

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

В Е С Т Н И К

**ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени ВЛАДИМИРА ДАЛЯ**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

**№ 1 (6)
2026**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Луганск
2026**

ВЕСТНИК

ЛУГАНСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ.
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№1 (6) 2026

Научный журнал

Основан в 2015 году

Журнал включен в перечень ВАК

Входит в базу РИНЦ

Учредитель

ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет
имени Владимира Даля»

VESTNIK

LUGANSK
VLADIMIR DAHL
STATE UNIVERSITY
TECHNICAL SCIENCES SERIES

№ 1 (6) 2026

The scientific journal

Was founded in 2015

The journal is included in the list of the HAC

Included into the base of risc

Founder

LSU named after V. Dahl

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Дата регистрации: 03.07.2026. Серия ПИ № ФС77-91841

Главный редактор

Киреев Андрей Николаевич, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Заместители главного редактора

Свиногоев Юрий Алексеевич, к.т.н., доцент

Тарарычкин Игорь Александрович, д-р техн. наук

Филатьев Михаил Владимирович, д-р техн. наук

Ответственный секретарь

Чижевская Дарья Юрьевна, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Редакционная коллегия серии:

Антощенко Николай Иванович, д-р.техн.наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Батышев Константин Александрович, д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

Беляев Сергей Владимирович, д-р техн. наук (СФУ, Красноярск)

Дейнека Иннеса Григорьевна, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Ленич Сергей Васильевич, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Свиногоев Юрий Алексеевич, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Семенов Константин Геннадьевич, д-р техн. наук (МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва)

Сёмин Дмитрий Александрович, д-р.техн.наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Тарарычкин Игорь Александрович, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Турушина Наталья Владимировна, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Филатьев Михаил Владимирович, д-р техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Чижевская Дарья Юрьевна, к-т техн. наук (ЛГУ им. В. Даля, Луганск)

Энглез Ирина Павловна, д-р техн. наук (ДАТ, Донецк, ДНР)

Рекомендовано в печать Ученым советом

Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

(Протокол № 10 от 27.03.2026 г.)

© Авторы, 2026

© ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет
имени Владимира Даля», 2026

СО Д Е Р Ж А Н И Е

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПЛОТНЫХ ПОРОШКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ

Никитин Ю. Н., Гутько Ю. И., Тараненко Н. А. ----- 5

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕИМУЩЕСТВ РАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРОТУШЕНИЙ

Андреев А. А., Сингеев А. В., Кныш К. А. ----- 17

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В Г.КРАСНОДОН И КРАСНОДОНСКОМ МУНИЦИПАЛЬНОМ ОКРУГЕ И ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

Верительник Е. А., Куриной А. А., Калинин А. В. ----- 27

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОНВЕЙЕРНЫХ СИСТЕМ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ

Турушина Н. В., Гончарова К. А. ----- 33

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ

Бугай Ю. И., Рябинин П. В. ----- 39

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧНОСТИ КАЖУЩЕЙСЯ ПЛОТНОСТИ УГЛЕЙ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ВЫБРОСОПАСНОСТИ ШАХТОПЛАСТОВ

Голдованский А. В. ----- 46

ГОРЕНИЕ СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Гусенцова Я. А., Щербак В. Н., Понамаренко А. Н., Макаровская Л. В. ----- 52

О РАЗРАБОТКЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЕНЕРАЦИИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ПИРОЛИЗЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА

Копец Ю. В., Малкин В. Ю., Рыбаков А. В., Копец К. К. ----- 59

АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ, ВЕРИФИКАЦИИ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ И БЕСПИЛОТНЫХ ПЛАТФОРМ

Павленко А. Т., Рыбаков А. В., Малкин В. Ю. ----- 70

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА УРОВЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Панайотов К. К. ----- 82

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ОСТАТОЧНОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ЖИЛЫХ ДОМОВ ПЕРВЫХ МАССОВЫХ СЕРИЙ В ЛУГАНСКЕ

Родыгина М. М., Красногрудов А. В., Рожков И. Н., Приходько В. П. ----- 93

О КОРРЕКТНОСТИ СРАВНЕНИЯ ВОЗМОЖНОГО РАВЕНСТВА СОРБЦИОННОЙ МЕТАНОЁМКМОСТИ УГЛЕЙ И ГАЗОНОСНОСТИ ШАХТОПЛАСТОВ

Филатьева Э. Н. ----- 102

CONTENTS

FOUNDRY PRODUCTION

IMPROVING THE METHOD OF PRODUCING HIGH-DENSITY POWDER PRODUCTS BASED ON COPPER

Nikitin Yu. N., Gutko Yu. I., Taranenko N. A. -----5

TRANSPORT AND TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF THE COUNTRY, ITS REGIONS AND CITIES, ORGANIZATION OF PRODUCTION IN TRANSPORT

RESEARCH OF TECHNOLOGICAL ADVANTAGES OF DIFFERENT MODELS OF FIRE EXTINGUISHMENT MANAGEMENT

Andreev A. A., Singeev A. V., Knysh K. A. ----- 17

ANALYSIS OF ROAD TRAFFIC SAFETY IN THE CITY OF KRASNODON AND THE KRASNODON MUNICIPAL DISTRICT AND WAYS TO MINIMIZE ROAD ACCIDENTS

Veritelnik E. A., Kurinoy A. A., Kalinin A. V. ----- 27

OPERATION OF AIR CUSHION CONVEYOR SYSTEMS DURING LOADING AND UNLOADING OPERATIONS WITH RAILWAY ROLLING STOCK

Turushina N. V., Goncharova C. A. ----- 33

LABOR SAFETY

OPTIMIZATION OF MEDICAL WASTE DISPOSAL PROCESSES

Bugai Yu. I., Ryabinin P. V. ----- 39

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE ACCURACY OF APPARENT DENSITY FOR ESTABLISHING THE RISK OF EMISSIONS DURING COAL MINING

Goldovanskiy A. V. ----- 46

COMBUSTION OF COMPOSITE SOLID PROPELLANTS

Gusentsova Ya. A., Shcherbak V. N., Ponamarenko A. N., Makarovskaya L. V. ----- 52

ON THE DEVELOPMENT OF A PHYSICO-CHEMICAL MODEL FOR THE GENERATION OF HAZARDS DURING PYROLYSIS OF MUNICIPAL SOLID WASTE FOR PREDICTING WORKING CONDITIONS

Kopets I. V., Malkin V. Y., Rybakov A. V., Kopets K. K. ----- 59

ALGORITHMS FOR FILTERING, VERIFICATION AND SPATIO-TEMPORAL INTERPOLATION OF DATA IN MONITORING SYSTEMS BASED ON SENSOR NETWORKS AND UNMANNED PLATFORMS

Pavlenko A. T., Rybakov A. V., Malkin V. Y. ----- 70

MODELLING THE INFLUENCE OF DIAGNOSTIC PARAMETERS OF VEHICLE TECHNICAL CONDITION ON OCCUPATIONAL RISK LEVEL BASED ON PROBABILISTIC-STATISTICAL MODELS

Panayotov K. K. ----- 82

TECHNOLOGICAL MONITORING OF THE RESIDUAL SERVICE LIFE OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF THE FIRST MASS SERIES IN LUGANSK

Rodygina M. M., Krasnogradov A. V., Rozhkov I. N., Prikhodko V. P. ----- 93

ON THE CORRECTNESS OF COMPARING THE POSSIBLE EQUALITY OF THE SORPTION METHANE CAPACITY OF COALS AND THE GAS CONTENT OF MINE SEAMS

Filatueva E. N. -----102

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**FOUNDRY PRODUCTION**

УДК 621.1.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ
ВЫСОКОПЛОТНЫХ ПОРОШКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ****Никитин Ю. Н., Гутько Ю. И., Тараненко Н. А.****IMPROVING THE METHOD OF PRODUCING
HIGH-DENSITY POWDER PRODUCTS BASED ON COPPER****Nikitin Yu. N., Gutko Yu. I., Taranenko N. A.**

Аннотация. Рассмотрены вопросы возможности вторичного использования отходов древесины, полиэтилена и отходов кабельно-проводниковой продукции. Разработана ресурсосберегающая технология получения втулок из материала на основе меди. Для наводороживающего отжига медных проводников тока кабельно-проводниковой продукции, получения медного порошка и защитной атмосферы при спекании пористых заготовок предложен способ получения газа газификацией и топлива для него в виде древесных пеллет, покрытых полиэтиленом. Предложен способ определения скорости перемещения пористых заготовок при спекании в проходной печи. Модернизирован пресс-блок для штамповки медных пористых заготовок.

Ключевые слова: отходы производства, пористые заготовки, спекание, пресс-блок, штамповка, втулка.

Abstract. The possibility of recycling wood waste, polyethylene waste, and cable and wire product waste has been considered. A resource-saving technology for producing copper-based sleeves has been developed. A method for producing gas by gasification and fuel in the form of polyethylene-coated wood pellets has been proposed for the hydrogenation annealing of copper conductors in cable and wire products, the production of copper powder, and the creation of a protective atmosphere during the sintering of porous blanks. A method for determining the speed of movement of porous blanks during sintering in a through-flow furnace has been proposed. The press block for stamping copper porous blanks has been upgraded.

Keywords: production waste, porous blanks, sintering, press block, stamping, and sleeve.

Введение. Ресурсосберегающие энергетических и материальных ресурсов в технологии предполагают комплекс процессе производства материальных способов, процессов и систем, которые ценностей. Такие технологии позволяют направлены на рациональное сократить материальные, энергетические использование и экономный расход ресурсы и трудоемкость производства,

повысить производительность труда, уменьшить количество отходов, вторично, а в некоторых случаях многократно использовать сырье и материалы. Ресурсосбережение обеспечивается путем внедрения безотходных и малоотходных технологий, использования вторичных ресурсов, оптимизации и совершенствования технологических процессов, применения энергоэффективного оборудования и рациональных режимов его эксплуатации, совершенствования используемого оборудования [1].

На современном этапе развития промышленности отмечается низкий коэффициент использования материала, не превышающий 30 %, и мегаллоотходов, в среднем не превышающий 20 %. В связи с этим возникает необходимость в поиске новых и совершенствовании известных технологий переработки материалов, и возвращении их в сферу производства. Одним из путей решения этой проблемы является использование порошковых технологий [2, 3].

Методами порошковых технологий возможно изготовление порошка, используемого в качестве присадок или деталей, которые невозможно получить методами литейного производства. Потери металла при использовании порошковой металлургии составляют 3–7%, тогда как при литье они достигают 50–80% [4].

Одним из методов получения медного порошка является переработка отходов кабельно-проводниковой продукции с использованием генераторного газа [5].

Ежегодно в РФ образуется около 35,5 млн, м³ древесных отходов, из них на деревообрабатывающих предприятиях от 25 до 40 % отходов, которые не используются, [6, 7]. Одним из методов

переработки древесных отходов является производство из них гранул (пеллет). Использование гранул позволит: в 4 - 6 раз снизить транспортные затраты при помощи снижения объема отходов; удалить из отходов влагу, что повышает КПД газификации, автоматизировать процесс их газификации и повысить экологическую безопасность [6, 8, 9].

В настоящее время на территории РФ образовалось 48,4 млн тонн твердых бытовых отходов (ТБО). Объем утилизированных ТБО составляет примерно 1,4 млн тонн (4%), в то время как объем захороненных на полигонах ТБО составляет примерно 35,0 млн тонн [10].

Среди отходов полимеров, входящих в состав ТБО, наиболее весомо содержание загрязненного ПЭ и ПЭТ. Эти полимерные отходы находят ограниченное применение. В связи с чем эффективно их использовать для получения генераторного газа газификацией. Этот газ, возможно, использовать не только как топливо (более 80% его объема составляют горючие компоненты – такие же, как у генераторного газа, получаемого промышленным способом из каменного угля и мазута), но и в качестве технологического газа [11, 12, 13].

Совместная газификация пеллет и полиэтилена позволит получать генераторный газ [14], который возможно использовать для получения медного порошка из отходов кабельно-проводниковой продукции и в качестве защитной атмосферы при спекании порошковых медных деталей и деталей антифрикционного назначения с последующей штамповкой спеченных деталей пуансонами, не заходящей в полость матрицы.

Для изготовления деталей методом штамповки пуансонами, не заходящей в полость матрицы, необходимо получение заготовок стабильного размера, что не всегда обеспечивается современными методами спекания. При спекании наблюдается как увеличение объема заготовки, так и усадка [5, 15]. Актуальной задачей является разработка методов получения заготовок стабильного размера.

Целью работы является совершенствование технологии изготовления порошковых изделий путем применения генераторного газа, полученного газификацией древесных пеллет, покрытых полиэтиленом,

оптимизации процесса спекания, позволяющего обеспечить величину изменения относительного объема пор медной заготовки и модификации оснастки для штамповки.

Решение проблемы. Для получения газа использовали пеллеты, изготовленные из отходов древесины и полиэтилена по технологии, представленной в работе [14]. Пеллеты представляли собой древесные гранулы, покрытые полиэтиленом толщиной до 0,5 мм.

Наличие такого количества полиэтилена не значительно влияет на химический состав генераторного газа (табл. 1).

Таблица 1

Расчетные показатели генераторного газа

Параметр	Вид топлива
	Пеллеты
Размеры, форма топлива	Гранулы диаметром 6 мм
Влажность топлива W^p , мас. %	5,0
Зольность топлива A^c , мас. %	0,5
Состав генераторного газа, об. %:	
- CO	41
- H ₂	24,5
- CO ₂	0,6
- N ₂	33,9
Достигнутый условный КПД газогенератора η_r	0,9
Теплота сгорания топлива:	
- ккал/кг	4250
- МДж/кг	17,8
Теплота сгорания газа:	
- ккал/м ³	1860
- МДж/м ³	7,8
Удельный вес газа, кг/м ³	1,04
Выход сухого газа из 1 кг топлива, м ³ /кг	2,35
Расход воздуха на газификацию 1 кг топлива, м ³ /кг	2,4
Влажность газа, кг/м ³	0,119
Суммарное содержание водяных паров в газе (кг) при газификации 1 кг топлива	0,05
КПД газогенератора, %	90
Расход воздуха на сгорание 1 м ³ генераторного газа, м ³	1,476
Теплота сгорания газа - воздушной смеси:	
- ккал/м ³	903
- МДж/м ³	3,8

Для получения генераторного газа использовалась установка с комбинированным газогенератором, использующая горизонтальную горелку объемного горения с поворотной ретортой для получения защитного генераторного газа, состоящая из двух отдельных узлов бункера и камеры газификации (рис. 1). При использовании такой схемы устраняются зоны сухой перегонки и

подсушки, в которых образуются смолы. Основная масса топлива содержится в бункере, а в камере газификации небольшой высоты (150 – 270 мм) находится засыпка топлива. В такой камере топливо гарантированно прогревается до температуры не менее 1000°C , что собственно и исключает образование зон сухой перегонки и подсушки.

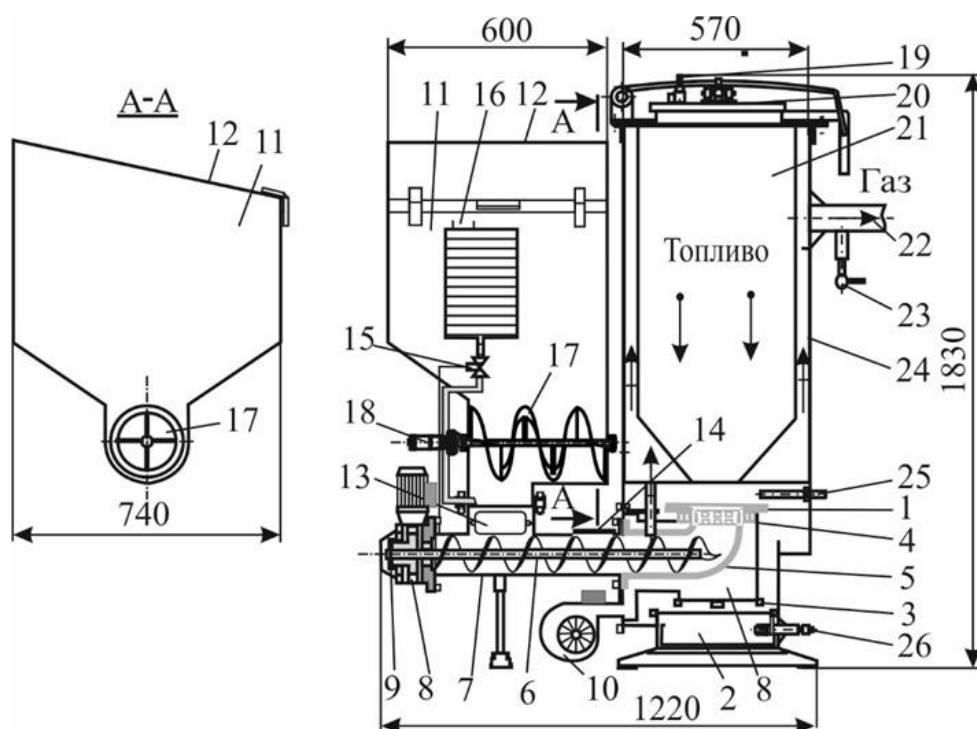


Рис. 1. Установка с комбинированным газогенератором, использующая горизонтальную горелку объемного горения с поворотной ретортой для получения защитного генераторного газа:

1 – узел ретортной горелки; 2 – зольник; 3 – воздушная заслонка; 4 – обод топки; 5 – корпус реторты; 6 – шнек механизма подачи; 7 – корпус горелки; 8 – мотор-редуктор сплошного шнека; 9 – предохранитель перегрузок; 10 – вентилятор нагнетания; 11 – бункер для топлива; 12 – крышка бункера; 13 – отверстие для аварийной выгрузки топлива; 14 – датчик заливного клапана; 15 – заливной клапан; 16 – бак для воды; 17 – ленточный шнек; 18 – мотор-редуктор ленточного шнека; 19 – предохранительный клапан; 20 – крышка загрузочного бункера; 21 – топливный бункер для загрузки кускового твердого топлива; 22 – патрубок генераторного газа; 23 – прибор для измерения температуры; 24 – корпус газогенератора; 25 – керамический нагревательный элемент ТЕН; 26 – шуровочный механизм

Для штамповки используют пористые заготовки простой геометрической формы. При штамповке для получения конечной формы детали применяют значительные поперечные деформации, [16].

Процесс штамповки пуансонами, не заходящими в полость матрицы состоит из двух стадий: на первой стадии происходит осадка (свободная) заготовки из меди до заполнения матрицы; на второй стадии

происходит доштамповка вследствие сжатия в матрице и приобретение заданных размеров, формы и плотности изделия. При использовании такого метода штамповки к заготовкам предъявляются повышенные требования к ее размеру по высоте и относительной пористости [5, 16]. Такие требования к заготовке возможно обеспечить строгим контролем процесса их спекания.

Печи для спекания непрерывного действия, использующие защитную атмосферу включают три основные зоны: зону предварительного нагрева; высокотемпературную зону; зону охлаждения спеченных изделий или заготовок [17].

При прохождении пористого материала через три зоны печи возможно несоответствие процесса усадки, которое приводит к неправильной степени усадки или к увеличению объема. Причинами этого процесса является: снятие упругих остаточных напряжений, которые возникают при прессовании пористых заготовок; в материале фазовые превращения; адсорбированные газы, которые выделяются с поверхности порошкообразных частиц при химических реакциях восстановления металлов; выделение газов, образующихся при выгорании масла, например, добавляемого при смешивании медного порошка и графита. Кроме процессов, происходящих в самом материале, существенное влияние на степень усадки или увеличение объема пористого материала оказывают следующие факторы: свойства используемых порошков, особенно развитость поверхности; давление прессования; размер и форма прессовок, особенно по высоте; температура спекания и ее изменение во времени; атмосфера

спекания [5, 18]. Для обеспечения оптимальной усадки пористых заготовок необходимо контролировать процесс спекания во всех зонах печи.

Известен способ спекания пористых изделий из порошков меди [19], в котором рассматривается только одна зона спекания, что недостаточно для полного анализа поведения медной заготовки пористостью 20-25%. С целью определения величины усадки заготовки при нагреве до 1000°C использовался dilatометр ДКВ-5. Определена скорость в высокотемпературной зоне спекания, обеспечивающая величину изменения относительного объема пор 0,75-0,85.

Предлагается перед загрузкой печи с тремя зонами спекания dilatометром определить скорость перемещения пористых заготовок под штамповку в каждой из зон для получения необходимого размера заготовки и пористости. Применение предложенного способа позволит оптимизировать процесс спекания за счет определения скорости перемещения в каждой из зон печи.

С учетом вышеизложенного предлагается технология изготовления такой детали, как втулка. Отходы кабельно-проводниковой продукции с медной жилой в виде сечки диаметром до 2 мм наводороживали в печи при температуре 800°C в среде генераторного газа, полученного газификацией древесных пеллет, покрытых полиэтиленом, с помощью установки оснащенной комбинированным газогенератором. Наводороженные проводники подвергали размолу в молотковой мельнице. Полученный медный порошок подвергали расसेву в классификаторе. Фракции порошка смешивали до

гранулометрического состава, близкого к стандартному.

