автомобильном транспорте России за последние пять лет.

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, грузооборот, железнодорожный транспорт, перевозка пассажиров, пожар, транспортная инфраструктура, транспортное средство, опасный груз, угроза безопасности.

**Abstract.** The growth of accidents and fires at transport facilities is the result of the intensive development of transport infrastructure. The article discusses the rate of increase in the production capacity of the transport industry and the impact of these processes on the increase in fire danger during the operation of vehicles. A detailed analysis of fires in the railway and road transport in Russia over the past five years has been carried out.

**Key words:** road transport, freight turnover, rail transport, passenger transportation, fire, transport infrastructure, vehicle, dangerous goods, security threat.

### **Введение**

Вопросы эффективности функционирования транспортного комплекса и развития транспортной инфраструктуры играют важную роль в развитии российской экономики по причине обширной территории страны и больших расстояний между центрами производства и центрами потребления. Анализ опасностей и оценка пожарного риска являются одними из основных

стадий процесса управления пожарной безопасностью транспортной инфраструктуры. Проведение оценки пожарного риска позволяет определить опасные факторы, их соотношения и разработать, направленные на минимизацию опасностей, приоритетные направления деятельности.

### **Развитие транспортной инфраструктуры**

В современных условиях транспортный фактор играет важнейшую роль в осуществлении хозяйственных связей между странами и существенно влияет на комплексное развитие государства. Существующая транспортная система является ключевым сектором хозяйственной деятельности государства и оказывает серьезное воздействие на динамику экономических процессов. Хорошо развитая транспортная система становится весомым преимуществом в процессе размещения производственных сил, что, как следствие, дает сильный интеграционный эффект. Так, в наши дни на территории Российской Федерации в состав транспортной инфраструк-

туры входит обширное число различных объектов.

Так, к числу объектов транспортной инфраструктуры относят автомобильные дороги, железнодорожные пути, линии авиасообщения, магистральные трубопроводы, судоходные речные, озёрные и морские трассы, терминалы, а также сами транспортные средства и персонал, являющийся организатором и участником, как пассажиропотока, так и процесса перевозки грузов. Транспортные средства, входящие в состав транспортной инфраструктуры, также бывают нескольких типов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Типы транспортных средств, входящих в состав транспортной инфраструктуры Российской Федерации

В настоящее время транспорт является одной из ведущих отраслей материального производства. Так, согласно данным Росстата [3] можно выявить основные закономерности (рисунки 2, 3 и таблица 1), которые демонстрируют характерные для транспортной отрасли следующие тенден-

ции: рост пассажиропотока, увеличение объема перевозок, расширение дорожно-транспортной сети, резкое сокращение дефицита мощностей транспортных средств, повышение пропускной способности и технической оснащенности объектов транспорта и другие.

Таблица 1 – Ввод в действие основных производственных мощностей транспорта и расширение дорожно-транспортной сети

Год	2005	2010	2015	2017	2018	2019
Новые железнодорожные линии, км	127,8	111,1	17,8	157	30,4	96,2
Автомобильные дороги с твердым покрытием общего пользования, тыс. км	2	2,2	2,3	2,1	2,1	2,5
Взлетно-посадочные полосы с твердым покрытием, тыс. м <sup>2</sup>	162,2	143,8	40,3	264,1	228,6	448,2

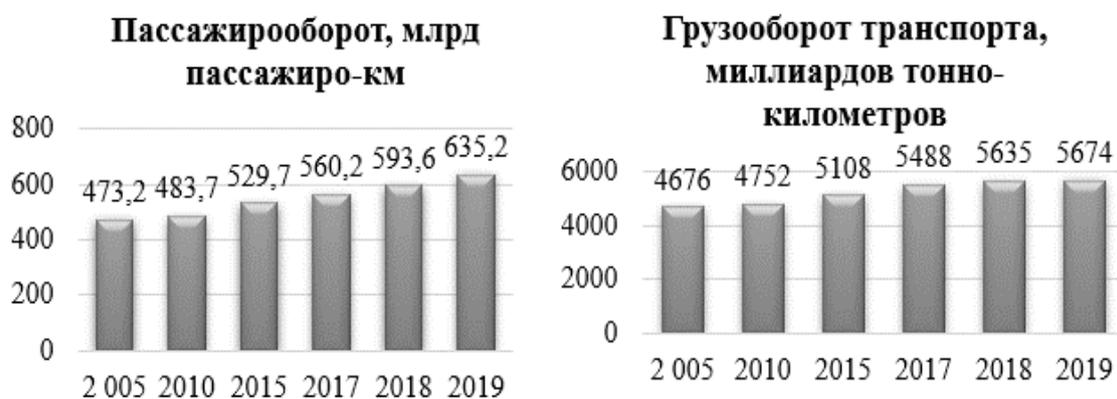


Рисунок 2 – Динамика пассажирооборота и грузооборота всех видов транспорта в России за последние 15 лет

