

ISSN 2713-220X

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

2023 № 2 (Том 4)

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
RESULTS AND PROSPECTS**

2023 № 2 (Том 4)

СОДЕРЖАНИЕ

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

- Шелехов И.Ю.* Термоэлектрический интенсификатор теплопередачи, изготовленный по толсто- пленочной технологии, для утилизации теплоты отходов производств 3
- Абдулхакимов У.И.* Моделирование теплообмена в термоэлектрической системе для проведения охлаждающих косметологических процедур 10

ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

- Гаджимурадова Р.М., Абдуллаев М.Ш., Азимова Ф.Ш.* Исследование минерального состава и содержания органических кислот в плодах кудрании 15

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

- Кардашова Г.Д., Ризаханова С.У., Гитикчиев М.А., Алиев С.Р., Ибрагимов А.И., Муртазалиев К.М.* Характеристики пленок нитрида алюминия, сформированных на сапфире ионно-плазменным методом 23

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Каргин С.А., Ибадуллаев А.Д., Дорохов П.А.* Методика расчета термодинамических процессов при организации газопарового цикла в двигателе внутреннего сгорания 30

ТРАНСПОРТ

- Бугаков М.С., Хивинцев Б.А., Шутемов Р.Е., Соха В.А.* Ультразвуковая диагностика дизельных форсунок с помощью мобильного приложения «Дизель-эко» 37
- Смирнов Н.Н., Никитин В.Ф., Пестов Д.А., Цюпа- ченко С.Е.* Моделирование движения автотран- портных потоков с учетом систем регулирования дорожного движения 44

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

- Хаджишалапов Г.Н., Нажуев М.П., Исаева У.И., Салахов Э.А., Абдурахимов М.Ш., Ахмедов М.Н.* Исследование альтернативных источников сырья для строительной отрасли. Физико-механические свойства модифицированного бетона на основе вторичного щебня 52
- Хаджишалапов Г.Н., Раджабов Р.Г., Исаева У.И.* Автоматизация технологии бетонирования монолитной теплоизоляции стен инженерного сооружения с помощью модуля скользящей опалубки 60

- Правила оформления и представления статей 66

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

Редакционная коллегия:

- Н.Л. Баламирзоев, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)
Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)
Г.М. Абакаров, д.х.н., профессор (Махачкала)
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)
Р.М. Алиев, д.т.н., профессор (Махачкала)
Х.Х. Ахмадова, д.т.н., профессор (Грозный)
М.Э. Ахмедов, д.т.н., профессор (Махачкала)
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., профессор (Махачкала)
П.Ю. Бочкарев, д.т.н., профессор (Саратов)
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)
М.Ю. Карелина, д.т.н., профессор (Москва)
Д.А. Магомедов, д.т.н., профессор (Махачкала)
К.П. Манжула, д.т.н., профессор (С-Петербург)
А.Н. Мурашквич, 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.
ISSN 2713-220X

2023 № 2 (Vol. 4)

CONTENTS

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATIONS

Shelekhov I.Yu. Thermoelectric heat transfer intensifier manufactured using thick-film technology for waste heat recovery 3

Abdulkhakimov U.I. Simulation of heat transfer in a thermoelectric system for cooling cosmetic procedures 10

TECHNOLOGIES, PROCESSES AND EQUIPMENT OF FOOD PRODUCTION

Gadzhimuradova R.M., Abdullaev M.Sh., Azimova F.Sh. The study of the mineral composition and content of organic acids in the fruits of kudraniya 15

MICROELECTRONICS

Kardashova G.D., Rizakhanova S.U., Gitikchiev M.A., Aliev S.R., Ibragimov A.I., Murtazaliev K.M. Characteristics of aluminum nitride films formed on sapphire by the ion-plasma method 23

MECHANICAL ENGINEERING

Kargin S.A., Ibadullaev A.D., Dorokhov P.A. Method of calculation of thermodynamic processes in the organization of a gas-steam cycle in an internal combustion engine 30

TRANSPORT

Bugakov M.S., Khivintsev B.A., Shutemov R.E., Sokha V.A. Ultrasonic diagnostics of diesel injectors using the Diesel-eco mobile application 37

Smirnov N.N., Nikitin V.F., Pestov D.A., Tsyupachenko S.E. Modeling of traffic flows with consideration of traffic regulation systems 44

BUILDING AND ARCHITECTURE

Khadzhishalapov G.N., Nazhiev M.P., Isaeva U.I., Salakhov E.A., Abdurahimov M.Sh., Akhmedov M.N. Research of alternative sources of raw materials for the construction industry. Physical and mechanical properties of modified concrete based on secondary crushed stone 52

Hadzhishalapov G.N., Radzhabov R.G., Isaeva U.I. Automation of concreting technology of monolithic thermal insulation of walls of engineering structures using a sliding formwork module 60

Rules for writing and submitting articles 66

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

Editorial team:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

All materials received by the editors subject to review.

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

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

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

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

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

Tel.: +7 (8722) 62 37 15

E-mail: naukajournal@mail.ru.

ISSN 2713-220X

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИНТЕНСИФИКАТОР ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ПО ТОЛСТОПЛЕНОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ

И.Ю. Шелехов

Иркутский национальный исследовательский университет, Иркутск
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83
promteplo@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена конструкция термоэлектрического интенсификатора теплопередачи для утилизации теплоты отходов производств. В отличие от классической технологии, объемную фигуру предложено перевести в плоскость с созданием модуля на этой плоскости. Используя толсто пленочную технологию (сетко-трафаретную печать), на части плоскости были сформированы полупроводники *n*-типа на другой части – *p*-типа. Данный модуль использован для измерения градиента температуры между ограждающей конструкцией и воздухом, а так как «холодная» и «горячая» стороны разнесены на такое расстояние, при котором они не могут влиять друг на друга, то момент инерции сведен к минимуму. Проведены исследования параметров микроклимата на производственных рабочих местах, датчиками для измерения градиента температуры служили разработанные пространственно-ориентированные термоэлектрические модули.

Ключевые слова: расчет, температура, термоэлектрический интенсификатор теплопередачи, теплота отходов производств, термоэлемент, утилизация.

Abstract. The design of a thermoelectric heat transfer intensifier for the utilization of waste heat from production is considered. In contrast to the classical technology, it is proposed to translate the three-dimensional figure into a plane with the creation of a module on this plane. Using thick-film technology (grid-screen printing), *n*-type semiconductors were formed on a part of the plane, on the other part - *p*-type. This module is used to measure the temperature gradient between the building envelope and the air, and since the "cold" and "hot" sides are separated by such a distance that they cannot influence each other, the moment of inertia is minimized. Researches of microclimate parameters at production workplaces were carried out, the developed spatially oriented thermoelectric modules served as sensors for measuring the temperature gradient.

Keywords: calculation, temperature, thermoelectric heat transfer intensifier, production waste heat, thermoelement, recycling.

Введение

Параметры микроклимата в зданиях различного назначения поддерживают отопительные и вентиляционные инженерные системы. В отличие от систем вентиляции, где параметры воздушной среды обеспечиваются классическими методами, системы отопления могут отличаться по типу, виду и конструктивному исполнению [1-4]. В зависимости от типа зда-

ния, его назначения и условий эксплуатации выбирается система отопления, которая является оптимальной и целесообразной именно для данного сооружения. Нередки случаи, когда для обеспечения требуемых параметров микроклимата одновременно используются несколько систем отопления [5]. В жилых зданиях, обычно, совмещают систему теплый пол с другими системами отопления [6], в про-

мышленных зданиях для этих целей, чаще всего, используют систему воздушного отопления [7]. Для промышленных помещений системы воздушного отопления экономически более выгодны, но не всегда эффективны.

С внедрением новых систем управления параметрами распределения воздушно-тепловых потоков, их популярность растет с каждым годом [8], так как применяемые алгоритмы управления воздушными потоками можно адаптировать к конструктивным и эксплуатационным параметрам любого помещения [9]. Исследования в данной области показали, что действенным способом повышения эффективности систем воздушного отопления является применение нагревательных приборов инфракрасного действия [10].

Анализ научных статей по данной теме показал, что для обеспечения благоприятных параметров микроклимата необходимо использовать устройства, которые могут контролировать температурные параметры воздушной среды и ограждающих конструкций в помещениях, а точнее, их градиент. Общее состояние температурного комфорта человека зависит от комбинированного воздействия на него температуры воздуха и радиационной температуры ограждающих конструкций [11]. При благоприятной температуре воздуха в помещении, пониженная температура ограждающих конструкций снижает ощущения комфорта, поэтому рекомендуется использовать нагревательные приборы инфракрасного действия. С другой стороны, при проникновении солнечного тепла через светопрозрачные конструкции, состояние теплового комфорта также ухудшается. Для его улучшения необходимо понизить температуру воздуха в помещении. Соотношение конвекционной и радиационной температуры воздействующей на тело человека может регулироваться микропроцессорными блоками на основании сигналов, полученных с датчиков температуры. Наилучшими датчиками для этих целей являются термоэлектрические элементы, с помощью которых возможно измерить разницу температур воздуха и ограждающих конструкций, причем, современные технологии позволяют их изготовить в виде конструктивных элементов ограждающих конструкций [12]. Для того, что-

бы инженерная система работала эффективно, необходимо, чтобы показания разности температуры ограждающих конструкций и внутреннего воздуха были реальными для данного момента времени, при этом инерционность должна быть минимальной.

Разработка термоэлектрического модуля по толсто пленочной технологии

Изготовленные термоэлектрические элементы в виде конструктивных элементов ограждающих конструкций одновременно могут обладать инерционными свойствами аналогичными с ограждающими конструкциями и инерционностью воздуха в помещении, что невозможно получить при использовании классических термоэлектрических модулей.

Конструкция классического термоэлектрического модуля представляет собой объемную фигуру (рисунок 1), где между двумя одинаковыми параллельными небольшими размерами плоскостями последовательно формируются токопроводящие дорожки, которые соединяются последовательно столбиками полупроводников *n*- и *p*-типа.

В последнее время при использовании малых площадей теплообмена стали широко использоваться термоэлектрические модули, изготовленные по тонкопленочной технологии (вакуумное напыление, осаждение из растворов, MOCVD, MBE) [13]. На рисунке 2 представлен типичный представитель термоэлектрических модулей, изготовленный по тонкопленочной технологии.

В отличие от классической технологии, мы переносим объемную фигуру в плоскость и создаем модуль на этой плоскости. На части плоскости формируются полупроводники *n*-типа, на другой части – *p*-типа, используя толсто пленочную технологию (сетко-трафаретная печать). При этом размер плоскости может быть большим, плоскости могут быть пространственно ориентированы, части плоскостей могут быть неодинаковыми, расстояние между частями плоскостей может быть различным. На рисунке 3 представлен термоэлектрический модуль, изготовленный по толсто пленочной технологии.

Данный модуль используется для измерения градиента температуры между ограж-

дающей конструкцией и воздухом, а так как «холодная» и «горячая» стороны разнесены на такое расстояние, при котором они не могут

влиять друг на друга, то момент инерции сведен до минимума.



Рисунок 1 – Термоэлектрический модуль классического типа

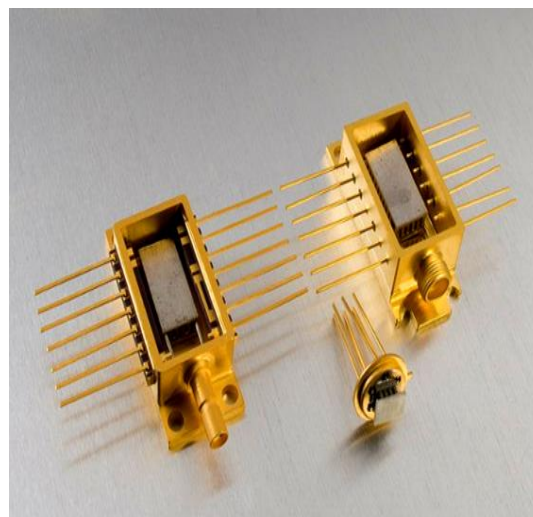


Рисунок 2 – Термоэлектрический модуль, изготовленный по тонкопленочной технологии



Рисунок 3 – Термоэлектрический модуль, изготовленный по толстопленочной технологии

Для того чтобы оценить возможности применения нового типа термоэлектрического датчика, предназначенного для измерения градиента температуры, изготовленного по толстопленочной технологии, автором были проведены исследования параметров микроклимата в столярном цехе, в котором реализована комбинированная система отопления. Поддержание микроклимата осуществлялось с

помощью пульта управления, в схеме которого использовались классические термоэлектрические датчики.

Первая серия экспериментов проводилась со штатной системой управления, параметры теплоощущений обслуживающего персонала оценивались по методике профессора О. Фангера (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры теплоощущений

№	Состояние организма	Оценка (S)
1	Холодно	-3
2	Прохладно	-2
3	Слегка прохладно	-1
4	Комфорт	0
5	Слегка тепло	1
6	Тепло	2
7	Жарко	3

Оценка параметров микроклимата дополнительно осуществлялась анемометром марки Testo 410 – 1 (скорость движения воздушных потоков и температура воздуха), пирометром марки Optris MS (температура ограждающих конструкций). На рисунке 4 показаны параметры теплоощущений в первый час рабочего времени. Измерения сделаны рядом с форматно-координатным станком.

В зоне основного рабочего места у станка состояние теплоощущений находится на уровне «прохладно», небольшая зона в центре стола показывает параметр «комфортно», постепенно уходя в зону подачи материала, со-

стояние теплоощущений переходит в состояние «слегка тепло». В общем, микроклимат на рабочем месте находится в удовлетворительном состоянии. Температура внешней окружающей среды – 12°C, погода неветренная.

Через три часа рабочего времени параметры стабилизировались, общее состояние комфорта по площади помещения варьируется от состояния «слегка прохладно» до состояния «слегка тепло», зона комфорта увеличилась.

Температура внешней окружающей среды поднялась до значения – 5°C. До конца рабочего дня параметры не изменились.

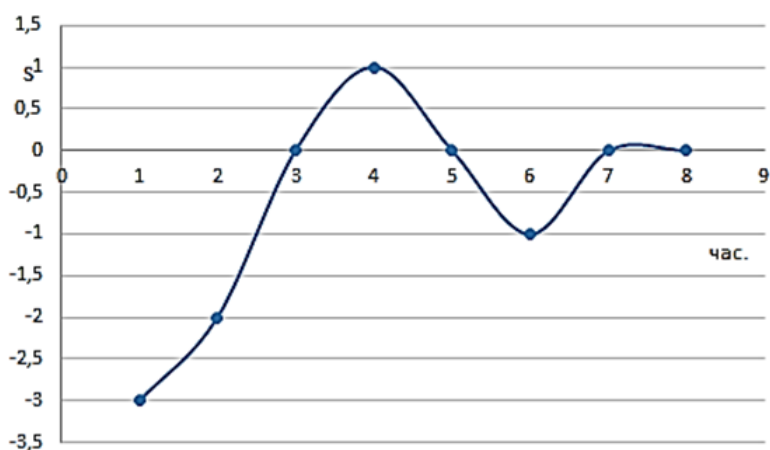


Рисунок 4 – Параметры теплоощущений в первый час рабочего времени (-12°C)

Анализ температурного графика на рисунке 5 показывает, что параметры микроклимата пришли в соответствие с требуемыми характеристиками только через 2 часа рабочего времени, после этого поочередно переходя из состояния «слегка прохладно» в состояние «слегка тепло». Фактически, состояние, когда работники работают с максимальной производительностью, наступило за 1 час до обеда.

Наши модельные расчеты показали, что в данном помещении с учетом технологического цикла вентиляция, совмещенная с системой воздушного отопления, должна иметь периодическое действие, так как при включении и выключении происходят максимальные тепловые потери из-за переходных процессов и большой инерционности датчиков температуры. Пока параметры стабилизируются, наблюдаются максимальное потребление и мини-

мальная эффективность.

Для управления режимами вентиляции нами был заменен штатный пульт управления на пульт управления, созданный на базе программируемых логических контроллеров ОВЕН ПЛК, датчиками для измерения градиента температуры служили пространственно-ориентированные термоэлектрические модули. На рисунке 6 представлен график полей теплоощущений в первый час рабочего времени. Несмотря на то, что предыдущие измерения были осуществлены при более высокой температуре наружного воздуха, мы не стали, для корректности измерений, выжидать аналогичные метеорологические условия. В нашем случае температурные условия немного суровее, но показания микроклимата значительно лучше.

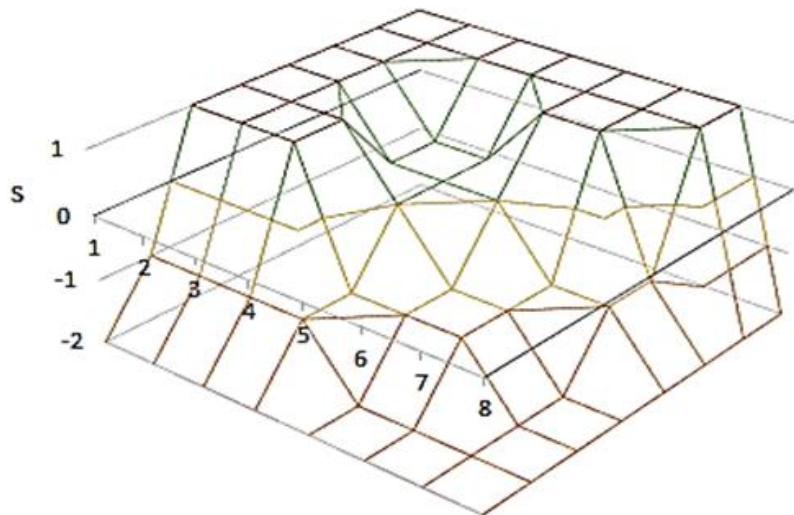
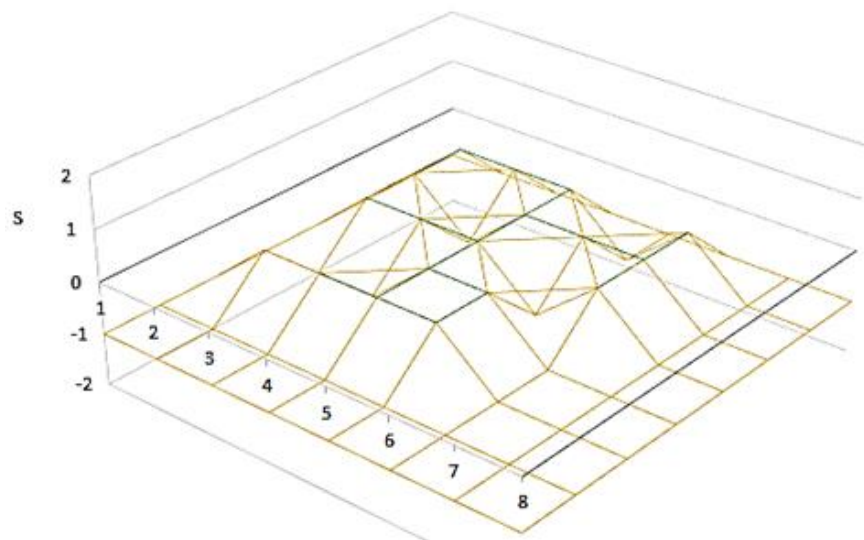


Рисунок 5 – Изменение параметров микроклимата на основном рабочем месте у станка

Рисунок 6 – Параметры теплоощущений в первый час рабочего времени - 16°C



По всей площади, где измерялась температура и рассчитывались параметры теплоощущений, показания плавно перетекали из состояния «слегка прохладно» до состояния «слегка тепло».

На рисунке 7 показан график изменения параметров микроклимата на основном рабо-

чем месте у станка в течение рабочего дня. Параметры микроклимата через 1 час рабочего времени уже находились в состоянии «слегка прохладно», постепенно переходя в состояние «комфортно» и находились в этом состоянии до обеда.

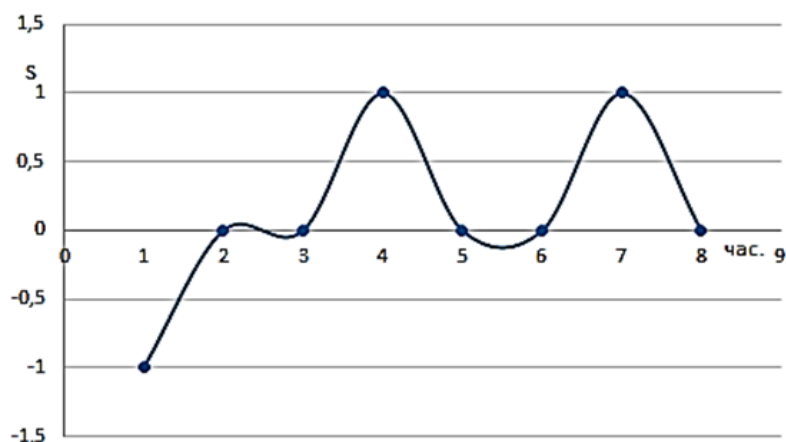


Рисунок 7 – Изменение параметров микроклимата на основном рабочем месте у станка

Из графика видно, что система работает значительно лучше, хотя мероприятия по улучшению параметров микроклимата были осуществлены незначительные.

Заключение

Таким образом, установка автоматики с интеллектуальным алгоритмом, который работает по разработанному алгоритму с учетом градиента температуры воздуха и ограждающих конструкций позволил оптимизировать микроклимат в производстве.

Благодаря применению нового типа датчика температуры автоматика может выполнять команды без инерции с учетом внутренних и внешних метеорологических условий.

Проведенный нами анализ энергетических затрат на систему вентиляции и отопления за аналогичный период показал, что экономия составляет величину около 40%, при этом параметры микроклимата в помещении улучшились. В зимний период времени сумма экономии финансовых средств составила 15 тысяч рублей в месяц.

Библиографический список

1. Булатова В.А. Виды систем отопления для частного жилого дома // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. 2018. № 11. С. 31–33.
2. Булай В.П., Патрикеев А.И. Система отопления: виды и техническое обслуживание // Внедрение энергосберегающих и ресурсоснабжающих технологий в практику эксплуатации объектов военной и социальной инфраструктуры: сборник докладов круглого стола в рамках научно-деловой программы международного военно-технического форума «Армия-2019». 2019. С. 305–312.
3. Субботин Д.В. Системы отопления промышленного предприятия // Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей XVI всероссийской научно-практической конференции (30 января 2022 г., Пенза). Пенза: МЦНС «Наука и просвещение», 2022. С. 32–35.
4. Гусакова М.А., Легапова В.В. Обзор систем отопления // Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов ТвГТУ: сборник материалов научно-практической конференции, приуроченной ко Дню российской науки (8-9 февраля 2017 г., Тверь). Тверь: ТвГТУ, 2017. С. 161–165.
5. Шелехов И.Ю., Шишелова Т.И., Смирнов Ю.Е., Иноземцев В.П. Комбинированная система электрообогрева каркасных домов // Вестник Мордовского университета. 2017. № 2. С. 198–214.
6. Шелехов И.Ю., Янченко В.А. Инженерные системы. Система теплый пол: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2020. 166 с.
7. Новгородский Е.Е., Василенко А.И., Пермяков А.Б. Сравнительная характеристика электропотребления вентиляторными агрегатами систем воздушного отопления // Энергосбережение и водоподготовка. 2010. № 2 (64). С. 47-48.
8. Саргсян С.В. Исследование способов организации воздухообмена и систем воздухораспределения на физических моделях в лабораторных условиях // Научное обозрение. 2015. № 16. С. 68–71.
9. Захаров А.А., Низовцев М.И. Экспериментальные исследования регенератора тепла вентиляционного воздуха с изменяющимся направлением воздушного потока // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2014. № 1 (54). С. 143–150.
10. Панченко В.В., Бирюк В.В., Ковалев М.А. Патент на изобретение № 2622726. Регенеративная система с лучистым отоплением. Дата подачи заявки: 15.06.2016, опубл. 19.06.2017, Бюл. № 17.
11. Гусейнова М.В. Вопросы разработки системы обеспечения микроклимата в помещении по среднеинтегрированной модификации показателя теплового комфорта Фангера // Климат и природа. 2018. № 3 (28). С. 51–58.
12. Шелехов И.Ю., Смирнов Е.И., Иноземцев В.П., Федорова Е.Д. Анализ возможности использования термоэлектрических генераторов в системах вентиляции // Научное обозрение. 2015. № 8. С. 67-75.
13. Шелехов И.Ю., Смирнов Е.И., Кашко К.П., Шелехова И.В. Патент на изобретение № 2611562. Пространственно ориентированный термоэлектрический модуль и способ его изготовления. Дата регистрации: 04.12.2015, опубл. 28.02.2017, Бюл. № 7.

Referenses

1. Bulatova V.A. Vidy sistem otopleniya dlya chastnogo zhilogo doma // Nauchno-obrazovatel'nyj potencial molodezhi v reshenii aktual'nyh problem XXI veka. 2018. № 11. S. 31–33.
2. Bulaj V.P., Patrikееv A.I. Sistema otopleniya: vidy i tekhnicheskoe obsluzhivanie // Vnedrenie energosberegayushchih i resursosnabzhayushchih tekhnologij v praktiku ekspluatatsii ob"ektov voennoj i social'noj infra-

структуры: сборник докладов круглого стола в рамках научно-деловой программы международного военно-технического форума «Армия-2019». 2019. С. 305–312.

3. Subbotin D.V. Системы отопления промышленного предприятия // Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей XVI всероссийской научно-практической конференции (30 января 2022 г., Пенза). Пенза: МСНС «Наука и просвещение», 2022. С. 32–35.