Втулку изготавливали из порошка меди, полученного из отходов кабельно-проводниковой продукции с добавлением 0,25% карандашного графита ГК-1. Смешивание выполняли в течение 2 часов.

Прессование пористых заготовок в виде втулок выполняли с использованием пресс-блока по схеме двухстороннего прессования на гидравлическом прессе модели 2ПГ-125.

Усредненную прессовку (заготовку) устанавливали в захват дилатометра и перемещали постепенно через рабочие зоны печи с защитной атмосферой, полученной газификацией древесных пеллет, покрытых полиэтиленом. Определяли скорость перемещения пористых заготовок под штамповку в каждой из зон для получения необходимого размера заготовки и пористости. Загружали заготовки в печь непрерывного действия. Они перемещались с определенной скоростью. При достижении спеченных заготовок пористостью 15% и температуры 180⁰С в зоне охлаждения их извлекали и выполняли штамповку на кривошипном прессе модели К2232.

Известен способ пресс-блок для изготовления порошковых изделий сложной формы [20]. Недостатком пресс-блока является ненадежность и невозможность получения изделий высокой плотности. Верхний составной пуансон, который имеет свободу перемещения в стойке при окончательном формообразовании детали, приближается к торцу стойки, в случае увеличения массы заготовки или ошибки при наладке пресс-блока пресс может сработать «в распор», что приведет к выходу из строя пресс-блока или пресса. Применение буфера из

полиуретана, который имеет способность со временем и количеством циклов изменять свои свойства, требует постоянного контроля и переналадки инструмента для получения стабильных свойств изделий, что также снижает надежность работы. Кроме того, применение буфера из полиуретана в пресс-блоке не дает возможности использовать его при температурах горячей деформации.

Заготовку помещали в подвижную матрицу (10) модернизированного пресс-блока [20] (рис 1). Затем ползун пресса опускает верхнюю плиту (2) с верхней матрицей (3), которая крепится к верхней стойке (1) приспособлением (4), которое регулирует величину хода колонок (5), которая фиксируется в заданном положении винтом (6) и верхним пуансоном (7). Верхний пуансон входит в контакт с заготовкой. Осуществляется уплотнение пористой порошковой заготовки простой конфигурации пуансонами и (12) до плотности, обеспечивающей радиальное перемещение нагретого пористого материала. Эта плотность соответствует граничной степени деформации. Дальнейшее доуплотнение при движении верхним пуансоном вниз сопровождается формообразованием изделия с радиальным перемещением материала в зазор, образуемый верхней и подвижной матрицами. За счет того, что усилие пружин подпора матричной плиты (11) с подвижной матрицей меньше усилия, которое способствует деформации заготовки, происходит движение матрицы вниз. Верхняя матрица также осуществляет движение в осевом направлении вверх, поскольку давление у заготовки меньше усилия, которое способствует деформации

заготовки. При дальнейшем движении ползуна пресса матричная плита с подвижной матрицей фиксируется на упоре (14). Перемещаясь в середине стойки колонка, толкая поршень (9), повышает давление жидкости в гидравлически-регулируемом буфере (8) до величины давления большего, чем сопротивление, осуществляемое деформацией заготовки, подвижная матрица и верхняя матрица полностью смыкаются. Формирование изделия завершается. При движении ползуна пресса в первоначальное положение, в начальный момент осуществляется движение верхней части

пресс-блока кроме верхней матрицы, которая находится под давлением, прижимает заготовку к подвижной матрице. Затем происходит одновременное движение верхней части пресс-блока. Верхняя матрица возвращается в исходное положение за счет выравнивания давления жидкости в гидравлически-регулируемом буфере, а подвижная матрица - за счет давления пружин. Верхняя часть изделия освобождается. Под действием выталкивателя пресса нижний пуансон, который фиксируется в нижней плите (13), перемещается на зеркало подвижной матрицы, освобождая изделие.

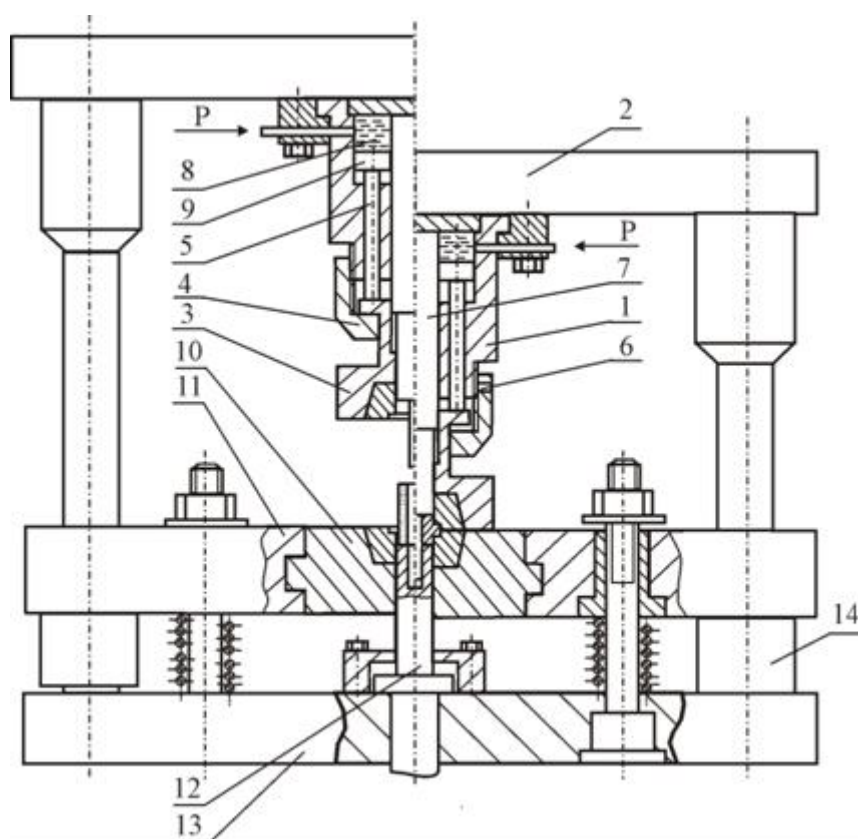


Рис. 2. Пресс-блок для изготовления втулок в начальный и окончательный момент перемещения матрицы и верхнего пуансона

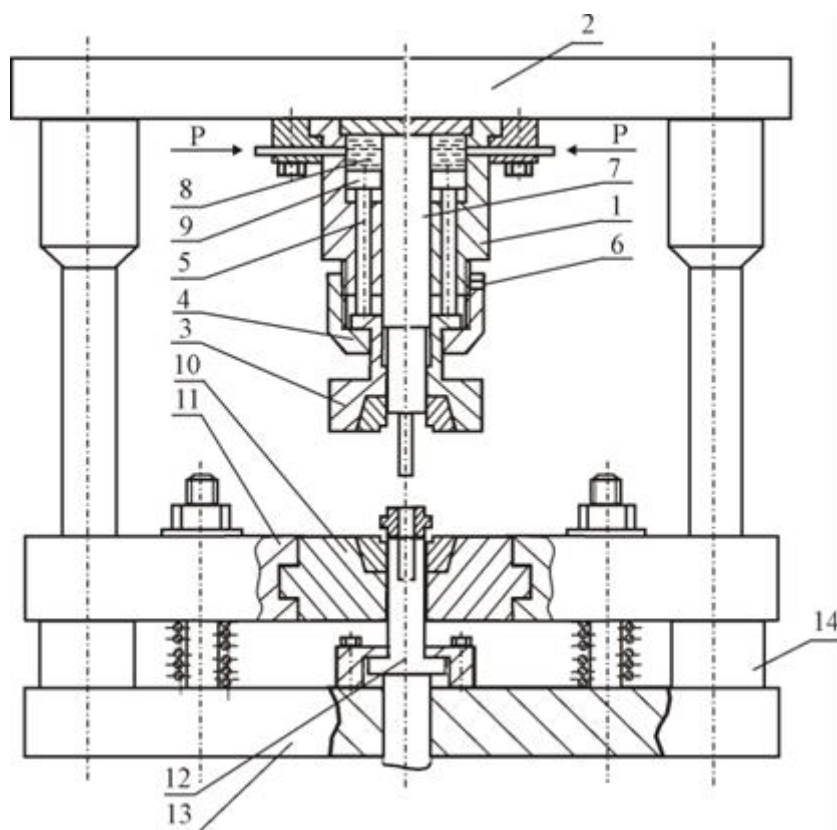


Рис. 3. Пресс-блок в момент окончания процесса

После наладки пресс-блока, давление в гидравлически регулируемом буфере имеет определенную величину. При превышении этого давления срабатывает предохранительный клапан, который снижает давление на верхнюю матрицу. Лишний объем металла, в случае увеличения массы заготовки, выдавливается из пустых сомкнутых матриц.

После штамповки получали втулки с диаметрами – внешний min 25 мм, внешний max 32 мм, внутренний 10 мм и высотой 21 мм. Относительная плотность втулок составляла 0,98 - 0,99, твердость 25 - 35 НВ, предел прочности при испытании на изгиб согласно ГОСТ 2652-85 составлял 120 МПа, коэффициент трения находился в пределах 0,06. Детали соответствовали чертежу и техническим условиям.

Выводы. 1. Определены расчетные показатели генераторного газа полученного из отходов древесины и полиэтилена в виде древесных гранул, покрытых полиэтиленом.

2. Предложена установка с комбинированным газогенератором использующая горизонтальную горелку объемного горения с поворотной ретортой для получения защитного генераторного газа.

3. Предлагается перед загрузкой печи с тремя зонами спекания dilatометром определить скорость перемещения пористых заготовок под штамповку в каждой из зон для получения необходимого размера заготовки и пористости. Применение предложенного способа позволит оптимизировать процесс спекания за счет определения скорости перемещения в каждой из зон печи.

4. Модернизация пресс-блока для изготовления втулок с относительной плотностью 0,98 - 0,99 позволяет повысить его надежность.

5. Разработана технология получения высокоплотных порошковых втулок на основе меди, использующая отходы древесины, полиэтилена и отходы кабельно-проводниковой продукции.

Список источников

1. Цховребов Э.С. Ресурсосбережение: основные этапы становления, теории и методы, тенденции и перспективы развития в промышленности и строительной индустрии России // Вестник МГСУ. 2020. – №1. – С. 112 – 158.
2. Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш. Экономика природопользования: Учебное пособие.- М.: ТЕИС, 1997. – 272 с.
3. Белоусова В.П. Рациональное использование вторичных ресурсов при изготовлении деталей машин методом порошковой металлургии : специальность 11.00.11. «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»: Диссертация на соискание кандидата технических наук. Архангел. гос. техн. ун-т. – Архангельск, 1999. – 203 с.
4. Лобанов Н.Д., Смирняков Ю. В. Методы обработки в порошковой металлургии // Сборник статей Международной научно-технической конференции. «Автомобили, транспортные системы и процессы: настоящее, прошлое, будущее» / Юго-Западный государственный университет. – Курск, 2019. – С. 110-111.
5. Никитин Ю. Н. Совершенствование технологии изготовления осесимметричных деталей из порошкового материала с использованием предельных степеней деформации: специальность 05.03.05 «Процессы и машины обработки давлением»: Диссертация на соискание кандидата технических наук. Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля. – Луганск, 2006. – 222 с.
6. Отходы деревообработки. // Лесная промышленность. URL: http://wood-prom.ru/analitika/15274_otkhody-derevoobrabotki?ysclid=mlvylzp0l3775256726.
7. Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования // ИВД.– 2015. – № 2-2. – С. 1-13.
8. Перспективы переработки древесных отходов. // ЛесПромИнформ. 2020. – №7 (153). – С. 112.
9. Губачева Л.А., Чижевская Д. Ю., Андреев, А.А. Совершенствование автомобильного газогенератора, газифицирующего биомассу и отходы полиэтилена // Технический журнал «АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо». – 2020. – Т. 19. – № 5. – С. 230-237.
10. Региональный бюллетень IPEN В БЕКЦА Декабрь 2022 г. – URL: www.ipen.org <https://www.stoptoxicsinecca.com>.
11. Пат. RU 2213766 C10 J3/18, 3/20, C10 G15/12. Способ получения синтез-газа из отходов пластмасс и устройство для его осуществления / Багрянцев Г.И., Ващенко С.П., Лукашов В.П., КИМ Чеол-Гью, ПАК Хьюн Сео.; опубл. 10.10.2003, Бюл. № 28.
12. DesVeaux, Eric C. D. Tan, Abhijit Dutta, Alberta C. Carpenter, Robert M. Baldwin, Gregg T. Techno-economic analysis and life cycle assessment of mixed plastic waste gasification for production of methanol and hydrogen // Green Chem. 2023. – № 25. – pp. 5068-5085. – DOI: 10.1039/D3GC00679D.
13. Shah HH, Amin M, Iqbal A, Nadeem I, Kalin M, Soomar AM and Galal AM. A review on gasification and pyrolysis of waste plastics // Frontiers in Chemistry. 2023. — pp. 1-38.
14. Замота Т. Н., Чижевская Д. Ю., Никитин Ю. Н., Коржевская М. В. Совершенствование способа гранулирования пеллетного топлива из отходов древесины и полиэтилена // Вестник Луганского

государственного университета имени Владимира Даля. – 2024. – № 1(1). – С. 67-77.

15. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: Справочник / Федорченко И.М., Францевич И.Н., Радомысельский И.Д. и др. / Под. ред. И.М. Федорченко. – К.: Наук. думка, 1985. – 642 с.

16. Баглюк Г. А., Мажарова Г. Е., Поздняк Л. А. Развитие работ в области горячей штамповки пористых порошковых заготовок. – К: ИПМ АН УССР, 1986. – 27 с.

17. Курилов П. Г., Рыбаулин В. М. Производство конструкционных изделий из порошков на основе железа. – М: Металлургия, 1992 – 128 с.

18. Кузина А.А., Носова Е.А. Материаловедение композиционных и порошковых материалов: учебное пособие. – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – 92 с.

19. А.с. 1456281 SU B22 F3/10. Способ спекания пористых изделий из порошков меди / Кем А.Ю., Зеленский В.И., Юневич В.Б., Иванов В.А. опубл. 07.02.89. Бюл. №5.

20. А.с. 685437 SU B22F 3/03. Пресс-форма для двухстороннего прессования изделий сложной формы из порошков / Бешенков Г. И., Декопов В. С., Злобин Г. П. опубл. 15.09.1979. Бюл. №34.

References

1. Tskhovrebov E.S. Resource Saving: Main Stages of Formation, Theories and Methods, Trends and Prospects of Development in the Industry and Construction Industry of Russia // Vestnik MGSU. 2020. – No. 1. – Pp. 112 – 158.

2. Bobylev S.N., Khodzhaev A.Sh. Economics of Environmental Management: Textbook. Moscow: TEIS, 1997 – 272 p.

3. Belousova, V.P. Rational use of secondary resources in the manufacture of machine parts by powder metallurgy: specialty 11.00.11. "Environmental Protection and Rational Use of Natural Resources": Dissertation for the Candidate of Technical Sciences. Arkhangelsk State Technical University. Arkhangelsk, 1999. – 203 p.

4. Lobanov N.D., Smirnyakov Yu.V. Processing Methods in Powder Metallurgy // Collection of Articles of the International Scientific and Technical Conference. "Automobiles, Transport Systems and Processes: Present, Past, and Future" / South-Western State University., Kursk, 2019. – Pp. 110-111.

5. Nikitin Yu. N. Improvement of the Technology of Making Osseymmetric Parts from Powder Material Using the Ultimate Degrees of Deformation: Speciality 05.03.05 "Pressure Treatment Processes and Machines": Dissertation for the Candidate of Technical Sciences. Vostochno-Ukrainsky National University named after Vladimir Dal. – Lugansk, 2006. –222 p.

6. Woodworking Waste. // Forest Industry. – URL: http://wood-prom.ru/analitika/15274_otkhody-derevoobrabotki?ysclid=mlvylyzp0l3775256726.

7. Mokhirev A.P., Bezrukikh Yu.A., Medvedev S.O. Processing of wood waste from timber industry enterprises as a factor of sustainable environmental management // IVD. 2015. – No. 2-2. – pp. 1-13.

8. Prospects for the processing of wood waste. // LesPromInform. 2020. – No. 7 (153). – P. 112.

9. Gubacheva L. A., Chizhevskaya D. Yu., Andreev, A. A. Improvement of an automobile gas generator that gasifies biomass and polyethylene waste // Technical journal "Autogas Refueling Complex + Alternative Fuel". 2020. – Vol. 19. – No. 5. – Pp. 230-237.

10. IPEN Regional Bulletin in EECCA, December 2022. URL: www.ipen.org <https://www.stoptoxicsineecca.com>.

11. Patent RU 2213766 C10 J3/18, 3/20, C10 G15/12. Method for producing synthesis gas from plastic waste and device for its implementation / Bagryantsev G.I., Vashchenko S.P., Lukashov V.P., KIM Cheol-Gyu, PAK Hyun Seo; published on 10.10.2003, Bulletin No. 28.

12. DesVeaux Eric C. D. Tan, Abhijit Dutta, Alberta C. Carpenter, Robert M. Baldwin, and Gregg T. Techno-economic analysis and life cycle assessment of mixed plastic waste gasification for production of methanol and hydrogen // Green

Chem. 2023. – No. 25. – Pp. 5068-5085. – DOI: 10.1039/D3GC00679D.

13. Shah HH, Amin M, Iqbal A, Nadeem I, Kalin M, Soomar AM and Galal AM. A review on gasification and pyrolysis of waste plastics // *Frontiers in Chemistry*. 2023. – Pp. 1-38.

14. Zamota T. N., Chizhevskaya D. Yu., Nikitin Yu. N., Korzhevskaya M. V. Improvement of the method of pellet fuel granulation from wood waste and polyethylene // *Bulletin of the Vladimir Dal Lugansk State University*. 2024. – No. 1(1). – Pp. 67-77.

15. Powder Metallurgy. Materials, Technology, Properties, and Applications: Handbook / Fedorchenko I.M., Frantsevich I.N., Radomyselsky I.D., et al. / Edited by I.M. Fedorchenko. – Kiev: Naukova Dumka, 1985. – 642 p.

16. Baglyuk G. A., Mazhariova G. E., Pozdnyak L. A. Development of work in the field

of hot stamping of porous powder blanks. K: IPM of the USSR Academy of Sciences, 1986. – 27 p.

17. Kurilov P. G., Rybaulin V. M. Production of structural products from iron-based powders. M: Metallurgy, 1992 – 128 p.

18. Kuzina A.A, Nosova E.A. Material Science of Composite and Powder Materials: Textbook. Samara: Samara University Publishing House, 2023. – 92 p.

19. A.S. 1456281 SU B22 F3/10. Method for Sintering Porous Copper Powder Products / Kem A.Yu., Zelensky V.I., Yunevich V.B., Ivanov V.A. publ. 07.02.89. Bull. No. 5.

20. A.S. 685437 SU B22F 3/03. Mould for double-sided pressing of complex-shaped products from powders / Beshenkov G. I., Dekopov V. S., Zlobin G. P. publ.15.09.1979. Bull. No. 34.

Статья поступила в редакцию 22.12.2025

Информация об авторах

Никитин Юрий Николаевич, к-т тех. н., доцент, доцент кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

SPIN-код: 3656-6820, AuthorID: 1328908

E-mail: ynnikitin@mail.ru

Гутько Юрий Иванович, д-р тех. н., профессор кафедры «Цифровые технологии и машины в литейном производстве» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: unigutko@yandex.ru

Тараненко Наталья Александровна, старший преподаватель кафедры «Цифровые технологии и машины в литейном производстве» Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: na taranenko@mail.ru

Information about the authors

Nikitin Yuri Nikolaevich, D.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., Department of transport technologies of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

SPIN-код: 3656-6820, AuthorID: 1328908

E-mail: ynnikitin@mail.ru

Gutko Yuri Ivanovich, Ph.D. (Eng.), Prof., Department of digital technology and machines in foundry production of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

E-mail: unigutko@yandex.ru

Taranenko Natalia Alexandrovna, senior Lecturer, Department of digital technology and machines in foundry production of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

E-mail: na taranenko@mail.ru

Для цитирования:

Никитин Ю.Н., Гутько Ю.И., Тараненко Н.А. Совершенствование способа получения высокоплотных порошковых изделий на основе меди // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1(6). – С. 5-16.

For citation:

Nikitin Yu.N., Gutko Yu.I., Taranenko N.A. Improving the method of producing high-density powder products based on copper // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – № 1(6). – P. 5-16.

**ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ,
ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ****TRANSPORT AND TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEMS
OF THE COUNTRY, ITS REGIONS AND CITIES, ORGANIZATION
OF PRODUCTION IN TRANSPORT**

УДК 656. 613.3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕИМУЩЕСТВ
РАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРОТУШЕНИЙ****Андреев А. А., Сингеев А. В., Кныш К. А.****RESEARCH OF TECHNOLOGICAL ADVANTAGES OF DIFFERENT
MODELS OF FIRE EXTINGUISHMENT MANAGEMENT****Andreev A. A., Singeev A. V., Knysh K. A.**

Аннотация. Цель нашего исследования – развитие технологий транспортной отрасли, науки и техники. Нами описаны конкретные действия внедрения отечественных разработок и новых видов транспортной продукции, а также технологий управления высокоавтоматизированными беспилотными и автономными транспортными средствами, автоматизации технологий в тушении возгораний в отдалённых и труднодоступных местах, применение новых источников генерации возобновляемой энергии транспорта; развитие логистики в поставках ГСМ для СТ и АТ, воды и средств пожаротушений; совершенствование транспортных технологий. Что особенно актуально ситуативно в настоящее время при СВО в РФ это применение новых видов АТ и СТ, БПТ, в том числе представленный для пожаротушений экраноплан, который способен брать на борт без дополнительных манипуляций порядка 200 тонн воды и может находиться на озере Байкал, водоёмах Урала и Сибири, откуда оперативно способен добраться до очагов ЧС. Нами исследована организация управления группировкой МЧС при тушении возгораний в сложных географических условиях с использованием различных видов транспортной техники, внедрён метод применения дирижаблей, конвертопланов, экранопланов, БПЛА, БПТ, на ППХ, ВХ и др.

Ключевые слова: дирижабль, конвертоплан, экраноплан, модель, управление, ресурсосбережение, авиационная техника (АТ), железнодорожный транспорт, специальная техника, специальный транспорт (СТ), пожарные автоцистерны (АЦ) транспортные технологии, противопожарные хабы (ППХ), вертолётные и беспилотные хабы (ВХ и БХ), беспилотный транспорт (БПТ).

Abstract. The purpose of our research is to develop technologies for the transport industry, science, and engineering. We have described specific actions for implementing domestic developments and new types of transport products, as well as technologies for managing highly automated unmanned and autonomous vehicles, automating technologies for extinguishing fires in remote and hard-to-reach areas,

and using new sources of renewable energy for transport. We have also developed logistics for supplying fuel and lubricants for ST and AT, water, and firefighting equipment, and improved transport technologies. What is especially relevant in the current situation in the Russian Federation is the use of new types of AT and ST, including the ekranoplan presented for firefighting, which can carry about 200 tons of water on board without additional manipulations and can be located on Lake Baikal, as well as in the water bodies of the Urals and Siberia, from where it can quickly reach the emergency situations. We have studied the organization of managing the EMERCOM group during firefighting in difficult geographical conditions using various types of transport equipment, and we have introduced the method of using airships, convertoplanes, ekranoplanes, UAVs, BPT, PPKh, VKh, and others.

Key words: airship, tiltrotor, ekranoplan, model, control, resource-saving, aviation equipment (AE), railway transport, special equipment, special transport (ST), fire truck cisterns (TC), transport technologies, fire-fighting hubs (FFH), helicopter and unmanned hubs (UH and UH), unmanned transport (UT).

Введение. Регулярные исследования и поиск перспективных моделей в ликвидации чрезвычайных ситуаций и в применении технических средств пожаротушения проводятся нами на системной основе. Они способствуют ускорению времени реагирования на ЧС, оперативной и своевременной информированности МЧС, спасателей, других ответственных ведомств и служб, а также для усовершенствования транспортных технологий в борьбе с возгораниями. Нами синтезируется передовой опыт, внедряются и свои разработки моделей пожаротушения, а также проводится оценка ЧС в применении средств для устранения возгораний районного и глобального масштаба. Мы прибываем в перманентном поиске путей новых решений для оптимизации процесса и развития новейших методов устранения пожаров в сложной ситуации при СВО в РФ, воздействия недружественных стран и врагов на наши гражданские объекты и всю промышленную инфраструктуру РФ, жилой и сельскохозяйственный сектор, структуры энергетики и т.д. Внедрение передового опыта новых мировых разработок в области борьбы с ЧС и в сферу пожаротушений даёт нам эффект технологического преимущества для

оперативного своевременного применения сил и средств МЧС по сравнению с другими мировыми субъектами.

Описание организации взаимодействия на ППХ, ВХ, БХ с АТ и СТ при ликвидации площадных и масштабных возгораний. Перед началом ликвидации пожара (ЧС) необходима точная экспертная оценка по объекту возгорания, сопоставление фактически необходимых на ВХ (ППХ) сил, технических средств и существующих реально в наличии, а также оперативная рекогносцировка подходов, подъездов СТ, возможность доставки воды и средств пожаротушения АТ, описанных нами в различных научных статьях [1], [2], [3], [4], [5]. Следующим этапом технологического процесса выступает формирование штаба по борьбе с ЧС с общим командным пунктом управления (КПУ), который поставит задачу и будет сопровождать общее руководство, оповещение и информирование всей группировки пожаротушения, выполняет расчёт и экономическое обоснование по себестоимости затрат, предполагаемых сил и средств при использовании СТ, АТ, БПТ, БПЛА, системы ГЛОНАСС и планированием логистических операций (взлёт, полёт, забор средств

пожаротушения, заправка ГСМ и т.д.) спасательного и пожарного вертолѐта, самолѐта, дирижабля (рис. 1), конвертоплана (рис. 2), экраноплана (рис. 3), БПЛА при ликвидации возгорания (пожара).

Разработка новой ресурсосберегающей модели пожаротушения (для снижения энергозатрат) с применением экранопланов, дирижаблей, конвертопланов, которые имеют дополнительный запас времени эксплуатации в полѐте при выполнении пожаротушения или воздушного наблюдения за очагами возгораний за счёт соответствующей конструкции и источников возобновляемой энергии в виде солнечных батарей, встроенных в конструкцию планера. В основу наших исследований положена концепция научно-технологического развития транспорта до 2035 года, которая утверждена распоряжением Правительства РФ по реализации проектов модернизации инфраструктуры отрасли, разработки новых видов транспортной техники, высокоавтоматизированных беспилотных технологий и развитие автономных транспортных средств с применением новых возобновляемых источников энергии транспорта при взаимодействии между всеми видами СТ, АТ. Также нами проводится исследование организации взаимодействия на ППХ, ВХ, БХ, учитывается технологическое преимущество разных моделей организации, управления пожаротушениями и влияние загруженности от дальности поставок, повышение производительности и ресурсосбережения пожарных вертолѐтов МИ-8 МТВ1, Ка-32П, самолѐтов Бе-200П и Ил-76П в ЧС. В комплекс действий

устранения пожаров входит применение железнодорожного транспорта и увеличение эффективности его применения [1], [2], [3], [4], [5]. Организацией руководства вверенными силами и средствами пожаротушения и координация действий в определённый момент времени выступает противопожарный поезд (ППХ), вертолѐтные хабы (ВХ), БХ или дирижабль (рис. 1) со стартовой площадкой БПЛА. КПУ является стержнем для всей группировки МЧС и ВКС, при этом применяются новейшие логистические приѐмы, операции управления АТ и СТ, геолокация с координацией ГЛОНАСС и спецсвязью. В моделировании предлагается методика применения спецоборудования с системой искусственного интеллекта для определения характера, масштаба возгораний, направления и скорости смещения пожара. Актуальными для организации и ресурсосбережения представляются новые виды АТ и СТ, в том числе экранопланы («Спасатель»), которые способны брать на борт (заправляться) до 200 тонн воды для тушения возгораний. В пожаротушении в перспективе может быть использован лёгкий экраноплан «Чайка-2» (рис. 3). Разработчики ЛА отмечают, что экранопланы не станут панацеей в целом при тушении пожаров, но могут стать эффективным средством для локализации крупных очагов возгораний [7].

Целью исследований является поиск качественно новых моделей, усовершенствование и учѐт передового опыта устранения площадных возгораний, ЧС различного характера, оптимизация организации и управления авиацией, БПЛА, робототехникой, структурами МЧС и другими ведомствами. Вторым аспектом выступает сравнение всех ранее исследованных, опробованных и

предлагаемых новейших методов и технологий для поиска путей снижения времени реагирования на ЧС и снижения размеров причинённого пожарами ущерба во имя сохранения жизни, здоровья людей и экологически чистой окружающей среды.

Предметом исследования в статье выступают СТ, АТ техника, робот –

пожарный (БПТ), БПЛА, дирижабль (рис. 1), конвертоплан (рис. 2), новейшие разработки российских инженеров, экраноплан для тушения масштабных лесных, ландшафтных пожаров и устранения ЧС в отдалённых местах [1], [2], [3], [4], [5].



Рис. 1. Вид дирижабля для потенциального использования в целях пожаротушения



Рис. 2. Вид отечественного конвертоплана для потенциального использования в целях пожаротушения



Рис. 3. Вид отечественного экраноплана «Чайка» для потенциального использования в целях пожаротушения

Объектом исследования выступают перспективные технологии транспортных процессов; транспортно-технологическое обслуживание, приёмы и методы модернизации, усовершенствования применяемых средств управления и организации пожаротушений; ресурсосберегающие технологии, методы

оптимизации по критерию наименьших затрат топлива на доставку 1 т воды в применении процесса эксплуатации противопожарных средств с КПУ (ВХ, ППХ и др.). Схема применения АТ средств пожаротушения (ПТ) с учётом ветра выглядит так (рис. 4):

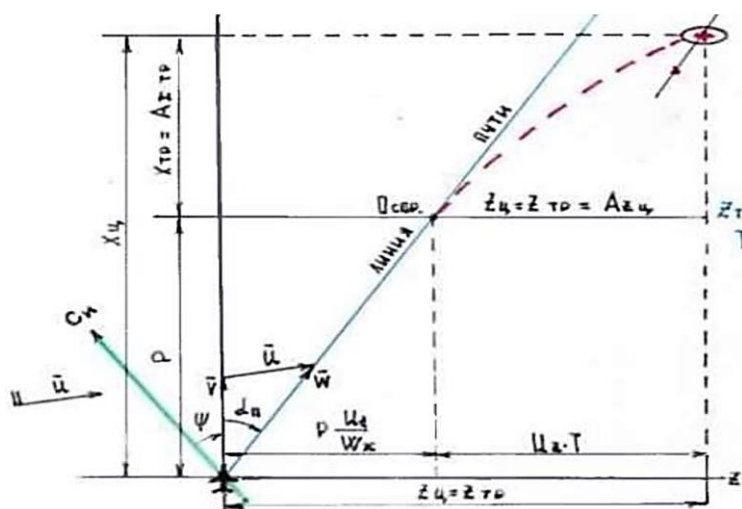


Рис. 4. Схема применения средств пожаротушения (ПТ) с учётом ветра

где $T\Sigma$ – суммарное время от точки начала прицеливания до точки реагирования (сброса) средств пожаротушения;

– $Z_{тр} = Az_{тр}$ – относ. (влияние ветра) средств ПТ по оси Z;

– $Z_{ц} = Z_{тр}$ – горизонтальная составляющая при прицеливании по оси Z;

– $X_{ц}$ – продольная составляющая от начала прицеливания до точки реагирования;

– $X_{тр}$ – продольная составляющая от начала сброса до точки рассеивания средств;

– $\hat{U}$ – скорость ветра;

– W – путевая скорость ЛА;

– P – путь, пройденный от начала прицеливания до сброса средств пожаротушения.

$$T\Sigma = T + \frac{X_{ц} - X_{тр}}{W_{ц}}, \quad (1)$$

$$Z_{тр} = Az_{тр} = \hat{U} z \cdot T_z, \quad (2)$$

$$Z_{ц} = Z_{тр} = Az_{ц}, \quad (3)$$

$$X_{тр} = Ax_{тр}, \quad (4)$$

$$X_{ц} = P + X_{тр}, \quad (5)$$

$$P = W \cdot T_{нпр} \quad (6)$$

Системные действия по устранению возгораний начинаются с определения природы возникновения масштабных пожаров и возгораний в труднодоступных отдалённых местах, оценки возможных путей купирования ЧС, моделирования процесса пожаротушений, применения сил и средств МЧС. Для объективной оценки ЧС использовались сводки МЧС РФ и мировых СМИ. Можно отметить, что в 2025 году лесные пожары вспыхнули и распространились на обширных территориях России. Только на Дальнем Востоке в мае 2025 года площадные лесные пожары охватили 629 000 гектаров земли. Кроме этого, отмечались масштабные пожары в Забайкалье, Сибири и других регионах РФ.

Из открытых источников проведён мониторинг площадных возгораний, в том числе в труднодоступных и удалённых местах, складах, газопроводах и нефтепроводах, НПЗ и других промышленных объектах. Согласно сводкам за 12 месяцев 2025 г. произошло 317 311 пожаров (за аналогичный период прошлого года (АППГ) – 347 442 – 8,7%), на которых погиб 6 521 человек (АППГ – 7 575 – 13,9%), в том числе 295 несовершеннолетних (АППГ – 380 – 22,4%), зарегистрированный материальный ущерб составляет 22,8 млрд рублей (АППГ – 19,8 – 15,2%). На пожарах спасен 22 691 человек (АППГ – 24 705 – 8,2%), эвакуировано 183 088 человек (АППГ – 200 800 – 8,8%). В среднем ежедневно происходило 869 пожаров, на которых погибало 18 человек, получали травмы 22 человека, огнем уничтожалось 95 строений. Количество погибших на 100 тыс. человек населения – 4,3 человека (АППГ – 5,0), количество травмированных на 100 тыс.

населения – 5,3 человека (АППГ – 5,5). За рубежом отмечены сложные высотные повышенного класса пожары. Так 26 ноября 2025 года в Гонконге пожар охватил высотные здания жилого комплекса Тай По (рис. 6), возгорание классифицировали максимальной степени опасности, где проживали около 4 тыс. человек [6], [7], [8]. Своевременно погасить пожар не смогли так как службы Гонконга не имели возможности из-за труднодоступности и отсутствия соответствующей техники и опыта борьбы в такой ситуации. Синтез и учёт информации о ведении борьбы с различными возгораниями бесценен для моделирования процессов. Применение современных технологий и методов, а также обновление и обеспечение техническими средствами МЧС заметно влияет на тенденции снижения печальных показателей ущерба от пожаров. Характер изменений тенденции ЧС по состоянию на 2025 год отображён на (рис. 5).

Новизной в статье выступает развитие транспортной науки, технологий транспортных процессов, взаимодействие предложенных нами и ранее не применяемых в целях пожаротушения видов транспорта; новые приёмы и методы устранения ЧС, модернизация устаревших и усовершенствование организации средств управления комплексным использованием средств пожаротушения, ресурсосбережение, оптимизация процесса по критериям наименьшего расстояния до очага подавления возгорания (ЧС) и минимальной затраты топлива на доставку 1 тонны воды, а также КПУ с применением технологии оперативного использования противопожарных средств с (ВХ и ППХ и др.).

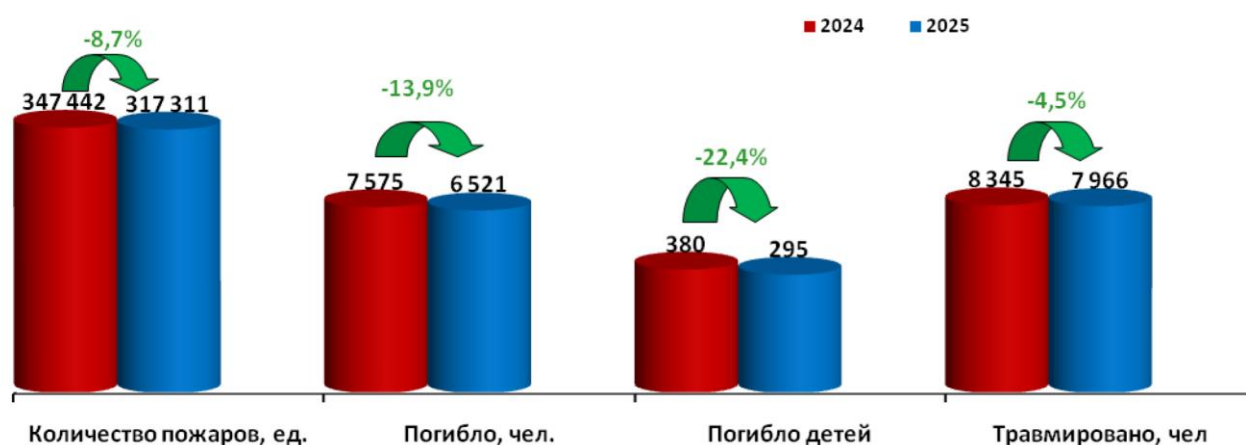


Рис. 5.Тенденция изменений ЧС по состоянию на 2025 год

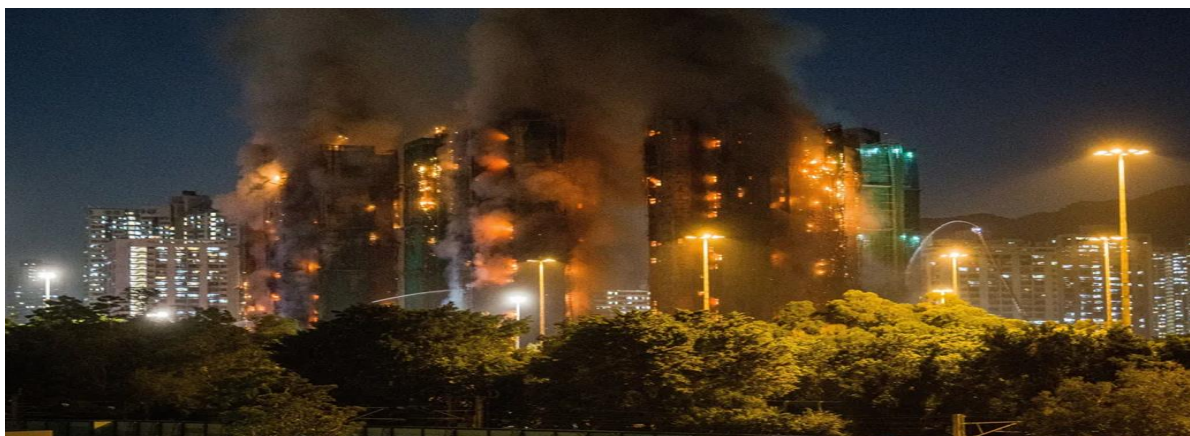


Рис. 6. Пожар в Гонконге 26 ноября 2025 года

Материалы и методы. Материалы исследования в применении пожарной техники заключаются в том, что проводимая нами исследовательская работа соответствует текущим интересам и запросам государства в совершенствовании устранения пожаров и масштабных возгораний, проблемам и вызовам в области ликвидации ЧС. Она подчёркивает значимость в быстро меняющейся в РФ и мире пожароопасной обстановки, представляет научный интерес и высокую ценность. Исследования и наши разработки ярко демонстрируют технологические преимущества предложенных моделей, а также передовых методик пожаротушения и указывают на необходимость исследования в данной области в настоящий момент времени при СВО.

Методы взаимодействия различных видов СТ, АТ, БПТ, БПЛА, экранопланов, конвертопланов и дирижаблей при устранении ЧС влияют на сокращение причинённого от пожаров материального ущерба, способствуют сохранению жизни и здоровья людей и животных, экологии и т.д.

При подготовке к публикации данной научной статьи, которая является продолжением научных статей: «Влияние загруженности и дальности поставок на производительность и ресурсосбережение вертолёт» [1], «Усовершенствование транспортной технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций в отдалённых и труднодоступных районах» [2], «Усовершенствование взаимодействия и увеличение эффективности

железнодорожного и других видов специального транспорта в чрезвычайных ситуациях» [3], «Исследование технологии комплексного применения авиационной техники со специальным транспортом при ликвидации объёмных возгораний» [4], «Усовершенствование организации управления и оптимизации в применении пожарной авиатехники, БПЛА со специальным наземным транспортом» [5], использовались многие другие открытые источники информации.

Результаты и обсуждения. Анализ последних исследований и публикаций в области ЧС показали, что за 12 месяцев 2025 года пожарно-спасательные подразделения РФ реагировали на 317 311 пожаров, это на 8,7% меньше, чем за аналогичный период 2024 года (347 442 пожара). Погибло людей: 6 521 человек (уменьшение на 13,9% в сравнении с 2024 годом, когда жертвами огня стали 7 575 человек). По травматизму: 7 966 человек (снижение на 4,5% в сравнении с 2024 годом, когда получили травмы 8 345 человек). Общий материальный ущерб составил: 22,8 млрд рублей (вырос на 15,2% по сравнению с 2024 годом, когда ущерб составлял 19,8 млрд рублей). Спасены и эвакуированы: спасены 22 691 человека, эвакуированы 183 088 человек (снижение на 8,2% и 8,8% соответственно).

Выводы: На основании проведенных исследований можно сделать заключение.

1. Проведённые исследования в области пожаротушений, разработка транспортных технологий в борьбе с ЧС, предоставляют нам возможность:

- выполнять фундаментальную системную работу по развитию транспортной науки, оптимизации процесса и сокращению времени реагирования на ликвидацию пожаров и возгораний

различной сложности, удалённости от мест дислокации ведомственных сил МЧС;

- купировать возгорания и устранять в короткие сроки выявленные пожары.