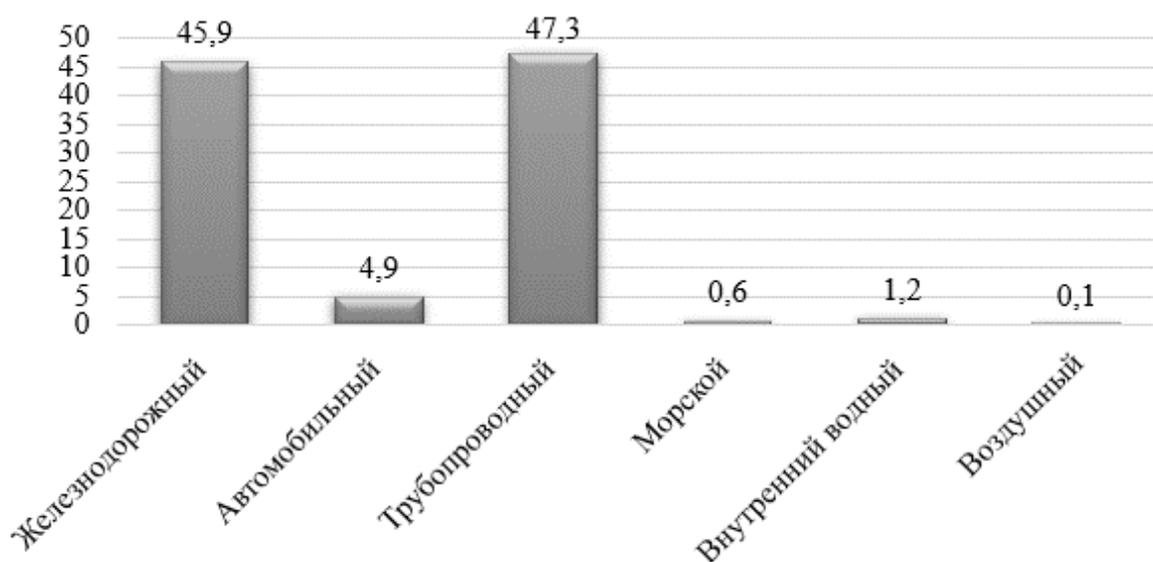


Рисунок 3 – Удельный вес отдельных видов транспорта в общем грузообороте (в процентах) в Российской Федерации за 2019 год

В рамках исследования [4] проанализированы фактические результаты отрасли по итогам 2019–2020 годов, инвестиционная активность, сдерживающие факторы и

меры государственной поддержки, а также прогнозы и экспертные мнения участников рынка о перспективах его развития (таблица 2).

Таблица 2 – Позиции транспортной системы России в мире [4]

Показатель	Количественный показатель	Позиция
Протяженность железнодорожных линий общего пользования	87 тыс. км	3-е место в мире
Протяженность автомобильных дорог	1542 тыс. км	5-е место в мире
Крупнейший порт по объему перевалки (Новороссийск)	157 млн т	3-е место в Европе
Протяженность внутренних водных путей	102 тыс. км	2-е место в мире

### **Анализ пожаров при эксплуатации транспорта**

В таких условиях, одновременно с развитием транспортной системы, неизбежно возникает необходимость решения вопроса обеспечения безопасности транспортной деятельности. Рост аварий и пожаров на транспортных объектах является результатом интенсивного развития транспортной инфраструктуры, которое, однако, должным образом не подкрепляется развитием системы подготовки объектов транспорта [1].