4. Gusakova M.A., Legapova V.V. Обзор систем отопления // Теоретические исследования и экспериментальные разработки студентов и аспирантов ТвГТУ: сборник материалов научно-практической конференции, приуроченной ко Дню российской науки (8-9 февраля 2017 г., Твер'). Твер': ТвГТУ, 2017. С. 161–165.

5. Shelekhov I.Yu., Shishelova T.I., Smirnov Yu.E., Inozemcev V.P. Комбинированная система электрообогрева каркасных домов // Вестник Мордовского университета. 2017. № 2. С. 198–214.

6. Shelekhov I.Yu., Yanchenko V.A. Инженерные системы. Система теплых полов: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2020. 166 с.

7. Novgorodskij E.E., Vasilenko A.I., Permyakov A.B. Сравнительная характеристика электро-отопления вентиляторами агрегатами систем воздушного отопления // Энергосбережение и водоподготовка. 2010. № 2 (64). С. 47-48.

8. Sargsyan S.V. Исследование способов организации воздухообмена и систем воздухораспределения на физических моделях в лабораторных условиях // Научное обозрение. 2015. № 16. С. 68–71.

9. Zaharov A.A., Nizovcev M.I. Экспериментальные исследования регенератора тепла вентиляционного воздуха с изменяющимся направлением воздушного потока // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2014. № 1 (54). С. 143–150.

10. Panchenko V.V., Biryuk V.V., Kovalev M.A. Патент на изобретение № 2622726. Регенеративная система с лучистым отоплением. Дата подачи заявки: 15.06.2016, опubl. 19.06.2017, Бюл. № 17.

11. Gusejnova M.V. Вопросы разработки системы обеспечения микроклимата в помещениях по среднеинтегрированной модификации показателя теплового комфорта Фангера // Климат и природа. 2018. № 3 (28). С. 51–58.

12. Shelekhov I.Yu., Smirnov E.I., Inozemcev V.P., Fedorova E.D. Анализ возможности использования термоэлектрических генераторов в системах вентиляции // Научное обозрение. 2015. № 8. С. 67-75.

13. Shelekhov I.Yu., Smirnov E.I., Kashko K.P., Shelekhova I.V. Патент на изобретение № 2611562. Пространственно ориентированный термоэлектрический модуль и способ его изготовления. Дата регистрации: 04.12.2015, опubl. 28.02.2017, Бюл. № 7.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

The author declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 28.02.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 23.03.2023

Принята к публикации / Accepted 27.04.2023

© И.Ю. Шелехов, 2023

Сведения об авторе

List of Author

Шелехов Игорь Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства Иркутского национального исследовательского университета.

Igor Shelekhov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Urban Construction and Economy, Irkutsk National Research University.

Ссылка для цитирования: *Шелехов И.Ю.* Термоэлектрический интенсификатор теплопередачи, изготовленный по толстопленочной технологии, для утилизации теплоты отходов производств // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 2. С. 3 – 9. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-3-9.

For citation: *Shelekhov I.Yu.* Thermoelectric heat transfer intensifier manufactured using thick-film technology for waste heat recovery // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 3 - 9. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-3-9.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ КОСМЕТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР

У.И. Абдулхакимов

Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный
364051, Россия, Чеченская Республика, г. Грозный, пр. А.Х. Исаева, 100

Аннотация. Разработана математическая модель, описывающая процессы теплообмена в термоэлектрической системе для проведения охлаждающих косметологических процедур. Численный эксперимент по данной модели проведен в специализированном пакете прикладных программ Elcut. Представлены результаты расчета.

Ключевые слова: косметологические процедуры, математическая модель, охлаждение, термоэлектрическая система, численный эксперимент.

Abstract. A mathematical model has been developed that describes the processes of heat transfer in a thermoelectric system for cooling cosmetic procedures. Numerical experiment on this model was carried out in a specialized package of applied programs Elcut. The calculation results are presented.

Key words: cosmetic procedures, mathematical model, cooling, thermoelectric system, numerical experiment.

На сегодняшний день в косметологической практике все большее распространение получают методы, связанные с локальным нагревом и охлаждением отдельных областей человеческого организма (термо- и криотерапия) [2, 3, 4]. Их активное использование напрямую связано с возможностью влияния на состояние энергетического баланса организма. При тепловом воздействии происходит расширение кровеносных и лимфатических сосудов, что улучшает кровообращение и движение лимфы во многих внутренних органах человека. Это способствует активизации обмена веществ и качественному насыщению организма кислородом и питательными веществами. Локальный нагрев стимулирует окисление жира, очищает организм, выводя через пот вредные токсины и другие продукты жизнедеятельности. Локальное охлаждение обладает омолаживающим эффектом, разглаживает морщины, устраняет распространение угревой сыпи и акне, целюлитные отложения, сглаживает рубцы, удаляет кожистые образования, папилломы и доброкачественные опухоли. Охлаждающие маски снимают отечность лица, моделируют его форму, разглаживают

морщины и улучшают цвет. Умеренная гипотермия дает положительный эффект при лечении алопеции. Контрастный тепловой массаж применяется для укрепления корней волос, эффективно лечит себорею.

В [5] для проведения охлаждающих косметологических процедур предложена термоэлектрическая система (ТЭС), источником холода в которой являются стандартные термоэлектрические модули (ТЭМ). Конструктивно данная система выполнена в виде высокопроводного основания, приводимого в контакт с поверхностью тела человека через специальную антисептическую пленку. С противоположной поверхностью основания своими холодными спаями сопрягаются ТЭМ, горячими спаями контактирующие с теплоотводом. При локальном охлаждении поверхности тела человека ТЭМ питаются постоянным электрическим током необходимой величины.

Целью настоящей работы является разработка математической модели, описывающей процессы теплообмена в рассмотренной ТЭС для охлаждающих косметологических процедур, реализованной в специализирован-

ном пакете прикладных программ *Elcut*, а также анализ полученных результатов расчета.

Математическая модель ТЭС построена на основе решения трехмерной нестационарной задачи теплопроводности для поверхности сложной конфигурации с локальными сто-

ками теплоты, учитывающей морфологию и параметры объекта воздействия, наличие теплопритоков из окружающей среды [6]. Составляющая ее система уравнений выглядит следующим образом [1]:

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \lambda + q_{ТЭМ}(x, y, z) + q_{cp} + q_{\text{бо}} = c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (1)$$

$$q_{ТЭМ}(x, y, z) = \sum_{i=1}^I q_{ТЭМ_i}(x, y, z), \quad (2)$$

$$q_{ТЭМ_i}(x, y, z) = \begin{cases} \frac{Q_{ТЭМ_i}}{V_{ТЭМ_i}} & \text{в области стока} \\ 0 & \text{вне области стока} \end{cases}, \quad (3)$$

$$V_{ТЭМ_i} = \iiint_{V_{ТЭМ_i}(x, y, z)} V_{ТЭМ_i}(x, y, z) dx dy dz, \quad (4)$$

$$q_{cp} = \alpha(T - T_{cp}), \quad (5)$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha(T - T_{cp}) \text{ при } x, y \in S, T = 309,6 \text{ К при } \tau = 0. \quad (6)$$

где T – температура в любой точке биологического объекта воздействия; T_{cp} – температура окружающей среды; τ – время; λ – эффективный коэффициент теплопроводности биологического объекта воздействия; α – коэффициент теплоотдачи в окружающую среду; c – теплоемкость биологического объекта воздействия; ρ – плотность биологического объекта воздействия; $q_{ТЭМ}(x, y, z)$ – суммарное количество теплоты, выделяемое в единицу объема в единицу времени всеми локальными стоками теплоты, $q_{ТЭМ_i}(x, y, z)$ – количество теплоты, выделяемое в единицу объема в единицу времени i -м стоком теплоты (ТЭМ); $Q_{ТЭМ}$ – мощность i -го локального стока теплоты; $V_{ТЭМ}$ – объем, занимаемый i -м стоком теплоты; q_{cp} – мощность теплопритоков на единицу объема из окружающей среды; $q_{\text{бо}}$ – количество теплоты, выделяемое в единицу объема в единицу времени биологическим объектом; n – нормаль к поверхности контакта ТЭС и биологического объекта воздействия; $n = (xh + yg + zk)$, h, g, k – единичные вектора.

Решение системы уравнений (1) – (6) осуществлено методом конечных элементов в пакете прикладных программ *Elcut* (разработчик ООО Тор, г. Санкт-Петербург). Трехмерная

модель структуры прибор – биологический объект воздействия с конечно-элементной сеткой показана на рисунке 1. На рисунке 2 изображено ее трехмерное температурное поле при равномерном охлаждении для стационарного режима.

В ТЭС использовались 6 стандартных ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5 (производитель ООО Криотерм, г. Санкт-Петербург) мощностью 12 Вт, расположенных в два ряда. Параметры биологического объекта теплового воздействия следующие [12]: $\lambda = 0,6$ Вт/(м·К), $c = 3458$ Дж/(кг·К), $\rho = 1041$ кг/м³, мощность тепловыделений 15 Вт (в общем случае зависит от части тела, подвергающейся процедурам), температура всех точек ТЭС в начальный момент времени равняется температуре окружающей среды, составляющей 295 К, температура биологического объекта – 309,6 К.

Согласно результатам расчетов температура поверхности тела человека снижается в области, непосредственно сопряженной с ТЭС до температуры 280-281 К. При этом наблюдается некоторый градиент температуры (приблизительно до 1 К) по поверхности воздействия, что связано с конечным значением коэффициента теплопроводности основания и

ТЭМ. Температура поверхности тела человека от границы ее контакта с ТЭС быстро увеличивается и на расстоянии приблизительно 15 мм становится практически равной 309,6 К.

Данное обстоятельство очевидно и связано с малой величиной коэффициента теплопроводности биологического объекта, равной 0,6 Вт/(м·К).

При повышении мощности ТЭМ, входящих в ТЭС, понижается температура биологического объекта. Так, при увеличении мощности ТЭМ с 8 до 12 Вт, наблюдается снижение температуры поверхности тела человека с 284

до 280 К. При этом температура в центральном ТЭМ несколько ниже температуры остальных термомодулей (примерно на 0,5 К).

Данное обстоятельство определяется взаимным влиянием термоэлектрических модулей, которое максимально для ТЭМ, расположенного в центре. Однако ввиду того, что такое незначительное расхождение температур по площади воздействия (0,5 К для центрального ТЭМ и 1 К по всей поверхности теплового воздействия) не сказывается на лечебном аспекте процедур, им можно пренебречь.

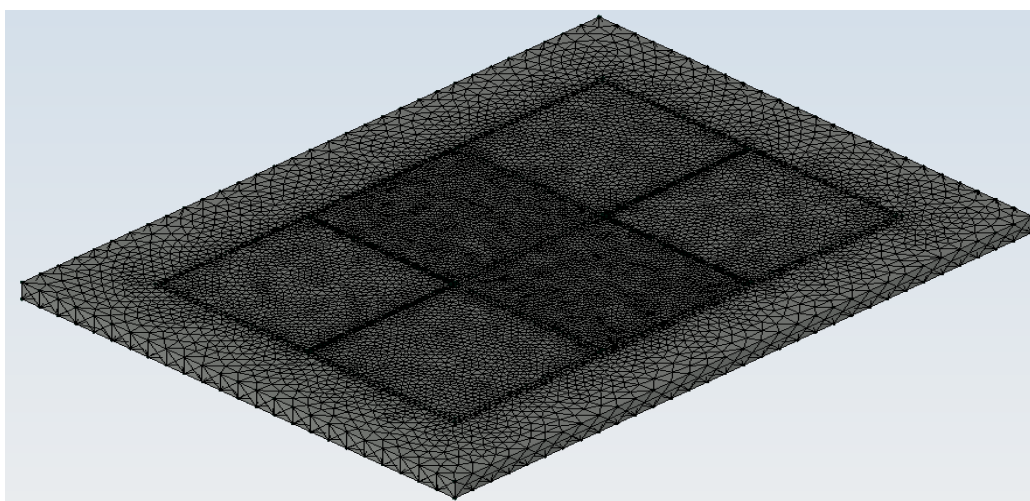


Рисунок 1 – Трехмерная модель структуры ТЭС – биологический объект с конечно-элементной сеткой

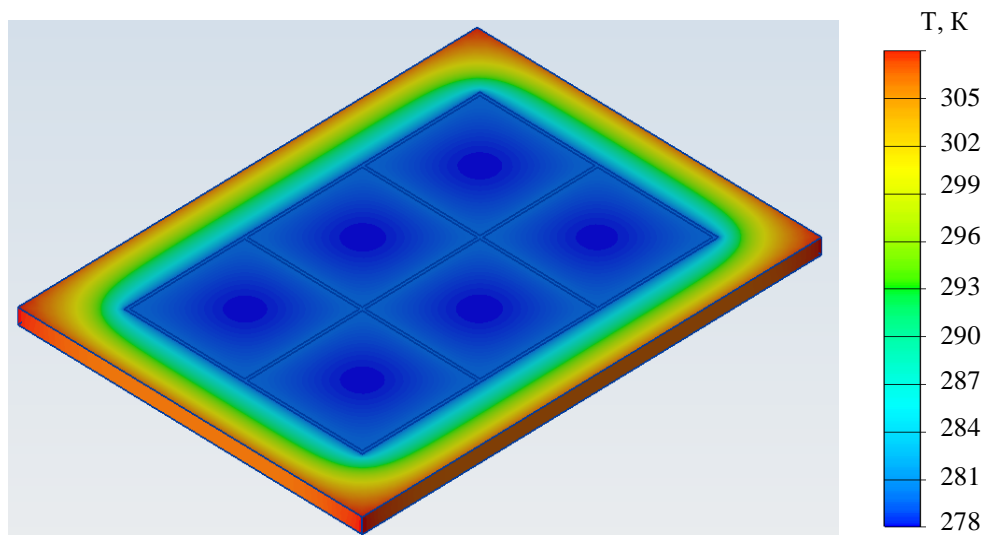


Рисунок 2 – Трехмерное температурное поле структуры ТЭС - биологический объект при его равномерном охлаждении

Для анализа инерционности ТЭС получены графики изменения температуры под центром ТЭС, работающей в режиме охлаждения для различных $Q_{ТЭМ}$. Согласно полученным данным длительность выхода системы на стационарный режим работы лежит в относительно небольших пределах. Для случая, соответствующего приведенным зависимостям, время, необходимое для стабилизации температуры биологического объекта, находится в пределах 400 с. Данное обстоятельство необходимо учитывать при проведении косметологических процедур, то есть целесообразным является включение системы до проведения процедур для вывода ее на рабочий режим и уже затем воздействие на пациента.

Другим вариантом является применение форсированных режимов работы ТЭМ в термоэлектрическом приборе в начале его функционирования. В этом случае на первоначальном этапе для питания ТЭМ используются максимальные токи, соответствующие режиму максимальной холодопроизводительности термоэлементов. После этого сила питающего тока термоэлемента уменьшается, и все они выводятся, например, на режим максимального холодильного коэффициента. В этом случае продолжительность выхода на требуемый

уровень охлаждения ТЭС значительно уменьшается. Она может быть уменьшена в 13,3-1,5 раза. Однако для данного варианта работы ТЭС необходимо использование программируемого источника постоянного электрического тока, обеспечивающего различные режимы работы прибора. Так как на данный момент использование такого элемента не представляет существенных сложностей, то применение исследуемой ТЭС совместно с таким блоком является наиболее предпочтительным вариантом.

Для определения характеристик ТЭМ (сила тока питания, напряжение, потребляемая мощность, энергетическая эффективность) произведен их расчет с использованием программы *Thermoelectric system calculation* (разработчик ООО Криотерм, г. Санкт-Петербург). В соответствии с полученными результатами установлено, что рабочий диапазон мощностей ТЭМ типа ТВ-127-1,4-2,5 находится в пределах от 8 до 17 Вт при среднем перепаде температур между спаями 45 К. При этом ток питания составляет 1,5-3,5 А при потребляемой мощности от 20 до 80 Вт. Холодильный коэффициент изменяется в пределах от 0,1 до 0,5.

Библиографический список

1. Александров А.А., Архаров А.М., Архаров И.А. и др. Теплотехника. М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 880 с.
2. Бонапартова А.В. Основы косметологии. М.: Кнорус, 2020. 192 с.
3. Ежов В.В. Физиотерапия и физиопрофилактика как методы и средства сохранения и восстановления здоровья // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2011. № 4. С. 33-36.
4. Ежов В.В., Васенко В.И., Мизин В.И., Царев А.Ю., Дудченко Л.Ш., Игнатова Т.Б. Применение сопочных вод и пелитов грязевых вулканов в санитарно-курортной практике // Вестник физиотерапии и курортологии. 2020. Т. 26, № 1. С. 72.
5. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Абдулхакимов У.И., Евдулов Д.В. Термоэлектрическая система для проведения тепловых косметологических процедур на лице // Медицинская техника. 2017. № 4. С. 38-42.
6. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В., Абдулхакимов У.И., Евдулов Д.В., Набиев Н.А. Модель термоэлектрического устройства для проведения тепловых косметологических процедур // Термоэлектричество. 2016. № 5. С. 80-86.

Referenses

1. Aleksandrov A.A., Arharov A.M., Arharov I.A. i dr. Teplotekhnika. M: MGTU im. N.E. Bauman, 2017. 880 s.
2. Bonapartova A.V. Osnovy kosmetologii. M.: Knorus, 2020. 192 s.
3. Ezhov V.V. Fizioterapiya i fizioprafilaktika kak metody i sredstva sohraneniya i vosstanovleniya zdorov'ya // Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitaciya. 2011. № 4. S. 33-36.
4. Ezhov V.V., Vasenko V.I., Mizin V.I., Carev A.Yu., Dudchenko L.Sh., Ignatova T.B. Primenenie sopochnyh vod i pelitov gryazevyh vulkanov v sanitarno-kurortnoj praktike // Vestnik fizioterapii i kurortologii. 2020. T. 26, № 1. S. 72.

5. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Abdulhakimov U.I., Evdulov D.V. Termoelektricheskaya sistema dlya provedeniya teplovykh kosmetologicheskikh procedur na lice // Medicinskaya tekhnika. 2017. № 4. S. 38-42.

6. Ismailov T.A., Evdulov O.V., Abdulhakimov U.I., Evdulov D.V., Nabiev N.A. Model' termoelektricheskogo ustrojstva dlya provedeniya teplovykh kosmetologicheskikh procedur // Termoelektrichestvo. 2016. № 5. S. 80-86.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

The author declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 22.02.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 16.03.2023

Принята к публикации / Accepted 21.03.2023

© У.И. Абдулхакимов, 2023

Сведения об авторе

List of Author

Абдулхакимов Умар Ильманович – старший преподаватель кафедры электротехники и электроники Грозненского нефтяного технического университета.

Umar Abdulkhakimov – Senior Lecturer of the Department of Electrical Engineering and Electronics, Grozny Petroleum Technical University.

Ссылка для цитирования: *Абдулхакимов У.И.* Моделирование теплообмена в термоэлектрической системе для проведения охлаждающих косметологических процедур // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 2. С. 11 – 14. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-11-14.

For citation: *Abdulkhakimov U.I.* Simulation of heat transfer in a thermoelectric system for cooling cosmetic procedures // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 11 – 14. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-11-14.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В ПЛОДАХ КУДРАНИИ

Р.М. Гаджимурадова¹, М.Ш. Абдуллаев², Ф.Ш. Азимова¹

¹ Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70

² Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра
Российской академии наук, Махачкала
367030, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75
faina_azimova@mail.ru, must1952@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований атомно-абсорбционного определения минерального состава плодов кудрании дагестанской популяции, обоснована их пищевая ценность. Приведены результаты качественного и количественного определения содержания органических кислот в плодах кудрании методом капиллярного электрофореза. Высокое содержание микроэлементов, органических и неорганических кислот в плодах кудрании при регулярном приеме будет способствовать повышению иммунитета, общей сопротивляемости организма, укреплению сердечно-сосудистой и костной системы человека.

Ключевые слова: атомно-абсорбционный метод; капиллярный электрофорез; кудрания; микроэлемент; минеральный состав; органическая кислота; плод; хурма; ягода.

Abstract. The article presents the results of experimental studies of the atomic absorption determination of the mineral composition of the fruits of the Daghestan population, their nutritional value is substantiated. The results of the qualitative and quantitative determination of the content of organic acids in the fruits of curling by the method of capillary electrophoresis are presented. The high content of trace elements, organic and inorganic acids in the fruits of kudraniya, when taken regularly, will help increase immunity, overall body resistance, strengthen the cardiovascular and skeletal systems of a person.

Key words: atomic absorption method; capillary electrophoresis; curling; trace element; mineral composition; organic acid; fetus; persimmon; berry.

Введение

Кудрания – экзотическое, теплолюбивое растение, родиной которого являются страны Восточной Азии – Афганистан и Иран, откуда она распространилась по всему миру, в том числе на юге России и у нас, в Дагестане. Растение неприхотливое, ей подходят разнообразные почвы, легко переносит небольшие заморозки. Главная ценность кудрании – вкусные,

сочные, съедобные плоды, богатые сахарами, витаминами, органическими кислотами, минеральными веществами и различными микроэлементами. Поистине кудрания – кладезь полезных веществ, поэтому авторы ставили основной целью работы – исследовать химический состав и вкусовые качества плодов кудрании, выращенной в зоне города Махачкала.

Описание кудрании, ее химический состав и пищевая ценность

Кудрания трехколючковая (*Cudrania tricuspidata*) – листопадное дерево, которое вырастает до 6 м в высоту, обладающее раскидистой пышной кроной, принадлежащее к семейству тутовых, продолжительность жизни растения составляет в среднем 50 лет. Нередко её называют клубничным или малиновым деревом, но на самом деле с клубникой она имеет очень мало общего, скорее, её можно сравнить с малиной или шелковицей, но уж никак не с клубникой. Ягоды имеют сладкий вкус, совершенно без кислинки, присущей клубнике, вкус этой ягоды больше



напоминает хурму, но без свойственной ей терпкости.

Цветет кудрания в мае-июне, шаровидные плоды в созревшем состоянии имеют ярко-красный или бордовый цвет, достигают 5 см в диаметре и внешним видом напоминают очень крупную малину или шелковицу, внутри которых находятся мелкие коричневые зерна [1]. С одного взрослого дерева можно собрать до 200 кг плодов (рисунок 1). Выращивать кудранию можно как в открытом грунте, так и в помещении. Размножается черенкованием.



Рисунок 1 – Плоды кудрании на дереве и в разрезе

Полезные свойства этой ягодной культуры заслуживают внимания, особенно, ее плоды. Издали такие ягоды похожи на садовую клубнику, вблизи же они похожи на необычную малину крупного размера. Однако это сходство является лишь внешним, а плоды кудрании не имеют ни вкуса, ни запаха малины либо клубники [2]. Это в принципе, объяснимо, так как эти растения относятся к совершенно разным семействам. Плоды кудрании по форме напоминают также плоды шелковицы, а по вкусу чем-то похожи на хурму. Ягоды кудрании обладают сочностью и нежностью, они приятны на вкус. В её плодах, также как и в листьях, содержится белый млечный сок – признак, присущий многим фикусам и инжиру [3].

Ягоды содержат сахара, органические кислоты, пищевые волокна и пектиновые вещества. В сладких плодах много аскорбиновой кислоты и витаминов группы В. Также в них присутствуют рутин, каротин, холин, гликози-

ды, смолы, минеральные вещества, в частности, железо. Препараты на основе кудрании применяют в народной медицине для лечения малокровия, язвенной болезни, изжоги, дизентерии. Ягоды помогают снизить артериальное давление, нормализовать обменные процессы, очистить и оздоровить кровь, восстановить работу печени и селезёнки. Отвар коры кудрании обладает бактерицидными свойствами и используется для заживления ран, ожогов и язв. В этих же целях применяют порошок коры, настоянный на растительном масле [4].

Плоды кудрании употребляют в свежем виде. Из них готовят варенье, компот, джем, желе и прочие сладкие заготовки. Ягоды сушат и замораживают. Находит применение и древесина – её используют для изготовления всевозможных поделок, музыкальных инструментов и мебели.

Родиной кудрании является Восточная Азия, но дикие заросли встречаются также в

Иране, в Афганистане, где она иногда культивируется как ради плодов, так и в целях озеленения и закрепления почв. В Китае листьями дерева кормят шелкопряда, когда нет листьев тутового дерева. Культура кудрании засухо- и морозоустойчива и может расти лишь в тропическом и субтропическом поясах. Однако есть любители-садоводы, вырастившие кудранию в Украине, в некоторых южных районах России и в Закавказье. Культура светолюбива, может легко переносить довольно

длительные периоды засухи. Такое оказывается возможным за счёт мощной корневой системы этой культуры [5].

Плоды кудрании богаты минеральными и органическими веществами: рутин, каротин, холин, витамины С, В, Р, Е, пектины, железо, калий, глюкозиды, аминокислоты, моносахариды, дисахариды. Калорийность 100 г ягод составляет всего 23 ккал. Соотношение белков, жиров и углеводов в плодах кудрании приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание белков, жиров, углеводов в 100 г плодов кудрании

Свойство	Значение
Калорийность	23 ккал
Белки	0,8
Углеводы	5
Жиры	0,1

Исследование минерального состава плодов кудрании

Для определения минерального состава плодов кудрании подготовку пробы проводят методом сухой минерализации. Для этого около 2 г плодов помещают в тигель и осторожно нагревают до почернения. Остаток обугливают на электрической плитке сначала на медленном, а затем на более сильном огне до прекращения выделения дыма. После чего тигель помещают в холодную муфельную печь и доводят температуру печи до 450°C и при этой температуре продолжают минерализацию в течение 1 часа до получения серой золы. Зола растворяют в азотной кислоте и отфильтровывают. Определение содержания микроэлементов в фильтрате проводили атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре SavantAAΣ при атомизации в ацетиленовом пламени. Атомно-абсорбционный

метод анализа – физический метод определения концентрации элемента по атомарному поглощению монохроматического излучения, длина волны которого соответствует его резонансному излучению. Источником излучения служит лампа с полым катодом, излучающая резонансное излучение определяемого металла, который проходит через пламя горелки с аналитом. Монохроматор выделяет нужную аналитическую линию, интенсивность которой регистрируется детектором.