2. Моделирование процесса и методик технологии пожаротушения даёт возможность с высокой эффективностью применить группировку МЧС, соответствующую масштабу ЧС (пожара), классности и площади возгорания, способствует сохранению жизни, здоровья людей и животных, окружающей экологии и ресурсосбережению.

3. После экспертной оценки масштаба происходящего пожара (площадного, объёмного, высотного, ландшафтного, лесного, техногенного и т.д.) целесообразно применять основные модели, силы и средства группировки МЧС, к которым относятся:

- традиционные, с использованием АЦ, ППХ, ВХ, БХ, АТ, СТ, БПЛА, робототехники и личного состава МЧС и т.д.;

- контактные, непосредственно с выброской пожарных парашютистов;

- воздушные (дистанционные), со стартовой площадкой БПЛА и конвертопланов на дирижабле;

- непосредственные (вблизи масштабных возгораний) с помощью экраноплана, с максимально возможным количеством воды для пожаротушения;

- смешанные, для подавления возгораний с комплексным применением различных моделей и разработанных методик МЧС.

4. В основу наших исследований положена концепция научно-технологического развития СТ, АТ, БПТ, БПЛА, разработки применения в целях пожаротушений (ЧС) новых видов транспортной техники,

высокоавтоматизированных беспилотных технологий и развитие автономных транспортных средств с применением новых возобновляемых источников энергии транспорта.

5. Суть решаемой в статье задачи напрямую повышает основные показатели эффективности процесса пожаротушения, ведёт к снижению затраченного времени на устранение ЧС, а, следовательно, уменьшает материальный и экономический ущерб, нанесённый пожарами, сохраняет моторесурс АТ.

Список источников

1. Андреев А.А., Сингеев А.В., Петров А.Г. Усовершенствование транспортной технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций в отдаленных и труднодоступных районах // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2021. – № 6 (48). – С. 22-28.

2. Андреев А.А., Сингеев А.В. Влияние загруженности и дальности поставок на производительность и ресурсосбережение вертолётов МИ-8 МТВ1 в ЧС // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2022. – №7(61). – С. 17-22.

3. Андреев А.А., Сингеев А.В., Будиков Л.Я., Захарчук А.С. Усовершенствование взаимодействия и увеличение эффективности железнодорожного и других видов специального транспорта в чрезвычайных ситуациях// Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2023 №7(73). – С. 21-25.

4. Андреев А. А., Сингеев А. В., Петров А. Г. Исследование технологии комплексного применения авиационной техники со специальным транспортом при ликвидации объёмных возгораний// Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2024 №7(85). – С. 5-13.

5. Андреев А.А., Сингеев А.В., Усовершенствование организации управления и оптимизации в применении пожарной авиатехники, БПЛА со специальным наземным транспортом // Вестник ЛГУ им. В. Даля. – 2025. – № 3 (93). – С. 9-17.

6. МЧС. [Электронный ресурс] //www.mchs.gov.ru/ – Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru/>.

7. РИА новости [Электронный ресурс] //www.https://ria.ru/20241206/pozhar-1987650761.html?ysclid=m4la3hc4gy622572466

8. Интерфакс [Электронный ресурс] //www.https://www.interfax-russia.ru/.

References

1. 1. Andreev A.A., Singeev A.V. The Influence of Load and Supply Distance on the Performance and Resource Saving of MI-8 MTV1 Helicopters in Emergency Situations // Vestnik LGU im. V. Dal. – 2022 No. 7 (61). – Pp. 17-22.

2. Andreev A.A., Singeev A.V., Budikov L.Ya., Zakharchuk A.S. Improvement of interaction and increase in efficiency of railway and other types of special transport in emergency situations// Vestnik LSU im. V. Dallya. – 2023 No. 7 (73). – Pp. 21-25.

3. Andreev A. A., Singeev A. V., Petrov A. G. Research of the technology of complex application of aviation equipment with special transport in the elimination of volumetric fires// Vestnik LSU im. V. Dallya. – 2024 №7 (85). – P. 5-13.

4. Andreev A. A., Singuev A. V., Petrov A. G. Research of the technology of complex application of aviation equipment with special transport in the liquidation of volumetric fires// Vestnik LGU im. V. Dallya. – 2024 №7 (85). – P. 5-13.

5. Andreev A.A., Singuev A.V., Improvement of the organization of management and optimization in the application of fire aviation equipment, UAVs with special ground transport // Bulletin of V. Dal Leningrad State University. – 2025. – No. 3 (93). – Pp. 9-17.

6. Ministry of Emergency Situations. [Electronic resource] //www.mchs.gov.ru/ – Access mode: <http://www.mchs.gov.ru/>.

7. RIA Novosti [Electronic resource] //www.https://ria.ru/20241206/pozhar-1987650761.html?ysclid=m4la3hc4gy622572466

8. Interfax [Electronic resource] //www.https://www.interfax-russia.ru/.

Статья поступила в редакцию 29.12.2025

Информация об авторах

Андреев Александр Александрович, к.тех.н., доцент кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
E-mail: qjdj1@mail.ru

Сингеев Андрей Васильевич, старший преподаватель кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля». **E-mail:** singeev67@mail.ru

Кныш Ксения Александровна, магистрант ТЛ-541м кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля».

Information about the authors

Andreev Alexander Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Transport technologies" of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: qjdj1@mail.ru

Singeev Andrey Vasilievich, Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: singeev67@mail.ru

Knysh Ksenia Aleksandrovna, a master's student of the Department of Transport Technologies of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

Для цитирования:

Андреев А.А., Сингеев А.В., Кныш К.А. Исследование технологических преимуществ разных моделей организации управления пожаротушений // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1(6). – С. 17-26.

For citation:

Andreev A.A., Singeev A.V., Knysh K. A. Research of technological advantages of different models of fire extinguishment management // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – № 1(6). – P. 17-26.

УДК 656.13:004.056

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ
В Г.КРАСНОДОН И КРАСНОДОНСКОМ МУНИЦИПАЛЬНОМ ОКРУГЕ
И ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ****Верительник Е. А., Куриной А. А., Калинин А. В.****ANALYSIS OF ROAD TRAFFIC SAFETY IN THE CITY OF KRASNODON
AND THE KRASNODON MUNICIPAL DISTRICT AND WAYS
TO MINIMIZE ROAD ACCIDENTS****Veritelnik E. A., Kurinoy A. A., Kalinin A. V.**

Аннотация. В статье анализируется динамика дорожно-транспортных происшествий в Краснодонском муниципальном округе ЛНР за 2023–2025 гг. На основе статистических данных выявляются ключевые факторы риска, включая временные периоды и конкретные географические очаги аварийности. Особое внимание уделено росту смертности на федеральных трассах и специфике ДТП в темное время суток.

Ключевые слова: организация дорожного движения, технические средства, дорожно-транспортные происшествия.

Abstract. The article analyzes the dynamics of road accidents in the Krasnodon municipal district of the LPR in 2023-2025. Based on statistical data, key risk factors are identified, including time periods and specific geographical accident centers. Special attention is paid to the increase in deaths on federal highways and the specifics of accidents at night.

Key words: traffic management, technical means, traffic accidents.

Введение. Одной из приоритетных задач обеспечения национальной безопасности Российской Федерации является повышение безопасности дорожного движения и снижение смертности на дорогах. Однако, в таких регионах как ЛНР, ДНР, Херсонская и Запорожская области решение задачи повышения безопасности дорожного движения усложняется особенностями развития регионов. С момента вхождения в состав РФ в этих регионах большинство автомобильных дорог были восстановлены. Однако, ввиду ограничений по видеофиксации нарушений, при высокой интенсивности в том числе и транзитного движения, такие дороги остаются зонами

повышенного риска. Одним из таких примеров являются дороги Краснодонского муниципального округа, – здесь проходят как дороги местного, так и федерального значения.

По данным ГИБДД за 12 месяцев 2024 года на территории г. Краснодона и Краснодонского муниципального округа было зарегистрировано 129 ДТП с пострадавшими, что на 10,8% меньше показателей 2023 года (143 случая). Однако, несмотря на общее снижение числа аварий, ситуация остается сложной из-за высокой смертности в этих ДТП – 42,8% (30 погибших в 2024 году против 21-го в 2023 г.). Необходимо проведение анализа обстоятельств и причин аварийности для

комплексного решения проблемы повышения безопасности дорожного движения в регионе.

Актуальность исследования обусловлена возрастанием тяжести последствий ДТП при общем снижении их количества.

Материалы и методы. Анализ ДТП позволяет не только констатировать факт происшествия, но и даст возможность разработать конкретные инженерные решения и способы контроля, применительно конкретно к этим регионам. Анализ происшествий основан на данных ГИБДД за периоды с 2023 по 2025 года.

Распределение ДТП по месту совершения показывает, что большинство их происходит на участке, который является федеральной трассой Р-260 «Волгоград-Каменск-Шахтинский-Луганск», на котором в течение 2024 года произошло 81 ДТП. Было выявлено два топографических «очага концентрации ДТП». Первый участок – выезд из г. Краснодон и второй – район с. Самсоновка. Это вероятно связано с повышением интенсивности движения из-за наложения транзитного движения с

местным трафиком, так как федеральная трасса фактически проходит посреди этих населенных пунктов. Статистические данные подтверждают, что большая часть происшествий в этих зонах связана с иногородним (транзитным) транспортом (за год 73 ДТП, из которых 57 именно на трассе Р-260).

По полученным данным около 30% всех ДТП в регионе произошли в темное время суток. Это может свидетельствовать как о недостаточном уровне освещенности опасных участков, так и о пренебрежении водителями правил пользования световыми приборами, а также превышении скоростного режима в условиях недостаточной видимости. Как правило тяжесть последствий ДТП в темное время суток выше из-за запоздалой реакции водителя. Это коррелирует с данными о том, что выезд на встречную полосу стал причиной 24-х ДТП в 2024 году (рост на 14%). Зачастую это связано с попыткой обгона в темное время суток (рис. 1).

Среди причин ДТП за периоды 2023-2024 гг. с пострадавшими лидируют столкновения, а также наезд на пешеходов (рис. 2).

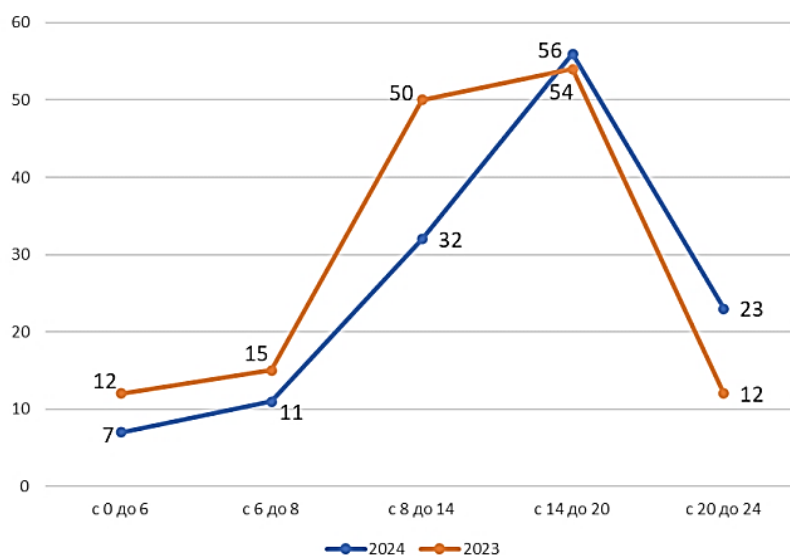


Рис. 1. Распределение ДТП по времени суток



Рис. 2. Сведения о количестве ДТП с распределением по видам

За 10 месяцев в 2025 году отмечается снижение общего числа ДТП до 72 случаев и сокращение числа погибших и раненых до 97, однако, сохраняется рост нарушений проезда перекрестков (рост с 5 до 11 случаев) и нарушений на пешеходных переходах (рост с 7 до 11 случаев) (табл. 1).

Таблица 1

Сведения о состоянии аварийности на территории обслуживания
ОГИБДД ОМВД России "Краснодонский" с нарастающим итогом за октябрь 2025 года

Причины ДТП	ДТП с пострадавшими					
	ДТП		погибло		ранено	
	2024	2025	2024	2025	2024	2025
Управление в нетрезвом состоянии	9	0	0	0	12	0
Превышение безопасной скорости	24	24	2	6	30	22
Маневрирование	9	6	1	1	16	6
Нарушение правил обгона	22	6	18	3	36	6
Проезд перекрестков	5	11	0	0	7	23
Нарушение ПДД пешеходами	8	4	2	1	6	3
Нарушение правил проезда пешеходных переходов	7	11	2	4	5	8
Прочие нарушения	20	10	2	2	26	12
ДТП с участием детей	21	6	1	1	26	5
из них по вине детей	8	1	0	1	12	0
ДТП с участием автобусов	2	1	0	2	2	0
ВСЕГО	127	79	28	20	166	85

Результаты и обсуждения. На основе проведенного анализа для повышения безопасности дорожного движения предлагается комплекс мер по выявленным направлениям сокращения нарушений ПДД. На основании представленных статистических данных предложено внедрение организационных, инженерных мероприятий, а также элементов

интеллектуальных транспортных систем [1].

Так как за 10 месяцев 2025 года был зафиксирован рост нарушений при проезде перекрестков более чем в два раза (с 5 до 11 случаев), – рекомендуется установка контроллеров с детекторами транспортного потока в черте г. Краснодона со средствами видеофиксации нарушений. Это позволит

регулировать светофорные фазы в реальном времени, что минимизирует количество столкновений, вызванных нарушениями проезда перекрестков. Однако, данная рекомендация должна реализовываться с учетом региональных особенностей, а именно ограничениями по установке средств онлайн видеофиксации. Перспективным может быть применение стационарных офлайн устройств фото-видеофиксации, с последующей физической выгрузкой данных патрулем, либо способных автономно идентифицировать нарушения и затем передавать информацию пакетами, в зашифрованном виде. Также возможна организация скрытого патрулирования для фиксации агрессивного вождения и выездов на встречную полосу.

Необходимо оборудование «умных пешеходных переходов» [2], с применением систем проекционной разметки и светового оповещения, активируемого при появлении пешехода. Это особенно актуально для населенных пунктов, расположенных вдоль трассы Р-260 (включая с. Самсоновка, с. Хрящеватое и др.).

Для снижения рисков ДТП, связанных с движением транзитного транспорта, предлагается установка цифровых табло, предупреждающих водителей о приближении к аварийно-опасным участкам и информирующих о погодных условиях, что позволит снизить аварийность из-за неудовлетворительных дорожных условий, ставших причиной 9 ДТП в 2024 году.

Учитывая, что 30% ДТП произошли в темное время суток, возможно внедрение систем управления яркостью уличного освещения, которые автоматически усиливают световой поток при

обнаружении приближающегося транспортного средства на потенциально опасных участках трассы.

Интеграция предлагаемых технологических решений в сочетании с традиционным маневрированием нарядов ДПС и скрытым патрулированием позволит достичь снижения числа ДТП и смертности на дорогах Краснодонского муниципального округа и повысить безопасность транзитного сообщения на федеральной трассе.

В условиях запрета на использование средств автоматической фотовидеофиксации повышенное внимание необходимо уделить организации инженерно-технических решений (физических ограничений). Необходимо, где это, возможно, увеличить число полос, а где невозможно – использовать физические барьеры [3]. Предлагается установка барьерного ограждения (тросового или металлического) на аварийных участках дороги, проходящих через с. Самсоновка и с. Придорожное. Это исключит возможность наиболее летальных лобовых столкновений. Необходимо продолжить нанесение поперечных шумовых полос перед опасными участками и пешеходными переходами. Это заставит водителей снижать скорость за счет звуковой и вибрационной отдачи.

Чтобы физически замедлить трафик и повысить безопасность пешеходов на проезжей части необходима организация островков безопасности на пешеходных переходах, где в 2025 году произошло 11 ДТП.

Дополнительно на особо опасных участках нужно установить предупреждающие аншлаги с надписями «Внимание! Очаг ДТП» и статистикой погибших на таком участке для

психологического воздействия на водителей.

Также эффективным будет применение метода «движение в колонне» за патрульным автомобилем с включенными проблесковыми маячками на опасных отрезках Р-260 в периоды пиковой интенсивности [4].

Можно отметить, что проведение профилактических разъяснительных мероприятий в образовательных организациях региона привело к сокращению количества ДТП с участием детей за рассматриваемый период, поэтому планируется расширение посещения учебных заведений с лекциями о безопасности дорожного движения.

Выводы. Таким образом, проведенный анализ позволил выявить причины и места концентрации ДТП в г. Краснодаре и Краснодарском муниципальном округе ЛНР, а также предложен комплекс мер по повышению безопасности дорожного движения и сокращению количества ДТП.

Список источников

1. Организация и безопасность дорожного движения: Учебник / В.А. Мунин, А.Н. Галкин, К.В. Костин [и др.]. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 229 с. – (Университеты России). – ISBN 978-5-534-11811-7. – EDN QQJOMR.

2. Николаева Р. В. Оценка влияния технических средств организации дорожного движения на безопасность дорожного движения / Р. В. Николаева, А. И. Гимаданов // Техника и технология транспорта. – 2019. – № 3(14). – С. 8. – EDN TTGCZD.

3. Зотин А. В. Безопасность дорожного движения – организация автоматизированного контроля в зарубежных странах / А. В. Зотин,

В. М. Исаков, Е. А. Никоноров // Право. Безопасность. Чрезвычайные ситуации. – 2021. – № 4(53). – С. 15-18. – EDN VPTTGA.

4. Ващакина Т. В. Организация дорожного движения как средство повышения безопасности на автомобильных дорогах / Т. В. Ващакина // Современные проблемы транспортного строительства, автомобилизации и высокоинтеллектуальные научно-педагогические технологии: Тезисы докладов на Международной научной конференции, посвященной 70-летию СибАДИ, Омск, 20-24 сентября 2000 года. Том I. – Омск: СибАДИ, 2000. – С. 66-68. – EDN YXJPZR.

References

1. Road Traffic Organization and Safety: Textbook / V.A. Munin, A.N. Galkin, K.V. Kostin [et al.]. – 2nd ed., trans. and add. – Moscow: Yurait Publishing House, 2019. – 229 p. – (Universities of Russia). – ISBN 978-5-534-11811-7. – EDN QQJOMR.

2. Nikolaeva R. V. Assessment of the Impact of Technical Means of Road Traffic Organization on Road Safety / R.V. Nikolaeva, A.I. Gimadanov // Transport Engineering and Technology. – 2019. – No. 3 (14). – P. 8. – EDN TTGCZD.

3. Zotin A.V. Road safety – organization of automated control in foreign countries / A.V. Zotin, V.M. Isakov, E.A. Nikonorov // Law. Security. Emergencies. – 2021. – No. 4 (53). – Pp. 15-18. – EDN VPTTGA.

4. Vashchakina T. V. Road traffic organization as a means of improving road safety / T. V. Vashchakina // Modern problems of transport construction, motorization and highly intelligent scientific and pedagogical technologies: Abstracts of reports at the International scientific conference dedicated to the 70th anniversary of SibADI, Omsk, September 20-24, 2000. Volume I. – Omsk: SibADI, 2000. – Pp. 66-68. – EDN YXJPZR.

Статья поступила в редакцию 29.12.2025

Информация об авторах

Верительник Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и транспорта Краснодарский факультет инженерии и менеджмента, Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

SPIN-код: 2871-2796, AuthorID: 1032939

E-mail: jenver@yandex.ru

Куриной Алексей Александрович, майор полиции, начальник отделения ГИБДД ОМВД России «Краснодонский».

E-mail: leha.kurinnoy.79@mail.ru

Калинин Александр Владимирович, ст. преподаватель кафедры информационных технологий и транспорта, ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Краснодарский факультет инженерии и менеджмента.

SPIN-код: 1266-9545, AuthorID: 1326431

E-mail: alex.asimo@yandex.ru

Information about the authors

Veritelnik Evgeny Anatolyevich, candidate of technical Sciences, Associate Professor of the Information Technologies and Transport Krasnodon Faculty of Engineering and Management of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

SPIN-код: 2871-2796, AuthorID: 1032939

E-mail: jenver@yandex.ru

Kurinnoy Alexey Alexandrovich, Major of Police, Head of the Traffic Police Department of the Krasnodon District Police Department.

E-mail: leha.kurinnoy.79@mail.ru

Kalinin Aleksandr Vladimirovich, senior lecturer of the Information Technologies and Transport Krasnodon Faculty of Engineering and Management of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

SPIN-код: 1266-9545, AuthorID: 1326431

E-mail: alex.asimo@yandex.ru

Для цитирования:

Верительник Е. А., Куриной А. А., Калинин А. В. Анализ состояния безопасности дорожного движения в г. Краснодар и краснодонском муниципальном округе и пути сокращения дорожно-транспортных происшествий // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1(6). – С. 18-32.

For citation:

Veritelnik E. A., Kurinnoy A. A., Kalinin A. V. Analysis of road traffic safety in the city of Krasnodon and the krasnodon municipal district and ways to minimize road accidents // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – № 1(6). – P. 18-32.

УДК 656.225

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОНВЕЙЕРНЫХ СИСТЕМ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ С ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ

Турушина Н. В., Гончарова К. А.