Кроме того, эксплуатация транспортных средств характеризуется повышенной пожарной опасностью. Согласно статистическим данным, пожары на транспорте составляют 3,88 % от общего числа возникающих пожаров (17063 пожара из зафиксированных 439394 пожаров приходится на объекты транспортной инфраструктуры). Это связано в первую очередь с тем, что в качестве материалов конструктивных элементов корпусов транспортных средств используются горючие полимерные композиты, что приводит к опасности возникновения и развития пожара.

Если провести анализ аварий на железнодорожном транспорте, связанные с перевозкой опасных грузов, то они происходят достаточно часто и почти всегда являются резонансными в социально-информационном плане, наносят физический и материальный ущерб персоналу, населению, элементам инженерной инфраструктуры и окружающей среде [7]. Объекты железнодорожного транспорта – это всегда объекты с массовым пребыванием людей, будь то железнодорожные станции или вокзалы, пункты погрузки и т.д. На данных объектах всегда есть угроза безопасности для граждан, а также для персонала, обеспечивающего его функционирование. Объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта практически всегда находятся в населенных пунктах,

что, в свою очередь, является значительной потенциальной угрозой людям, находящимся или проживающим вблизи таких объектов [4]. Пожары, возникающие на объектах железнодорожного транспорта вблизи жилых и административных зданий населенных пунктов, всегда является потенциальной угрозой. Распространение пожара, особенно если происходит горение опасных грузов с возможностью взрыва или утечки опасных веществ, угрожающих жизни и здоровью людей, всегда является важной причиной уделять большое внимание вопросам обеспечения пожарной безопасности.

Наибольшую опасность представляют следующие грузы: легковоспламеняющиеся, горючие, взрывчатые, радиоактивные и химические вещества, материалы и изделия – это всегда потенциальная угроза возникновения пожара, аварии, катастрофы или ЧС. При этом последовательность возникновения может быть разной: возникший пожар может перерасти в аварию, катастрофу или ЧС и, наоборот, авария, катастрофа или ЧС может перерасти в пожар с отрицательными последствиями (утечка химически опасных веществ, которые несут в себе значительную угрозу жизни и состоянию здоровья большого количества людей) [5]. При возникновении пожара существует угроза его распространения на объекты железнодорожного транспорта с массовым пребыванием людей (пассажиров, персонала или людей, находящихся вблизи объектов).

Большинство таких объектов как вокзалы и железнодорожные станции включают в себя наличие пунктов общественного питания, общественной торговли, гостиниц и общежитий, рабочих помещений по работе с пассажирами (залы продажи билетов и залы ожиданий, багажные камеры и т.д.).

При пожаре всегда есть вероятность перехода пламени и дальнейшего распро-

странения пожара по данным помещения, зданиям и сооружениям. Пожарная нагрузка позволяет пожару быстро распространиться по всей площади таких помещений и возникает угроза людям, находящимся внутри.

В случаях, когда горение происходит на открытой площади, опасные факторы пожара так же могут воздействовать на людей, а если к этому еще добавить и характеристики опасных грузов, которые при горении различных веществ и материалов различны, возникают и дополнительные опасные факторы воздействия.

На этапе сортировки, погрузки и формирования железнодорожных составов существует большая вероятность возникновения нештатной ситуации по причине неправильного обращения с грузами.

Прежде всего, компания, которая отвечает за транспортировку, должна полностью учитывать характеристики грузов, документацию на них и маркировку упаковки. При соблюдении всех требуемых условий груз не является потенциальной опасностью, но при малейшем нарушении какого-либо из требуемых параметров работы с грузом, это может стать причиной возникновения пожара, аварии или ЧС [6]. Неквалифицированный персонал и некачественная работа с опасными грузами может повлечь катастрофические последствия при возникновении нештатной ситуации.

Не стоит исключать вероятность возникновения пожара или ЧС в ходе движения железнодорожного состава между пунктами убытия и прибытия, то есть в не-

населенной части маршрута. В таких случаях существует большая вероятность экологического вреда окружающей среде в зависимости от условий местности, где проходят железнодорожные пути.

Любая утечка химически опасных, токсичных или радиоактивных веществ – это всегда угроза для флоры и фауны, а возникновение пожаров в железнодорожных составах с горючими и взрывчатыми веществами – еще и угроза распространения различного рода пожаров ландшафтного характера.