Свободные атомы в плазме способны селективно поглощать свет определённых частот, переходя из нижнего невозбужденного E_0 в верхнее возбужденное E_n состояние [6]. Измерения проводили на наиболее чувствительной линии поглощения каждого из элементов, соответствующих длинам волн, указанным в таблице 2.

Таблица 2 – Длины волн поглощения элементов

Элемент	Длина волны, нм	Элемент	Длина волны, нм
железо	248,3	медь	324,8
кадмий	228,8	натрий	589,0
калий	767,0	никель	232,5
кальций	422,7	свинец	283,3
магний	285,2	хром	357,9
марганец	279,5	цинк	213,9

Ранее мы проводили определение минерального состава плодов хурмы разных сортов

этим же атомно-абсорбционным методом [7]. Хурма по своим вкусовым, питательным, ле-

чебным и диетическим свойствам среди субтропических плодовых культур занимает второе место после цитрусовых. Поэтому мы решили сравнить содержание микроэлементов в плодах кудрании и хурмы «Кавказская», как наиболее приближенной к кудрании дагестанской популяции.

Как видно из таблицы 3, в плодах кудрании содержание почти всех микроэлементов, за исключением йода, значительно превышает их содержание в плодах хурмы: калий – в 4, кальций – 27, магний – 11, железо – 4, медь – 2 раза. Хотя содержание йода в ягодах кудра-

нии меньше, чем в плодах хурмы в 18 раз, оно почти соответствует суточной потребности человека, которая составляет 0,1 – 0,2 мг.

Высокое содержание указанных микроэлементов в плодах кудрании при регулярном приеме будет способствовать повышению иммунитета, общей сопротивляемости организма, укреплению сердечно-сосудистой и костной системы человека.

Данные исследований минерального состава плодов кудрании представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание микроэлементов в плодах кудрании и хурмы (мг/кг)

№	Элемент	Кудрания	Хурма, сорт «Кавказская»
1	натрий	148,9	120
2	калий	1650,7	398
3	кальций	1365,0	51,0
4	магний	380,4	33,8
5	железо	27,8	7,5
6	медь	0,16	0,8
7	цинк	1,85	3,7
8	хром	0,005	–
9	алюминий	1,38	–
10	селен	0,007	–
11	мышьяк	0,002	–
12	никель	0,009	1,8
13	свинец	0,002	–
14	йод	0,09	1,6

Исследование содержания кислот в плодах кудрании

Такой исключительно богатый химический состав плодов кудрании вызвал у нас неподдельный интерес к дальнейшим аналитическим исследованиям. Авторы исследовали плоды кудрании также на качественное и количественное содержание органических кислот. Определение содержания органических кислот в плодах кудрании проводили методом капиллярного электрофореза на анализаторе «Капель – 105». Пробу анализировали после проведения градуировки анализатора.

Метод капиллярного электрофореза для определения массовых концентраций органических кислот основан на миграции и разделении анионных форм анализируемых компонентов под действием электрического поля

вследствие их различной электрофоретической подвижности.

Для определения карбоновых кислот плоды измельчали, отжимали сок, который разбавляли дистиллированной водой в пропорции 1:25.

Пробу после предварительной фильтрации через мелкопористый фильтр переносили в пробирку и центрифугировали в течение 5 минут при 5000 об/мин. Полученный раствор вводили в анализатор «Капель-105» и снимали его электрофореграмму при температуре 20°С, под напряжением 20 кВ. Электрофореграмму регистрировали при длине волны 254 нм.

По окончании анализа проводили ручную корректировку разметки пиков. Используя программное обеспечение, проводили идентификацию компонентов в пробе по совпадению

времен выхода их пиков с пиками в градуировочной смеси, при ширине окна идентификации 1%. Полученная электрофореграмма водной вытяжки из плодов кудрании представлена на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2 плоды кудрании содержат различные карбоновые и неорганиче-

ские кислоты. Массовые концентрации кислот в плодах кудрании представлены в таблице 4. Как видно из данных, представленных в таблице 4, максимальное количество из содержащихся карбоновых кислот в плодах кудрании соответствует яблочной кислоте – 0,2 %.

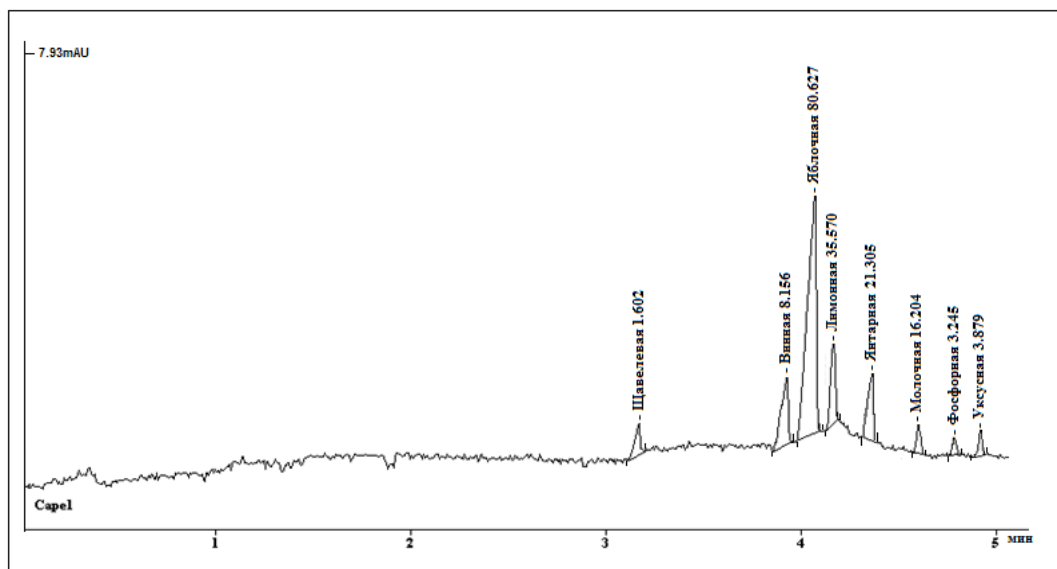


Рисунок 2 – Электрофореграмма органических кислот в вытяжке из плодов кудрании, разбавление 25-кратное, единица измерения – мг/дм³

Таблица 4 – Содержание органических кислот в плодах кудрании

№	Кислота	Содержание, %
1	Щавелевая	0,004
2	Винная	0,020
3	Яблочная	0,201
4	Лимонная	0,089
5	Янтарная	0,053
6	Молочная	0,041
6	Фосфорная	0,008
7	Уксусная	0,010

Для выявления ошибки определения содержания яблочной кислоты фиксировалось электрокапиллярным методом в 5 параллельных пробах плодов. Точность анализа характеризуется величиной единичного отклонения ($X_i - \bar{X}$), а также величиной доверительного интервала ($\Delta \bar{X}$), устанавливающего граничные значения отклонения результатов анализа от истинного или среднего арифметического [8].

Характеристикой воспроизводимости результатов определяется как величины стан-

дартного отклонения (S) и относительного стандартного отклонения (S_r) по формулам:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad S_r = \frac{S}{\bar{X}}$$

$$\Delta \bar{X} = \frac{t_{pf} S}{\sqrt{n}}$$

где t_{pf} – критерий Стьюдента ($t_{pf} = 2,78$ при $n = 5$), n – количество параллельных определений.

Полученные результаты проведенных исследований и вычислений по математической обработке данных определения яблочной кислоты в плодах кудрании приведены в таблице

Таблица 5 – Данные математической обработки результатов определения яблочной кислоты в плодах кудрании

№ п/п	$X_i, \%$	\bar{X}	S	S_r	$\bar{X} \pm \Delta \bar{X}$
1	0,201				
2	0,203				
3	0,198	0,2	0,0024	0,012	0,2±0,003
4	0,200				
5	0,197				

По вкусу плоды кудрании приближены к хурме и арбузу. Хурма по своим вкусовым, питательным, лечебным и диетическим свойствам среди субтропических плодовых культур занимает второе место после citrusовых. Авторы ранее определяли содержание кислот в плодах хурмы [9] и мякоти арбуза [10] этим же методом капиллярного электрофореза на ана-

5. Как видно из данных, представленных в таблице 5, ошибка определения яблочной кислоты электрокапиллярным методом соответствует 1,2%. При содержании кислоты на уровне 0,2%, это вполне удовлетворительный показатель.

лизаторе «Капель-105», поэтому решили сравнить качественное и количественное содержание кислот в плодах кудрании, хурмы и мякоти арбуза.

Содержание обнаруженных органических и неорганических кислот в пробах представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание кислот в плодах кудрании, хурмы и арбузном соке (%)

Кислота	Кудрания	Хурма		Арбузный сок
		сорт Хачия	сорт Королёк	
щавелевая	0,04	0,028	0,0097	–
муравьиная	–	0,002	0,0016	–
винная	0,02	0,0048	0,0049	1,36
яблочная	0,201	0,2903	0,1682	1,76
лимонная	0,089	0,0059	0,0062	0,14
янтарная	0,053	0,0204	0,0100	1,05
фосфорная	0,008	0,0006	0,0038	0,004
уксусная	0,010	0,0016	0,0005	0,022
молочная	0,041	–	–	0,053

Как видно из таблицы 6, в плодах кудрании и хурмы и арбузном соке доминирующей кислотой является яблочная, ее содержание сопоставимо в плодах кудрании и хурмы, а в арбузном соке ее содержание превышает в 8,8 и 6 раз по сравнению с кудранией и хурмой соответственно. Но содержание всех остальных кислот в плодах кудрании превышает соответствующие показатели в обоих сортах

хурмы, что лишний раз подчеркивает богатый химический состав этой культуры по сравнению с хурмой, которая, несомненно, тоже является ценной, питательной и полезной культурой. Яблочная кислота повышает аппетит, улучшает кровообращение, стимулирует обмен веществ, укрепляет иммунитет, способствует снижению артериального давления.

Заключение

Таким образом, в результате исследования определен минеральный состав и получена электрофореграмма органических кислот в вытяжке из плодов кудрании. Состав минералов и кислот позволяет дать практические рекомендации по применению кудрании для оздоровления организма. Употреблять ягоды кудрании полезно тем людям, у кого отмечены повышенное артериальное давление, язва желудка или двенадцатиперстной кишки, анемия, нарушен обмен веществ, подорвана работоспособность печени и селезенки, случаются приступы изжоги. Плоды кудрании не продаются на наших рынках или в магазинах, потому что они отличаются малым сроком хранения, не транспортабельны, поэтому их

употребляют сразу после сбора урожая, как ягоды шелковицы, либо перерабатывают на варенье, джемы, компот. В холодильнике плоды можно держать 2-3 дня, но качество их будет снижаться с каждым часом.

Климатические условия юга России наиболее благоприятны для распространения этой субтропической культуры, но она практически не встречается в Дагестане, потому что о существовании этого экзотического растения знают лишь специалисты-ботаники и некоторые садоводы. В то же время, приняв во внимание уникальный состав, полезность, высокую урожайность этой культуры, мы рекомендуем выращивать его, чтобы радовать себя и близких этими вкусными, целительными, экзотическими плодами.

Библиографический список

1. Карпун Ю.Н. Кудрания трехколючковая. СПб.: ВВМ, 2010. 580 с.
2. Казахмедов Р.Э., Габиров Т.Г., Кафарова Н.М. Малораспространенная ягодная культура кудрания // Субтропическое и декоративное садоводство. 2017. № 61. С. 51-56.
3. Рыбак А. Энциклопедия. Фрукты и ягоды [Электронный ресурс] // Информационный портал для садоводов и дачников Garden Star. 2013. URL: <http://gardenstar.ru/enciklopediya/frukti-i-yagodi/kudraniya.html> (Дата обращения: 03.01.2023).
4. Кудрания (клубничное дерево) – выращивание, уход [Электронный ресурс] // Простым языком о здоровье и народная медицина. 2014. URL: <http://www.rasteniyaecarstvennie.ru/11049-kudraniya-klubnichnoe-derevo.html>. (Дата обращения: 08.01.2023).
5. Павлова М. Клубничное дерево (кудрания): выращивание и уход [Электронный ресурс] // Fb.ru. Домашний уют. Садоводство. 11 апрель 2015. URL: <http://fb.ru/article/178746/klubnichnoe-derevo-kudraniya-vyraschivanie-i-uhod>. (Дата обращения: 08.01.2023).
6. Брицке М.Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ. М.: Химия, 1982. 224 с.
7. Ихласова Б.И., Абдуллаев М.Ш., Гаджимурадова Р.М. Определение содержания растворимых сухих и минеральных веществ в плодах хурмы // Совершенствование технологических процессов в химической промышленности: сборник научных трудов преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов технологического факультета ДГТУ. Вып. I. Махачкала: Издательство ДГТУ, 2012. С. 49-52.
8. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.
9. Абдуллаев М.Ш., Гаджимурадова Р.М., Магомедова А.А., Атаева Р.Д. Определение содержания карбоновых кислот в хурме // Повышение качества и безопасности пищевых продуктов: материалы VI всероссийской научно-практической конференции (12-13 сентября 2016 г., Махачкала). Махачкала: Изд. ДГТУ, 2016. С.111–113.
10. Абдуллаев М.Ш., Гаджимурадова Р.М., Мирзаев М.М. Определение содержания карбоновых кислот в мякоти арбуза // Совершенствование технологических процессов в пищевой, химической и перерабатывающей промышленности: сборник научных трудов преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов технологического факультета ДГТУ. Махачкала: Изд. ДГТУ, 2018. С. 6–8.

Referenses

1. Karpun Yu.N. Kudraniya trekhkolyuchkovaya. SPb.: VVM, 2010. 580 s.
2. Kazahmedov R.E., Gabibov T.G., Kafarova N.M. Malorasprostrannaya yagodnaya kul'tura kudraniya // Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo. 2017. № 61. S. 51-56.

3. Rybak A. Enciklopediya. Frukty i yagody [Elektronnyj resurs] // Informacionnyj portal dlya sadovodov i dachnikov Garden Star. 2013. URL: <http://gardenstar.ru/enciklopediya/frukti-i-yagodi/kudraniya.html> (Data obrashcheniya: 03.01.2023).
4. Kudraniya (klubnichnoe derevo) – vyrashchivanie, uhod [Elektronnyj resurs] // Prostym yazykom o zdorov'e i narodnaya medicina. 2014. URL: <http://www.rasteniyaecarstvennie.ru/11049-kudraniya-klubnichnoe-derevo.html>. (Data obrashcheniya: 08.01.2023).
5. Pavlova M. Klubnichnoe derevo (kudraniya): vyrashchivanie i uhod [Elektronnyj resurs] // Fb.ru. Domashnij уют. Sadovodstvo. 11 aprel' 2015. URL: <http://fb.ru/article/178746/klubnichnoe-derevo-kudraniya-vyrashchivanie-i-uhod>. (Data obrashcheniya: 08.01.2023).
6. Bricke M.E. Atomno-absorbcionnyj spektrohimičeskij analiz. M.: Himiya, 1982. 224 s.
7. Ihlasova B.I., Abdullaev M.Sh., Gadzhimuradova R.M. Opredelenie sodержaniya rastvorimyh su-hih i mineral'nyh veshchestv v plodah hurmy // Sovershenstvovanie tekhnologičeskikh processov v himičeskoy promyshlennosti: sbornik nauchnyh trudov prepodavatelej, sotrudnikov, aspirantov i studentov tekhnologičeskogo fakul'teta DGTU. Vyp. I. Mahachkala: Izdatel'stvo DGTU, 2012. S. 49-52.
8. Bulatov M.I., Kalinkin I.P. Praktičeskoe rukovodstvo po fotometričeskim metodam analiza. L.: Himiya, 1986. 432 s.
9. Abdullaev M.Sh., Gadzhimuradova R.M., Magomedova A.A., Ataeva R.D. Opredelenie sodержaniya karbonovyh kislot v hurme // Povyshenie kachestva i bezopasnosti pishchevyh produktov: materialy VI vserossijskoj nauchno-praktičeskoy konferencii (12-13 sentyabrya 2016 g., Mahachkala). Mahachkala: Izd. DGTU, 2016. S.111–113.
10. Abdullaev M.Sh., Gadzhimuradova R.M., Mirzaev M.M. Opredelenie sodержaniya karbonovyh ki-slot v myakoti arbuza // Sovershenstvovanie tekhnologičeskikh processov v pishchevoj, himičeskoy i pererabatyvayushchej promyshlennosti: sbornik nauchnyh trudov prepodavatelej, sotrudnikov, aspirantov i studentov tekhnologičeskogo fakul'teta DGTU. Mahachkala: Izd. DGTU, 2018. S. 6–8.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 12.05.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 18.06.2023

Принята к публикации / Accepted 22.06.2023

© Р.М. Гаджимурадова, М.Ш. Абдуллаев, Ф.Ш. Азимова, 2023

Сведения об авторах

List of Authors

Гаджимурадова Раиса Мирзагасановна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии Дагестанского государственного технического университета.

Raisa Gadzhimuradova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, Daghestan State Technical University.

Абдуллаев Мустангер Шарабудинович – кандидат химических наук, научный сотрудник Аналитического центра коллективного пользования Дагестанского федерального исследовательского центра РАН.

Mustanger Abdullaev – Candidate of Chemical Sciences, Researcher at the Analytical Center for Collective Use, Daghestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.

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

Faina Azimova – Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Technology, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Гаджимурадова Р.М., Абдуллаев М.Ш., Азимова Ф.Ш.* Исследование минерального состава и содержания органических кислот в плодах кудрании // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 2. С. 15 – 22. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-15-22.

For citation: *Gadzhimuradova R.M., Abdullaev M.Sh., Azimova F.Sh.* The study of the mineral composition and content of organic acids in the fruits of kudraniya // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 15 – 22. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-15-22.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЕНОК НИТРИДА АЛЮМИНИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ НА САПФИРЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

Г.Д. Кардашова, С.У. Ризаханова, М.А. Гитикчиев, С.Р. Алиев,
А.И. Ибрагимов, К.М. Муртазалиев

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70
beverlyair@mail.ru

Аннотация. Проведены структурные исследования образцов пленок нитрида алюминия, сформированных на сапфире ионно-плазменным методом. Выявлено, что применение тонкого приповерхностного слоя нитрида алюминия на подложках сапфира ориентаций (0001) и (110) в эпитаксиальной технологии формирования пленок нитрида алюминия тех же ориентаций, способствует уменьшению переходной области «слой – подложка». Формирование тонкого приповерхностного слоя нитридизацией при эпитаксиальной технологии получения слоев нитрида алюминия способствовало снижению температуры его ориентированного роста.

Ключевые слова: азотирование, магнетронное распыление, нитрид алюминия, Оже-анализ, подложка, сапфир, тонкие пленки, эпитаксиальный слой.

Abstract. Structural studies of samples of aluminum nitride films formed on sapphire by the ion-plasma method have been carried out. It was found that the use of a thin near-surface layer of aluminum nitride on sapphire substrates of orientations (0001) and (110) in the epitaxial technology for the formation of aluminum nitride films of the same orientations contributes to a decrease in the «layer-substrate» transition region. The formation of a thin surface layer by nitriding in the epitaxial technology for obtaining aluminum nitride layers contributed to a decrease in the temperature of its oriented growth.

Keywords: nitriding, magnetron sputtering, aluminum nitride, Auger analysis, substrate, sapphire, thin films, epitaxial layer.

Введение

Одной из основных проблем создания полупроводниковых приборов на основе гетероэпитаксиальных пленок нитридных соединений типа $A^{III}B^V$ является плохая воспроизводимость рабочих параметров, быстрая их деградация из-за большой концентрации дефектов кристаллической структуры пленок, формирующих активную область.

Большая концентрация дефектов в этих пленках обусловлена большим рассогласованием параметров кристаллических решеток

сопрягаемых плоскостей подложки и полупроводниковой пленки [1].

У используемых в настоящее время монокристаллических подложек для выращивания гетероэпитаксиальных пленок (0001) GaN рассогласование составляет: для (0001) Al_2O_3 16%, для (111) $MgAl_2O_4$ 9,5%, для (0001) SiC 3,5%. В качестве основного критерия для выбора подложки рассматривается соответствие кристаллических решеток подложки и выращиваемого слоя, а также их термических коэффициентов линейного расширения. Другим не менее важным критерием выбора сап-

фира в качестве подложки является требование по химической и термической стабильности подложки к среде эпитаксиального роста при температуре эпитаксии.

Кроме высокой термической и химической стабильности при высоких температурах роста, сапфир обладает прекрасной структурной и поверхностной морфологией и возможностью их получения в промышленных масштабах. Для уменьшения рассогласования при выращивании на (0001) Al_2O_3 используется гетероэпитаксиальный буферный подслой, который располагается между рабочей поверхностью подложки и полупроводниковой пленкой [2, 3]. Этот гетероэпитаксиальный буферный подслой изготавливается из материалов с кристаллической структурой типа вюртцита – AlN .

Положительные результаты эпитаксиального выращивания пленок AlN , GaN были получены методом реактивного магнетронного радиочастотного распыления (ММРРР), где температура (T) роста пленок была понижена до $500^\circ C$ [4].

В отличие от МOCVD-технологии ($T \sim 1200^\circ C$), ММРРР позволяет выращивать тонкопленочные монокристаллические структуры с атомарно-гладкой поверхностью, которая и была выбрана в данной работе. ММРРР является наиболее предпочтительным для

использования в промышленности, так как он лучше поддается контролю в отношении получения единообразных и однородных слоев.

Более того, получение многослойных структур требует развернутую в ряд распылительную систему, где слои могут быть сформированы последовательно в одном технологическом цикле [5].

В целях оптимизации процесса получения пленок нитрида алюминия в приповерхностной области сапфира, нами был изучен процесс формирования, разработана модель ионно-плазменного распыления металлической мишени в аргон – азотной смеси. В основу процесса положено распыление мишени в реакционном газе и протекание реакций с образованием соединений на поверхности мишени, на подложке или в пространстве «мишень-подложка».

Моделирование процесса формирования пленки с применением метода реактивного магнетронного нанесения, при котором мишень распыляется в смеси аргона и реактивного газа – азота, описаны в работах [6, 7, 8].

Экспериментальные исследования

На фотографиях различных участков поверхности подложки, произведенных до (рисунок 1) и после (рисунок 2) процесса азотирования видны различия в морфологии.

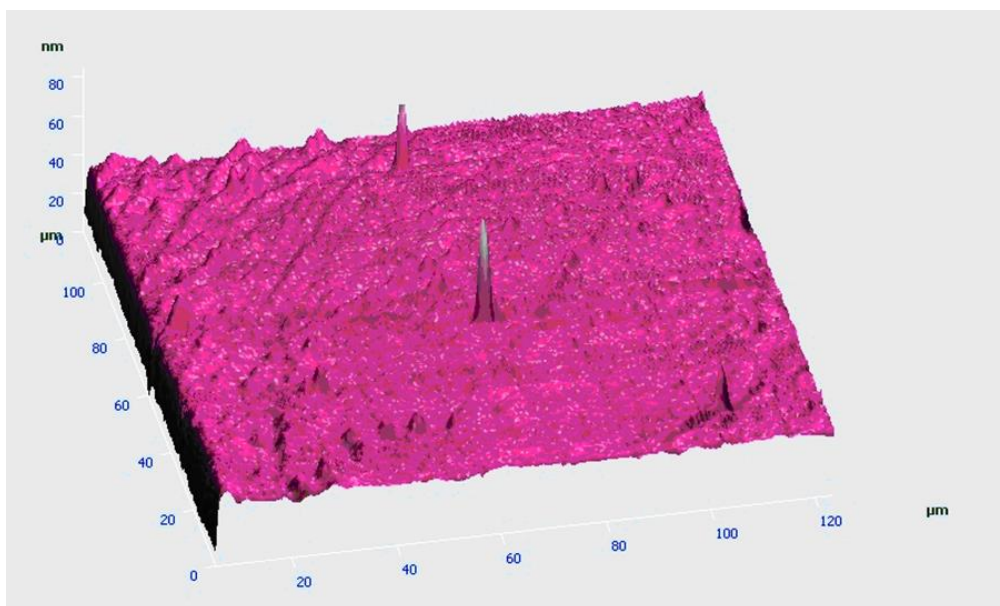


Рисунок 1 – Поверхность образца до обработки ионами азота (изображение получено на сканирующем зондовом микроскопе)

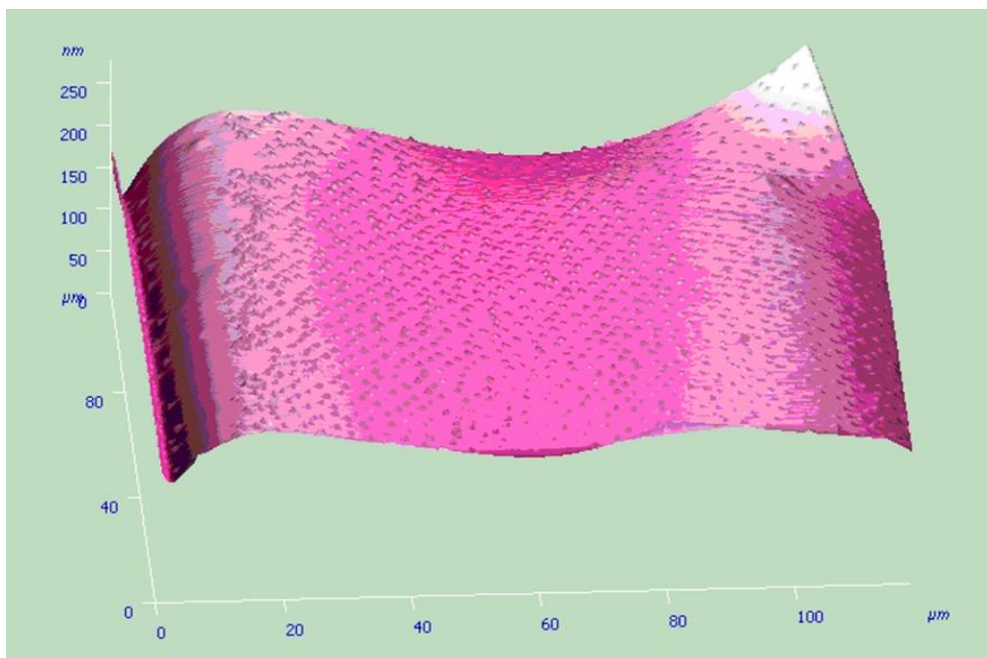


Рисунок 2 – Поверхность образца после обработки ионами азота в течение 15 минут (изображение получено на сканирующем зондовом микроскопе)

После обработки ионами азота подложки сапфира приобретали темно-серую окраску. Данные электронографии и дифрактометрии свидетельствовали об аморфизации поверхности и ухудшении структурного совершенства приповерхностной области подложки. Отжиг в смеси аргона и аммиака при температуре 1350 – 1620 К позволил восстановить качество поверхности подложек, сапфир приобрел первоначальную прозрачность.