OPERATION OF AIR CUSHION CONVEYOR SYSTEMS DURING LOADING AND UNLOADING OPERATIONS WITH RAILWAY ROLLING STOCK

Turushina N. V., Goncharova C. A.

Аннотация. В статье рассматривается вопрос о возможности эксплуатации конвейерных систем на воздушной подушке на производстве или в складах в зоне хранения, приемки и отправки груза при выполнении погрузочных или разгрузочных операций с железнодорожным подвижным составом. Показаны целесообразность и эффективность применения конвейерных систем на воздушной подушке для механизации и автоматизации транспортно-складских работ в зоне хранения груза на стеллажах во взаимодействии с железнодорожным подвижным составом.

Ключевые слова: конвейерные системы на воздушной подушке, погрузочно-разгрузочные работы, железнодорожный подвижной состав, стеллажный склад, расход воздуха.

Abstract. The article discusses the possibility of using air cushion conveyor systems in production or warehouses in the area of storage, acceptance, and shipment of cargo during loading or unloading operations with railway rolling stock. The article demonstrates the feasibility and effectiveness of using air cushion conveyor systems for mechanization and automation of transport and storage operations in the area of cargo storage on racks in cooperation with railway rolling stock.

Key words: air-cushion conveyor systems, loading and unloading operations, railway rolling stock, rack warehouse, air consumption.

Введение. Современные технологии механизации и автоматизации играют ключевую роль в оптимизации трудоемких погрузочно-разгрузочных работ. Их применение позволяет существенно увеличить производительность, сократить время простоя вагонов и повысить эффективность работы погрузочно-разгрузочных зон. Погрузочно-разгрузочные операции включают в себя не только загрузку и выгрузку транспортных средств, но и перегрузку между ними, сортировку, перемещение и складирование грузов. Для обработки разнообразных грузов,

перевозимых по железной дороге, используются специализированные устройства, такие как краны, краны-штабелеры, погрузчики и конвейеры.

Для оптимизации погрузочно-разгрузочных операций на железнодорожном транспорте сегодня рассматриваются передовые конвейеры, использующие принцип воздушной подушки. Эта технология позволяет создавать высокопроизводительные и протяженные системы, которые при этом отличаются экономичностью в потреблении

энергии и металла, а также совместимостью с обычными конвейерными лентами.

Конвейерные системы на воздушной подушке обеспечивают двустороннее движение, что позволяет эффективно выполнять как загрузочные, так и разгрузочные операции. Это делает их оптимальным решением для складских комплексов и производственных предприятий. Применение таких конвейеров для погрузочно-разгрузочных работ с железнодорожным транспортом определяется наличием соответствующей инфраструктуры и спецификой обрабатываемых грузов.

Цель статьи – улучшение эффективности работы транспортно-складской системы на предприятиях или в складах в зоне хранения, приемки и отправки груза с помощью конвейерных систем на воздушной подушке при выполнении погрузочных или разгрузочных операций с железнодорожным подвижным составом.

Механизация транспортно-складских процессов в складах или на производстве в зоне хранения, приемки и отправки груза, которые зачастую являются связующим звеном между различными видами транспорта, а также начальным или конечным пунктом перевозок, осуществляется в основном с помощью различных погрузчиков, кранов-штабелеров. Однако использование этих средств не всегда обеспечивает необходимую производительность, что обуславливает низкую эффективность использования площади стеллажных складских помещений и значительные затраты энергии. Кроме того, схемы автоматизации на базе кранов-штабелеров сложны и малоэффективны.

В последнее время свое развитие получают приводные и не приводные

конвейерные системы на воздушной подушке для транспортирования штучных грузов с плоской опорной поверхностью или размещенных на плоском поддоне. В не приводных конвейерных системах движение груза осуществляется за счет реактивной силы наклонных к опорной поверхности струй воздуха, исходящих из наклонных питающих каналов. Применение таких конвейерных систем позволит значительно увеличить коэффициент использования полезной площади в стеллажных складах в зоне хранения, приемки и отправки за счет уменьшения транспортных проходов, уменьшить капитальные затраты при строительстве и расход энергии при эксплуатации, значительно упростить и повысить надежность системы автоматизации управления транспортным процессом.

Как показал анализ существующих и запатентованных конвейерных систем с воздушной подушкой, предназначенных для транспортирования штучных грузов или на поддонах, большинство из них выполнено по одной принципиальной схеме (рис. 1).

Конвейер состоит из ресивера 1, соединенного с источником сжатого воздуха 6, несущей плиты 2 с питающими каналами 3, 5 и перемещаемого элемента (поддона с грузом или непосредственно груза с плоской опорной поверхностью) 4. Ресиверная камера представляет собой коробчатую конструкцию, связанную с источником сжатого воздуха, или отдельные секции, каждая из которых имеет самостоятельное сообщение с источником сжатого воздуха. В несущей плите выполнены питающие каналы для подачи сжатого воздуха под опорную поверхность перемещаемого изделия. Питающие каналы выполнены цилиндрическими.

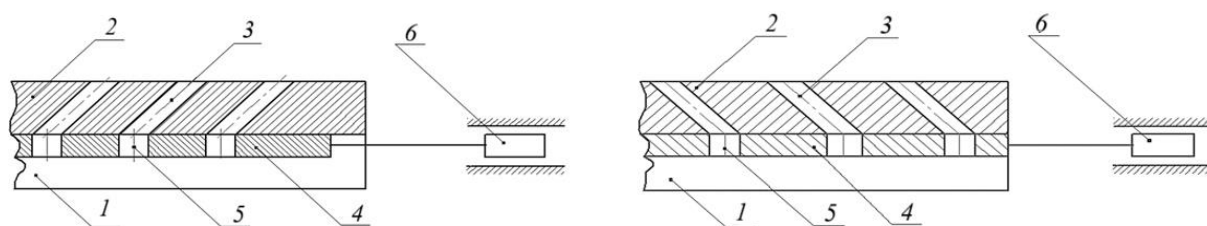


Рис. 1. Принципиальное устройство конвейерных систем с воздушной подушкой:

1 – ресиверная камера, 2 – несущая плита, 3, 5 – питающие каналы, 4 – управляющая плита, 6 – управляющее устройство

Транспортная система стеллажного склада состоит из устройств для приемки груза, устройств для доставки груза к зоне хранения, установки груза на конвейер, выдачи груза с конвейера, доставки груза к месту потребления (комплектации, погрузки на внешний транспорт, отправки в производство).

В пункте приемки разработанной схемы груз устанавливается на поддон, с помощью подъемника (полочного элеватора или другого устройства) поддон вместе с грузом поднимается и передается на транспортную конвейерную систему с воздушной подушкой, которая перемещает его до указанного места назначения или железнодорожного состава. Передача поддона с грузом с транспортного конвейера на наземный транспорт может быть осуществлена с помощью подъемника элеваторного типа либо любого другого подъемника.

В качестве воздуходувных машин, создающих и поддерживающих давление постоянно, в ресиверах конвейеров и транспортных устройствах используются вентиляторы высокого давления. На

конвейерах устанавливаются клапаны, открывающие наклонные каналы только при наличии над ними поддона (магнитные, контактные и др.). Клапаны обслуживают группу каналов.

Расход воздуха при выдаче поддона с грузом из ячейки стеллажа складывается из расхода через воздушную подушку под поддоном и открытые питающие каналы приемного (транспортного) конвейера и открывающиеся при движении поддона каналы в ячейке:

$$Q = Qn + Qk. \quad (1)$$

Расход воздуха через воздушную подушку может быть определен по формуле

$$Qn = \alpha \cdot \bar{S}_1 \cdot b \cdot l \cdot V_{cp}, \quad (2)$$

где α – коэффициент расхода;

V_{cp} – средняя скорость истечения воздуха в канале.

Коэффициент расхода может быть определен с использованием результатов работы

$$\alpha = \frac{4\sqrt{2} \cdot \frac{H + h_{cp}}{d} \cdot \left[1 - 2 \frac{H + h_{cp}}{d} \cdot \left(1 - e^{-0,5 \frac{d}{H + h_{cp}}} \right) \right] \cdot \frac{b + l}{\bar{S}_1 \cdot b \cdot l} \cdot h_{cp}}{\sqrt{1 + 2 \cdot \frac{(b + l)^2}{\bar{S}_1^2 \cdot b^2 \cdot l^2} h_{cp}^2}}, \quad (3)$$

где $h_{cp.} = \frac{h_1 + h_2}{2}$ – среднее значение высоты воздушной подушки;

Средняя скорость воздуха может быть определена по формуле Сен-Венана:

$$V_{cp} = \sqrt{\frac{2K}{K-1}} \cdot \frac{P}{\rho} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right], \quad (4)$$

$$Q_n = \frac{4\sqrt{2} \cdot \frac{H+h_{cp}}{d} \cdot \left[1 - 2 \frac{H+h_{cp}}{d} \cdot \left(1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h_{cp}}} \right) \right] \cdot (b+l) \cdot h_{cp}}{\sqrt{1 + 2 \cdot \frac{(b+l)^2}{\bar{S}_1^2 \cdot b^2 \cdot l^2} h_{cp}^2}} \cdot \sqrt{\frac{2K}{K-1} \cdot \frac{P}{\rho} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]}, \quad (5)$$

или

$$Q_n = \frac{\frac{H+h_{cp}}{d} \cdot \left[1 - 2 \frac{H+h_{cp}}{d} \cdot \left(1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h_{cp}}} \right) \right] \cdot 4\Pi \cdot h_{cp}}{\sqrt{2 + \frac{\Pi^2}{\bar{S}_1^2 \cdot S^2} h_{cp}^2}} \cdot \sqrt{\frac{2K}{K-1} \cdot \frac{P}{\rho} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]}, \quad (6)$$

где Π – периметр краев поддона;

S – площадь опорной поверхности поддона.

Суммарная площадь несущей поверхности с открытыми питающими каналами примерно равна площади опорной поверхности поддона:

$$S = S' + S'' \quad (7)$$

Расход воздуха через открытые питающие каналы определится как

где K – показатель адиабаты;

P – абсолютное давление в ресивере;

P_a – атмосферное давление (давление при выходе из канала);

ρ – плотность воздуха при атмосферном давлении.

После подстановки 2 и 3 в 1 имеем:

$$Q_k = \bar{S}_1 \cdot S \cdot V_{cp} = \bar{S}_1 \cdot S \cdot \sqrt{\frac{2K}{K-1} \cdot \frac{P}{\rho} \cdot \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right]}, \quad (8)$$

Принимая во внимание, что при атмосферном давлении показатель адиабаты $K=1,4$, плотность воздуха $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$, получим суммарный расход воздуха при выдаче поддона с грузом из ячейки стеллажа:

$$Q = \left\{ \frac{\frac{H+h_{cp}}{d} \cdot \left[1 - 2 \frac{H+h_{cp}}{d} \cdot \left(1 - e^{-0,5 \frac{d}{H+h_{cp}}} \right) \right] \cdot 4\Pi \cdot h_{cp}}{\sqrt{2 + \frac{\Pi^2}{\bar{S}_1^2 \cdot S^2} h_{cp}^2}} + \bar{S}_1 \cdot S \right\} \cdot 2,4 \sqrt{\left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{0,286} \right]} \cdot P, \quad (9)$$

Таким образом, конвейерные системы на воздушной подушке могут использоваться для транспортировки грузов в промышленности, обеспечивая высокую производительность и экономичность. Эти конвейерные системы обладают низким коэффициентом сопротивления, что позволяет снизить энергозатраты на перемещение грузов. Также использование этих конвейеров требует учета аэродинамических характеристик, чтобы избежать неэффективного расхода воздуха.

Выводы. Конвейерные системы на воздушной подушке зарекомендовали себя как универсальное средство для перемещения разнообразных грузов, от отдельных изделий до сыпучих материалов, и являются неотъемлемой частью современного производственного оборудования. Их превосходство над традиционными конвейерами проявляется в таких аспектах, как повышенная безопасность и надежность, долговечность, низкие затраты на эксплуатацию и обслуживание, высокая эффективность, легкость монтажа и экологическая чистота.

Конвейерные системы на воздушной подушке применимы в разнообразных условиях: от внутрицеховой транспортировки и сборки до погрузочно-разгрузочных операций с железнодорожным транспортом.

Список источников

1. Турушина Н.В. Совершенствование транспортно-складской системы стеллажного склада путем использования конвейеров с воздушной подушкой / Н.В. Турушина // Вестник Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, 2013. – № 18 (207) Ч. 2. – С. 141-143.

2. Турушина Н.В. Определение расхода воздуха в транспортном устройстве ячейки

стеллажного склада с воздушной подушкой / Н.В. Турушина // Вестник Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, 2013. – № 6 (195) часть 2. – С. 36-38.

3. Турушина Н.В. Методика расчета основных параметров пневмотранспортного устройства в зоне хранения стеллажного склада / Н.В. Турушина, В.А. Турушин, В.В. Мирошников // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля, 2023. – № 7 (73). – С. 134-137.

4. Турушина Н.В. Экспериментальные исследования зависимости высоты воздушной подушки пневмотранспортного устройства от основных факторов / Н.В. Турушина, Н.А. Жижкина // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля, 2022. – № 7 (61). – С. 49-52.

5. Тутубалин В. Н. Теория вероятностей: Краткий курс и научно – методические указания / В. Н. Тутубалин. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 231 с.

6. Лойцянский В. Г. Механика жидкости и газа / В. Г. Лойцянский – М.: Наука, 1987. – 848 с.

References

1. Turushina N.V. Improving the transport and storage system of a rack warehouse by using conveyors with an air cushion / N.V. Turushina // Bulletin of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl, 2013. – No. 18 (207) Part 2. – P. 141-143.

2. Turushina N.V. Determination of air flow in the transport device of a rack warehouse cell with an air cushion / N.V. Turushina // Bulletin of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl, 2013. – No. 6 (195) Part 2. – P. 36-38.

3. Turushina N.V. Methodology for calculating the main parameters of a pneumatic transport device in the storage area of a rack warehouse / N.V. Turushina, V.A. Turushin, V.V. Miroshnikov // Bulletin of Vladimir Dahl Luhansk State University, 2023. – No. 7 (73). – Pp. 134-137.

4. Turushina N.V. Experimental Studies of the Dependence of the Air Cushion Height of a

Pneumatic Transport Device on the Main Factors / N.V. Turushina, N.A. Zhizhkina // Bulletin of Vladimir Dahl Luhansk State University, 2022. – No. 7 (61). – Pp. 49-52.

5. Tutubalin V.N. Probability Theory: A Brief Course and Scientific and Methodological

Guidelines / V.N. Tutubalin. – Moscow: Moscow State University Publishing House, 1972. – 231 p.

6. Loitsyansky V. G. Mechanics of liquids and gases / V. G. Loitsyansky – M.: Nauka, 1987. – 848 p.

Статья поступила в редакцию 22.12.2025

Информация об авторах

Турушина Наталья Владимировна, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные технологии» Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
E-mail: sun.best@mail.ru

Гончарова Кристина Александровна, учитель математики Алчевского информационно-технологического лицея.
E-mail: kristi-keka@mail.ru

Information about the authors

Turushina Natalia Vladimirovna, Docent, candidate of Technical Sciences, docent of the Department «Transport Technologies» of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: sun.best@mail.ru

Goncharova Kristina Alexandrovna, mathematics teacher, Alchevsk Information Technology Lyceum.
E-mail: kristi-keka@mail.ru

Для цитирования

Турушина Н. В., Гончарова К. А. Эксплуатация конвейерных систем на воздушной подушке при выполнении погрузочно-разгрузочных операций с железнодорожным подвижным составом // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1 (6). – С. 33-38.

For citation:

Turushina N. V., Goncharova C. A Operation of air cushion conveyor systems during loading and unloading operations with railway rolling stock // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – № 1 (6). – P. 33-38.

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА**LABOR SAFETY**

УДК 614.75; 574

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ**Бугай Ю. И., Рябинин П. В.****OPTIMIZATION OF MEDICAL WASTE DISPOSAL PROCESSES****Bugai Yu. I., Ryabinin P. V.**

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы обращения и утилизации медицинских отходов на территории Луганской Народной Республики с учетом требований нормативно – правовых документов и применяемой практики. Приведены данные по количеству медицинских учреждений на территории Республики и количеству образования отходов медицинского происхождения, практических методах утилизации и их стоимости. Предложен вариант организации утилизации отходов с применением инсинераторов, наведены основные технические данные устройств, необходимые для их выбора с учетом количества образования отходов. Приведен расчет капиталовложений на начальном этапе и в процессе эксплуатации инсинератора с выводами экономической эффективности его приобретения. Результаты работы направлены на соблюдения норм и правил обращения с опасными отходами, улучшение эпидемиологической обстановки и экологии региона.

Ключевые слова: экология, эпидемиологическая обстановка, медицинские отходы, утилизация, инсинераторы.

Abstract. The article discusses the issues of medical waste management and disposal in the Lugansk People's Republic, taking into account the requirements of regulatory documents and the existing practices. It provides data on the number of medical facilities in the Republic and the amount of medical waste generated, as well as practical methods of disposal and their costs. The article proposes a method of waste disposal using incinerators and provides the necessary technical information to select the appropriate incinerator based on the amount of waste generated. It also includes a calculation of the initial investment and the cost of operating an incinerator, along with the economic benefits of purchasing one. The results of the work are aimed at compliance with the norms and rules for handling hazardous waste, improving the epidemiological situation, and protecting the region's environment.

Key words: ecology, epidemiological situation, medical waste, disposal, incinerators.

Введение. В Российской Федерации, по данным Единой межведомственной информационно – статистической системы, ежегодно образуется примерно 1 – 1,5

миллиона тонн отходов. Фиксируется ежегодный рост образования отходов, связанный внедрением передовых исследовательских методов и увеличением

применения одноразовых составляющих жизнедеятельности человека. Медицинские отходы занимают незначительную нишу в общем количестве отходов, но характер состава несет в себе высокую гигиеническую и эпидемиологическую опасность для человека и окружающей среды. Среди медицинских отходов, особую группу высокого риска составляют отходы, которые загрязнены биологическим материалом больного человека и могут служить источником инфекций.

«Обращение» с отходами медицинского назначения подразумевает последовательное выполнение нескольких стадий, от сбора и до их утилизации. Эти меры направлены на предотвращение инфекционного заражения и минимизации воздействия на окружающую среду. Эффективность организации, на всех уровнях, цикла утилизации, при этом еще и в условиях недостатка ресурсов и инфраструктуры, важна для снижения рисков заражения и поддержания высокого уровня безопасности – эпидемиологической и эпизоотической.

Материалы и методы. Нормативно – правовое регулирование обращения с медицинскими отходами установлено Федеральным законом от 21.11.2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». Данный закон направлен на защиту здоровья пациентов, медицинских работников и защиту экологии.

В статье 49 [1] дается определение медицинским отходам, к ним относятся: анатомические, патолого-анатомические, микробиологические, биохимические, физиологические и прочие отходы. Образование данных отходов происходит в процессе медицинской, фармацевтической,

и других видов деятельности связанных с производством лекарств, использованием патогенов, генной инженерии и т.д., а так же при создании и хранении клеточных биомедицинских продуктов.

Согласно классификации Всемирной организации здравоохранения, существуют различные категории медицинских отходов:

- инфекционные отходы – материалы содержащие патогены;
- патологоанатомические отходы – человеческие ткани, биологические жидкости, зараженные останки животных;
- острые отходы – медицинские предметы с режущими или колющими частями;
- фармацевтические отходы – просроченные лекарства, вакцины, сыворотки;
- генотоксичные отходы – вещества повреждающие ДНК (цитостатики);
- химические отходы – лабораторные реактивы и дезинфектанты;
- отходы с содержанием тяжелых металлов;
- радиоактивные отходы.

В России отходы медицинского назначения классифицируются в соответствии со СанПиН 2.1.7.3684-21 и подразделяются на классы:

- класс «А» – эпидемиологически безопасные, близкие к ТБО;
- класс «Б» – эпидемиологически опасные;
- класс «В» – чрезвычайно высокий эпидемиологический риск;
- класс «Г» – токсикологически опасные, приближенные к промышленным отходам;
- класс «Д» – радиоактивные. [5]

Полный цикл обращения с медицинскими отходами включает:

раздельный сбор в месте образования; перемещение и временное хранение; обеззараживание/обезвреживание; транспортировку; размещение, утилизацию или обезвреживание.

Утилизация медицинских отходов – это комплекс мероприятий по их безопасному удалению, минимизирующий риски для здоровья и окружающей среды, проводимый в соответствии с санитарными нормами и законодательством [2, 5].

Таким образом, изучение, анализ и совершенствование системы утилизации медицинских отходов в лечебных учреждениях является актуальной и востребованной задачей.

На территории ЛНР, согласно статистике Минздрава, функционирует более ста медицинских организаций. Одной из существенных проблем, с которыми сталкиваются эти учреждения, является обращение с медицинскими отходами.

Проблема утилизации медицинских отходов усугубляется отсутствием в ЛНР специализирующейся организации в данном направлении. Ближайшим подобным предприятием является ООО «Родина» в городе Донецк (ДНР). Из этого вытекает ряд дополнительных сложностей и рисков, экономических (дополнительные затраты на хранение и транспортировку) и технических (хранение и транспортировка).