Более подробно остановимся на показателях пожаров, произошедших на автотранспорте в Российской Федерации за 2016-2020 гг. (таблица 3, рисунок 4) [2]. Важно рассмотреть статистический материал по распределению пожаров в Российской Федерации по видам транспортных средств в 2020 году (рисунок 5).

Наибольшее количество пожаров происходит на легковых и грузовых автомобилях, что связано с их техническим состоянием и несоблюдением правил устройства и эксплуатации транспортных средств.

К основным причинам пожаров на транспортных средствах, в первую очередь, относятся нарушение правил устройства и эксплуатации транспортных средств и электрооборудования, нарушение правил пожарной безопасности при проведении ремонтных работ, а также поджоги и неосторожное обращение с огнем (рисунок 6). На эти три причины приходится более 87 % всех пожаров на транспорте.

Таблица 3 – Показатели пожаров на автотранспорте за 2016-2020 гг.

Наименование, ед.изм.	2016	2017	2018	2019	2020
Количество пожаров, ед.	19299	17574	16410	17896	17063
Прямой материальный ущерб, тыс. руб.	2079146	1955803	1738512	2109224	2460011
Погибло, чел.	146	130	96	108	120

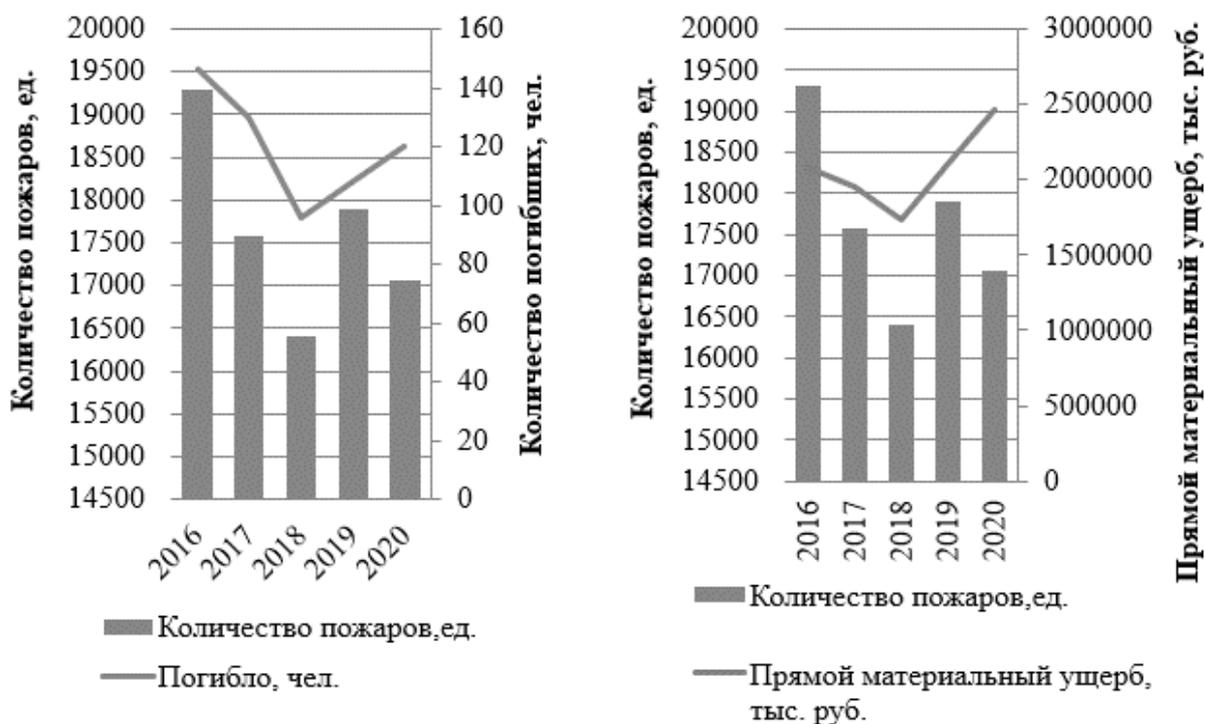


Рисунок 4 – Взаимосвязь количества пожаров и количества погибших в них (а), количества пожаров и прямого материального ущерба от них (б)