Данные Оже-анализа свидетельствовали о непрерывном и более плавном распределении азота по глубине подложки, толщина слоя составила 0,15 – 0,2 мкм. Исследования образцов, пластин сапфира, обработанных ионами азота в режимах $U = 3$ кэВ, $J = 200$ мА, $t = 20$ мин, $T = 1300^\circ$ С проводили на рентгеновском фотоэлектронном спектрометре *PHI 5500 ESCA* фирмы *Physical Electronics*. Для возбуждения фотоэмиссии использовали $Al\ K\alpha$ излучение ($h\nu = 1486,6$ эВ) мощностью 300 Вт. Давление остаточных газов в камере анализа составляло $(5 - 6) \times 10^{-10}$ Торр.

Атомные концентрации элементов определяли по обзорным спектрам методом факторов относительной чувствительности, используя возможности программного обеспечения *PC ACCESS ESCA V7.2c*.

Спектры высокого разрешения снимали при энергии пропускания анализатора 11,75 эВ и плотности сбора данных 0,1 эВ/шаг.

Аппроксимацию спектров алюминия выполняли нелинейным методом наименьших квадратов с использованием функции Гаусса-Лоренца.

Типичная глубина анализа в рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии – десятки ангстрем. Для определения распределения элементов в поверхностных слоях использовали ионное травление: распыление ионами Ar^+ , $E_i = 2$ кэВ, растр 2×2 мм², парциальное давление по аргону 15 мПа, что приблизительно соответствует скорости травления 20 Å/мин.

В таблице 1 приведены концентрации, рассчитанные по обзорным спектрам, снятым на поверхности до травления, после 5 и 10 мин травления. Относительная погрешность измерений в рамках использованного метода составляет 1 – 2 %.

Обзорные спектры показаны на рисунке 3. Для выявления химического состояния элементов в слое образца, содержащем азот, сняты спектры высокого разрешения всех элементов.

На поверхности выделено 2 пика: пик 1 $E_{св} = 73,8 \pm 0,1$ эВ и пик 2 $E_{св} = 74,7 \pm 0,1$ эВ, в объеме только один пик – пик 2. Положение пика 1 соответствует химическому состоянию алюминия в AlN , второй пик в соответствии со справочными данными соответствует Al_2O_3 . Положения линий $O1s$ ($531,3 \pm 0,1$ эВ) и $N1s$ ($396,7 \pm 0,1$ эВ) подтверждают эту интерпретацию (рисунок 3).

Применение тонкого приповерхностного слоя, полученного в результате нитридации подложек сапфира, в эпитаксиальной технологии формирования слоев нитрида алюминия позволило снизить температуру его ориентированного роста. Приближение процесса зародышеобразования к гомогенному, в случае применения подслоя, предполагает возникновение более сильного взаимодействия на границе «подложка – слой». Это и приводит, как правило, к получению эпитаксиальных слоев с более совершенной структурой.

Заметных различий в свойствах пленок, полученных при использовании азотированных подложек, подготовленных с помощью

отжига в аммиаке и имплантации N_2^+ , не обнаружено.

При реализации технологических режимов осаждения слоев нитридов ориентации $(11\bar{2}6)$ сформированный азотированием на подложке $(\bar{1}012)$ Al_2O_3 слой $(11\bar{2}0)$ AlN препятствует ориентированному зарождению, приводит к возникновению двойниковых слоев $(11\bar{2}0) + (11\bar{2}6)$ и, следовательно, ухудшению атомной структуры пленок (таблица 2).

Применение тонкого приповерхностного слоя AlN на подложках сапфира ориентаций (0001) и $(11\bar{2}0)$ в эпитаксиальной технологии формирования пленок нитрида алюминия тех же ориентаций способствовало уменьшению переходной области «слой – подложка».

Это способствует и уменьшению концентрации неконтролируемых примесей в ней, осаждению гетероструктур $(11\bar{2}0)$ AlN в области технологических режимов выращивания пленок смешанной ориентации, а также снижению температуры роста ориентированного слоя AlN .

Таблица 2 – Технологические параметры образования слоя AlN

Температура роста, К	Толщина слоя, мкм	Линейная скорость парогоазовой смеси, см/с / $V_{аммиак}/N_{Ar}$	Условия: температура, К/ время, мин / $V_{аммиак}/N_{Ar}$	Ориентация слоя
1470	1,2	2/8	1470/10/1/2	$(11\bar{2}0)AlN$
1470	1,2	2/8	1470/10/1/2	$(11\bar{2}0)AlN$
1370	1,8	1/12	1470/10/1/2	$(11\bar{2}6)AlN$
1370	1,4	1/12	1370/60/1/2	$(11\bar{2}0)AlN$
1370	1,4	0/12	1370/60/1/2	$(11\bar{2}6)AlN$
1370	0,8	0/12,5	1470/10/1/2	$(0001)AlN$
1370	0,8	0/12,5	1370/60/1/2	$(0001)AlN$

Заключение

Выявлено, что применение тонкого приповерхностного слоя AlN на подложках сапфира ориентаций (0001) и (110) в эпитаксиальной технологии формирования пленок нитрида алюминия тех же ориентаций способствует уменьшению переходной области слой – подложка.

Это приводит к уменьшению концентрации неконтролируемых примесей в ней, осаждению гетероструктур (110) AlN в области

технологических режимов выращивания пленок смешанной ориентации, а также снижению температуры роста ориентированного слоя AlN .

Исследования проводились с использованием уникальной установки плазмохимического реактивного ионного травления ЦКП «Радиоэлектронные приборы, микроэлектроника и нанотехнологии» Дагестанского государственного технического университета.

Библиографический список

1. Калтаев Н.С., Сидельникова С.В. и др. Получение текстурированных пленок нитрида алюминия методом термохимической нитридации сапфира // Физика и техника полупроводников. 2009. Т. 43, № 12. С. 1650-1653.
2. Четвергов М.В. Структурно-морфологические особенности нитрида алюминия в зависимости от условий получения: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.27.06 / С.-Петербург. гос. электро-технич. ун-т (ЛЭТИ). Санкт-Петербург, 2000. 16 с.
3. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / [Л. Эсаки, Б.А. Джойс, Р. Хекингботтом и др.]; Под ред. Л. Ченга, К. Плога; Пер. с англ. под ред. Ж.И. Алферова, Ю.В. Шмарцева. М.: Мир, 1989. 582 с.
4. Kaya K., Shibata Y. and etc. // Jpn.J. Appl. Phys., 36, 1997, p. 2837.
5. Айнспрук Н., Браун Д. Плазменная технология в производстве СБИС. М.: Мир, 1987. 471 с.
6. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М.: Энергоатомиздат, 1989. 328 с.
7. Осинский В.И. Прищепца Н.П. Начальные стадии эпитаксии III-нитридов на сапфире // Твердотельная электроника. Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». Ч. 2. 2009. С. 23-27.
8. Hiroyuki F. and etc. Shinya Kusunoki, Akira Nakomori, Kenji Hiraga. J. Appl. Phys., 100, 024 905 (2006).

Referenses

1. Kaltaev N.S., Sidel'nikova S.V. i dr. Poluchenie teksturirovannyh plenok nitrida alyuminiya metodom termohimicheskoy nitridizacii sapfira // Fizika i tekhnika poluprovodnikov. 2009. T. 43, № 12. S. 1650-1653.
2. Chetvergov M.V. Strukturno-morfologicheskie osobennosti nitrida alyuminiya v zavisimosti ot uslovij polucheniya: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.27.06 / S.-Peterb. gos. elektro-tekhnich. un-t (LETI). Sankt-Peterburg, 2000. 16 s.
3. Molekulyarno-luchevaya epitaksiya i geterostrukturny / [L. Esaki, B.A. Dzhojs, R. Hekingbottom i dr.]; Pod red. L. Chenga, K. Ploga; Per. s angl. pod red. Zh.I. Alferova, YU.V. Shmarceva. M.: Mir, 1989. 582 s.
4. Kaya K., Shibata Y. and etc. // Jpn.J. Appl. Phys., 36, 1997, p. 2837.
5. Ajnspuk N., Bpaun D. Plazmennaya tekhnologiya v proizvodstve SBIS. M.: Mip, 1987. 471 s.
6. Danilin B.S. Primenenie nizkotemperaturnoj plazmy dlya nanoseniya tonkih plenok. M.: Energoatomizdat, 1989. 328 s.
7. Osinskij V.I. Prishchepa N.P. Nachal'nye stadii epitaksii III-nitridov na sapfire // Tverdotel'naya elektronika. Elektronika i svyaz'. Tematicheskij vypusk «Elektronika i nanotekhnologii». CH. 2. 2009. S. 23-27.
8. Hiroyuki F. and etc. Shinya Kusunoki, Akira Nakomori, Kenji Hiraga. J. Appl. Phys., 100, 024 905 (2006).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 16.04.2022

Одобрена после рецензирования / Revised 23.05.2023

Принята к публикации / Accepted 27.05.2023

© Г.Д. Кардашова, С.У. Ризаханова, М.А. Гитикчиев, С.Р. Алиев, А.И. Ибрагимов, К.М. Муртазалиев, 2023

Сведения об авторах List of Authors

Кардашова Гюльнара Дарвиновна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Дагестанского государственного технического университета.

Gulnara Kardashova – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Physics, Daghestan State Technical University.

Ризаханова Сабина Уруджевна – аспирант кафедры физики Дагестанского государственного технического университета.

Sabina Rizakhanova – PhD Student, Department of Physics, Daghestan State Technical University.

Гитикчиев Магомед Ахмедович – научный сотрудник НИИ «Микроэлектроника и нанотехнологии» Дагестанского государственного технического университета.

Magomed Gitikchiev – Researcher, Research Institute «Microelectronics and Nanotechnology», Daghestan State Technical University.

Алиев Саад Раикович – студент факультета нефти, газа и природообустройства Дагестанского государственного технического университета.

Saad Aliev – Student of the Faculty of Oil, Gas and Environmental Engineering, Daghestan State Technical University.

Ибрагимов Анвар Исламович – студент факультета радиоэлектроники, телекоммуникаций и мультимедийных технологий Дагестанского государственного технического университета.

Anvar Ibragimov – Student of the Faculty of Radioelectronics, Telecommunications and Multimedia Technologies, Daghestan State Technical University.

Муртазалиев Курбан Магомедсаидович – студент факультета радиоэлектроники, телекоммуникаций и мультимедийных технологий Дагестанского государственного технического университета.

Kurban Murtazaliev – Student of the Faculty of Radioelectronics, Telecommunications and Multimedia Technologies, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Кардашова Г.Д., Ризакханова С.У., Гитикчиев М.А., Алиев С.Р., Ибрагимов А.И., Муртазалиев К.М.* Характеристики пленок нитрида алюминия, сформированных на сапфире ионно-плазменным методом // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 2. С. 23 – 29. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-23-29.

For citation: *Kardashova G.D., Rizakhanova S.U., Gitikchiev M.A., Aliev S.R., Ibragimov A.I., Murtazaliev K.M.* Characteristics of aluminum nitride films formed on sapphire by the ion-plasma method // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 23 – 29. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-23-29.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ГАЗОПАРОВОГО ЦИКЛА В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

С.А. Каргин, А.Д. Ибадуллаев, П.А. Дорохов
Астраханский государственный технический университет, Астрахань
414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, стр. 16/1
serjxxx@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматривается организация рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания, направленная на увеличение экологической безопасности и степени использования внутренней энергии рабочего тела с целью повышения энергетической эффективности и экологической безопасности судовых, стационарных и транспортных двигателей и возможности повышения эффективности рабочего цикла двигателей внутреннего сгорания. Предложена методика расчета ожидаемых показателей предлагаемой технологии организации рабочего процесса, расчет необходимого количества воды. Давление в цилиндре после окончания парообразования определено с использованием парциальных давлений. Наличие водяного пара в отработавших газах может способствовать упрощению их очистки при борьбе с вредными выбросами. Результаты расчетов, проведенных по предложенной методике, позволяют ожидать повышение среднего эффективного давления на величину от 15 % до 35 % в зависимости от момента впрыска воды.

Ключевые слова: двигатели внутреннего сгорания, тепловая энергия, водяной пар, рабочий цикл двигателя, парциальные давления.

Abstract. The article discusses the organization of the working process of internal combustion engines, aimed at increasing environmental safety and the degree of use of the internal energy of the working fluid in order to increase the energy efficiency and environmental safety of ship, stationary and transport engines and the possibility of increasing the efficiency of the working cycle of internal combustion engines. A method for calculating the expected indicators of the proposed technology for organizing the workflow is proposed, as well as the calculation of the required amount of water. The pressure in the cylinder after the end of vaporization is determined using partial pressures. The presence of water vapor in the exhaust gases can help to simplify their cleaning in the fight against harmful emissions. The results of calculations carried out according to the proposed method allow us to expect an increase in the average effective pressure by 15% to 35%, depending on the moment of water injection.

Key words: internal combustion engines, thermal energy, water vapor, engine duty cycle, partial pressures.

Введение

Современные тенденции развития судовых энергетических установок коммерческого флота прямо показывают, что на большинстве видов судов будут доминировать поршневые

двигатели внутреннего сгорания (ДВС), преимущественно дизели [1]. Основная научная идея исследования – увеличение степени использования тепловой энергии рабочего тела с целью повышения энергетической эффек-

Однако использовать мы можем не всю эту теплоту, а только теплоту до температуры в точке впрыска воды. Расширение в предлагаемом цикле проходит до какого-то давления в точке b , которое неизвестно. Для решения этой проблемы применен метод последовательных приближений. Принято давление P_b такое же, как в цикле Тринклера, определена располагаемая теплота, рассчитано количество воды, определены параметры конца процесса расширения, после чего скорректировано P_b и повторно проведено расчетно-аналитическое исследование [4].

Впрыск воды необходимо осуществлять немного позже момента достижения максимальной температуры цикла. Расчет проводился для четырехтактного высокооборотного (1500 об/мин) двигателя. При расчете выбрано несколько моментов впрыска воды: 380, 390 и 400 градусов поворота коленчатого вала (°п.к.в.).

Для построения диаграммы цикла был проведен тепловой расчет показателей рабочего цикла, после чего произведено отображение полученной теоретической индикаторной диаграммы в координаты $T-s$.

В ходе исследования была предложена методика, позволяющая теоретически определить ожидаемые показатели предлагаемого цикла, которая базируется на методике Гриневецкого-Мазинга, при этом внесены изменения в расчет процесса расширения в соответствии с описанной выше идеализацией.

Количество располагаемой теплоты $q_{расп}$ определено по площади диаграммы в координатах $T-s$. В выбранных точках впрыска воды количество располагаемой теплоты будет различным $Q_w = q_w \cdot \mu_{газ}$. Буква w в обозначении здесь и далее символизирует воду – «water».

Теплота для нагрева воды до температуры кипения $Q_{кип} = c \cdot m \cdot (T_{кип} - T_{воды})$, кДж / кг.

Теплота для испарения воды после нагрева ее до температуры кипения

$$Q_{испар} = r \cdot m, \text{кДж.}$$

Таким образом, количество теплоты

$$Q_w = Q_{кип} + Q_{испар} = c \cdot m \cdot (T_{кип} - T_{воды}) + r \cdot m = m \cdot (c \cdot (T_2 - T_1) + r), \text{кДж.}$$

Отсюда количество воды:

$$T = Q_w / (c \cdot (T_{кип} - T_{воды}) + r), \text{кг}$$

Отличие предлагаемого цикла от цикла Тринклера заключается в протекании процесса расширения [5]. В момент впрыска воды произойдет практически мгновенное парообразование, снизится температура, увеличится количество рабочего тела с изменением параметров его состояния. Как будет проходить кривая процесса парообразования, мы не можем предположить, поэтому при проведении расчетов была принята некоторая идеализация процесса: считалось, что впрыск воды и парообразование происходят мгновенно. При такой идеализации термодинамическая система после окончания парообразования скачкообразно перейдет в новое состояние с новыми параметрами p, V, T, M и пр.

Для того чтобы определить, как изменится давление в цилиндре в момент впрыска воды, необходимо определить объем получаемого пара. Как уже указывалось выше, парообразование при повышенном давлении происходит с меньшими удельными объемами образующегося пара, чем при атмосферном давлении.

Согласно первому началу термодинамики изменение внутренней энергии при переходе в новое состояние равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе. Так как мы приняли, что парообразование происходит мгновенно, то перемещения поршня нет, следовательно, работа внешних сил равна нулю. Таким образом, парообразование приводит к уменьшению внутренней энергии продуктов сгорания в цилиндре и увеличению на такую же величину энергии пара, то есть парообразование должно привести к изменению внутренней энергии: уменьшению внутренней энергии продуктов сгорания в цилиндре и увеличению на такую же величину энергии пара. Так как извне энергия не поступала, то энтропия не изменилась и изменение внутренней энергии должно привести к снижению температуры продуктов сгорания.

Теплота Q_w , пошедшая на изменение внутренней энергии определена ранее. Изменение внутренней энергии $\Delta U = Q_w = c_v \cdot \Delta T_w$, откуда $\Delta T_w = Q_w / c_v$.

Температура рабочего тела в новом состоянии $T_w' = T_w - \Delta T_w$.

Таким образом, известные нам параметры в новом состоянии: P_w [Мпа], V_w [м³], T_w [К], $\mu_{\text{пар}}$ [моль].

Согласно закону парциальных давлений, общее давление смеси газов, равно сумме парциальных давлений газов, составляющих смесь. Парциальное давление продуктов сгорания в выбранных точках впрыска известно из построенной по результатам расчета теоретической диаграммы. Парциальное давление пара можно определить по уравнению Менделеева-Клапейрона

$$P_{\text{пар}} = \mu_{\text{пар}} \cdot R \cdot T_w$$

Чтобы определить характер протекания политропы расширения после окончания парообразования, необходимо определить новый показатель политропы.

Полная теплоемкость смеси газов представляет собой сумму теплоемкостей газов, составляющих смесь. Поэтому к выражению для определения средней мольной теплоемкости продуктов сгорания, использованному при расчете показателей цикла необходимо прибавить среднюю мольную теплоемкость водяного пара, умножив обе теплоемкости соответственно на объемные доли продуктов сгорания и водяного пара.

Было предпринято поисковое исследование с целью определения количества воды, которое максимально снизит температуру в конце расширения. Для того, чтобы избежать конденсации в выпускном тракте обычно температуру уходящих газов принимают равной 200 °С (473 К). Расчет проводился применительно к двигателю типа Ч 9,5/11, который имеет объем цилиндра 0,78 литра.

Поисковый расчет показал, что в данном объеме цилиндра при впрыске воды на 400° п.к.в. внутренняя энергия продуктов сгорания достаточна для того, чтобы испарить около 5 кг воды. Давление в цилиндре достигнет 18 МПа при снижении температуры отработавших газов, в конце процесса расширения до 473 К. Максимальное давление сгорания в серийном двигателе составляет 7,4 МПа.

То есть, впрыск воды позволит значительно повысить использование тепловой энергии продуктов сгорания, однако в пределах существующего кривошипно-шатунного

механизма преобразовать ее полностью в механическую не удастся. Кроме того, технически будет весьма сложно осуществить впрыск такого количества воды в приемлемое время.

Объем впрыскиваемой воды в данном случае значительно превышает объем цилиндра. Поэтому впрыск такого количества воды возможен только после завершившегося парообразования уже впрыснутых порций воды, то есть впрыск растягивается по времени. С ростом количества пара значительно возрастает давление в цилиндре. Чтобы продолжать впрыск оставшейся порции необходимо превышать давление в цилиндре с целью получения удовлетворительного распыливания воды, иначе процесс парообразования затянется, так как крупные капли дольше будут прогреваться, перед тем как превратиться в пар. Технически сложно обеспечить такое давление впрыска. Такая величина давления рабочего тела в цилиндре приведет к чрезмерному росту механических нагрузок. Кроме того, при таких давлениях возможен прорыв пара через поршневые кольца, смывание им масляной пленки со стенок цилиндра и последующее обводнение моторного масла.

Поэтому целесообразно определить такое количество впрыскиваемой воды, при котором давление в цилиндре, исходя из условий длительной прочности деталей кривошипно-шатунного механизма, не поднималось бы выше максимального давления сгорания.

Согласно проведенным расчетам можно ожидать повышение мощности двигателя, работающего по предлагаемому циклу: при впрыске воды на 380° п.к.в. – прирост на 15,76 %; на 390° п.к.в. – прирост на 26,23 %; на 400° п.к.в. – прирост на 35,06 % [6].

Полученные результаты показывают, что наибольший эффект дает более поздний впрыск воды из трех предложенных моментов впрыска. Вероятно, это вызвано следующим: после достижения максимальной температуры сгорания продукты сгорания в цилиндре имеют наибольшую работоспособность в связи с высокой температурой. По мере расширения и совершения работы продукты сгорания теряют свою работоспособность, но при этом еще обладают значительной внутренней энергией.

Однако, увеличившийся объем цилиндра не позволяет эффективно ее преобразовывать в механическую, так как давление в цилиндре снижается. Подавая воду в этот момент, мы преобразуем внутреннюю энергию продуктов сгорания в потенциальную энергию водяного пара и, тем самым, повышаем давление в цилиндре, что приводит к увеличению работы. При подаче воды сразу после достижения максимальной температуры сгорания мы недополучим работу от продуктов сгорания, переводя ее сразу в энергию водяного пара.

Также анализ результатов расчета показал, что нет смысла стремиться к расширению полученной парогазовой смеси до как можно более низких значений, так как, выигрывая в повышении полноты диаграммы в начале расширения, мы теряем при снижении давления в конце расширения. Поэтому целесообразно проводить расширение до давления конца процесса расширения как в серийном дизеле, может быть даже остановиться на более высоком давлении. Ведь повышение степени использования теплоты достигнуто – снижена температура продуктов сгорания в течение процесса расширения, то есть эта теплота использована в цикле, а не теряется в систему охлаждения. Также при этом достигается увеличение механической работы. В цикле Тринклера эта теплота была бы не использована. Поэтому можно проводить расширение и до более высоких давлений с целью большего преобразования тепловой энергии продуктов сгорания в потенциальную энергию пара. При этом повышенное давление в цилиндре произведет больше механической работы.

Потери с отработавшими газами даже при повышенном давлении в конце процесса расширения в предлагаемом цикле будут меньше, чем в цикле Тринклера, так как теплота, затраченная на увеличение полноты диаграммы, в цикле Тринклера выбрасывается с отработавшими газами, а в предлагаемом цикле она использована на увеличение работы цикла.

Предлагаемый впрыск воды в конце процесса сгорания позволит повысить энергетическую эффективность двигателя без значительного усложнения его основных элементов.

В связи с наличием водяного пара в отработавших газах может быть упрощена очистка газов. Известен метод жидкостной нейтрализации отработавших газов, являющийся наиболее простым и экономичным способом физико-химического воздействия на отработавшие газы и применяющийся в скрубберах. Скрубберы – аппараты различной конструкции для промывки жидкостями газов с целью их очистки и для извлечения одного или нескольких компонентов. Жидкостная очистка заключается в пропускании отработавших газов через слой рабочей жидкости или в распыливании рабочей жидкости в потоке отработавших газов. При этом в качестве рабочей жидкости чаще всего используется вода. Вода интенсивно поглощает CO_2 и NO_2 , твердые частицы, оксиды серы, альдегиды и другие водорастворимые компоненты отработавших газов [7, 8, 9]. В предлагаемой технологии организации рабочего процесса водяной пар, содержащийся в отработавших газах, может стать аналогом распыленной рабочей жидкости. Эффективность нейтрализации газообразных компонентов отработавших газов может повыситься вследствие более длительного в сравнении с системами жидкостной нейтрализации контакта с отработавшими газами рабочей жидкости, роль которой играет в данном случае конденсирующийся водяной пар.