Результаты и обсуждения.
Постановка задачи обработки данных.

В данной работе затронем только экономический аспект, произведем оценку расходов, связанных с утилизацией медицинских отходов.

Медицинское учреждение в составе поликлиники и стационара, образует в среднем около 500 кг отходов класса «Б». Стоимость утилизации тонны таких отходов составляет приблизительно 30

тысяч рублей. Дополнительно к стоимости утилизации, включаются расходы на транспортировку.

Проведем расчёт годовых затрат, учитывая только стоимость утилизации и расходы на приобретение горюче-смазочных материалов:

➤ затраты на утилизацию это произведение количества отходов (0,5 тонны в месяц) на стоимость утилизации и равны:

$$0,5 * 30000 * 12 = 180 \text{ тыс. рублей}$$

➤ затраты на транспортировку:

Расстояние от г. Луганск до г. Донецк равно 150 км, то есть поездка в две стороны равна 300 км, для транспортировки используется автомобиль «Газель» с расходом топлива 15 литров на 100 км, стоимость топлива АИ-92 составляет 70 рублей, тогда стоимость одной поездки равна:

$$(300/100) * 15 * 70 = 3150 \text{ рублей}$$

Количество поездок в год равно 12

$$3150 * 12 = 37800 \text{ рублей} \\ (\text{принимая } 40000 \text{ рублей})$$

Общие затраты на транспортировку и утилизацию составляют 220 тыс. рублей в год.

Общие затраты на утилизацию медицинских отходов в течение года, по всем медицинским учреждениям Республики, составляет более 20 млн. рублей.

Одним из решений данной проблемы является обеспечение лечебных заведений инсинезаторами, которые представляют собой устройство для утилизации отходов. Инсинезаторы – это технически не сложные устройства, работающие по принципу высокотемпературного

обезвреживания, имеющего дополнительную камеру дожига. Эффективность нейтрализации большинства грибков, патогенов и возбудителей болезней, достигается созданием в устройстве температуры 1500 °С.

Основным назначением данных устройств, является надежная утилизация различных отходов. Конструктивные особенности способствуют испарению влаги с последующим сжиганием компонентов различных биологических материалов, в результате исходный объем отходов сокращается и не представляет опасности.

Продукты горения, дым и газы, проходят многоступенчатый процесс очистки, и таким образом, данное устройство обеспечивает максимально экологически безопасный способ утилизации медицинских отходов.

Инсинезаторы применяют для утилизации следующих видов отходов:

- твердые бытовые и коммунальные;
- отходы деятельности медицинских учреждений;
- химические и нефтехимические отходы;
- отходы в газообразном состоянии;
- жидкие отходы.

Как было указано выше, устройство имеет технически не сложное устройство и состоит из следующих элементов:

- основной камеры, в которой происходит разложение отходов под воздействием высоких температур;
- камеры дожига, назначение которой полная нейтрализация продуктов процесса первичного сжигания;
- системы очистки газообразных продуктов сгорания;
- системы рекуперации тепла.

Система может работать на жидком или газообразном топливе, и безопасна для производственных циклов. Последние модификации оснащаются высокотехнологичными электронными компонентами управления и контроля работы.

Для выбора инсинезатора необходимо минимум данных, это:

- назначение по типу утилизируемых отходов;
- вид применяемого топлива, которое наиболее подходящее и технически возможное для организации;
- мощность и производительность устройства, которая определяет количество утилизируемых отходов за один цикл.

К рассмотрению примем отечественную продукцию, производителем которой является ООО «ПТФ «Мила»», Нижегородская область, г. Павлово. Данное предприятие выпускает инсинезаторы марки «ЕСО», с загрузочными камерами от 100 до 1100 кг и применяемым топливом – метан или дизельное топливо (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид инсинезаторов «ЕСО»

Исходя из месячного образования медицинских отходов в количестве 500 кг, рассмотрим модель инсинезатора «ЕСО-100» с загрузкой 150 кг. Данное оборудование позволит медицинским учреждениям самостоятельно осуществлять переработку отходов, сокращая зависимость от услуг сторонних подрядчиков.

Проведем экономический расчет приобретения и использования:

- одноразовые затраты на приобретение – порядка 450 тыс. рублей;

- годовые затраты обслуживание – ориентировано 220 тыс. рублей;

- затраты на эксплуатацию составят (при ежедневном использовании):

- расход газа 20 м^3 в сутки, стоимость природного газа для предприятий составляет 7,9 руб. за м^3 , тогда:

$20 * 365 * 7,9 = 57,7$ тыс. рублей в год

- амортизационные расходы составляют 10 % (средний срок службы составляет 10 лет), тогда:

$430000 * 10 \% = 43$ тыс. рублей в год

Итого:

$57700 + 43000 = 100$ тыс. рублей год

Несмотря на то, что первоначальные затраты выше годовых затрат на услуги сторонних организаций (220 тыс. рублей), это решение является привлекательным, так как имеет стратегический курс на устойчивое развитие.

Исходя из вышеуказанных вычислений, можно сделать вывод, что затраты на содержание и эксплуатацию одного инсинезатора «ЕСО-100» в два раза дешевле, чем утилизация в сторонней организации для одного медицинского учреждения.

Выводы. Анализ рынка и оценка доступных альтернатив показывают целесообразность выбора газового инсинезатора «ЕСО-100». Данное решение позволит медицинскому учреждению самостоятельно осуществлять переработку

медицинских отходов, снижая зависимость от сторонних подрядчиков.

Учитывая нестабильность рынка услуг на утилизацию, транспортные услуги либо рост расходов на содержание собственного транспорта, ужесточение требований к временному хранению и транспортировке отходов медицинского назначения, даже при условии высоких первичных капиталовложений, приобретение инсинезаторов оправдано.

Использование собственного оборудования по утилизации отходов, снизит зависимость от сторонних поставщиков услуг и колебаний рыночных условий, даст стабильность в обращении с опасными отходами и уверенности в прохождении проверок контролирующими органами.

Это дает возможность снижения собственных затрат на утилизацию отходов, а так же при предоставлении данной услуги другим организациям, сократит сроки окупаемости оборудования и возвращения инвестиций в данный проект.

Собственное оборудование обеспечит оперативность реагирования на изменение объемов образования отходов, повысит уровень защиты персонала и пациентов, минимизирует риск инфекций.

Список источников

1. Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ (ред. от 23.07.2025) "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2025).

2. Федеральный закон № 89-ФЗ от 24 июня 1998 года «Об отходах производства и потребления».

3. Федеральный закон от 30.03.1999 №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

4. ГОСТ 30772-2001. Межгосударственный стандарт. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения (введен Постановлением Госстандарта России

от 28 декабря 2001 г. № 607-ст) // М.: ИПК Издательство стандартов. 2002.

5. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». Утверждённые постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №3.

6. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Письмо от 25 января 2019 г. N 12-29/1645 «Об обращении с медицинскими отходами».

7. Методы утилизации медицинских отходов/ Санкт Петербургский государственный университет, г. Санкт Петербург / Холявко Т.И.

8. «Порядок использования, сбора, хранения, транспортирования, уничтожения, утилизации (переработки) самоблокирующихся (саморазрушающихся) СР-шприцев и игл инъекционных одноразового применения. Методические рекомендации» (утв. Роспотребнадзором 11 ноября 2005 г. № 0100/9856-05-34) // М.: ФГУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора». 2005.

9. СанПиН 2.1.7.728-99 «Правила сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений».

References

1. Federal Law No. 323-FZ of 11/21/2011 (as amended on 07/23/2025) "On the Fundamentals of Public Health Protection in the Russian Federation" (as amended and supplemented, intro. effective from 09/01/2025);

2. Federal Law No. 89-FZ of June 24, 1998 "On Production and Consumption Waste".

3. Federal Law No. 52-FZ dated March 30, 1999, "On the Sanitary and Epidemiological Well-Being of the Population".

4. GOST 30772-2001. Interstate Standard. Resource Conservation. Waste Management. Terms and Definitions (introduced by Decree of the State Standard of Russia No. 607-st dated December 28, 2001) // Moscow: IPK Publishing House of Standards. 2002.

5. SanPiN 2.1.3684-21 "Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural settlements, water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, the operation of production and public premises, and the organization and implementation of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures." Approved by the Decree of the Chief State Sanitary Inspector of the Russian Federation dated January 28, 2021, No. 3.

6. Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. Letter dated January 25, 2019, No. 12-29/1645 "On the Treatment of Medical Waste".

7. Methods of medical waste disposal/ St. Petersburg State University, St. Petersburg/ Kholiyavko T.I.

8. "Procedure for the use, collection, storage, transportation, destruction, disposal (recycling) of self-locking (self-destructing) SR-syringes and disposable injection needles. Methodological recommendations" (approved by Rosпотребнадзор on November 11, 2005, No. 0100/9856-05-34) // Moscow: Federal State Institution "Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор". 2005.

9. SanPiN 2.1.7.728-99 "Rules for the collection, storage, and disposal of waste from medical and preventive institutions".

Статья поступила в редакцию 26.01.2026

Информация об авторах

Бугай Юрий Иванович, старший преподаватель кафедры «Пожарная безопасность» Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
E-mail: bugay_yura@mail.ru

Рябинин Павел Валерьевич, ассистент кафедры «Пожарная безопасность» Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
E-mail: pasha.ryabinin.0077@mail.ru

Information about the authors

Bugay Yuri Ivanovich, senior lecturer at the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: bugay_yura@mail.ru

Ryabinin Pavel Valerievich, Assistant of the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: pasha.ryabinin.0077@mail.ru

Для цитирования:

Бугай Ю. И., Рябинин П. В. Оптимизация процесса утилизации медицинских отходов// Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1(6). – С. 39-45.

For citation:

Bugai Yu. I., Ryabinin P. V. Optimization of medical waste disposal processes // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – № 1(6). – P. 39-45.

УДК 622.8

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧНОСТИ КАЖУЩЕЙСЯ ПЛОТНОСТИ УГЛЕЙ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ВЫБРОСООПАСНОСТИ ШАХТОПЛАСТОВ

Голдованский А. В.

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE ACCURACY OF APPARENT DENSITY FOR ESTABLISHING THE RISK OF EMISSIONS DURING COAL MINING

Goldovanskiy A. V.

Аннотация. Приведен сравнительный анализ определения кажущейся плотности углей. Установлена возможность определения кажущейся плотности для прогноза склонности угольных пластов к проявлению внезапных выбросов с использованием эмпирической зависимости, которая получена на основании статистической обработки показателей технического анализа углей, полученных по результатам экспериментальных данных каталога коллекторских свойств каменных углей и антрацитов. Методика основана на сравнительном анализе соответствия расчетных значений кажущейся плотности углей и их значениями, установленными стандартным методом, для каждого шахтопласта. Точность установления кажущейся плотности ископаемых углей во многом может содействовать успешному решению проблемы безопасной отработки угольных пластов, склонных к проявлению внезапных выбросов.

Ключевые слова: кажущаяся плотность, угли, пласты, определение, методы, безопасность.

Abstract. A comparative analysis of coal apparent density determination is presented. The feasibility of determining apparent density for predicting coal seams' susceptibility to outbursts is established using an empirical relationship derived from statistical analysis of coal technical analysis data obtained from experimental data in a catalog of hard coal and anthracite reservoir properties. The methodology is based on a comparative analysis of the calculated coal apparent density values for each coal seam and their values established by a standard method. Accurately determining the apparent density of fossil coals can significantly contribute to the successful solution of the problem of safely mining coal seams prone to outbursts.

Key words: apparent density, coals, seams, definition, methods, safety.

Введение. Плотность является ключевой физической характеристикой ископаемых углей. Поскольку угли относятся к дисперсным и пористым телам, для них выделяют два вида плотности: действительную и кажущуюся. Эти показатели применяют для подсчета запасов угля в недрах, определения объема добытого топлива и расчета пористости

углей. [1]. В частности, пористость углей необходима для контроля определения природной газоносности шахтопластов [2], которая в значительной степени определяет их склонность к внезапным выбросам угля и газа при ведении горных работ [3]. Природа внезапных выбросов угля и газа до сих пор не изучена в полной мере. Поэтому исследования, нацеленные на

решение этой проблемы, сохраняют свою актуальность для угледобывающей промышленности во всех странах мира. Точность установления кажущейся плотности ископаемых углей во многом может содействовать успешному решению проблемы безопасной отработки угольных пластов склонных к проявлению внезапных выбросов. К таким работам относится, разработанный в свое время, каталог коллекторских свойств каменных углей и антрацитов [2]. В этом справочно - нормативном документе приведены сведения о категорийной опасности шахт по выделению взрывоопасного газа (метана) и указана склонность к внезапным выбросам угля и газа для 779 шахтопластов. Для большей части совокупности из 592 шахтопластов кажущаяся плотность углей была определена согласно действовавшему в тот период стандарту (ГОСТ 2160-82). Основные его положения остались неизменными, и они приведены в современном нормативном документе [4].

Для второй части шахтопластов из 184 совокупностей кажущаяся плотность d_a^r определялась согласно эмпирической зависимости:

$$d_a^r = 1,325 - 0,003V^{\text{daf}} + 0,01(A^r + W_t^r), \text{ г/см}^3, \quad (1)$$

где V^{daf} – массовый выход летучих веществ при термическом разложении углей без доступа воздуха на сухое беззольное состояние пробы, %. Определялся согласно стандарту (ГОСТ 6382-80). В настоящее время это нормативный документ [5];

W_t^r – влага угля (пластовая), %. Определялась согласно стандарту (ГОСТ 11014-81);

A^r – средний выход золы (пластовой), %. Устанавливается в соответствии с ГОСТом 9815-75.

В каталоге [2] приведены значения d_a^r , определенные принципиально разными способами. Наиболее достоверными являются экспериментальные данные для 592 шахтопластов, которые были определены согласно требованиям стандарта [4]. Согласно этим требованиям, независимо от метода испытаний (насыщения пор и трещин водой или с парафинированием кусков) предел повторяемости составляет $0,03 \text{ г/см}^3$ или 2% от среднего результата.

В каталоге [2] отсутствуют данные о тесноте корреляционных связей расчётных значений кажущейся плотности $d_a^{r(p)}$ для 184 шахтопластов — эти значения получены с помощью эмпирического уравнения 1. В связи с этим нельзя подтвердить достоверность определения кажущейся плотности углей для данной совокупности шахтопластов.

Цель – установить возможность использовать эмпирическую зависимость 1 для определения кажущейся плотности, полученной по результатам статистической обработки показателей анализа углей.

Методика базируется на сопоставлении для каждого шахтопласта расчётных значений кажущейся плотности углей с показателями, полученными стандартным методом.

Результаты. В каталоге [2] содержится перечень из 592 шахтопластов, для которых значения $d_a^{r(ст)}$ определены стандартным методом. Технические параметры углей (V^{daf} , W_t^r и A^r) указаны для большей части этой совокупности из 519 шахтопластов. Наличие экспериментальных данных $d_a^{r(ст)}$, полученных стандартным методом, позволило дополнительно рассчитать

соответствующие значения $d_a^{r(p)}$ по величинам $d_a^{r(p)}$ и $d_a^{r(ст)}$ для 519 уравнению 1. Соотношение полученных шахтопластов отражено на графике (рис. 1).

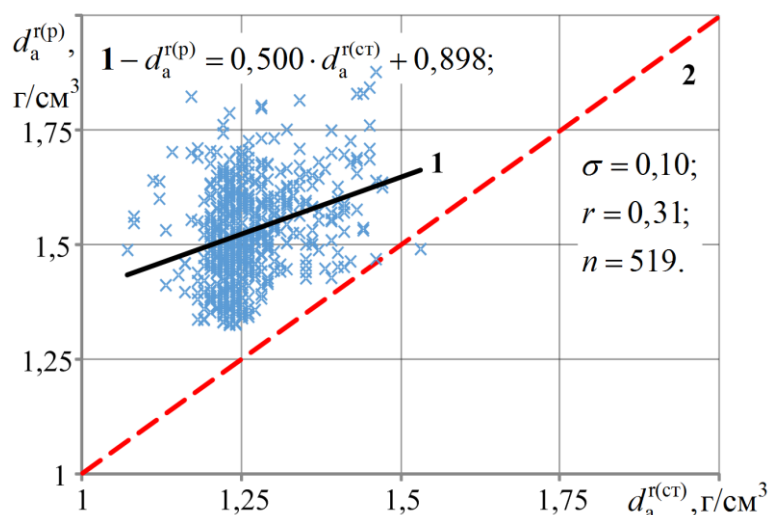


Рис. 1. Взаимозависимость между расчетными значениями кажущейся плотности углей ($d_a^{r(p)}$) и их величинами ($d_a^{r(ст)}$), определенными стандартными методами:

× – установленное соотношение для каждого шахтопласта между значениями $d_a^{r(p)}$ и $d_a^{r(ст)}$; 1 – усредняющая прямая; 2 – биссектриса координатной сетки; σ – среднеквадратическое отклонение; r – коэффициент корреляции; n – количество обработанных пар данных

В данном случае корреляционная связь практически отсутствует (коэффициент корреляции $r=0,31$). Точки, отражающие соотношение между рассматриваемыми величинами $d_a^{r(p)}$ и $d_a^{r(ст)}$, расположены выше биссектрисы координатной сетки (2) – это говорит о систематической погрешности при определении показателя $d_a^{r(p)}$. Среднеквадратическое отклонение ($\sigma=0,10$ г/см³) от усредняющей прямой (1) превышает в более чем три раза погрешность стандартного метода измерения $d_a^{r(ст)}$ (0,03 г/см³) [4]. Следовательно, точность расчёта кажущейся плотности углей по эмпирической зависимости (1) не соответствует значениям, полученным стандартным методом.

Согласно структуре эмпирических зависимостей (1), ключевой фактор, влияющий на кажущуюся плотность углей, степень их метаморфических преобразований. В качестве единственного критерия этих преобразований используется выход летучих веществ (V^{daf}). Расчётные значения $d_a^{r(p)}$ для 184 шахтопластов (данные приведены в каталоге [2]) демонстрируют слабое воздействие прочих факторов (W_t^r и A^r). Это подтверждается тем, что значения $d_a^{r(p)}$, вычисленные по уравнению 1 с учётом показателей W_t^r и A^r , практически полностью определяются величиной V^{daf} , что наглядно отражено на рис. 2.

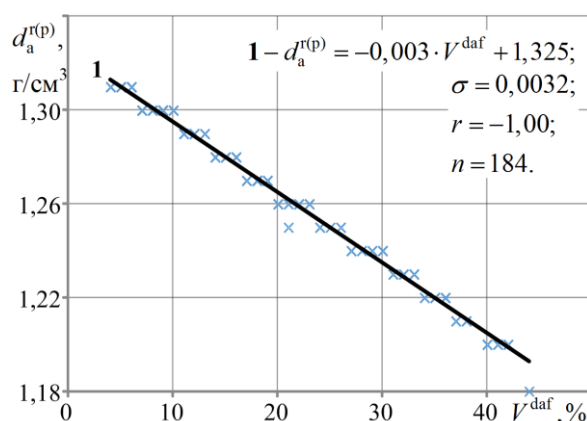


Рис. 2. Зависимость расчетных значений кажущейся плотности углей ($d_a^{r(p)}$)

согласно уравнению 1 только от одного параметра (V^{daf}):

× – расчетные согласно уравнению 1 значениями $d_a^{r(p)}$; 1 – усредняющая прямая; σ – среднее квадратическое отклонение; r – коэффициент корреляции; n – количество обработанных пар данных

Близость полученных расчетных значений $d_a^{r(p)}$ согласно эмпирическим зависимостям, с использованием соответственно одного (V^{daf}) и трех (V^{daf} , W_t^r и A^r) влияющих факторов, дает основание анализировать кажущуюся плотность угля только от V^{daf} .

График на рис. 3 демонстрирует, как меняются экспериментально определённые

стандартным методом значения кажущейся плотности углей $d_a^{r(ст)}$ для 592 шахтопластов в зависимости от показателя V^{daf} . Для этого случая значения $d_a^{r(ст)}$ установлены, независимо от применяемого метода [4] (с насыщением пор и трещин водой или с парафинированием кусков) с пределом повторяемости (точность определения) не более 0,03 г/см³.