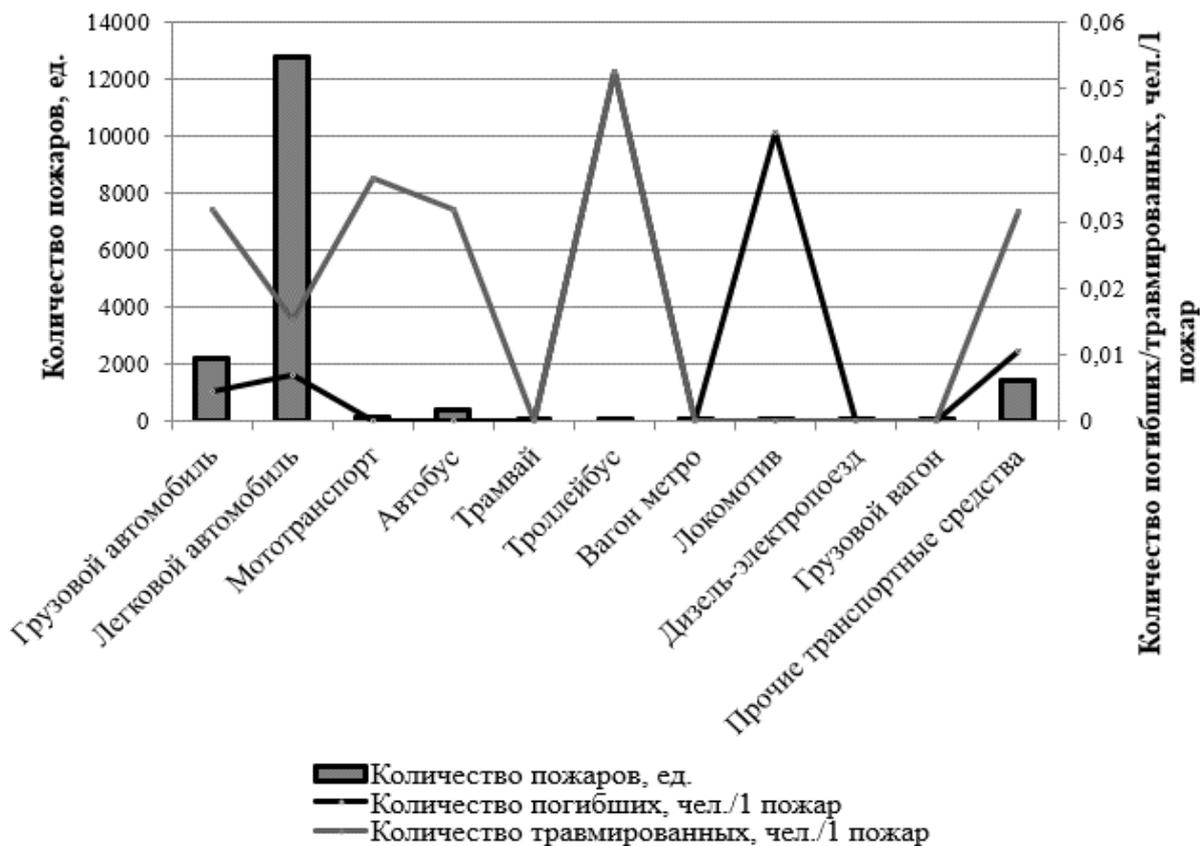


Рисунок 5 – Количество пожаров, погибших и травмированных на единицу пожара в зависимости от вида транспортного средства