Заключение

Необходимо отметить, что при повышении давления конца процесса расширения возрастет работа на очистку цилиндра от отработавшего рабочего тела. Также повышение давления конца процесса расширения приведет к увеличению коэффициента остаточных газов, значит и к ухудшению наполнения и последующего сгорания [10]. Тут, возможно, стоит решить оптимизационную задачу, чтобы увеличение затрат на очистку цилиндра не приводило к съеданию прироста работы процесса расширения. Однако на данном этапе корректно ее провести мы не сможем, так как нет методики расчета процесса расширения с вложенным в него парообразованием, дающей достоверные результаты.

Поэтому целесообразно оптимизацию отложить на период проведения эксперимента.

То есть можно решить оптимизационную задачу в ходе проведения экспериментальных исследований, после чего предложить методику расчета и провести расчетную оптимизацию.

Повышенное давление отработавшего рабочего тела может быть полезно для турбокомпаунда. Турбина при этом уже будет ближе к паровой. Импульсы в выхлопном тракте уже не будут так важны, поэтому турбина должна

быть не радиально-осевой, а осевая. То есть система будет не импульсная, а изобарная.

Согласно проведенным расчетам можно ожидать повышение мощности двигателя, работающего по предлагаемому циклу: при впрыске воды на 380 °п.к.в. – прирост на 15,76 %; на 390 °п.к.в. – прирост на 26,23 %; на 400 °п.к.в. – прирост на 35,06 %.

Библиографический список

1. Конкс Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. М.: Машиностроение, 2005. 512 с.
2. Возницкий И.В., Пунда А.С. Судовые двигатели внутреннего сгорания. М.: МорКнига, 2008. 283 с.
3. Каргин С.А., Дорохов А.Ф. Повышение энергетической эффективности и экологической безопасности поршневых двигателей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 4. С. 60-70.
4. Тер-Мкртчян Г.Г. Двигатели внутреннего сгорания с нетрадиционными рабочими циклами: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2015. 80 с.
5. Архангельский В.М., Вихерт М.М., Воинов А.Н. и др. Автомобильные двигатели / Под ред. М.С. Ховаха. М.: Машиностроение, 1977. 591 с.
6. Каргин С.А. Увеличение степени использования тепловой энергии рабочего тела поршневых двигателей // Каспий в цифровую эпоху: материалы национальной научно-практической конференции с международным участием (27 мая 2021 г., Астрахань). Астрахань: АГУ, 2021. С. 101-106.
7. Семикин В.М. Анализ области применения жидкостной нейтрализации отработавших газов дизелей // Автомобильный транспорт. 2008. Вып. 22. С. 128–131.
8. Курников А.С. Использование воды для очистки отработавших газов судовых дизелей // СИБИКО Интернешнл. 2004. С. 623–624.
9. Арефьев Н.Н. Комплексная нейтрализация отработавших газов судовых дизельных двигателей. Н. Новгород, 2019. 118 с.
10. Дьяченко Н.Х., Костин А.К. и др. Теория двигателей внутреннего сгорания / Под ред. Н.Х. Дьяченко. Л.: Машиностроение, 1974. 552 с.

Referenses

1. Konks G.A., Lashko V.A. Mirovoe sudovoe dizelestroenie. Konceptii konstruirovaniya, analiz mezhdunarodnogo opyta. M.: Mashinostroenie, 2005. 512 s.
2. Voznickij I.V., Punda A.S. Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya. M.: MorKniga, 2008. 283 s.
3. Kargin S.A., Dorohov A.F. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti porshnevyyh dvigatelej // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2019. № 4. S. 60-70.
4. Ter-Mkrтч'yan G.G. Dvigateli vnutrennego sgoraniya s netradicionnyimi rabochimi ciklami: ucheb. posobie. M.: MADI, 2015. 80 s.
5. Arhangel'skij V.M., Vihert M.M., Voinov A.N. i dr. Avtomobil'nye dvigateli / Pod red. M.S. Hovaha. M.: Mashinostroenie, 1977. 591 s.
6. Kargin S.A. Uvelichenie stepeni ispol'zovaniya teplovoj energii rabochego tela porshnevyyh dvigatelej // Kaspij v cifrovuyu epohu: materialy nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastie (27 maya 2021 g., Astrahan'). Astrahan': AGU, 2021. S. 101-106.
7. Semikin V.M. Analiz oblasti primeneniya zhidkostnoj nejtralizacii otrabotavshih gazov dizelej // Avtomobil'nyj transport. 2008. Vyp. 22. S. 128–131.
8. Kurnikov A.S. Ispol'zovanie vody dlya ochistki otrabotavshih gazov sudovyh dizelej // SIBIKO Interneshnl. 2004. S. 623–624.
9. Aref'ev N.N. Kompleksnaya nejtralizaciya otrabotavshih gazov sudovyh dizel'nyh dvigatelej. N. Novgorod, 2019. 118 s.

10. D'yachenko N.H., Kostin A.K. i dr. Teoriya dvigatelej vnutrennego sgoraniya / Pod red. N.H. D'yachenko. L.: Mashinostroenie, 1974. 552 s.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 11.05.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 21.06.2023

Принята к публикации / Accepted 23.06.2023

© С.А. Каргин, А.Д. Ибадуллаев, П.А. Дорохов, 2023

Сведения об авторах

List of Authors

Каргин Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры судостроение и энергетические комплексы морской техники Астраханского государственного технического университета.

Sergey Kargin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering, Astrakhan State Technical University.

Ибадуллаев Адель Дамирович – ассистент кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники, Астраханский государственный технический университет.

Adel Ibadullaev – Assistant of the Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering, Astrakhan State Technical University.

Дорохов Павел Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры судостроения и энергетических комплексов морской техники, Астраханский государственный технический университет.

Pavel Dorokhov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Shipbuilding and Energy Complexes of Marine Engineering, Astrakhan State Technical University

Ссылка для цитирования: *Каргин С.А., Ибадуллаев А.Д., Дорохов П.А.* Методика расчета термодинамических процессов при организации газопарового цикла в двигателе внутреннего сгорания // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 2. С. 30 – 36. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-30-36.

For citation: *Kargin S.A., Ibadullaev A.D., Dorokhov P.A.* Method of calculation of thermodynamic processes in the organization of a gas-steam cycle in an internal combustion engine // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 30 – 36. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-30-36.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ДИЗЕЛЬНЫХ ФОРСУНОК С ПОМОЩЬЮ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ «ДИЗЕЛЬ-ЭКО»

М.С. Бугаков, Б.А. Хивинцев, Р.Е. Шутемов, В.А. Соха
Енисейский многопрофильный техникум, Енисейск
663180, Россия, Красноярский край, г. Енисейск, ул. Худзинского, 73
emt-24@mail.ru

Аннотация. Установлена зависимость частоты звуковой волны, создаваемой распылителем топлива форсунки дизельного двигателя в момент впрыска, от качества распыления. Установлено, что исправная дизельная форсунка работает при частоте от 17 до 21 КГц, а неисправная – от 4 до 12 КГц. Это делает возможным реализацию простого, доступного и эффективного способа диагностики механических дизельных форсунок с помощью ультразвука. Разработано мобильное приложение, позволяющее анализировать спектр частот звука работающего дизельного двигателя и выводить на экран смартфона запись о рабочем состоянии форсунки в зависимости от качества распыления топлива. Разработанный метод позволяет без разбора дизельного двигателя определить качество распыления и сгорания топлива, что позволяет ускорить его диагностику и улучшить экологию окружающей среды.

Ключевые слова: анализ спектра звука, выхлопной газ, диагностика, дизельный двигатель, приложение, распыление топлива, ультразвук, форсунка, частота, экология.

Abstract. The dependence of the frequency of the sound wave emitted by the fuel atomizer of the diesel engine injector at the moment of injection on the quality of the atomization has been established. It has been established that a serviceable diesel injector operates at a frequency of 17 to 21 kHz, and a faulty one - from 4 to 12 kHz. This makes it possible to implement a simple, affordable and effective method for diagnosing mechanical diesel injectors using ultrasound. A mobile application has been developed that allows analyzing the sound frequency spectrum of a running diesel engine and displaying a record of the injector operating state on a smartphone screen depending on the quality of fuel atomization. The developed method allows indiscriminately determining the quality of atomization and combustion of fuel in a diesel engine, which makes it possible to speed up its diagnostics and improve the environmental ecology.

Key words: sound spectrum analysis, exhaust gas, diagnostics, diesel engine, application, fuel atomization, ultrasound, injector, frequency, ecology.

Введение и постановка задач

В современном мире обостряются экологические проблемы, которым не всегда уделяется достаточного внимания со стороны предприятий и общественности. Но есть и такие проблемы, о которых знают все, но меры принимаются на глобальном, а не частном уровне. Авторы статьи решили внести свой вклад в улучшение экологической обста-

новки через усовершенствование диагностики двигателей отечественных дизельных автомобилей с механическими форсунками. Исследования были выполнены в рамках конкурса «Юный техник-изобретатель Енисейской Сибири», который проводит «Красноярский краевой фонд науки».

Известно, что диагностирование механической форсунки дизельного двигателя с це-

люю определения качества распыления топлива, возможно при полной разборке двигателя с использованием специального оборудования, испытательных стендов, при значительных трудозатратах специалистов [1, 2]. Эти процедуры не всегда проводятся автомеханиками из-за их трудоемкости, однако качество распыления (факела) форсунки влияет на расход топлива, экономичность работы двигателя и экологичность грузового автомобиля [3, 4].

Отталкиваясь от конструкции форсунки, авторы предположили, что она при работе в момент впрыска топлива должна издавать звуки определенной частоты. Необходимо было выяснить, есть ли прямая зависимость частоты издаваемого звука во время работы форсунки и качества распыления дизельного топлива. Если такая зависимость выявится, то необходимо разработать метод диагностики форсунки дизельного двигателя, который позволил бы повысить производительность диагностирования за счет автоматизированного измерения частоты звука с помощью разработанной программы.

Таким образом, исходя из сформулированной цели, между авторами разработки были распределены для выполнения следующие задачи исследования:

1. Анализ статистических данных о неисправных дизельных автомобилях для выяснения масштаба проблем их неисправностей и экологических последствий от неправильного

распыления топлива форсунками двигателей.

2. Подбор необходимого для тестирования форсунок оборудования.

3. Изучение спектра частот звуков, издаваемых неисправной и исправной форсунками, их сопоставление, определение граничных значений частот, поиск эффективных средств измерения частоты.

4. Поиск программного обеспечения для анализа частот и разработка приложения для смартфона на платформе *Android*, с помощью которого каждый владелец автомобиля, автомеханик сервисного обслуживания или просто любопытный человек смогут самостоятельно за несколько минут продиагностировать все форсунки двигателя.

Анализ автопарка механических дизелей

Для выяснения актуальности разработки и масштабов проблем с топливной системой у дизельных автомобилей авторы использовали данные источников [5, 6] по количеству грузовиков «КАМАЗ», выпущенных за период 1980-1995 гг. с дизельным двигателем «КАМАЗ 740» (рисунок 1). За 15 лет с конвейера Камского автомобильного завода сошло 1 425 027 дизельных автомобилей. С учетом среднего срока эксплуатации можно предположить, что на сегодняшний день все еще эксплуатируется около 30% от общего числа выпущенных дизелей, а это около 427 508 грузовиков.



Рисунок 1 – Производство грузовиков КАМАЗ с 1980 по 1995 годы [1]

В среднем, один автомобиль КАМАЗ с исправным двигателем и форсунками потребляет 25 л топлива на 100 км пути. При одной неработающей форсунке, этот показатель увеличивается на 12,5%, а это примерно 3,1 л на 100 км. И машин с неработающими или плохо работающими форсунками довольно много. Наблюдение за цветом выхлопных газов дизельных автомобилей только в городе Енисейск, через который проходят маршруты лесозаготовителей, показало, что каждый 5-й лесовоз «КАМАЗ», имеет черный цвет выхлопных газов. Черный дым говорит о недогоревшем топливе, в том числе из-за неисправной работы форсунок топливной системы механического дизельного двигателя (примерно 10% из общего числа эксплуатируемых автомобилей). Несложные расчеты использования топлива ($427\ 508 \times 10\% \times 3,1 = 132\ 527,48$) показывают, что на каждые 100 км пути сжигается, по меньшей мере, на 132 527 л топлива больше, чем может быть при исправных форсунках, а в день подобные машины могут проезжать до 500 км.

Эти цифры отражают только часть масштабной проблемы. Ведь кроме автомобилей «КАМАЗ», в нашей стране механические дизельные двигатели установлены и эксплуатируются на автомобилях марок «УРАЛ», «МАЗ», на различной специальной технике, тракторах, бульдозерах, экскаваторах, дизельных генераторах и компрессорах. И вся эта техника требует серьезного вмешательства для оценки качества работы той или иной топливной форсунки.

Таким образом, разработка метода диагностики с последующим ремонтом неисправных форсунок позволит не только сэкономить значительное количество топлива, но и внесет вклад в сохранение окружающей среды и стабилизацию экологической обстановки.

Экспериментальные исследования и результаты

Были проведены исследования частоты звуков, издаваемых форсункой при работе дизельного двигателя. Сначала замеры частоты звука выполнялись с помощью фиксации на выносной микрофон ноутбука, затем было

принято решение, отказавшись от громоздкого способа, перейти на измерения частоты с помощью встроенного микрофона мобильного устройства – смартфона.

Во время исследований звука выяснилось, что существует прямая зависимость между частотой издаваемого звука во время работы форсунки и качеством распыления дизельного топлива. Нормально работающая форсунка в момент впрыска издает звуковые волны частотой, близкой к ультразвуку.

Напомним, что ультразвук – это звуковые волны высокой частоты (выше 15 – 20 КГц), которые практически не воспринимаются человеческим ухом, но чувствительные приборы способны его распознать и оценить [7, 8]. Ультразвук нашел довольно широкое применение в современном мире, его свойства применяют в промышленности, медицине и даже в быту для приготовления смесей: краски, лаки, грунты, лекарства, косметика. Ультразвук помогает смешивать несмешиваемые или плохо смешиваемые жидкости, например, воду и масло, позволяет получить эмульсию без температурных и физических воздействий, это очень важно во многих видах производств [9, 10].

При исследовании частот как на стенде в помещении без лишних шумов, так и на работающем двигателе (здесь спектр разных частотных звуковых волн намного шире) было обнаружено, что во время срабатывания исправной механической форсунки распространяются ультразвуковые волны частотой от 17 до 19, иногда до 21 КГц.

Использовалось оборудование в виде стенда, на который устанавливается форсунка. С помощью плунжера, приводимого в действие вручную рычагом, создается давление, и в определенный момент происходит срабатывание форсунки. Удалось в экспериментальных условиях сравнить показатели, полученные на работающем автомобиле, с показателями, полученными на стенде, где помимо давления срабатывания, наблюдается факел распыла. Давление, при котором срабатывает форсунка и факел распыла, говорят о ее состоянии. Если в момент срабатывания форсунки измерить частоту звука в топливном трубопроводе, то можно установить зависимость качества распыления дизельного топли-

ва и частоты звуковой волны, издаваемой распылителем форсунки в момент впрыска.

Видеозапись экрана приложения *Spectrum* для анализа частотного спектра звука позволила зафиксировать пиковые частоты в мо-

менты впрыска топлива. На рисунках 2, 3 и 4 показаны информативные скрины с экрана приложения *Spectrum* для неисправной форсунки, форсунки с недостаточным распылом и исправной форсунки.

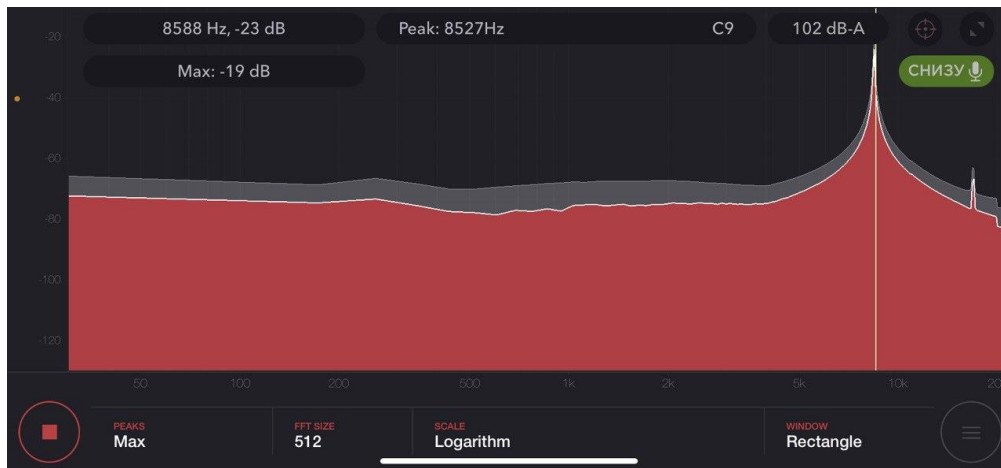


Рисунок 2 – Неисправная форсунка (максимальная частота 8588 Гц)



Рисунок 3 – Форсунка с плохим распылом (максимальная частота 12 425 Гц)

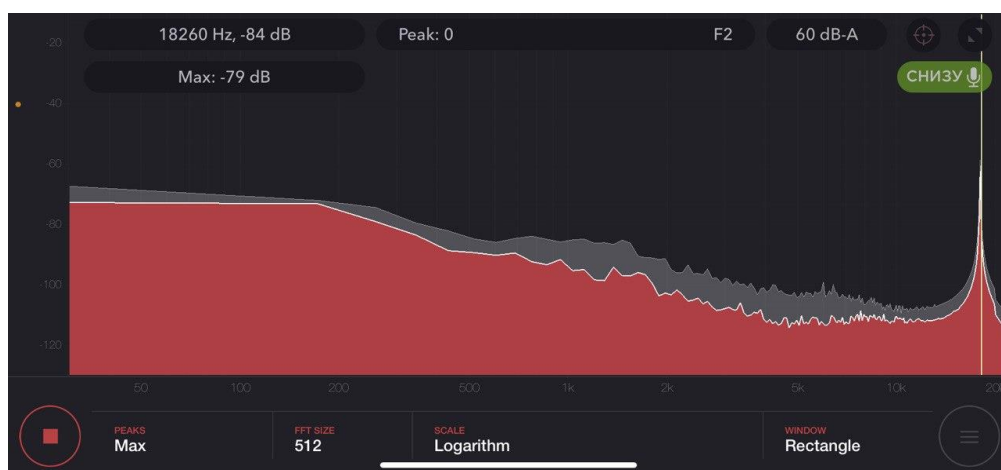


Рисунок 4 – Исправная форсунка (максимальная частота 18 260 Гц)

Экспериментальным путем были установлены интервалы частот ультразвука, при которых форсунка была исправной (17 – 21 КГц), форсунка давала плохой распыл (12 – 17 КГц) и форсунка была неисправной (ниже 12 КГц). Эти диапазоны частот были заложены в программу при проектировании мобильного приложения «Дизель-ЭКО». Приложение име-

ет удобное меню, понятный интерфейс, практичный дизайн и может быть освоен пользователем за короткое время. Оно реализовано для смартфонов, работающих под управлением платформы *Android*. На рисунке 5 показаны варианты выводимых приложением на экран результатов.



Рисунок 5 – Варианты результатов измерений частоты в приложении «Дизель-ЭКО»

Разработана инструкция пользователя, в котором приведены рекомендации по взаимодействию с приложением. Работа с приложением «Дизель-ЭКО» происходит по следующему алгоритму:

- пользователь запускает двигатель и открывает капот (или поднимает кабину) автомобиля для непосредственного доступа к двигателю;

- пользователь запускает приложение «Дизель-ЭКО», затем нажимает кнопку записи;

- подносит смартфон к топливopроводу измеряемой форсунки и прикладывает телефон к нему той стороной, где расположен микрофон;

- ожидает 10 – 15 с, пока идет запись звуковых колебаний;

- после этого убирает телефон от двигателя и останавливает запись;

- на экране в этот момент должна отображаться максимальная частота звука, достигнутая за время текущей записи;

- на основе результатов приложение должно самостоятельно определить состояние форсунки (исходя из диапазона частот) и рядом с числовым показателем вывести один из вариантов заключения: полностью рабочая, плохой распыл, не работает.

Заключение

Таким образом, в статье приведены результаты исследования проблемы, возникающей с распылением и сгоранием топлива в дизельных двигателях. Авторам удалось установить экспериментальным путем, что ис-

правная дизельная форсунка работает при частоте от 17 до 21 КГц, а неисправная – от 4 до 12 КГц. Разработан доступный и быстрый метод автоматизированной диагностики механических дизельных форсунок с помощью ультразвука. Разработано техническое задание для создания мобильного приложения, позволяющего анализировать спектр частот звука работающего дизельного двигателя и вывести на экран смартфона запись о рабочем

состоянии форсунки в зависимости от качества распыления топлива.

Исследования выполнены при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках «Межрегионального конкурса юных техников-изобретателей Енисейской Сибири», заявка 2022111809097.

Библиографический список

1. Троицкая А.Д., Муратов А.В. Особенности топливных систем транспортных дизельных двигателей // Наука и образование транспорту. 2022. № 1. С. 124-126.
2. Никоноров А.Н., Леонтьев С.А. Методы технического диагностирования дизельного двигателя // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 42. С. 731-734.
3. Севостьянов В.А., Третьяков Д.В., Горскин Д.В., Мухин В.П., Борзунов А.А. Анализ методов поиска неисправностей в топливной системе дизельных двигателей // Студенческий вестник. 2021. № 17-6 (162). С. 99-101.
4. Исаков С.Т. Топливная система дизельного двигателя и комплексный метод его диагностики и ремонта // Актуальные проблемы гуманитарных и социально-экономических наук. 2020. № 4 (75). С. 4-9.
5. Заводы терпят убытки (Камаз): сайт Дзен. [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://dzen.ru/a/XduGYSbhG1QWq2W/> (дата обращения 10.04.2023).
6. Маврин А.И., Мухамедшина Ф.А. Анализ российского рынка продаж грузовых автомобилей и перспектив развития производства и продаж грузовых коммерческих автомобилей «КАМАЗ» // Общество, государство, личность: молодежное предпринимательство в поведенческой экономике: матер. XIX межвуз. научн.-практ. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. Ч. 2. (Казань, 19 апр. 2019 г.). Казань: Изд. Ун-т управления ТИСБИ, 2019. С. 10-18.
7. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Шалунова А.В. Ультразвуковое распыление жидкостей: монография. Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2010. 272 с.
8. Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Шалунов А.В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2010. 203 с.
9. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Левин С.В. Источники ультразвукового воз-действия. Особенности построения и конструкции. Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2013. 196 с.
10. Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Хмелев С.С., Цыганок С.Н. Ультразвук. Аппараты и технологии: монография. Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2015. 688 с.

References

1. Troickaya A.D., Muratov A.V. Osobennosti toplivnyh sistem transportnyh dizel'nyh dvigatelej // Nauka i obrazovanie transportu. 2022. № 1. S. 124-126.
2. Nikonorov A.N., Leont'ev S.A. Metody tekhnicheskogo diagnostirovaniya dizel'nogo dvigatelya // Innovacii. Nauka. Obrazovanie. 2021. № 42. S. 731-734.
3. Sevost'yanov V.A., Tret'yakov D.V., Gorskin D.V., Muhin V.P., Borzunov A.A. Analiz metodov poiska neispravnostej v toplivnoj sisteme dizel'nyh dvigatelej // Studencheskij vestnik. 2021. № 17-6 (162). S. 99-101.
4. Isakov S.T. Toplivnaya sistema dizel'nogo dvigatelya i kompleksnyj metod ego diagnostiki i remonta // Aktual'nye problemy gumanitarnyh i social'no-ekonomicheskikh nauk. 2020. № 4 (75). S. 4-9.
5. Zavody terpyat ubytki (Kamaz): sajt Dzen. [Elektronnyj resurs]. 2023. URL: <https://dzen.ru/a/XduGYSbhG1QWq2W/> (data obrashcheniya 10.04.2023).
6. Mavrin A.I., Muhamedshina F.A. Analiz rossijskogo rynka prodazh gruzovyh avtomobilej i perspektiv razvitiya proizvodstva i prodazh gruzovyh kommercheskikh avtomobilej «KAMAZ» // Obshchestvo, gosudarstvo, lichnost': molodezhnoe predprinimatel'stvo v povedencheskoj ekonomike: mater. XIX mezhvuz. nauchn.-prakt. konf. studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchenyh. CH. 2. (Kazan', 19 apr. 2019 g.). Kazan': Izd. Un-t upravleniya TISBI, 2019. S. 10-18.

7. Hmelev V.N., Shalunov A.V., Shalunova A.V. Ul'trazvukovoe raspylenie zhidkостей: monografiya. Bijsk: Izd-vo AltGTU, 2010. 272 s.

8. Hmelev V.N., Slivin A.N., Barsukov R.V., Cyganok S.N., Shalunov A.V. Primenenie ul'trazvuka vysokoj intensivnosti v promyshlennosti. Bijsk: Izd-vo AltGTU, 2010. 203 c.

9. Hmelev V.N., Cyganok S.N., Levin S.V. Istochniki ul'trazvukovogo voz-dejstviya. Osobennosti postroeniya i konstrukcii. Bijsk: Izd-vo AltGTU, 2013. 196 s.