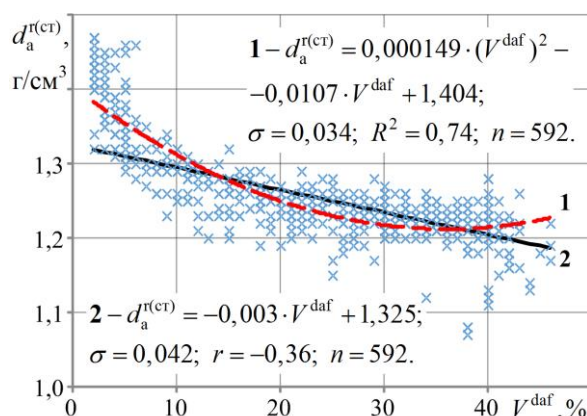


Рис. 3. Зависимость кажущейся плотности углей ($d_a^{r(ст)}$), определенной по методике

общепринятых стандартов, от выхода летучих веществ (V^{daf}):

× – экспериментальные данные определения кажущейся плотности углей стандартным методом для совокупности из 592 шахтопластов; 1 – эмпирическая усредняющая кривая полинома степени второго порядка, установленная методом наименьших квадратов для совокупности из 592 шахтопластов; 2 – усредняющая прямая расчетных значений кажущейся плотности углей для 184 шахтопластов (рис. 2, прямая 1); σ – среднее квадратическое отклонение; R^2 , r – соответственно коэффициенты детерминации и корреляции; n – количество обработанных пар данных

Кажущаяся плотность углей, определённая стандартным методом, достаточно точно описывается полиномом второй степени в зависимости от V^{daf} (рис. 3, кривая 1), что подтверждает высокая теснота корреляционной связи. Для выборки из 592 шахтопластов коэффициенты, характеризующие эту связь, составляют: коэффициент детерминации $R^2=0,74$, среднее квадратическое отклонение $\sigma=0,034\text{г/см}^3$. Важно, что полученное среднее квадратическое отклонение близко к значениям пределов повторяемости, указанных в источнике [4], что свидетельствует о приемлемой достоверности определения кажущейся плотности углей для данной совокупности шахтопластов.

Усредняющая прямая 2 (рис. 3) по сути, представляет результаты расчёта по эмпирическому уравнению 1. Как и само уравнение 1, она отличается невысоким коэффициентом корреляции ($r=-0,36$). Среднее квадратическое отклонение от этой прямой ($\sigma=0,042\text{г/см}^3$, рис. 3) существенно превышает точность определения $d_a^{r(ct)}$ стандартным методом в 1,5 раза ($0,03\text{г/см}^3$). Это не позволяет на практике применять расчётные значения $d_a^{r(p)}$ по уравнению 1 для прогнозирования выбороопасности шахтопластов.

Выводы. На основании полученных результатов следует вывод, что достоверное определение кажущейся плотности угля возможно только стандартными методами, исключив использование эмпирических зависимостей с применением показателей технического анализа.

Список литературы

1. Августевич И.В., Сидорук Е.И.,

Броновец Т. М. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей. – Москва: «Реклама мастер», 2019. – 576 с.

2. Каталог коллекторских свойств каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 1985. – 48 с.

3. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.00174088.011–2005 [действующий от 2005-12-01] / А. Н. Брюханов, А. В. Агафонов, А. В. Анциферов [и др.]. – Офиц. изд. – К.: Минуглепром У., 2005. – 224 с. (нормативный документ Минуглепрома У. Стандарт).

4. ГОСТ 2160-2015 (ISO 5072:2013) Топливо твердое минеральное. Определение действительной и кажущейся плотности. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 11 с.

5. ГОСТ 6382-2001 (ИСО 562-98, ИСО 5071-1-97) Межгосударственный стандарт. Топливо твердое минеральное Методы определения выхода летучих веществ. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 12 с.

6. ГОСТ 11014-2001. Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренные методы определения влаги. – Москва: Стандартинформ, 2001. – 8 с.

References

1. Avgushevich I. V., Sidoryuk E. I., & Bronovets T. M. (2019). Standard Test Methods for Coals. Coal Classifications [Review of Standard Test Methods for Coals. Coal Classifications]. Moscow: "Reklama Master."

2. MakNII. Makeyevka-Donbass. (1985). Catalogue of reservoir properties of hard coals and anthracites of the Donetsk and Lviv-Volyn basins [Review of Catalogue of reservoir properties of hard coals and anthracites of the Donetsk and Lviv-Volyn basins].

3. Bryukhanov O. M., Agafonov O. V., & Antsiferov A. V. (2005). Rules for conducting hydronic operations in formations that are weak to gas-dynamic phenomena: SOU 10.1.00174088.011–2005 [Review of Rules for conducting hydronic operations in formations that are weak to gas-dynamic phenomena: SOU

10.1.00174088.011–2005].

4. Standartinform. (2016). Solid mineral fuels. Determination of real and apparent density (GOST 2160-2015 (ISO 5072:2013)) [Review of Solid mineral fuels. Determination of real and apparent density]. Standartinform.

5. Standartinform. (2008). Interstate standard. Solid mineral fuel. Methods for determination of volatile matter content (GOST 6382-2001 (ISO 562-98, ISO 5071-1-97)) [Review of Interstate standard. Solid mineral fuel. Methods for

determination of volatile matter content]. Standartinform.

6. UkrNDNC. (2020). Brown Coal, Hard Coal, Anthracite, and Oil Shale. Accelerated Methods for Determining Moisture (DSTU 8995:2020) [Review of Brown Coal, Hard Coal, Anthracite, and Oil Shale. Accelerated Methods for Determining Moisture]. UkrNDNC.

Статья поступила в редакцию 14.02.2026

Информация об авторе

Голдованский Алексей Вячеславович, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности Институт гражданской защиты Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
E-mail: igztaktika@mail.ru

Information about the author

Goldovansky Aleksei Vyacheslavovich, Senior Lecturer Department of fire safety Institute of Civil Protection of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: igztaktika@mail.ru

Для цитирования:

Голдованский А. В. К вопросу определения точности кажущейся плотности углей для установления выбросоопасности шахтопластов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1 (6). – С. 46-51.

For citation:

Goldovanskiy A. V. On the issue of determining the accuracy of apparent density for establishing the risk of emissions during coal mining // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2026. – № 1(6). – P. 46-51.

УДК 536

ГОРЕНИЕ СМЕСЕВОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**Гусенцова Я. А., Щербак В. Н., Понамаренко А. Н., Макаровская Л. В.****COMBUSTION OF COMPOSITE SOLID PROPELLANTS****Gusentsova Ya. A., Shcherbak V. N., Ponamarenko A. N., Makarovskaya L. V.**

Аннотация. В статье рассматриваются физико-химические основы процесса горения смесевых твердых топлив (СТТ), представляющих собой гетерогенные композиции, состоящие из кристаллического окислителя (как правило, перхлората аммония) и полимерного горючего связующего. Особое внимание уделяется анализу ключевых физических характеристик топлива, таких как плотность, теплопроводность и теплоемкость, а также их влиянию на макрокинетику превращения.

Представлена современная многостадийная модель горения, описывающая процессы в конденсированной фазе, газофазное реагирование и теплопередачу в приповерхностном слое. Детально рассмотрены закономерности изменения скорости горения в зависимости от начальной температуры заряда, давления в камере сгорания и дисперсности исходных компонентов.

Рассмотрены основные физические характеристики смесевых твердых топлив. На основании основных уравнений термодинамики, газовой динамики, диффузии получены зависимости, определяющие скорость горения.

Показано, что скорость горения СТТ определяется совокупностью тепловых и диффузионных процессов в прогретом слое и газовой фазе, а ее зависимость от давления подчиняется эмпирическому степенному закону.

Ключевые слова: смесевое твердое топливо, гетерогенное горение, скорость горения, перхлорат аммония, модель горения, теплопроводность.

Abstract. This article examines the physicochemical principles of the combustion process of composite solid propellants (CSP), which are heterogeneous compositions consisting of a crystalline oxidizer (usually ammonium perchlorate) and a polymeric fuel binder. Particular attention is paid to the analysis of key physical properties of the fuel, such as density, thermal conductivity, and heat capacity, as well as their influence on the macrokinetics of the conversion.

A modern multistage combustion model is presented, describing processes in the condensed phase, gas-phase reactions, and heat transfer in the near-surface layer. The patterns of combustion rate changes depending on the initial charge temperature, combustion chamber pressure, and the dispersion of the starting components are examined in detail.

The main physical characteristics of composite solid propellants are examined. Based on the fundamental equations of thermodynamics, gas dynamics, and diffusion, dependences determining the combustion rate are obtained. It is shown that the combustion rate of the STT is determined by a combination of thermal and diffusion processes in the heated layer and gas phase, and its dependence on pressure obeys an empirical power law.

Key words: composite solid propellant, heterogeneous combustion, burning rate, ammonium perchlorate, combustion model, thermal conductivity.

Введение. Смесевые твердые топлива представляют собой комбинацию различных материалов, используемых как топливо [1, 5]. Они могут иметь разнообразные составы в зависимости от конкретных потребностей и целей. В

некоторых случаях создают специальные смеси твердых топлив, чтобы достичь определенных технических характеристик или удовлетворить специфические требования в отоплении, промышленности и других отраслях. Область использования смесевых твердых топлив зависит от их состава и свойств. Они могут использоваться как источники тепла и энергии в промышленности и энергетике и в домашних условиях. Важно правильно выбирать топливо с учетом его характеристик и требований к конкретному процессу или системе отопления [7].

Процесс горения смесевого топлива – это химическая реакция, при которой топливо смешивается с окислителем (как правило, воздухом) и затем подвергается воспламенению для выделения энергии в виде тепла и света [3, 4]. Этот процесс широко используется в различных двигателях, включая двигатели внутреннего сгорания и системы отопления.

В общем случае процесс горения смесевого топлива включает в себя следующие ключевые этапы:

1. Смешивание – топливо и окислитель (обычно воздух) смешиваются в определенных пропорциях.

2. Зажигание – горение, работа, выходные газы [3]. После горения и выполнения работы, выходные газы, которые теперь содержат продукты сгорания, выбрасываются в атмосферу или в выхлопную систему двигателя.

Процессом горения смесевого топлива можно управлять, регулируя параметры, такие как состав, смеси, степень сжатия (в двигателях внутреннего сгорания), температура и давление.

Физическая модель горения смесевого твердого топлива – это теоретическое описание процесса горения твердого

топлива, которое состоит из смеси различных химических компонентов. Горение твердого топлива является сложным физико-химическим процессом, который включает в себя множество параллельных и последовательных реакций.

Основные аспекты физической модели горения смесевого твердого топлива включают: теплопроводность, массоперенос, реакции (это включает в себя окисление компонентов, образование промежуточных продуктов и выделение тепла), термодинамику, термическое разложение, скорость горения, учет фаз.

Физическая модель горения смесевого твердого топлива может быть сложной и требует детального математического и численного моделирования. Она может использоваться для анализа и оптимизации процессов горения в различных приложениях, использующих твердое топливо.

Материалы и методы исследования горения смесевого твёрдого топлива. Основными материалами, используемыми в статье, являются данные из литературных источников, приведенных в статьях [1-8].

Методом исследования, используемым в статье, является математическое моделирование процесса горения смесевого твердого топлива.

Результаты исследований. Рассмотрим одномерную модель пламени (рис. 1). Под действием тепла, поступающего из зоны горения, а также частично за счет тепла экзотермических реакций в поверхностном слое самого топлива, компоненты его разлагаются, и продукты разложения в виде элементарных объемов и струек отходят от поверхности, перемешиваясь главным образом за счет молекулярной диффузии и химически реагируя.

Температура в зоне горения возрастает от некоторой средней на поверхности топлива до максимальной в зоне пламени T_s (на расстоянии δ).

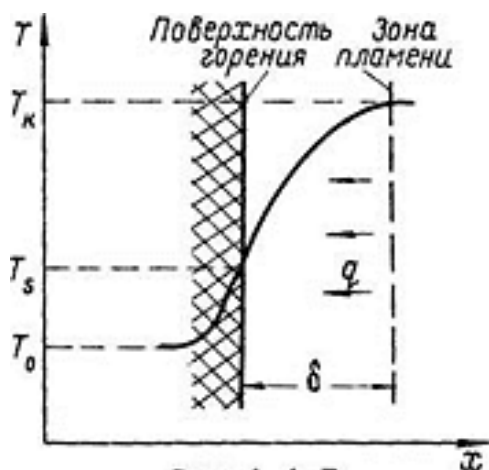


Рис. 1. Одномерная модель пламени

Баланс тепла для поверхностного слоя топлива выражается уравнением [2, 8]:

$$U \rho_T [c_T (T_s - T_0) + q_s] = \lambda_s \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x=0}, \quad (1)$$

где U – скорость горения топлива, см/сек;
 ρ_T, c_T – плотность и теплоемкость топлива;
 T_s – температура разложения топлива;
 T_0 – температура топлива вдали от поверхности;
 q_s – тепловой эффект в твердой фазе, кал/г (может быть положительным и отрицательным);
 λ_s – теплопроводность газовой фазы.

Полагая, что температура в зоне δ изменяется линейно, имеем:

$$\lambda_T \left(\frac{dT}{dx} \right) = \lambda_T \frac{T_H - T_s}{\delta}. \quad (2)$$

Здесь и далее полагаем все параметры газовой среды в слое δ отнесенными к некоторой средней температуре.

Из уравнения неразрывности $U \rho_T = \omega_r \rho_r$ найдем скорость оттока газа ω_r от поверхности топлива и далее, считая, что на участке δ вначале происходит перемешивание элементарных объемов компонентов в течение времени $\tau_{\text{диф}}$, а затем их реагирование в течение $\tau_{\text{хим}}$, получаем:

$$\delta = \omega_r (\tau_{\text{диф}} + \tau_{\text{хим}}) = \frac{U \rho_m}{\rho_r} (\tau_{\text{диф}} + \tau_{\text{хим}}). \quad (3)$$

Согласно теории размерностей [4, 6]:

$$\tau_{\text{диф}} = \frac{d^2}{D_r}, \quad (4)$$

где d – диаметр элементарного объема газа;
 D_r – коэффициент диффузии.

Так как

$$d : \left(\frac{m}{p_r} \right)^{1/3},$$

где m – масса газа в элементарном объеме, которую примем, равной массе среднего кристалла окислителя то:

$$\tau_{\text{диф}} = \left(\frac{m}{p_r} \right)^{2/3} \frac{1}{D_d} \quad \text{или} \quad \tau_{\text{диф}} = A'_1 \left(\frac{m}{p_r} \right)^{2/3} \frac{1}{D_d},$$

где A'_1 – константа.

Продолжительность химических реакций $\tau_{\text{хим}}$ должна быть обратно пропорциональна скорости химических реакций. Допустим, что весь процесс описывается некоторой условной единственной реакцией с константой скорости k_0 и энергией активации E .

$$\tau_{\text{диф}} = \left(\frac{m}{p_r} \right)^{2/3} \frac{1}{D_d}; \quad \tau_{\text{диф}} = A'_1 \left(\frac{m}{p_r} \right)^{2/3} \frac{1}{D_d}. \quad (5)$$

Скорость реакции по какому-либо реагирующему компоненту связана с его концентрацией соотношением:

$$\frac{dc}{d\tau} : (c_0 - c)^n,$$

где c – концентрация прореагировавшей к моменту времени τ части компонента;

c_0 – начальная концентрация компонента;

n – порядок реакции.

$$\frac{c}{c_0} = \varepsilon.$$

Если обозначить, то:

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} : c_0^{n-1} (1 - \varepsilon)^n$$

и

$$\frac{d\varepsilon}{d\tau} = A'_2 p_\Gamma^{n-1} (1 - \varepsilon)^n \exp\left(-\frac{E}{RT}\right). \quad (6)$$

Так как $d : \left(\frac{m}{\rho_\Gamma}\right)^{0.33}$, где m – масса

газа в элементарном объеме, которую примем равной массе среднего кристалла окислителя, то:

$$U = \frac{1}{p_\Gamma} \sqrt{\frac{\lambda_\Gamma (T_K - T_\Gamma)}{\left[A_1 \frac{m^{2/3}}{p^{5/3}} \frac{1}{D_\Gamma} + A_2 \frac{\exp(E / \bar{R}T)}{\rho_\Gamma^{n-1} (1 - \varepsilon)_{ср}^n} \right] [c_\Gamma (T_s - T_0) + q_s]}}. \quad (9)$$

Полученное выражение включает все основные факторы, влияющие на скорость горения твердого топлива, и качественно согласуется с соответствующими опытными результатами. Скорость горения увеличивается: с ростом давления среды p и начальной температуры топлива T_0 , с повышением химической активности компонентов (меньше E и A_2) и их теплотворной способности (больше T_K), с уменьшением температуры T_s и теплоты разложения топлива (меньше q_s), а также с увеличением экзотермичности реакций в

$$\tau_{диф} : \left(\frac{m}{p_\Gamma}\right)^{2/3} \frac{1}{A_\Gamma}$$

или

$$\tau_{диф} = A'_1 \left(\frac{m}{p_\Gamma}\right)^{2/3} \frac{1}{A_\Gamma}, \quad (7)$$

а A'_1 – константа, включающая константу скорости реакции и коэффициент пропорциональности из соотношения $c_0 : \rho_\Gamma$

$$\tau_{хим} : \frac{1}{\left(\frac{d\varepsilon}{d\tau}\right)_{ср}}.$$

По физическому смыслу, т.е.:

$$\tau_{хим} = A_2 \frac{\exp(E / \bar{R}T)}{\rho_\Gamma^{n-1} (1 - \varepsilon)_{ср}^n}. \quad (8)$$

Используя соотношения (1 – 3), и учитывая, что $p_\Gamma = p$ (p – давление), получаем:

твердой фазе (меньше q_s) и уменьшением размеров кристаллов окислителя m .

При наличии достаточно интенсивного потока продуктов горения вдоль поверхности топлива теплообмен в зоне горения будет более интенсивным и характеризуется коэффициентом теплообмена $\alpha_2 > \lambda_2$; аналогично массообмен будет характеризоваться коэффициентом турбулентного массообмена $D_T > D_\Gamma$.

По этим причинам скорость горения также увеличивается. Горение, интенсифи-

цированное таким путем, называется "эрозионным" горением.

Для конкретного состава топлива практическое значение имеют зависимости скорости горения от давления в камере и начальной температуры топлива, а также характеристики "эрозионного" горения.

Таким образом, получено выражение, определяющее скорость горения в зависимости от основных определяющих факторов.

Выводы. Горение смесевых твердых топлив (СТТ) представляет собой сложный многостадийный физико-химический процесс, протекающий в гетерогенной системе «окислитель-горючее». Анализ подтверждает, что механизм превращения включает последовательные стадии разложения и газификации компонентов в конденсированной фазе с последующим смешением и турбулентным реагированием в газовой фазе. Определяющую роль в передаче тепла вглубь топлива играет теплопроводность прогретого слоя, формирующегося у поверхности горения.

Основные физические характеристики топлива – плотность, теплопроводность и теплоемкость – оказывают фундаментальное влияние на макрокинетику процесса. Они определяют скорость прогрева конденсированной фазы и, как следствие, суммарную скорость горения. Высокая плотность упаковки компонентов способствует увеличению энергетической емкости, но может изменять теплофизические параметры приповерхностного слоя.

Современная модель горения СТТ базируется на взаимосвязи трех основных зон: конденсированной фазы (разложение и пиролиз), газовой фазы (гомогенное и гетерогенное горение продуктов разложения) и зоны теплового влияния.

Баланс тепловых потоков между этими зонами является критическим фактором, определяющим устойчивость и скорость распространения фронта пламени.

Установлено, что скорость горения СТТ подчиняется эмпирическому степенному закону от давления в камере сгорания ($u \sim p^n$), что характерно для большинства энергетических конденсированных систем. Показатель степени n зависит от рецептуры топлива и условий горения. Начальная температура заряда и дисперсность окислителя (размер частиц) также являются значимыми факторами: уменьшение размера частиц перхлората аммония ведет к росту скорости горения вследствие увеличения поверхности реагирования и изменения структуры прогретого слоя.

Установленные зависимости между составом, физическими характеристиками и закономерностями горения СТТ имеют непосредственное значение для инженерной практики.

Список источников

1. Аbruков В.С. Расчет процессов горения / В.С. Аbruков, Н.А. Тарасов, М.Е. Волков. – Чебоксары, ЧувГУ, 2005. – 77 с.
2. Гусенцова Я.А., Красногрудов А.В., Понамаренко А.Н. Физическая модель горения водоугольного топлива // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – № 5(71), 2023. – С. 31 – 34.
3. Коротких А.Г., Архипов В.А., Кузнецов В.Т., Сорокин И.В., Селихова Е.А. Исследование термического разложения, зажигания и горения смесевых твердых топлив, содержащих биметаллические порошки // Энергетический институт, Томский политехнический университет; Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики, Томский государственный университет, 2017. – С. 125 – 130.

4. Моделирование пожаров и взрывов / под ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. – М.: Изд. «Пожнаука», 2000. – 492 с.

5. Решетников С.М., Фролов В.М. Современные подходы к моделированию процесса горения смесового твердого ракетного топлива // Бутлеровские сообщения. – 2012. – Т. 30, № 6. – С. 1 – 25.

6. Теоретические и прикладные аспекты диффузии/ Ф.В. Недопекин, А.А. Коваленко, А.Б. Бирюков, П.А. Гнатиёв. – Донецк: ДонНУ, 2017. – 327 с.

7. Efimov M. G., Mukhutdinov A. R. Neural network optimization of mixed solid fuel compositions to improve the economic efficiency of thermohydrodynamic impact on oil reservoirs // Mine Surveying and Subsurface Use. 2025; 25(4):53 – 58.

8. Wang L., et al. Thermohydrodynamic stimulation using downhole gas generators based on composite solid fuels: experimental and numerical analysis // Fuel. 2017;205:145 – 158.