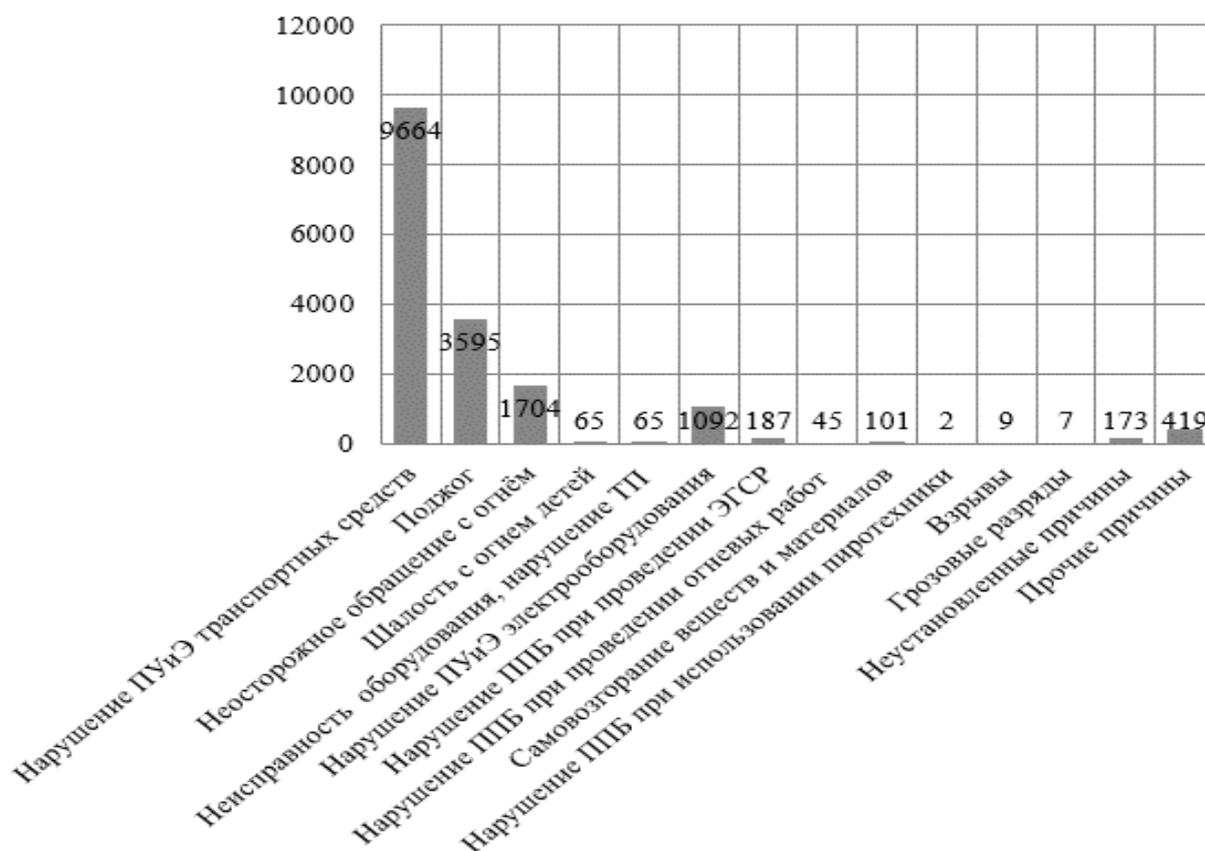


Рисунок 6 – Распределение пожаров на транспортных средствах по причинам их возникновения в 2020 году

Как видно из статистических данных, нарушение правил пожарной безопасности при проведении ремонтных работ различного рода (огневых, электрогазосварочных и др.), а также прочие нарушения правил эксплуатации транспортных средств составляют большую часть причин пожаров на транспортных средствах.

### **Заключение**

Анализ таких показателей, как пассажирооборот, грузооборот, напряженность и нагрузка транспортных объектов, других показателей, характеризующих интенсив-

ность функционирования транспортной системы, показывает галопирующий рост транспортной отрасли, и, как следствие, увеличение нагрузки на объекты транспортной инфраструктуры.

В связи с интенсификацией нагрузки на транспортную отрасль Российской Федерации, более остро встает вопрос обеспечения пожарной безопасности объектов транспорта, в том числе процессов производства, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта транспортных средств.

### **Библиографический список**

1. Федеральный закон № 16-ФЗ от 09.02.2007 «О транспортной безопасности» // [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_66069/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_66069/) (дата обращения: 27.03.2022).
2. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: статистический сборник / П.В. Полехин, М.А. Чебуханов, А.А. Козлов, А.Г. Фирсов, В.И. Сибирко, В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина // Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.
3. Транспорт в России. 2020: статистический сборник. М.: Росстат, 2020. 108 с.

4. Перечень железнодорожных путей необщего пользования структурных подразделений ОАО «РЖД», рассматриваемый для возможного заключения договоров на основании ч. 2 ст. 56 Устава железнодорожного транспорта Российской Федерации. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=1779> (дата обращения: 24.10.2021).

5. Хамидуллина Е.А., Тарасова М.Н. Оценка риска последствий аварийной разгерметизации цистерны с опасным химическим веществом на железной дороге // XXI век. Техносферная безопасность. 2017. Т. 2. С. 104–116.