10. Hmelev V.N., Shalunov A.V., Hmelev S.S., Cyganok S.N. Ul'trazvuk. Apparaty i tekhnologii: monografiya. Bijsk: Izd-vo AltGTU, 2015. 688 s.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 19.04.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 12.05.2023

Принята к публикации / Accepted 19.05.2023

© М.С. Бугаков, Б.А. Хивинцев, Р.Е. Шутемов, В.А. Соха, 2023

Сведения об авторах
List of Authors

Бугаков Михаил Сергеевич – мастер производственного обучения по направлению «Автомеханика», Енисейский многопрофильный техникум.

Mikhail Bugakov – Master of Industrial Training in the Direction of Automechanics, Yenisei Multidisciplinary Technical School.

Хивинцев Богдан Алексеевич – студент 2 курса по профессии «Слесарь по ремонту строительных машин», Енисейский многопрофильный техникум.

Bogdan Khivintsev – 2 year Student of the Profession Mechanic for the Repair of Construction Machines, Yenisei Multidisciplinary Technical School.

Шутемов Роман Евгеньевич – студент 1 курса по профессии «Слесарь по ремонту строительных машин», Енисейский многопрофильный техникум.

Roman Shutemov – 1 year Student by Profession Mechanic for the Repair of Construction Machines, Yenisei Multidisciplinary Technical School.

Соха Вячеслав Андреевич – студент 1 курса по профессии «Слесарь по ремонту строительных машин», Енисейский многопрофильный техникум.

Vyacheslav Sokha – 1 year Student by Profession Mechanic for the Repair of Construction Machines, Yenisei Multidisciplinary Technical School.

Ссылка для цитирования: Бугаков М.С., Хивинцев Б.А., Шутемов Р.Е., Соха В.А. Ультразвуковая диагностика дизельных форсунок с помощью мобильного приложения «Дизель-эко» // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 2. С. 37 – 43. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-37-43.

For citation: Bugakov M.S., Khivintsev B.A., Shutemov R.E., Sokha V.A. Ultrasonic diagnostics of diesel injectors using the Diesel-eco mobile application // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 37 – 43. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-37-43.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С УЧЕТОМ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Н.Н. Смирнов, В.Ф. Никитин, Д.А. Пестов, С.Е. Цюпаченко
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, 1
ebifsun1@mech.math.msu.su

Аннотация. Работа содержит результаты исследования неравновесного состояния движения транспорта на автомобильных дорогах. Исследуемая модель не ограничивается уравнением неразрывности и эмпирическими соотношениями между плотностью и расходом, она также содержит уравнение, определяющие закон движения транспортных средств, как в продольном направлении, так и закон поперечного перемещения транспортных средств между полосами движения. Модель учитывает свойство самоорганизации автотранспортных потоков, позволяет количественно и качественно описывать условия обеспечения максимальной пропускной способности, возникновение и развитие «подвижных пробок» на дорогах, воздействие регулирующих дорожное движение элементов, в частности, светофоров и препятствий в виде «лежащих полицейских».

Ключевые слова: автомобильный транспорт, плотность потока, пропускная способность, многополосная дорога, пробка, светофор, TVD-подход.

Abstract. The work contains the results of a study of the non-equilibrium state of traffic on roads. The model under study is not limited to the continuity equation and empirical relationships between density and flow rate, it also contains an equation that determines the law of vehicle movement, both in the longitudinal direction, and the law of transverse movement of vehicles between traffic lanes. The model takes into account the property of self-organization of traffic flows, allows quantitatively and qualitatively describing the conditions for ensuring maximum throughput, the emergence and development of «moving traffic jams» on the roads, the impact of traffic-regulating elements, in particular, traffic lights and obstacles in the form of «lying policemen».

Key words: road transport, traffic density, throughput, multi-lane road, traffic jam, traffic light, TVD approach.

Введение

Моделирование потоков автомобильного транспорта позволяет решить следующие задачи, определяющие экономическую эффективность функционирования городской агломерации:

- прогнозирование последствий, вызванных изменениями во внешних транспортных связях;
- определение стратегических направлений развития агломерации и города;
- прогнозирование изменений в работе транспортной системы при введении новых элементов транспортной инфраструктуры;
- оценка влияния строительства новых жилых районов или расположение емкого цен-

тра притяжения посетителей на транспортную систему города;

- прогноз перераспределения потоков транспорта и пассажиров в случае временного закрытия или ликвидации какого-либо элемента транспортной системы;
- оценка влияния на работу системы введения экономических санкций (плата за проезд по магистрали, за въезд в зону центра и т.п.);
- оценка эффекта широкого внедрение автоматизированных систем управления уличным движением;
- прогноз передвижения населения и грузов по городу с выбором путей следования видов транспорта;

- прогноз транспортных потоков при смещениях потокообразующих объектов города;
- выбор альтернативных проектов развития транспортной сети;
- оценка эффективности выделения полос для общественного транспорта.

Далее представлена разработанная модель автотранспортных потоков, которая содержит не только уравнение неразрывности, но и дифференциальное уравнение движения, учитывает ограничения скорости и ускорения транспортного потока, технические характеристики автотранспорта, реакцию водителя на изменения в дорожной обстановке.

Моделирование движения автотранспортного потока

Рассматривается однонаправленный поток машин. Пересечение с другими дорогами и наличие светофоров может учитываться с помощью соответствующих граничных условий. Вводится Эйлерова система координат Ox вдоль автомагистрали в направлении движения потока и время t . Среднюю плотность потока $\rho(x, t)$ определим как отношение площади полосы движения, занятой транспортными средствами, к площади всего рассматриваемого участка полосы движения:

$$\rho = \frac{S_{tr}}{S} = \frac{hn\ell}{hL} = \frac{n\ell}{L},$$

где h – ширина полосы движения, L – длина контрольного участка дороги, ℓ – средняя длина транспортного средства с минимальным расстоянием между стоящими автомобилями, n – количество транспортных средств на контрольном участке.

Так введенная плотность является безразмерной величиной и изменяется в интервале $0 \leq \rho \leq 1$. Введем скорость потока $v = v(x, t)$, которая может изменяться в пределах, $0 \leq v \leq v_{max}^0$, где v_{max}^0 – максимально разрешенная скорость движения на магистрали вне систем регулирования дорожного движения.

Из определений следует, что максимальная плотность $\rho = 1$ соответствует ситуации, когда машины располагаются практически

вплотную («бампер в бампер»). В этом случае естественно принять $v = 0$, т.е. на дороге образовалась «неподвижная пробка».

Для непрерывного потока машин будет иметь место уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0$$

Запишем уравнение динамики транспортного потока, точнее, уравнение изменения режима движения. Режим движения транспортных средств на дороге определяется следующими основными факторами: реакцией водителя на изменение дорожной обстановки и предпринимаемыми им активными действиями, откликом транспортного средства на действия водителя и техническими характеристиками транспортных средств.

При разработке модели динамики транспортных средств приняты следующие предположения:

- в связи с тем, что описывается усредненное движение множества транспортных средств, а не движение отдельного автомобиля, модель оперирует с усредненными характеристиками транспортных средств, не учитывая индивидуальных различий по мощности, инерции, тормозному пути и т.д.;

- предполагается, что все водители адекватно реагируют на изменение дорожной обстановки, например, видя красный цвет сигнала светофора или знак ограничения скорости перед «лежащим полицейским», или скопление машин перед ним, водитель замедляет движение до последующей полной остановки или до допустимой скорости, а не продолжает ускоряться, чтобы впоследствии применить режим экстренного торможения;

- предполагается также, что все водители соблюдают правила дорожного движения, в частности, не превышают максимально допустимого скоростного режима, разрешенного на дороге, и выдерживают безопасный интервал между транспортными средствами в зависимости от скорости движения.

Движения транспорта задним ходом нет. Тогда уравнение изменения скорости запишем в следующем виде:

$$\frac{dv}{dt} = a; \quad a = \max \left\{ -a^-; \min \{ a^+; a' \} \right\};$$

$$a' = \sigma_0 a_\rho + (1 - \sigma_0) \int_0^y \omega(y) a_\rho(t, x + y) dy + \frac{V(\rho) - v}{\tau} \quad a_\rho = - \frac{k^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \Big|_+$$

Здесь a – ускорение транспортного потока; a^+ – максимально возможное ускорение разгона; a^- – ускорение экстренного торможения; величины a^+ и a^- положительны и определяются техническими характеристиками транспортного средства. Параметр $k > 0$, как можно легко показать, перейдя к характеристической форме системы уравнений (1) и (2) [1], является скоростью распространения возмущений («скоростью звука») в транспортном потоке [2, 3, 4].

Параметр τ имеет смысл времени задержки, обусловленной конечностью скорости реакции водителя на изменение дорожной обстановки и техническими характеристиками транспортного средства. Этот параметр отвечает за стремление водителя привести скорость автомобиля в соответствие с максимально безопасной скоростью движения

$$V(\rho) [2]: \quad V(\rho) = \begin{cases} -k \ln \rho, & v < v_{\max}^0 \\ v_{\max}^0, & v \geq v_{\max}^0 \end{cases} \text{ Скорость } V(\rho) \text{ определяется из-за независимости скорости и плотности потока в случае «плоской волны», когда движение начинается при } \rho_0 = 1 \text{ и } v = 0, \text{ при ограничении максимального значения скорости } (v \leq v_{\max}^0).$$

Параметр τ должен принимать разные значения в соответствии с максимально безопасной скоростью движения $V(\rho)$ для плотности потока ρ .

Для определения a_ρ в [5] мы используем производную справа (для потоков слева направо). Если функция $\rho(x)$ - гладкая и не-

прерывная, то это условие неважно. В противном случае нам необходимо добавить определение производной слева $\rho_+ > \rho_-$, $\frac{\partial \rho}{\partial x} \Big|_- = 0$.

Определяющие параметры в (2) будут следующими: $Y = \min \{ Y_0, L - x \}$ - характеристика видимости, зависящая от погодных условий, $\omega(y)$ это «вес» (в терминах математики) потока машин впереди транспортного средства, который влияет на решение водителя об изменении скорости и который мог бы быть определен, например, так:

$$\omega(y) = \frac{\omega_0(y)}{\int_0^Y \omega_0(y) dy}, \quad \omega_0 = \begin{cases} 1, & 0 \leq y \leq Y_0 \\ 0, & y < 0, y > Y_0 \end{cases}$$

σ_0 - безразмерный параметр ($0 \leq \sigma_0 \leq 1$), характеризующий «вес» локальной дорожной ситуации по сравнению с ситуацией на некотором расстоянии впереди автомобиля. В определении ускорения транспортного потока (правая часть уравнения (2)), первое слагаемое отвечает за влияние на поведение водителя локальной ситуации, второе за влияние ситуации вперед по потоку на расстоянии меньшем или равном Y , а третье за стремление водителя привести свою скорость в соответствие с максимально безопасной скоростью $V(\rho)$. Для описания динамики автотранспортного потока по многополосной дороге с учетом перестроений аналогично (1) и (2) получается следующая система квазилинейных уравнений в частных производных:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0;$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{k^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x},$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = - \frac{A^2}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y},$$

Моделирование работы систем регулирования дорожного движения

В модели рассматриваются два популярных средства для регулировки движения автотранспорта по городским дорогам – светофоры и «лежащие полицейские».

Основные параметры работы светофора: длительность сигналов: зеленого t_g , желтого t_y и красного t_r . Для моделирования работы светофора предлагается следующий алгоритм:

В момент переключения зеленого света на желтый вычисляется расстояние,

$$x_r = (v_{max}^0)^2 / (2a_r),$$

где a_r – штатное ускорение торможения меньшее значения экстренного торможения \bar{a} . Транспортные средства, находящиеся от светофора на расстоянии меньшем x_r , не успевают остановиться до светофора со стандартным ускорением торможения a_r , поэтому они проезжают на желтый свет, что не противоречит правилам дорожного движения.

Во время работы желтого сигнала светофора полагаем, что максимальная скорость равна

$$v_{max}^l(x_l) = v_{max}^0 t_{ys} / t_y,$$

где t_{ys} – время, прошедшее сначала работы желтого сигнала, при этом, x_l – точка, перемещающаяся к светофору по закону

$$x_l = L_1 - x_r t_{ys} / t_y,$$

где L_1 – координата места расположения системы регулирования движения (светофора). В результате этого к моменту переключения светофора на красный сигнал машины останавливаются у светофора.

В момент переключения с красного на зеленый сигнал максимально разрешенная скорость проезда светофора будет v_{max}^0 , как и в остальных точках расчетного участка дороги.

Другая система ограничения скорости движения автотранспортного потока, которая обычно называется «лежащими полицейскими», моделируется заданием максимальной скорости движения v_{max} в месте расположения препятствия, значительно меньшей, чем для основного участка дороги – v_{max}^0 . Рас-

сматривается наиболее частый случай двух «лежащих полицейских» на расстоянии d друг от друга. Место расположения одного из них $x = L_1$. Тогда значение максимально разрешенной скорости на расчетном участке дороги $0 \leq x \leq L$ задается следующим образом:

$$v_{max} = \begin{cases} v_p, & x \in \{L_1, L_1 + d\} \\ v_{max}^0, & x \in [0, L] / \{L_1, L_1 + d\} \end{cases}$$

где $v_p < v_{max}^0$ и параметр v_p (максимальная скорость проезда «лежащего полицейского») является одним из основных параметров модели.

Численные расчеты методом TVD

Численное решение поставленных задач осуществлялось с применением TVD-подхода (*Total Variation Diminishing*) со вторым порядком точности [6, 7, 8]. Этот подход связан с построением схем, которые уменьшают или сохраняют полную вариацию функции, не допуская тем самым появления ложных осцилляций.

Основная идея TVD-подхода состоит в том, что расчет ведется всюду со вторым порядком точности, кроме зон с резким изменением параметров, где схема автоматически переключается на первый порядок точности. Этот переход обеспечивается с помощью специальных функций – лимитеров (ограничителей).

При расчетах использованы следующие параметры: $L = 1000$ м – длина расчетной области, $x_0 = 100$ м – длина участка занятого движущимся транспортом в начальный момент времени $t = 0$, $L_1 = 500$ м – расстояние между двумя «лежащими полицейскими», $\rho_0 = 0,1 - 0,5$ – плотность потока автотранспорта на входе в расчетную область $x = 0$, $v_{max}^0 = 25$ м/с – максимальная скорость движения на основном участке дороги, $v_p = 3$ м/с – максимальная скорость проезда «лежащего полицейского», $k = 7,9$ м/с – скорость распространения малых возмущений в потоке автотранспорта, $a^+ = 1,5$ м/с² – максимальное ускорение потока, $\bar{a} = 5$ м/с² – максимальное (экстренное) ускорение торможения потока, $a_r = 1,5$ м/с² – стандартное ускорение торможения, $Y_0 = 100$ м – характерная видимость впе-

ред по потоку, $\sigma_0 = 0,7$ – вес локальной ситуации, $\tau^* = 3,3$ с, $\bar{\tau} = \infty$ - время задержки подстройки под безопасную скорость движения, $t_g = 40...300$ с, $t_y = 5$ с, $t_r = 30$ с – длительности сигналов светофора.

Таким образом, в расчетах варьировалась плотность входящего потока ρ_0 (а, значит, и его скорость) и длительность работы зеленого сигнала светофора t_g . Результаты расчетов представлены на рисунках 1 – 4 и в таблице. На рисунках 1 и 2 даны распределения плотности транспортного потока ρ по координате расчетной области x в разные моменты времени, указанные на рисунках, в случае регулирования движения светофором. При этом длительность работы зеленого сигнала $t_g = 50$ с, а начальные плотности транспортного потока $\rho_0 = 0,18$ (рисунок 1) и $\rho_0 = 0,3$ (рисунок 2). Время на рисунке 1 соответствует следующим циклам работы и сигнала светофора: 50 с – пер-

вый цикл, конец зеленого сигнала, 57 с – первый цикл, желтый сигнал, 80 с – первый цикл, конец красного сигнала, 92 с – второй цикл, зеленый сигнал, 105 с – второй цикл, зеленый сигнал, 135 с – второй цикл, конец красного сигнала.

На рисунке 2: 56 с – первый цикл, желтый сигнал, 86 с – первый цикл, конец красного сигнала, 135 с – второй цикл, конец зеленого сигнала, 390 с – пятый цикл, конец зеленого сигнала, 426 с – пятый цикл, конец красного сигнала, 476 с – шестой цикл, конец зеленого сигнала.

Как видно из графиков, при $\rho_0 = 0,18$ «подвижная пробка» не образуется (рисунок 1), а в случае $\rho_0 = 0,3$ образуется подвижная пробка, перемещающаяся против потока, скорость движения автомобилей в которой заметно уменьшается.

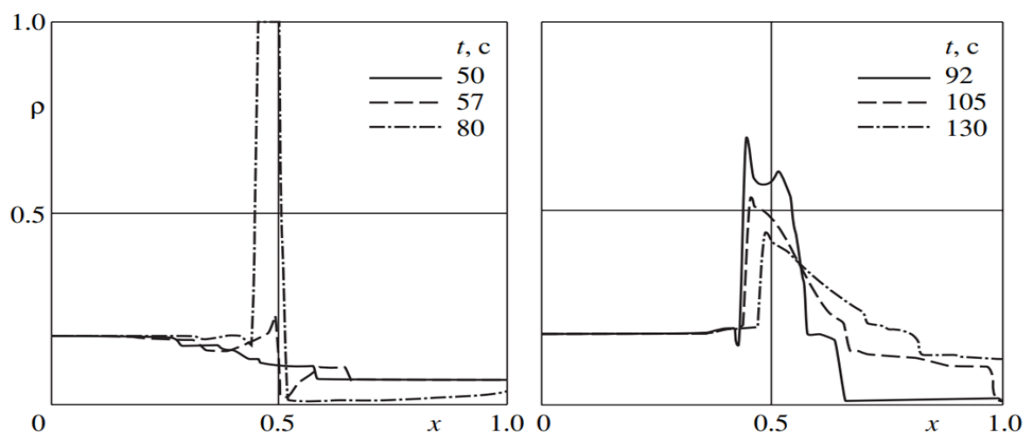


Рисунок 1 – Распределение плотности транспортного потока

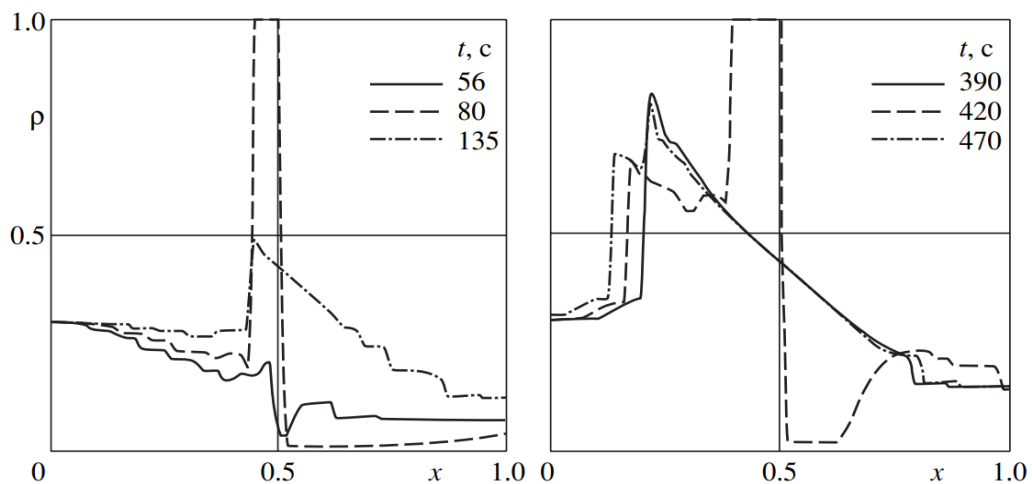


Рисунок 2 – Распределение плотности транспортного потока

Результаты исследования зависимости величины предельной начальной плотности потока ρ_0^* , при которой не образуется подвижная пробка, от длительности зеленого сигнала t_g , приведены в таблице. Остальные исходные параметры фиксированы. Зависимость ρ_0^* от t_g описывается формулой

$$\rho_0^* = a \ln(bt_g),$$

где a, b – параметры, зависящие от многих факторов, включая длительность красного сигнала t_r ($a = 0,054; b = 0,87$).

Разность Δ предельных плотностей ρ_0^* , вычисленных по формуле (3) и значений, полученных численным моделированием, также представлена в таблице. Среднее квадратичное отклонение равно 0,0116, а максимальная разность плотностей $\Delta = 0,0216$.

Таблица – Зависимость величины предельной начальной плотности потока от длительности зеленого сигнала

t_g, c	40	60	80	100	150	200	250	300
ρ_0^*	0,18	0,21	0,23	0,23	0,27	0,29	0,31	0,31
$\Delta \cdot 10^3$	11,68	3,56	-0,89	11,16	-6,95	-11,41	-19,36	-9,52

На рисунках 3 и 4 приведены профили плотностей транспортного потока ρ по координатно-расчетной области x для случая регулирования движения двумя «лежащими полицейскими» в разные последовательные моменты времени, указанные на графиках, при начальной плотности потока $\rho_0 = 0,1$ (рисунок 3) и $\rho_0 = 0,3$ (рисунок 4).

Случай $\rho_0 = 0,1$ соответствует свободному движению транспортного потока через зону регулирования движения «лежащим полицейским», а при $\rho_0 = 0,3$ образуется подвижная пробка, перемещающаяся против потока. Видно, что при прохождении машин участка с «лежащими полицейскими» образуются два участка с повышенной плотностью, что в случае $\rho_0 < 0,2$ не препятствует свободному прохождению потока через препятствия.

Если $\rho_0 \geq 0,2$, то перед «лежащим полицейским» подвижная пробка, появление которой приводит к тому, что с течением времени плотность ρ на входе в расчетную область $x = 0$ начинает превышать начальную плотность ρ_0 и движение перед зоной препятствий становится очень медленным (рисунок 4).

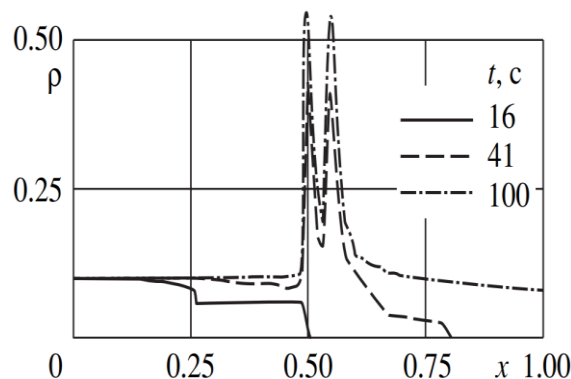


Рисунок 3 – Профиль плотности транспортного потока при начальной плотности потока $\rho_0 = 0,1$

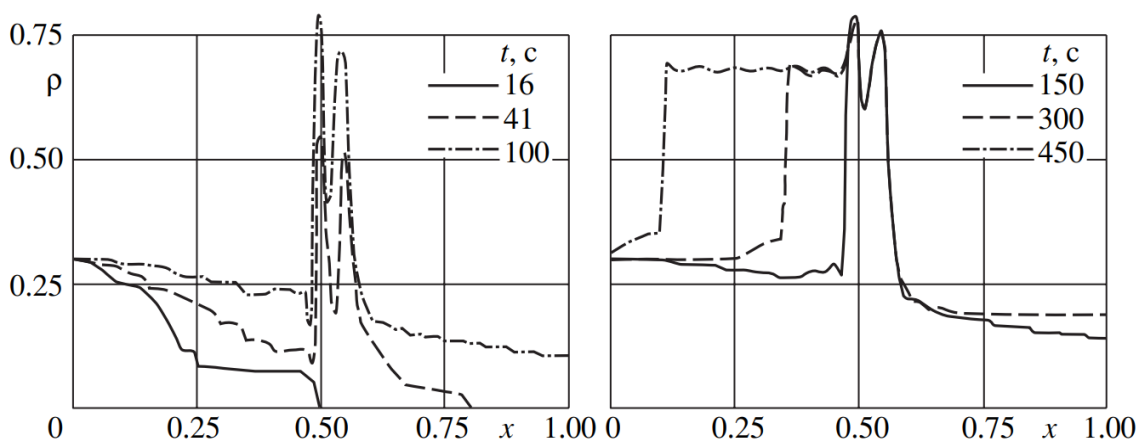


Рисунок 4 – Профиль плотности транспортного потока при начальной плотности потока $\rho_0 = 0,3$

Выводы

Результаты исследований показывают, что в случае небольшой плотности (притока) потока машин «лежачие полицейские» позволяют сохранять благоприятную дорожную ситуацию, не мешая, при этом, свободному движению машин. При плотности движения выше критической «лежачие полицейские», наоборот, вызывают образование пробки перед ними, которая может неограниченно возрастать.

Регулировка движения с помощью светофоров позволяет улучшить пропускную способность дороги с помощью изменения продолжительности цикла светофора.

Рассмотренная модель позволяет качественно и количественно описать условия для создания максимальной пропускной способности дороги, описать места возможного начала и распространения заторов, а также влияние различных средств для регулировки движения на дорожную ситуацию.

Работы проводятся в рамках темы фундаментальных научных исследований МГУ имени М.В. Ломоносова «Модели многофазных сред и волновых процессов в природных, технических и социальных системах».

Библиографический список

1. Смирнов Н.Н., Киселев А.Б., Никитин В.Ф., Юмашев М.В. Математическое моделирование автомобильных потоков на магистралях // Вестник МГУ. Сер. 1. Математика, механика. 2000. № 4. С. 39–44.
2. Zhengming Li, Smirnova M.N., Zhang Yongliang, Smirnov N.N., Zhu Zuojin. Tunnel speed limit effects on traffic flow explored with a three lane model // Mathematics and Computers in Simulation, Elsevier BV, 2022. Vol. 194. Pp.185-197.
3. Yongliang Zhang, Smirnova M.N., Ma Jian, Zhu Zuojin, Smirnov N.N. Freeway tunnel effect of travel time based-on a double lane traffic model // International Journal of Transportation Science and Technology, Elsevier BV, 2022. Vol. 11. Pp. 360-380.
4. Киселев А.Б., Никитин В.Ф., Смирнов М.М., Юмашев М.В. Неустановившиеся движения автотранспорта на кольцевой магистрали // Прикладная математика и механика. 2000. Т. 64. Вып. 4. С. 651-658.
5. Киселев А.Б., Кокорева А.В., Никитин В.Ф., Смирнов Н.Н. Математическое моделирование автотранспортных потоков на регулируемых дорогах // Прикладная математика и механика. 2004. Т. 68. Вып. 6. С. 1047-1054.
6. Oran E., Boris J. Numerical Simulation of Reactive Flow. N.Y.: Elsevier, 1987. = Оран Э., Борис Дж. Численное моделирование реагирующих потоков. М.: Мир, 1990. 661 с.
7. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. 608 с.
8. Le Veque R.J. Numerical Methods for Conservation Laws, Lectures in Mathematics, Birkhauser, Basel, 1992. P. 194.

Referenses

1. Smirnov N.N., Kiselev A.B., Nikitin V.F., YUmashev M.V. Matematicheskoe modelirovaniye avtomobil'nyh potokov na magistralyah // Vestnik MGU. Ser. 1. Matematika, mekhanika. 2000. № 4. S. 39–44.
2. Zhengming Li, Smirnova M.N., Zhang Yongliang, Smirnov N.N., Zhu Zuojin. Tunnel speed limit effects on traffic flow explored with a three lane model // Mathematics and Computers in Simulation, Elsevier BV, 2022. Vol. 194. Pp.185-197.
3. Yongliang Zhang, Smirnova M.N., Ma Jian, Zhu Zuojin, Smirnov N.N. Freeway tunnel effect of travel time based-on a double lane traffic model // International Journal of Transportation Science and Technology, Elsevier BV, 2022. Vol. 11. Pp. 360-380.
4. Kiselev A.B., Nikitin V.F., Smirnov M.M., YUmashev M.V. Neustanovivshiesya dvizheniya avtotransporta na kol'cevoj magistrali // Prikladnaya matematika i mekhanika. 2000. T. 64. Vyp. 4. S. 651-658.
5. Kiselev A.B., Kokoreva A.V., Nikitin V.F., Smirnov N.N. Matematicheskoe modelirovaniye avtotransportnyh potokov na reguliruemym dorogah // Prikladnaya matematika i mekhanika. 2004. T. 68. Vyp. 6. S. 1047-1054.
6. Oran E., Boris J. Numerical Simulation of Reactive Flow. N.Y.: Elsevier, 1987. = Oran E., Boris Dzh. Chislennoe modelirovanie reagiruyushchih potokov. M.: Mir, 1990. 661 с.
7. Kulikovskij A.G., Pogorelov N.V., Semenov A.YU. Matematicheskie voprosy chislennogo resheniya giperbolicheskikh sistem uravnenij. M.: FIZMATLIT, 2001. 608 с.

8. Le Veque R.J. Numerical Methods for Conservation Laws, Lectures in Mathematics, Birkhau-ser, Basel, 1992. P. 194.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 08.04.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 12.05.2023

Принята к публикации / Accepted 17.05.2023

© Н.Н. Смирнов, В.Ф. Никитин, Д.А. Пестов, С.Е. Цюпаченко, 2023

Сведения об авторах

List of Authors

Смирнов Николай Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры газовой и волновой динамики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Nikolai Smirnov – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Gas and Wave Dynamics, Lomonosov Moscow State University.

Никитин Валерий Федорович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедра газовой и волновой динамики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Valery Nikitin – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Gas and Wave Dynamics, Lomonosov Moscow State University.

Пестов Дмитрий Александрович – инженер кафедры высокопроизводительных вычислений Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Dmitry Pestov – Engineer, Department of High-Performance Computing, Lomonosov Moscow State University.

Цюпаченко Сергей Евгеньевич – студент Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Sergey Tsyupachenko – Student of the Lomonosov Moscow State University.

Ссылка для цитирования: *Смирнов Н.Н., Никитин В.Ф., Пестов Д.А., Цюпаченко С.Е.* Моделирование движения автотранспортных потоков с учетом систем регулирования дорожного движения // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 2. С. 44 – 51. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-44-51.

For citation: *Smirnov N.N., Nikitin V.F., Pestov D.A., Tsyupachenko S.E.* Modeling of traffic flows with consideration of traffic regulation systems // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No.2. P. 44 – 51. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-44-51.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ СЫРЬЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ЩЕБНЯ

Г.Н. Хаджишалапов, М.П. Нажуев, У.И. Исаева, Э.А. Салахов, М.Ш. Абдурахимов, М.Н. Ахмедов
Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70
nazhuev17@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрены состояние, тенденции и проблемы развития строительных материалов и конструкций на основе вторичного сырья. Изучен мировой опыт использования вторичного щебня в бетонах. Описываются экономически эффективные решения, способствующие снижению негативного влияния строительного сектора на окружающую среду. По причине недостаточных сведений и изученности вопроса технических свойств бетонного лома, был проведен ряд испытаний на определение физико-механических свойств бетона, изготовленного на основе природного и вторичного заполнителя. Приведены характеристики исходного сырья, в том числе и результаты исследования физико-механических свойств вторичного щебня, полученного при дроблении бетонного лома. Объектом исследования являются опытные образцы кубы с заполнителем на основе бетонного лома. Предмет исследования – влияние на прочностные характеристики бетона замещение, в разном соотношении, природного щебня на вторичный. Авторами проанализированы и представлены результаты, проведенных экспериментальных исследований по изучению прочностных свойств бетона на основе заполнителя из бетонного лома. Даются разъяснения о возможных причинах снижения прочностных характеристик опытных образцов кубов на основе вторичного щебня. В заключении описана тема дальнейшего исследования по повышению физико-механических характеристик бетонных конструкций на основе вторичного щебня.

Ключевые слова: бетонный лом, вторичный заполнитель, прочность, строительные материалы и конструкции, устойчивое развитие, экология.

Abstract. This paper considers the state, trends and problems of development of building materials and structures based on secondary raw materials. The world experience in the use of recycled crushed stone in concrete is studied. Cost-effective solutions that contribute to the reduction of the negative impact of the construction sector on the environment are described. Due to insufficient information and study of the issue of technical properties of concrete scrap, a number of tests were carried out to determine the physical and mechanical properties of concrete made on the basis of natural and secondary aggregate. The characteristics of the initial raw materials, including the results of the study of physical and mechanical properties of secondary crushed stone, obtained by crushing concrete scrap are given. The object of the study are experimental samples of cubes with aggregate on the basis of concrete scrap. The subject of the study is the effect on the strength characteristics of concrete of the substitution, in different proportions, of natural crushed stone for secondary crushed stone. The authors have analyzed and presented the results of the experimental studies of the strength properties of concrete on the basis of aggregate from concrete scrap. Explanations of possible reasons of decrease in strength characteristics of experimental

samples of cubes on the basis of secondary rubble are given. In the conclusion the subject of further research into the improvement of physical and mechanical properties of concrete structures on the basis of secondary rubble is described.

Key words: concrete scrap, secondary aggregate, strength, building materials and structures, sustainable development, ecology.

Введение

В актуальной повестке научно-исследовательской деятельности ученых в области строительства находятся исследования, направленные на расширение сырьевой базы по разработке инновационных, экологических и экономически эффективных строительных материалов и изделий.

Развитие сектора производства модифицирующих химических добавок для отрасли строительных материалов и конструкций позволяет снизить негативное влияние вторичного заполнителя на качество бетона. Ранее использование этого материала в конструкционном бетоне имел ограничения. Рядом исследовательских работ установлено, что долговечность строительных конструкций имеет прямую зависимость от качества применяемых строительных материалов [1]. С учетом этого, в регионах с дефицитом высокопрочных горных пород, развитие предприятий по переработке бетонного лома приобретает большую актуальность.

Анализ статистических данных показывает ежегодный прирост мирового спроса на строительные заполнители [1, 2, 3]. Являясь невозобновляемым источником сырья - строительные заполнители, в соответствии с принципами устойчивого развития, могут частично удовлетворить потребность строительного сектора за счет использования вторичных и переработанных заполнителей, получаемых в основном из отходов утилизации строительных объектов.

Тенденция применения вторичного сырья на сегодняшний день составляет около 3 % от общего объема использования строительных заполнителей [3, 4].

Опыт переработки бетонного лома во вторичный щебень в зарубежных странах позволяет сделать вывод об экономической эффективности его применения при производстве бетонов прочностью 5 – 25 Мпа в качестве крупного заполнителя, устройстве слоев

автомобильных дорог и тротуаров, реновации территорий, а также укреплении береговых сооружений и возведении фундаментов малоэтажных зданий [3, 4, 5, 6], что также сокращает объемы потребления минерального сырья и отрицательное воздействие на окружающую среду.

Научный интерес состоит в исследовании физико-механических свойств бетонов на основе вторичного щебня, в том числе на предмет возможного применения в конструкционных бетонах за счет модификаций рецептурных факторов. Также выявить экономический и экологический эффект от внедрения данного материала в производство строительных материалов и конструкций.

Значительное увеличение объемов добычи заполнителей для производства бетонных изделий и конструкций связано со стремительным социально-экономическим развитием уровня жизни людей. В связи с этим, актуальным направлением исследований для научного сообщества становится поиск альтернативных источников заполнителей, взамен природных.

Наиболее перспективным решением этого вопроса по экономическим и экологическим показателям является применение заполнителей из вторично переработанных строительных материалов или промышленных отходов. За последнее время было проведено множество значимых исследований [7, 8, 9], доказывающих, что вторичные заполнители могут стать надежной заменой природным, при производстве бетона. Результаты исследований подтверждают пригодность вторичного заполнителя, как для неконструкционного бетона, так и для производства обычного конструкционного бетона с добавлением летучей кремнезёмной пыли, золы и т. д. [8, 9, 10].

В работе группы ученых Кингстонского университета [7] представлены результаты экспериментальной программы, где изучались характеристика бетона на портландцементе с

применением переработанного вторичного и природного заполнителей.

Установлено влияние замены природного заполнителя в количестве до 100 % вторичным на ряд таких свойств бетона, как сохраняемость, долговечность и конструктивные характеристики. Даны рекомендации по пригодности каждого состава бетона для эффективного внедрения в производство.

Результаты исследования, проведенные [8] показывают влияние переработанного заполнителя на основные свойства, как бетонной смеси, так и затвердевшего бетона. Вторичный заполнитель применялся для изготовления бетонной смеси с повышенной удобоукладываемостью, при замене природного крупного заполнителя 0 – 100% по весу. Наблюдалось, что вторичный заполнитель своими наиболее крупными частями обычно ориентирован вдоль опытного образца призмы, увеличивая площадь сцепления с цементно-песчаной матрицей. Это сказывается на более эффективном межфазном сцеплении между растворной составляющей и заполнителем, и как следствие, компенсирует негативное влияние вторичного щебня на прочность при изгибе.

Следующим исследованием занялась группа ученых из Малазийского технического университета [9]. Целью данного исследования являлось изучение пригодности переработанного бетона в качестве крупного заполнителя для производства нового бетона. Переработанный вторичный заполнитель был получен из 28-дневных бетонных кубиков, подвергшихся испытаниям на прочность при сжатии в лабораторных условиях. Данные образцы бетонных кубиков измельчались до необ-

ходимой крупности и повторно применялись в качестве вторичного крупного заполнителя.

Составы бетона для опытных образцов разрабатывались с заменой природного заполнителя (гравия) на 0 %, 50 % и 100 % вторичного щебня. После 28 суток затвердевания определялись прочность на сжатие, прочность на разрыв и прочность на изгиб. В результате прочность на сжатие бетона со 100 % заменой RCA имеет самую высокую 3-дневную и 28-дневную прочность, которая достигает 40,24 МПа и 57,99 МПа соответственно. Прочность на сжатие переработанного бетона с 50 % заменой RCA находится рядом с контрольным бетоном.

Опытные образцы на вторичном щебне имеют более высокую 28-дневную прочность на сжатие и более высокую 28-дневную прочность на разрыв по сравнению с контрольным бетоном, но 28-дневная прочность при изгибе ниже, чем у контрольных образцов на природном заполнителе. Вторичный щебень, полученный из бетонных кубов, показывает хороший потенциал в качестве крупного заполнителя для производства нового бетона.

Материалы и методы

Целью данного исследования является проведение экспериментальных опытов и получение результатов физико-механических свойств бетона, изготовленного на основе природного и вторичного заполнителя. Для изучения свойств бетонов на заполнителе из бетонного лома были определены основные физико-механические характеристики щебня, полученного из бетонных образцов, природного щебня, песка и цемента (таблицы 1 – 4):

Таблица 1 – Физико-механические характеристики вторичного щебня

Наименование материала	Фракция	Плотность, кг/м ³	Содержание влаги, %	Фактор дробимости, %	Потери при прокаливании, %	Водопоглощение, %
Щебень вторичный	5 – 20	2250 – 2550	4 – 6	0,7 – 0,79	4	1,5 – 7

Таблица 2 – Основные характеристики портландцемента

Наименование	Удельная поверхность, м ² /кг	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, час., мин.		Активность, МПа	
			начало	конец	R _{из}	R _{сж}
Портландцемент	365	25,5	1 – 05	3 – 15	5,9	51,5

Таблица 3 – Основные характеристики щебня

Наименование материала	Фракция	Удельная поверхность, см ² /г	Истинная (средняя) плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Общее водопоглощение
Щебень гранитный	20 – 5	4,2	2700	0,457	0,41
	20 – 10	2,7	(2690)	0,468	0,40
	10 – 5	5,4		0,438	0,42

Таблица 4 – Основные характеристики песка

Фракция	Частный остаток, %	Удельная поверхность, см ² /г	Насыпная плотность, кг/м ³	Истинная плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Общее водопоглощение
5 – 2,5	2,41	88,9	1259,4	2600	0,515	1,914
2,5 – 1,25	2,95					2,07
1,25 – 0,63	7,3					2,3
0,63 – 0,315	50,4					3,46
0,315 – 0,14	30,19					6,0
0,14 <	4,24					12,0

Для создания опытных образцов были изготовлены бетонные кубики с использованием вторичного и природного заполнителей в разном процентном соотношении с высотой ребра

10 см, и отобраны в количестве 6 штук от каждого состава. В таблице 5 приведен расход материалов на 1 м³. Далее образцы выдерживались в нормальных условиях.

Таблица 5 – Экспериментальные составы образцов

№ состава	Замена природного щебня на вторичный, %	Расход материалов на 1 м ³				
		Щебень фракции, 5-20 мм		Песок	Цемент	Вода
		Природный	Вторичный			
1	0	637	0	658	398	217
2	10	573	64	658	398	217
3	20	510	127	658	398	217
4	30	446	191	658	398	217

Исследование предела прочности при сжатии бетона опытных образцов. Средняя прочность на сжатие заформованных кубиков определена в соответствии с ГОСТ-10180 с

использованием вторичного и природного заполнителей в возрасте 3, 7 и 28 суток и представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Исследование предела прочности при сжатии бетона опытных образцов

Предел прочности при сжатии бетона опытных образцов, МПа	Доля вторичного щебня, %			
	0	10	20	30
В15 – 3 суток	14,2 МПа	11,2 МПа	13,1 МПа	12,7 МПа
В15 – 7 суток	22,6 МПа	16,3 МПа	21,9 МПа	19,2 МПа
В15 – 28 суток	32,5 МПа	26,8 МПа	30,9 МПа	27,5 МПа
В20 – 3 суток	19,7 МПа	17,7 МПа	16,8 МПа	15,6 МПа
В20 – 7 суток	32,1 МПа	30,5 МПа	29,4 МПа	28,5 МПа
В20 – 28 суток	40,4 МПа	38,1 МПа	34,5 МПа	33,9 МПа

По результатам испытаний, как и ожидалось, прочность при сжатии бетона опытных образцов на вторичном щебне чуть ниже, чем у бетона на природном щебне, изготовленного из аналогичных пропорций смеси. Снижение прочности при сжатии бетона опытных образцов на вторичном щебне по сравнению с природным составляет порядка 9-15% и 11-16% для бетонов В15 и В20 соответственно.

Проведено исследование предела прочности бетона опытных образцов на изгиб.

Средняя предела прочности бетона опытных образцов с вторичным заполнителем на изгиб, определялась в возрасте 7 и 28 суток для бетонов В15 и В20 и варьирует от 2,2 МПа – 4,1 МПа соответственно (таблица 7).

Таблица 7 – Исследование предела прочности бетона опытных образцов на изгиб

Предел прочности бетона опытных образцов на изгиб, МПа	Доля вторичного щебня, %			
	0	10	20	30
В15 – 7 суток	2,4 МПа	2,0 МПа	2,3 МПа	2,2 МПа
В15 – 28 суток	3,4 МПа	3,2 МПа	3,2 МПа	3,1 МПа
В20 – 7 суток	3,1 МПа	3,0 МПа	2,9 МПа	2,9 МПа
В20 – 28 суток	4,3 МПа	4,1 МПа	4,0 МПа	4,0 МПа

Анализ полученных результатов показал, что снижение прочности бетона опытных образцов на изгиб на вторичном заполнителе по сравнению с природным составляет 3 -15% соответственно, что является неплохим показателем.

По результатам из таблиц 6 и 7 видно, что бетонные кубики с использованием вторичного и природного заполнителей в разном процентном соотношении (10%, 20% и 30%) соответствуют классу прочности В15 и В20. Также в сравнении с бетоном класса прочности В15 снижение прочности бетона класса прочности В20 выше.

Выводы

Применение в рядовых бетонных изделиях вторичного щебня из бетонного лома в количестве до 30 % не оказывает существенного влияния на его прочностные характеристики. Это подтверждается результатами исследования предела прочности при сжатии и на изгиб

бетона опытных образцов на основе вторичного щебня в сравнении с образцами на природном щебне, которые соответствуют классу прочности В15 и В20.

В перспективе замещение природных заполнителей частью вторичного бетонного лома может существенно повлиять на снижении стоимости строительных материалов и конструкций за счет экономии на транспортировке природного сырья, земляных работ и уменьшения расхода энергии на их производство, что впоследствии положительно отразится на экологических параметрах окружающей среды.

Внедрение результатов исследований свойств вторичного заполнителя должно иметь последовательный и системный характер, также этому может способствовать совершенствование действующей нормативно-технической документации на модифицированные составы бетонов и переработанные материалы для них.

Заключение

По результатам исследования можно предположить о возможном влиянии на прочностные характеристики бетона вида примесей, присутствующих в переработанных заполнителях. Повышенное содержание примесей на поверхности заполнителей понижает их сцепление с растворной составляющей. Так

как разрушение в бетоне происходит в основном по границе сцепления крупного заполнителя и цементно-песчаного камня, то научный интерес дальнейших исследований, представляется в разработке способов повышения прочности межфазных контактов вторичного щебня и растворной матрицы в бетоне.

Библиографический список

1. Олейник П.П., Олейник С.П. Организация системы переработки строительных отходов. М.: МГСУ, 2009. 251 с.
2. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов-на Дону: Феникс, 2007. 368 с.
3. Кудрявцева В.А. Анализ природно-ресурсного и экологического аспектов функционирования строительного комплекса региона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 2 (17). С. 63-72.
4. Кашина И.В., Левенко А.Д., Самойлова А.Ю. Проблема экологичности строительных материалов. Анализ жизненного цикла зданий и сооружений // Строительство и техногенная безопасность. 2017. № 8 (60). С. 7-13.
5. Бибик М.С., Семенюк С.Д. Влияние физикомеханических характеристик рециклированного щебня из дробленого бетона различных классов по прочности на сжатие на свойства бетонной смеси и бетона // Вестник Белорусско-Российского университета. 2010. № 3(28). С. 128–134.
6. Муртазаев С.А.Ю., Саламанова М.Ш., Гишкалаева М.И. Формирование структуры и свойств бетонов на заполнителе из бетонного лома // Бетон и железобетон. 2008. № 5. С. 25–28.
7. Limbachiya M.C., Koulouris A., Roberts J.J. and Fried A.N. Performance of recycled aggregate concrete, RILEM International Symposium on Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development; 6-7 Sep 2004, Koriyama, Japan. ISBN 2912143551, URL: <http://dx.doi.org/10.1617/2912143640.015>.
8. Safiuddin Md., Alengaram U.J., Salam M.A., Jumaat M.Z., Jaafar F.F., and Saad H.B. (2011). Properties of high-workability concrete with recycled concrete aggregate. *Materials Research*, Vol. 14, No. 2, pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-14392011005000039>.
9. Yong P.C. and Teo D.C.L. (2009). Utilisation of recycled aggregate as coarse aggregate in concrete // *Journal of Civil Engineering Science and Technology*, Vol. 1, No. 1, pp. 1–6, DOI: <https://doi.org/10.33736/j.cest.60.2009>.
10. Behera M., Bhattacharyya S.K., Minocha A.K., Deoliya R., and Maiti S. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review, *Constr. Build. Mater.*, Vol. 68, 2014, pp. 501-516. DOI: 11.1007/978-981-13-0362-3_78.
12. Ефименко А.З. Бетонные отходы – сырье для производства эффективных строительных материалов // *Материалы. Технологии бетонов*. 2014. № 2. С. 17–21.
13. Коровкин М.О. и др. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона // *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 3 (37). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090>.
14. Заурбеков Ш.Ш., Муртазаев С-А.Ю., Сайдумов М.С., Абдуллаев М. Утилизация бетонного и железобетонного лома // *Экология и промышленность России*. 2011. № 2. С. 26-28.
15. Фахратов М.А. и др. Эффективное использование отходов бетонного лома в качестве заполнителя в производстве бетонных и железобетонных изделий // *Стройпрофиль*. 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://stroyprofile.com/archive/4950>.
16. Ламжав О. Исследование свойства вторичного заполнителя и бетона, изготовленного из бетонного лома // *Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: сб. ст. по матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. № 8(8)*. Новосибирск: СибАК, 2017. С. 71–77.
17. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Фатыхов Г.А. К комплексному использованию шлаков из бетонного лома в производстве шлакощелочных вяжущих // *Известия КазГАСУ*. 2011. № 2. С. 218–223.
18. Хаджишалапов Г.Н., Нажуев М.П., Салахов Э.А. и др. Вопросы устойчивого развития в промышленности строительных материалов и конструкций // *Вестник Пермского национального исследовательского*

References

1. Olejnik P.P., Olejnik S.P. Organizaciya sistemy pererabotki stroitel'nyh othodov. M.: MGSU, 2009. 251 s.
2. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitel'nye materialy iz othodov promyshlennosti. Rostov-na Donu: Feniks, 2007. 368 s.
3. Kudryavceva V.A. Analiz prirodno-resursnogo i ekologicheskogo aspektov funkcionirovaniya stroitel'nogo kompleksa regiona // Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. 2016. № 2 (17). S. 63-72.
4. Kashina I.V., Levenko A.D., Samojlova A.Yu. Problema ekologichnosti stroitel'nyh materialov. Analiz zhiznennogo cikla zdaniy i sooruzhenij // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2017. № 8 (60). S. 7-13.
5. Bibik M.S., Semenyuk S.D. Vliyanie fizikomekhanicheskikh harakteristik reciklirovannogo shchebnya iz droblenogo betona razlichnykh klassov po prochnosti na szhatie na svoystva betonnoj smesi i betona // Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta. 2010. № 3(28). S. 128–134.
6. Murtazaev S.A.Yu., Salamanova M.Sh., Gishkalaeva M.I. Formirovanie struktury i svoystv beto-nov na zapolnitel' iz betonno go loma // Beton i zhelezobeton. 2008. № 5. S. 25–28.
7. Limbachiya M.C., Koulouris A., Roberts J.J. and Fried A.N. Performance of recycled aggregate concrete, RILEM International Symposium on Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development; 6-7 Sep 2004, Koriyama, Japan. ISBN 2912143551, URL: <http://dx.doi.org/10.1617/2912143640.015>.
8. Safiuddin Md., Alengaram U.J., Salam M.A., Jumaat M.Z., Jaafar F.F., and Saad H.B. (2011). Properties of high-workability concrete with recycled concrete aggregate. Materials Research, Vol. 14, No. 2, pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-14392011005000039>.
9. Yong P.C. and Teo D.C.L. (2009). Utilisation of recycled aggregate as coarse aggregate in concrete // Journal of Civil Engineering Science and Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 1–6, DOI: <https://doi.org/10.33736/j.cest.60.2009>.
10. Behera M., Bhattacharyya S.K., Minocha A.K., Deoliya R., and Maiti S. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review, Constr. Build. Mater., Vol. 68, 2014, pp. 501-516. DOI: 11.1007/978-981-13-0362-3_78.
12. Efimenko A.Z. Betonnye othody – syr'e dlya proizvodstva effektivnyh stroitel'nyh materialov // Materialy. Tekhnologii betonov. 2014. № 2. S. 17–21.
13. Korovkin M.O. i dr. Ispol'zovanie droblennogo betonno go loma v kachestve zapolnitelya dlya samoplotnyayushchegosya betona // Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. № 3 (37). [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3090>.
14. Zaurbekov Sh.Sh., Murtazaev S-A.Yu., Sajdumov M.S., Abdullaev M. Utilizaciya betonno go i zhelezo-betonno go loma // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2011. № 2. S. 26-28.
15. Fahratov M.A. i dr. Effektivnoe ispol'zovanie othodov betonno go loma v kachestve zapolnitelya v proizvodstve betonnyh i zhelezobetonnyh izdelij // Strojprofil'. 2012. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://stroyprofile.com/archive/4950>.
16. Lamzhav O. Issledovanie svoystva vtorichno go zapolnitelya i betona, izgotovlennogo iz betonno go loma // Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya v sovremennoj nauke: sb. st. po mater. VIII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. № 8(8). Novosibirsk: SibAK, 2017. S. 71–77.
17. Rahimov R.Z., Rahimova N.R., Fatyhov G.A. K kompleksnomu ispol'zovaniyu shlakov iz betonno go loma v proizvodstve shlakoshchelochnyh vyazhushchih // Izvestiya KazGASU. 2011. № 2. S. 218–223.
18. Hadzhishalapov G.N., Nazhuv M.P., Salahov E.A. i dr. Voprosy ustojchivogo razvitiya v promyshlennosti stroitel'nyh materialov i konstrukcij // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika. 2022. № 1. S. 47–58. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.04.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 19.04.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 12.05.2023

Принята к публикации / Accepted 19.05.2023

©Г.Н. Хаджишалапов, М.П. Нажуев, У.И. Исаева, Э.А. Салахов, М.Ш. Абдурахимов, М.Н. Ахмедов, 2023

Сведения об авторах
List of Authors

Хаджишалапов Гаджимагомед Нурмагомедович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства Дагестанского государственного технического университета.