6. Головин С.А., Свидзинская Г.Б., Королева Л.А. Сравнительный анализ пожарных рисков при железнодорожных перевозках нефтепродуктов в Российской Федерации и Европейском союзе // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2018. № 3. С. 17–25.

7. Самигуллин Г.Х., Кадочникова Е.Н. Оценка пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожным транспортом на примере станции «Сортировочная» Октябрьской железной дороги // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2021. № 4 (40). С. 4–10.

### Referenses

1. Federal'nyj zakon № 16-FZ ot 09.02.2007 «O transportnoj bezopasnosti» // [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_66069/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_66069/) (data obrashcheniya: 27.03.2022).

2. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: statisticheskij sbornik / P.V. Polekhin, M.A. Chebuhonov, A.A. Kozlov, A.G. Firsov, V.I. Sibirko, V.S. Goncharenko, T.A. Chechetina // Pod obshchey redakciej D.M. Gordienko. M.: VNIPO, 2021. 112 s.

3. Transport v Rossii. 2020: statisticheskij sbornik. M.: Rosstat, 2020. 108 s.

4. Perechen' zheleznodorozhnyh putej neobshchego pol'zovaniya strukturnyh podrazdelenij ОАО «RZHD», rassmatrivaemyj dlya vozmozhnogo zaklyucheniya dogovorov na osnovanii ch. 2 st. 56 Ustava zheleznodorozhnogo transporta Rossijskoj Federacii. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=1779> (data obrashcheniya: 24.10.2021).

5. Hamidullina E.A., Tarasova M.N. Ocenka riska posledstvij avarijnoj razgermetizacii cisterny s opasnym himicheskim veshchestvom na zheleznoj doroge // XXI vek. Tekhnosfernaya bez-opasnost'. 2017. T. 2. S. 104–116.

6. Golovin S.A., Svidzinskaya G.B., Koroleva L.A. Sravnitel'nyj analiz pozharnyh riskov pri zheleznodorozhnyh perevozkah nefteproduktov v Rossijskoj Federacii i Evropejskom soyuze // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii. 2018. № 3. S. 17–25.

7. Samigullin G.H., Kadochnikova E.N. Ocenka pozharnoj opasnosti gruzovyh perevozk zheleznodorozhnym transportom na primere stancii «Sortirovochnaya» Oktyabr'skoj zheleznoj dorogi // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2021. № 4 (40). S. 4–10.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Дата поступления в редакцию / Received 18.08.2022*

*Одобрена после рецензирования / Revised 03.09.2022*

*Принята к публикации / Accepted 16.09.2022*

*© В.А. Борисова, Д.Е. Стrogанов, Е.Н. Кадочникова, 2022*

---

### Сведения об авторах

#### List of Authors

---

*Борисова Валерия Анатольевна* – курсант Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

*Valeria Borisova* – Cadet of of Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia.

*Строганов Денис Евгеньевич* – адъюнкт Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

*Denis Stroganov* – Postgraduate of Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia.

*Кадочникова Елена Николаевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

*Elena Kadochnikova* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Fire Safety of Technological Processes and Productions of Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia.

Ссылка для цитирования: *Борисова В.А., Строганов Д.Е., Кадочникова Е.Н.* Развитие транспортной инфраструктуры России и анализ угроз возникновения пожаров при эксплуатации транспортных средств // Научные исследования: итоги и перспективы. 2022. Т. 3, № 3. С. 64 - 72. doi: 10.21822/2713-220X-2022-3-3-64-72.

For citation: *Borisova V.A., Stroganov D.E., Kadochnikova E.N.* Development of transport infrastructure in Russia and analysis of fire threats during the operation of vehicles // Scientific researches: results and prospects. 2022. Vol. 3, No. 3. P. 64 - 72. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2021-3-3-64-72.

## Правила оформления и представления статей

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

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

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

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

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

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

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

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

9. Все статьи проходят проверку на оригинальность.

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

11. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

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

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

14. Статьи публикуются бесплатно.

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

**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 нанoeлектроника, 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 плодовоовощной 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  
2022 № 3 (Том 3)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
results and prospects  
2022 № 3 (Vol. 3)**

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

Подписано в печать 02.10.2022 г. Дата выхода в свет 05.10.2022 г.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 8,32. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 500. Заказ № 174

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 ”**