Gadzhimagomed Khadzshishalapov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, Daghestan State Technical University.

Нажуев Мухума Пахрудинович – аспирант кафедры технологии и организации строительного производства Дагестанского государственного технического университета.

Mukhuma Nazhuev – Postgraduate Student, Department of Technology and Organization of Construction Production, Daghestan State Technical University.

Исаева Улана Исаковна – аспирант кафедры технологии и организации строительного производства Дагестанский государственный технический университет

Ulane Isaeva – Post-graduate Student of the Department of Technologies and Organization of Building Production, Daghestan State Technical University.

Салахов Эседулах Агаметович – аспирант кафедры технологии и организации строительного производства Дагестанского государственного технического университета.

Esedulakh Salakhov – Post-graduate Student of the Department of Technologies and Organization of Building Production, Daghestan State Technical University.

Абдурахимов Магомед Шамильевич – аспирант кафедры технологии и организации строительного производства Дагестанского государственного технического университета.

Magomed Abdurahimov – Post-graduate Student of the Department of Technologies and Organization of Building Production, Daghestan State Technical University.

Ахмедов Магомедшарип Нурмагомедович – аспирант кафедры автомобильных дорог, оснований и фундаментов Дагестанского государственного технического университета.

Magomedsharip Akhmedov – Post-graduate Student of the Department of Highways, Foundations and Foundations, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Хаджишалапов Г.Н., Нажуев М.П., Исаева У.И., Салахов Э.А., Абдурахимов М.Ш., Ахмедов М.Н.* Исследование альтернативных источников сырья для строительной отрасли. Физико-механические свойства модифицированного бетона на основе вторичного щебня // Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 2. С. 52 – 59. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-52-59.

For citation: *Khadzshishalapov G.N., Nazhuev M.P., Isaeva U.I., Salakhov E.A., Abdurahimov M.Sh., Akhmedov M.N.* Research of alternative sources of raw materials for the construction industry. Physical and mechanical properties of modified concrete based on secondary crushed stone // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 52 – 59. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-52-59.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНИРОВАНИЯ МОНОЛИТНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ СТЕН ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЯ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ОПАЛУБКИ

Г.Н. Хаджишалапов, Р.Г. Раджабов, У.И. Исаева

Дагестанский государственный технический университет, Махачкала
367026, Россия, Республика Дагестан, Махачкала, пр. И. Шамиля, 70
www.ulana@bk.ru

Аннотация. Проблема автоматизации технологических процессов производства бетонных работ является актуальной задачей, так как направлена на оптимизацию основных параметров технологии строительного производства таких, как трудоемкость, продолжительность, выработка и стоимость производства работ. Автоматизация позволяет сократить технологический цикл опалубки и распалубки за счет исключения ручного труда. Автоматизация технологии процессов бетонных работ при возведении высотных инженерных сооружений является достаточно сложной задачей.

Ключевые слова: автоматизация, бетон, модуль, монолитная теплоизоляция, скользящая опалубка, специальная технология.

Abstract. The problem of automation of technological processes for the production of concrete works is an urgent task, as it is aimed at optimizing the main parameters of the technology of construction production, such as labor intensity, duration, production and cost of work. Automation makes it possible to shorten the technological cycle of shuttering and decaying by eliminating manual labor. Automation of the technology of concrete work processes in the construction of high-rise engineering structures is quite a difficult task.

Key words: automation, concrete, module, monolithic thermal insulation, sliding formwork, special technology.

Введение

Строительство и возведение сложных инженерных сооружений, таких как, атомные и тепловые электростанции, а также инженерные сооружения предприятия строительной индустрии имеют в своем технологическом цикле системы охлаждения технологической воды. Эти системы предусматривают возведения различных инженерных сооружений с конической поверхностью. Такими инженерными сооружениями являются градирни, дымовые и вытяжные трубы. Как указано в работах [1, 2, 3, 4] при возведении таких высотных сооружений обычно применяют подъемно-переставные и скользящие опалубочные системы. Применение сложных в инженерном отношении опалубочных систем позволяет механизировать процесс возведения железобетонных стен инженерных сооружений башенных типов. В связи с тем, что эти инже-

нерные сооружения эксплуатируются в особых условиях, связанные с повышенной температурой и агрессивной средой, интерес представляет опалубочная система, которая позволяет полностью автоматизировать процесс устройства теплоизоляционного слоя.

Автоматизация процесса устройства теплоизоляции приводит к снижению трудоемкости производства работ, а также сокращению сроков строительства и стоимости производства работ. Любые исследования, направленные на оптимизацию основных технологических параметров строительного производства, такие как трудоемкость, продолжительность и стоимость работ, является актуальной задачей. В данной статье проведен анализ и теоретические исследования процессов механизации и автоматизации работ при возведении высотных инженерных сооружений специального назначения, на примере градирни, а так-

же предложена технология устройства теплоизоляции с применением автоматизированного модуля скользящей опалубки.

**Технология устройства теплоизоляции
градирни с применением
автоматизированного модуля
скользящей опалубки**

В соответствии с принятой концепцией технологии устройства теплоизоляции градирни работы необходимо вести с разбивкой ее на участки и блоки. Количество участков и блоков зависит от конструктивного решения градирни, вида применяемых материалов и технических средств. В связи с этим, при возведении градирни мы предлагаем разбивку градирни по ярусам в зависимости от конструктивной схемы и вести работы по устройству градирни с последовательностью, которая не будет отрицательно влиять на общую несущую способность корпуса.

Устройство тепловой изоляции градирни является одним из основных этапов при воз-

ведении градирни. Технология устройства является достаточно сложной и должна удовлетворять специальным требованиям, предъявляемым при устройстве тепловой изоляции градирни. Для тепловой изоляции градирни в данной работе применяются бетонная смесь на композиционном вяжущем из местного минерального сырья с добавлением пластифицирующих добавок из группы суперпластификаторов СП-1. Наибольшая температура применения бетона на основе местного минерального сырья при применении заполнителей из диабазовой группы составляет 800°С, а при использовании в качестве заполнителя керамзитового щебня 1000° С теплопроводность материала должна быть не выше 0,5 Вт/м·°С. Класс по прочности на сжатие – В15, обладать стойкостью на воздействие агрессивной среде. Технологический состав жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем приведен в таблице 1.

Таблица 1 - Технологический состав жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем

Расход состава на 1м ³ бетона				вода	Средняя плотность сухого бетона кг/м ³	Предел плотности при сжатии кг/см
Заполнитель		КВ				
гравий	песок	портланд-цемент	тонкомолотая добавка			
610	610	250	130	0,51	1600	320

Технология изготовления жаростойкого керамзитобетона должна соответствовать требованиям, а также указаниям, изложенным в [5]. Приготовление жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем производится в следующей последовательности:

- дозирование заполнителей по объему;
- дозирование цемента и воды по массе;

Заполнитель должен дозироваться пофракционно с обязательным разделением гравия на фракции 2,5– 5 мм; 5– 10 мм, а песка 0– 2,5 мм. Перемешивание составляющих производится в бетоносмесителях принудительного действия.

С технологической точки зрения интерес представляет технология бетонирования теплоизоляционного слоя с применением автоматизированного модуля скользящей опалубки [6], так как это позволяет решить вопросы

улучшения основных технологических параметров строительного производства, таких, как трудоемкость и продолжительность процесса. Применение скользящей опалубки позволяет, не нарушая заданные технологические параметры смеси жаростойкого бетона, получить конструкцию инженерного сооружения с требуемыми эксплуатационными характеристиками. Автоматизированный модуль скользящей опалубки, благодаря опалубкам-лепесткам и специальным накладываемым лепесткам-подмостям можно применять при возведении монолитных высотных сооружений с изменяющимся по высоте поперечным сечением, в том числе и при устройстве теплоизоляции.

На скорость скольжения опалубки 4 см/час влияет ряд таких факторов, как развитие температурных полей, влажность и давле-

ние по толщине ограждающих конструкций, появление напряжений в структуре бетона. Анализ ползучести в зависимости от технологических факторов позволяет объяснить различия в значениях ползучести бетона в зависимости от времени приложения нагрузки: до нагрева и после нагрева до определенной температуры. При нагружении до нагрева его ползучесть значительно выше, так как процесс испарения влаги происходит одновременно с действием нагрузки. При загрузке после нагрева до определенной температуры часть или вся вода в порах и капиллярах испаряется, деформация ползучести в этом случае уменьшается [7]. Для уменьшения нагрузки на свежележенную бетонную смесь ско-

рость и шаг подъема опалубки принять минимальными 4 см/час и 2 см на каждый подъем. Скорость подъема также зависит от заполнения опалубки бетонной смесью, технологических параметров, а также качества. Максимально допустимые отклонения составляют $\pm (1...2)$ см при условии, что они не являются продолжительными во времени. Ниже на рисунке 1 приведен вид модели скользящей опалубки, на рисунке 2, 3 – разрез и план автоматического модуля скользящей опалубки, а на рисунке 4, 5 – разрез и план организационно-технологической схемы устройства теплоизоляции градирни с применением автоматизированного модуля скользящей опалубки.



Рисунок 1 – Вид модели скользящей опалубки

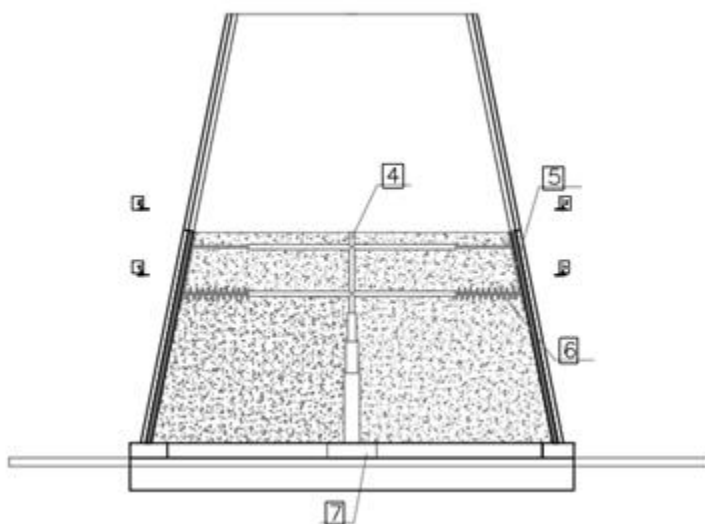


Рисунок 2 – Схема-разрез автоматического модуля скользящей опалубки
2-теплоизоляционный слой,
6-центральная опорная стойка,
8-пружина для изменения угла наклона лепестковой опалубки,
9-опорный столик для центральной стойки

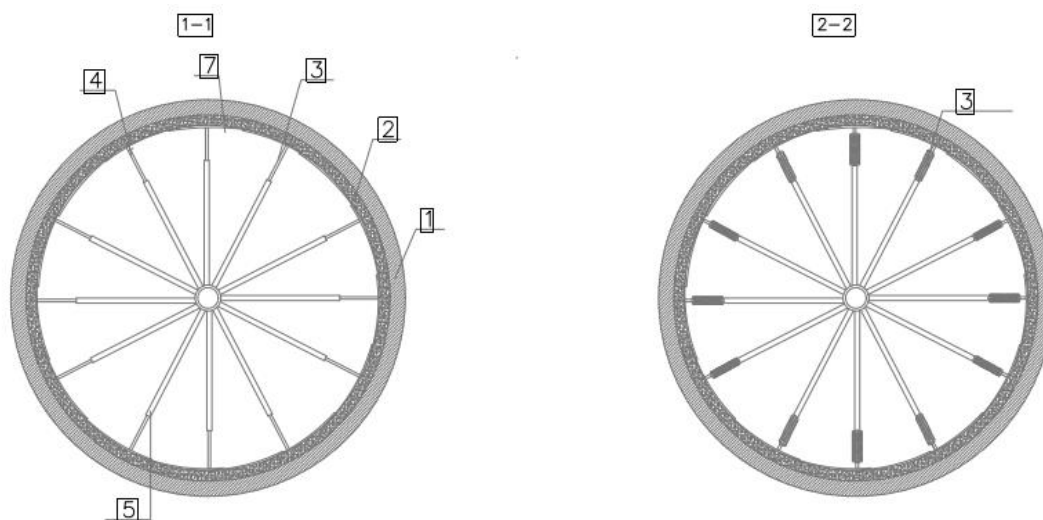


Рисунок 3 – Схема-план автоматического модуля скользящей опалубки
 1 – железобетонный корпус, 2 – теплоизоляционный слой, 3 – телескопический выдвижной консоль, 4 – крепление лепестка опалубки, 5 – основная консольная балка, 6 – центральная опорная стойка, 7 – лепестковая опалубка, 8 – пружина для изменения угла наклона лепестковой опалубки

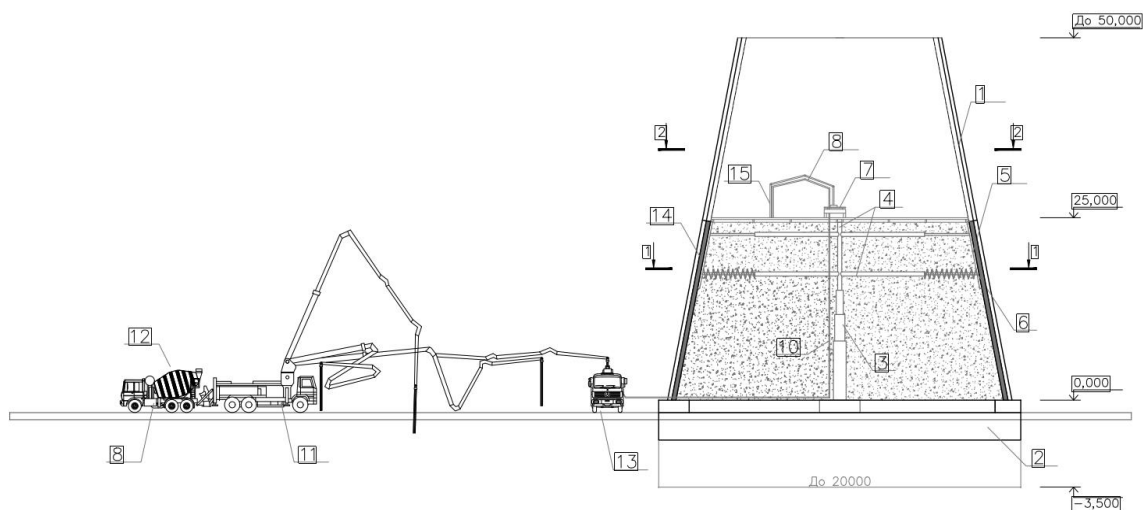


Рисунок 4 – Разрез схемы теплоизоляции градирни
 1 – железобетонный корпус градирни, 2 – железобетонная плита,
 3 – телескопическая опорная стойка, 4 – телескопическая направляющая, 5 – телескопическая направляющая с пружиной, 6 – лепестки-щиты скользящей опалубки, 7 – рабочая площадка, 8 – распределительная стрела гидроманипулятора, 9 – хобот, 10 – бетоновод вертикальный, 11 – автобетононасос (передвижной бетононасос), 12 – автобетоносмеситель, 13 – стационарный бетононасос

Скользящая опалубка устанавливается на опорную плиту. После крепления опорного башмака к плите, опалубку приводят в рабочее положение при помощи вертикальной телескопической стойки и горизонтальных телескопических ригелей и устанавливают в проектное положение. Одновременно с опалубкой приводят в рабочее состояние и лепестковые подмости. Автоматизированный модуль рабо-

тает на гидравлических приводах и управляется пультом управления.

Для реализации технологии бетонирования монолитной теплоизоляции стен инженерного сооружения с помощью модуля скользящей опалубки последовательно выполняются следующие работы:

- возведение опорного фундамента под теплоизоляционный слой;

- проверка комплектности автоматизированного модуля скользящей опалубки;
- установка центральной несущей телескопической стойки с закреплением временными растяжками;
- монтаж горизонтальных телескопических выдвигающих консолей направляющих;

- закрепление к горизонтальным направляющим лепестковых опалубочных щитов с изменяемым углом наклона;
- подготовка комплекта механического оборудования для приема и подачи бетонной смеси в конструкцию опалубки;
- подача и уплотнение бетонной смеси на первом ярусе.

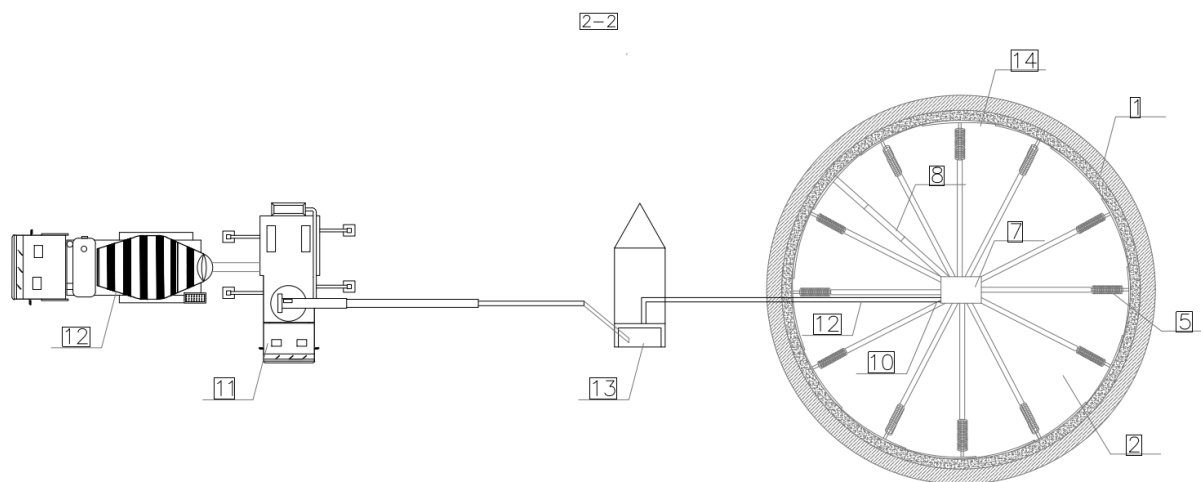


Рисунок 5 – План схемы теплоизоляции градирни

1 – железобетонный корпус градирни, 2 – железобетонная плита,
 5 – телескопическая направляющая с пружиной, 7 – рабочая площадка,
 8 – распределительная стрела гидроманипулятора, 10 – бетоновод вертикальный,
 11 – автобетононасос (передвижной бетононасос), 12 – автобетоносмеситель,
 13 – стационарный автобетононасос, 14 – бетоновод горизонтальный

Заключение

Применение автоматизированной опалубки в процессе бетонирования теплоизоляции

стен специальных монолитных инженерных сооружений позволяет на 80-90% автоматизировать технологические процессы.

Библиографический список

1. Афонин И.А., Евстратова Г.И., Штоль Т.М. Технология и организация монтажа специальных сооружений: учеб. пособие для строит. вузов / Под ред. Т.М. Штоля. М.: Высшая школа, 1986. 368 с.
2. Азаев М.Г., Гаджиев А.М. Технология монолитного домостроения. Проблемы автоматизации. Махачкала: Изд. ДГТУ, 2020. 108 с.
3. Афанасьев А.А. Технология возведения зданий и сооружений из монолитного железобетона. М.: Стройиздат, 1990. 380 с.
4. СН-156-79. Инструкция по технологии приготовления жаростойких бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 40 с.
5. Свод правил СП 27.13330.2011. «СНиП 2.03.04-84. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур» (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 28 декабря 2010 г. № 827).
6. Хаджишалапов Г.Н., Курбанов Р.М., Гаджиев А.М. Технология устройства монолитной футеровки шахтной печи для обжига извести с применением автоматизированного модуля скользящей опалубки // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2011. № 4. Т. 23. С. 112-116.
7. Жуков В.В., Жданова Н.П. и др. Технология изготовления жаростойких бетонов. Справочное пособие к СНиП. М.: Стройиздат, 1991. 65 с.

References

1. Svod pravil SP 27.13330.2011. «SNiP 2.03.04-84. Betonnye i zhelezobetonnye kon-strukcii, pred-naznachennye dlya raboty v usloviyah vozdeystviya povyshennyh i vysokih tempe-ratur» (utv. prikazom Minis-terstva regional'nogo razvitiya RF ot 28 dekabrya 2010 g. № 827).
2. Afonin I.A., Evstratova G.I., SHtol' T.M. Tekhnologiya i organizaciya montazha special'-nyh sooruzhenij: ucheb. posobie dlya stroit. vuzov / Pod red. T.M. SHtolya. M.: Vysshaya shkola, 1986. 368 s.
3. Azaev M.G., Gadzhiev A.M. Tekhnologiya monolitnogo domostroeniya. Problemy avtomati-zacii. Ma-hachkala: Izd. DGTU, 2020. 108 s.
4. Afanas'ev A.A. Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzhenij iz monolitnogo zhelezobe-tona. M.: Stro-jizdat, 1990. 380 s.
5. SN-156-79. Instrukciya po tekhnologii prigotovleniya zharostojkih betonov. M.: Strojiz-dat, 1979. 40 s.
6. Hadzhishalapov G.N., Kurbanov R.M., Gadzhiev A.M. Tekhnologiya ustrojstva monolitnoj futerovki shahtnoj pechi dlya obzhiga izvesti s primeneniem avtomatizirovannogo modulya skol'zyashchej opalubki // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2011. № 4. T. 23. S. 112-116.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

The authors declare no conflicts of interests

Дата поступления в редакцию / Received 19.04.2023

Одобрена после рецензирования / Revised 12.05.2023

Принята к публикации / Accepted 19.05.2023

© Г.Н. Хаджишалапов, Р.Г. Раджабов, У.И. Исаева, 2023

Сведения об авторах List of Authors

Хаджишалапов Гаджимагомед Нурмагомедович – доктор технических наук, профессор, заведующий ка-федрой технологии и организации строительного производства Дагестанского государственного техниче-ского университета.

Gadzhimagomed Khadzhashalapov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Tech-nologies and Organization of Construction Production, Dagestan State Technical University.

Раджабов Рустам Габирович – старший преподаватель кафедры строительных материалов и инженер-ных сетей Дагестанского государственного технического университета.

Rustam Radzhabov – Senior Lecturer of the Department of Building Materials and Engineering Networks, Da-ghestan State Technical University.

Исаева Улана Исаковна – аспирант кафедры технологии и организации строительного производства Да-гестанского государственного технического университета.

Ulane Isaeva – Post-graduate Student of the Department of Technology and Organization of Building Production, Dagestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Хаджишалапов Г.Н., Раджабов Р.Г., Исаева У.И.* Автоматизация технологии бетонирова-ния монолитной теплоизоляции стен инженерного сооружения с помощью модуля скользящей опалубки// Научные исследования: итоги и перспективы. 2023. Т. 4, № 2. С. 60 - 65. doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-60-65.

For citation: *Hadzhishalapov G.N., Radzhabov R.G., Isaeva U.I.* Automation of concreting technology of monolithic thermal insulation of walls of engineering structures using a sliding formwork module // Scientific researches: results and prospects. 2023. Vol. 4, No. 2. P. 60 - 65. (in Russ.). doi: 10.21822/2713-220X-2023-4-2-60-65.

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 плодоовощной продукции и виноградарства. 05.18.06 – Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов. 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ. 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств. 05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания.

05.23.00 – Строительство.

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

05.17.00 – Химическая технология.

05.17.01 – Технология неорганических веществ. 05.17.04 – Технология органических веществ. 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов. 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:
итоги и перспективы
2023 № 2 (Том 4)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:
results and prospects
2023 № 2 (Vol. 4)**

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

Подписано в печать 27.03.2023 г. Дата выхода в свет 29.06.2023 г.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 8,32. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 500. Заказ № 86

Электронная версия журнала
«Научные исследования: итоги и перспективы»
размещена на сайте 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

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 ”