References

1. Abrukov V.S. Calculation of combustion processes / V.S. Abrukov, N.A. Tarasov, M.E. Volkov. – Cheboksary, ChuvSU, 2005. – 77 p.

2. Gusentsova Ya.A., Krasnogradov A.V., Ponomarenko A.N. Physical model of coal-water fuel combustion / Bulletin of Vladimir Dahl Luhansk State University. – No. 5(71), 2023. – P. 31 – 34.

Информация об авторах

Гусенцова Яна Алимовна, д-р тех. н., профессор, профессор кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

Автор ID: 1172844, SPIN-код: 1759 – 8513

E-mail: gusentsova@gmail.com

3. Korotkikh A.G., Arkhipov V.A., Kuznetsov V.T., Sorokin I.V., Selikhova E.A. Study of thermal decomposition, ignition and combustion of mixed solid propellants containing bimetallic powders // Power Engineering Institute, Tomsk Polytechnic University; Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Tomsk State University, 2017. – P. 125 - 130.

4. Modeling of Fires and Explosions / edited by N. N. Brushlinsky, A. Ya. Korolchenko. – Moscow: Pozhnauka Publishing House, 2000. – 492 p.

5. Reshetnikov S. M., Frolov V. M. Modern Approaches to Modeling the Combustion Process of Composite Solid Rocket Propellant // Butlerov Communications. – 2012. – Vol. 30, No. 6. – P. 1 – 25.

6. Theoretical and Applied Aspects of Diffusion / F. V. Nedopekin, A. A. Kovalenko, A. B. Biryukov, P. A. Gnatiev. – Donetsk: DonNU, 2017. – 327 p.

7. Efimov M. G., Mukhutdinov A. R. Neural network optimization of mixed solid fuel compositions to improve the economic efficiency of thermohydrodynamic impact on oil reservoirs // Mine Surveying and Subsurface Use. 2025; 25(4):53 – 58.

8. Wang L., et al. Thermohydrodynamic stimulation using downhole gas generators based on composite solid fuels: experimental and numerical analysis // Fuel. 2017; 205:145 – 158.

Статья поступила в редакцию 12.01.2026

Information about the authors

Gusentsova Yana Alimovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

Author ID: 1172844, SPIN-код: 1759 – 8513

E-mail: gusentsova@gmail.com

Щербак Виктор Николаевич, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: Fire_lug@mail.ru

Shcherbak Viktor Nikolaevich, senior lecturer of the Department of Fire Safety of the Institute of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: Fire_lug@mail.ru

Понамаренко Андрей Николаевич, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.
E-mail: ponamarenko.andrey@inbox.ru

Ponomarenko Andrey Nikolaevich, senior lecturer of Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: ponamarenko.andrey@inbox.ru

Макаровская Лариса Васильевна, ассистент кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени В. Даля, г. Луганск.
E-mail: lara.makarovskaya.73@mail.ru

Makarovskaya Larisa Vasilievna, assistant lecturer of Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.
E-mail: lara.makarovskaya.73@mail.ru

Для цитирования:

Гусенцова Я.А., Щербак В.Н., Понамаренко А.Н., Макаровская Л.В. Горения смесового твердого топлива // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки/ – 2026. – № 1(6). – С. 52-58.

For citation:

Gusentsova Ya.A., Shcherbak V.N., Ponomarenko A.N., Makarovskaya L.V. Combustion of composite solid propellants // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – № 1(6). – P. 52-58.

УДК 628.4.047:536.46:519.63

О РАЗРАБОТКЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЕНЕРАЦИИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ПИРОЛИЗЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА

Копец Ю. В., Малкин В. Ю., Рыбаков А. В., Копец К. К.

ON THE DEVELOPMENT OF A PHYSICO-CHEMICAL MODEL FOR THE GENERATION OF HAZARDS DURING PYROLYSIS OF MUNICIPAL SOLID WASTE FOR PREDICTING WORKING CONDITIONS

Kopets I. V., Malkin V. Y., Rybakov A. V., Kopets K. K.

Аннотация. В статье рассматривается задача прогнозирования условий труда персонала на объектах термической переработки твердых коммунальных отходов с использованием технологии пиролиза. Актуальность исследования обусловлена необходимостью количественной оценки динамики выделения опасных газообразных продуктов и тепловых потоков, формирующих комплексные вредные факторы в рабочей зоне. Предложена физико-химическая модель, описывающая кинетику разложения органической компоненты твердых коммунальных отходов, тепломассоперенос в реакционной зоне и образование ключевых токсичных компонентов (СО, летучих органических соединений). Модель представлена системой нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных, учитывающих химические реакции первого порядка, диффузионный и конвективный перенос. Приведены начальные и граничные условия, отражающие режимы загрузки сырья и вентиляции рабочего пространства. Выполнено численное решение методом конечных разностей с оценкой устойчивости. На примере типового участка пиролиза показано распределение концентраций опасных веществ во времени и пространстве, установлены критические зоны превышения предельно допустимых концентраций. Полученные результаты позволяют прогнозировать уровни профессионального риска и обосновывать приоритетные меры коллективной и индивидуальной защиты. Разработанная модель может быть интегрирована в системы управления охраной труда на предприятиях по обращению с отходами.

Ключевые слова: пиролиз твердых коммунальных отходов, физико-химическое моделирование, дифференциальные уравнения, численное решение, прогнозирование условий труда, опасные факторы, устойчивость решения.

Abstract. The article considers the problem of forecasting the working conditions of personnel at facilities for the thermal processing of municipal solid waste using pyrolysis technology. The relevance of the study is due to the need to quantify the dynamics of the release of dangerous gaseous products and heat flows that form complex harmful factors in the work area. A physicochemical model is proposed that describes the kinetics of decomposition of the organic component of municipal solid waste, heat and mass transfer in the reaction zone, and the formation of key toxic components (CO, volatile organic compounds). The model is represented by a system of nonstationary partial differential equations that take into account first-order chemical reactions, diffusion and convective transport. The initial and boundary conditions reflecting the modes of loading raw materials and ventilation of the workspace are given. A numerical solution using the finite difference method with stability estimation is performed. Using the example of a typical pyrolysis site, the distribution of concentrations of hazardous substances in time and space is shown, and critical zones of exceeding the maximum permissible concentrations are established. The results obtained make it possible to predict occupational risk levels and justify priority measures of

collective and individual protection. The developed model can be integrated into occupational health and safety management systems at waste management enterprises.

Key words: *pyrolysis of municipal solid waste, physico-chemical modeling, differential equations, numerical solution, forecasting of working conditions, hazardous factors, stability of the solution.*

Введение. Внедрение технологий высокотемпературной переработки твердых коммунальных отходов (далее – ТКО), в частности пиролиза, сопровождается появлением новых профессиональных рисков, связанных с выделением токсичных газов, паров и аэрозолей [1, 2]. В отличие от традиционных методов захоронения и сортировки, пиролиз характеризуется сложными физико-химическими процессами, в ходе которых образуются такие опасные вещества, как оксид углерода, водород, метан, летучие органические соединения (далее – ЛОС) и полициклические ароматические углеводороды [3, 4].

Материалы и методы. Существующие подходы к оценке условий труда на объектах обращения с ТКО [5, 6] базируются в основном на натурных измерениях и статистических данных, что не позволяет прогнозировать динамику изменения опасных факторов в нештатных ситуациях или при изменении состава сырья. Методы системного анализа и логико-вероятностного моделирования [7, 8], эффективные для оценки интегральной защищенности, не дают численного описания пространственно-временного распределения вредных веществ, необходимого для обоснования систем вентиляции и средств индивидуальной защиты.

В связи с этим актуальным является разработка физико-химических моделей, позволяющих на основе фундаментальных законов сохранения массы и энергии, а также кинетики химических реакций, прогнозировать генерацию опасных

факторов в рабочей зоне [9, 10]. Такие модели должны учитывать нестационарность процессов, характерную для циклической загрузки пиролизных установок, и обеспечивать возможность оценки устойчивости решений к возмущениям параметров.

Целью настоящей работы является разработка физико-химической модели генерации опасных газообразных факторов при пиролизе ТКО, основанной на системе дифференциальных уравнений в частных производных, с реализацией численного метода решения, оценкой устойчивости и обоснованием начальных и граничных условий для прогнозирования условий труда персонала.

Результаты и обсуждения. Рассмотрим типовой участок пиролиза ТКО, включающий реактор периодического действия, зону выгрузки твердого остатка и систему газоотвода. В процессе пиролиза органическая составляющая отходов подвергается термическому разложению с образованием газообразных продуктов, которые могут поступать в рабочую зону через неплотности оборудования, при открытии загрузочных люков или в аварийных ситуациях.

Для описания процесса выделения и распространения опасных веществ примем следующие допущения:

1. Органическая часть ТКО представлена эффективным компонентом, разлагающимся по реакции первого порядка с образованием газа-носителя (СО) и летучих органических соединений [11].
2. Процесс теплопередачи в реакционной зоне описывается уравнением

теплопроводности с внутренним источником тепла, обусловленным эндотермическим эффектом реакции.

3. Перенос газообразных продуктов в рабочей зоне осуществляется за счет диффузии и конвекции, вызванной работой местной вытяжной вентиляции и естественной конвекцией.

4. Температура в реакторе считается квазиоднородной по объему в силу интенсивного перемешивания [12].

Для математической постановки задачи по проведению исследования в области моделирования воздействия опасных факторов при пиролизе ТКО необходимо рассмотреть основных дифференциальных уравнений, описывающих рассматриваемые включает физические процессы. В частности, во-первых, уравнение кинетики разложения органической массы (1):

$$\frac{\partial C_s}{\partial t} = -k(T) \cdot C_s, \quad (1)$$

где C_s – концентрация реагирующей органической фазы (кг/м³), $k(T) = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}}$ – константа скорости реакции, описываемая уравнением Аррениуса, A – предэкспоненциальный множитель, E_a – энергия активации, R – универсальная газовая постоянная, T – температура (К).

Во-вторых, уравнение теплового баланса в реакционной зоне (2):

$$\rho \cdot c_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \cdot \nabla^2 T + Q_{\text{реак}} \cdot \frac{\partial C_s}{\partial t}, \quad (2)$$

где ρ , c_p , λ – плотность, теплоемкость и теплопроводность реакционной массы соответственно, $Q_{\text{реак}}$ – тепловой эффект реакции (эндотермический, $Q_{\text{реак}} < 0$). ∇^2 – оператор Лапласа используется в уравнении теплопроводности (член $\lambda \cdot \nabla^2 T$) и также в уравнении (3) переноса примеси

(член $D \nabla^2 C_g$), описывая диффузионный перенос тепла и массы.

В-третьих, уравнение переноса газообразных продуктов (например, CO) в рабочей зоне (3):

$$\frac{\partial C_g}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla C_g = D \nabla^2 C_g + S, \quad (3)$$

где C_g – концентрация газа в воздухе рабочей зоны (мг/м³), $\mathbf{u}$ – поле скорости воздуха (м/с), D – коэффициент молекулярной диффузии (м²/с), S – источник, обусловленный выделением газа из реактора.

Функция источника (эмиссионный член) S определяется по (4):

$$S = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{\partial C_s}{\partial t} \cdot \frac{V_{\text{реак}}}{V_{\text{зон}}} \cdot \delta \cdot (\mathbf{r} - \mathbf{r}_0), \quad (4)$$

где α – стехиометрический коэффициент (масса газа на массу разложившейся органики), β – коэффициент протечек (доля выделившегося газа, поступающего в рабочую зону), $V_{\text{реак}}$ и $V_{\text{зон}}$ – объемы реактора и рабочей зоны, δ – дельта-функция Дирака, локализирующая источник в точке $\mathbf{r}_0$ (место возможной разгерметизации или технологический проем).

И уравнение движения воздуха (осредненное по Рейнольдсу для турбулентного течения) в приближении потенциального течения или с использованием модели $k - \varepsilon$ [13] задается через начальные условия, включая поле скоростей, которое является стационарным, полученным из предварительного расчета вентиляции.

При $t = 0$:

$C_s(0) = C_{s0}$ – начальная концентрация органики в загрузке (определяется морфологическим составом ТКО),

$T(0) = T_{\text{среды}}$ – температура окружающей среды,

$C_g(\mathbf{r}, 0) = C_{g,\text{фон}}$ – фоновые концентрации (обычно принимаются равными нулю или ПДК).

В качестве граничных условий принимаются для уравнения теплопроводности на границах реактора:

на внутренней поверхности – условие теплообмена с окружающей средой (5):

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial n} = h \cdot (T - T_{\text{среды}}), \quad (5)$$

где h – коэффициент теплоотдачи;

на оси симметрии (если применимо) – условие симметрии (6):

$$\frac{\partial T}{\partial n} = 0. \quad (6)$$

Граничные условия для уравнения переноса газа в рабочей зоне:

на приточных вентиляционных отверстиях: $C_g = C_{g,\text{прит}}$ (концентрация в приточном воздухе, обычно 0);

- на вытяжных отверстиях: $\frac{\partial C_g}{\partial n} = 0$ (условие «выхода»);

- на твердых непроницаемых границах: $\frac{\partial C_g}{\partial n} = 0$ (отсутствие потока через стену).

Сформулируем задачу моделирования как определение пространственно-временных полей концентраций опасных газообразных компонентов $C_g(\mathbf{r}, t)$ и температуры $T(\mathbf{r}, t)$ в рабочей зоне, которые удовлетворяют системе дифференциальных уравнений (1)-(4) с заданными начальными и граничными условиями. Количественной мерой потенциального воздействия на персонал предлагается интегральный функционал Φ , отражающий суммарную массу опасного вещества, поступившую в дыхательную зону за рассматриваемый период, либо нормированную дозовую нагрузку (7):

$$\Phi[T, C_g] = \int_0^{t_{\text{max}}} \int_{\Omega_{\text{зоны}}} (\chi(\mathbf{r}) \cdot C_g(\mathbf{r}, t; T(\mathbf{r}, t))) d\Omega dt, \quad (7)$$

где Ω – область рабочей зоны, $\chi(\mathbf{r})$ – индикатор присутствия персонала (может быть принят равным 1 в местах выполнения операций и 0 в остальных зонах). Данный функционал позволяет количественно сопоставить различные сценарии (режимы вентиляции, герметизации, состава сырья) по уровню интегральной опасности. Зависимость C_g от T подчёркивает, что температурное поле непосредственно определяет интенсивность генерации и пространственное распределение токсичных примесей.

Таким образом, задача сводится к нахождению функций $C_g(\mathbf{r}, t)$ и $T(\mathbf{r}, t)$, являющихся решением краевой задачи (1)-(4), и последующему вычислению функционала Φ . Для её решения

применяется численный метод, описанный далее.

Метод решения и оценка устойчивости.

Согласно сформулированной выше функциональной постановке, задача сводится к отысканию двух основных неизвестных функций: поля температуры $T(\mathbf{r}, t)$ в реакционной зоне и рабочем пространстве, поля концентрации опасного газа $C_g(\mathbf{r}, t)$ в рабочей зоне, удовлетворяющих системе дифференциальных уравнений (1)-(4) с соответствующими начальными и граничными условиями. После получения этих полей вычисляется интегральный функционал $\Phi[T, C_g]$, количественно оценивающий потенциальную дозовую нагрузку на персонал.

Для решения системы уравнений применяется метод конечных разностей на равномерной пространственной сетке с использованием комбинации явных и неявных схем, что позволяет обеспечить устойчивость и эффективность вычислений [14, 15].

Во-первых, проводится дискретизация области и формируются сеточные параметры. Расчётная область Ω (рабочая зона) покрывается ортогональной сеткой с шагами $\Delta x, \Delta y, \Delta z$. Временной интервал $[0, t_{max}]$ разбивается на шаги Δt . Все

функции заменяются их сеточными аналогами, например, $T_{i,j,k}^n \approx T(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z, n\Delta t)$.

Во-вторых, формируется численная схема для уравнения теплопроводности. Уравнение (2) – параболического типа с нелинейным источником. Для его решения используется неявная схема (например, переменных направлений или локально-одномерная), которая, безусловно, устойчива и позволяет использовать относительно крупный шаг по времени. Дискретный аналог имеет вид (8):

$$\rho \cdot c_p \cdot \frac{T^{n+1} - T^n}{\Delta t} = \lambda \nabla^2 T^{n+1} + Q_{\text{реак}} \cdot \left(\frac{\partial C_s}{\partial t} \right)^n, \quad (8)$$

где ∇^2 – конечно-разностный оператор Лапласа. Источник вычисляется по явной схеме из уравнения кинетики (1), решаемого аналитически на каждом временном слое.

В-третьих, строится численная схема для уравнения переноса газа. уравнение (3) – параболического типа с конвективным

членом. Для него применяется явная схема с расщеплением по физическим процессам:

диффузионный член аппроксимируется центральными разностями,

конвективный член — разностями против потока для обеспечения устойчивости.

Дискретное уравнение вида (9):

$$\frac{C_g^{n+1} - C_g^n}{\Delta t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla_h) C_g^n = D \nabla_h^2 C_g^n + S^n, \quad (9)$$

где ∇_h – конечно-разностный оператор градиента. Источниковый член S^n вычисляется на основе найденного поля температуры и скорости разложения органики.

Тогда алгоритм последовательного решения на каждом временном шаге $n \rightarrow n + 1$ включает следующие этапы:

1. Вычисляется константа скорости $k(T^n)$ в узлах сетки.

2. Аналитически решается уравнение (1) для определения новой концентрации органики C_s^{n+1} и скорости её разложения.

3. С использованием неявной схемы находится новое поле температуры T^{n+1} .

4. На основе T^{n+1} и известного поля скоростей $\mathbf{u}$ (полученного из предварительного гидродинамического расчёта) вычисляется источниковый член S^{n+1} .

5. Явной схемой рассчитывается новое поле концентрации газа C_g^{n+1} .

6. По окончании расчёта накопленные значения $C_g(\mathbf{r}, t)$ и $T(\mathbf{r}, t)$ используются для вычисления функционала Φ численным интегрированием по времени и пространству.

7. Устойчивость явной схемы для уравнения переноса определяется условием Куранта – Фридрихса – Леви [16], которое имеет вид (10):

$$\Delta t \leq \min \left(\frac{\Delta x}{|u|_{\max}}, \frac{(\Delta x)^2}{2D} \right), \quad (10)$$

где $|u|_{\max}$ – максимальное значение скорости в расчётной области. Неявная схема для теплопроводности безусловно устойчива, поэтому общий шаг Δt выбирается из условия (10).

Для проверки корректности решения выполняется анализ сходимости: расчёты проводятся на последовательно сгущающихся сетках (удвоение числа узлов в каждом направлении), а также с уменьшением шага по времени в 2 и 4 раза. Изменение значений Φ и максимальных концентраций при этом не должно превышать 5-7 %, что свидетельствует о практической сходимости численного метода.

И, в итоге, получаем аналитический вид функций. В общем случае система нелинейных уравнений решается численно, однако для некоторых упрощённых ситуаций (например, одномерная постановка, постоянная температура, стационарное течение) могут быть получены приближённые аналитические выражения для $C_g(\mathbf{r}, t)$ и $T(\mathbf{r}, t)$ методом разделения переменных или с использованием преобразований Лапласа. В данной работе основное внимание уделено численному решению, позволяющему учесть полную нелинейность задачи и получить искомые функции в виде сеточных полей, которые затем используются для оценки дозовой нагрузки Φ .

Таким образом, предложенный метод позволяет:

- определить поля температуры и концентрации опасного газа,
- вычислить интегральный функционал $\Phi[T, C_g]$,

- выполнить параметрические исследования для различных технологических режимов,

- оценить устойчивость и сходимость численного алгоритма.

Это обеспечивает основу для прогнозирования условий труда и обоснования мер защиты персонала при пиролизе ТКО.

Для примера рассмотрим условную рабочую зону участка пиролиза размерами $10 \times 8 \times 4$ м, где расположен реактор объемом 10 м^3 . Параметры модели приняты на основе литературных данных [17, 18]:

$$\begin{aligned} A &= 1,2 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}, \\ E_a &= 150 \text{ кДж/моль}, \\ Q_{\text{реак}} &= -1,2 \text{ МДж/кг}, \end{aligned}$$

$\alpha = 0,5$ (массовая доля газа от разложившейся органики), $\beta = 0,01$ (коэффициент протечек),

$C_{s0} = 200 \text{ кг/м}^3$ (исходная плотность органики в отходах),

$T_{\text{среды}} = 293 \text{ К}$, скорость вентиляции $u = 0,2 \text{ м/с}$ (направлена от реактора к вытяжке).

Расчетная область покрыта сеткой $100 \times 80 \times 40$ узлов. Шаг по времени $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ выбран из условия 10.

На рисунке 1 приведены результаты расчета концентрации СО в точке, соответствующей месту нахождения оператора (на расстоянии 1,5 м от люка реактора), в течение первого часа после начала пиролиза. Кривая демонстрирует быстрый рост концентрации в первые 10-15 минут, достижение максимума ($\approx 45 \text{ мг/м}^3$), а затем постепенное снижение за счет работы вентиляции и завершения активной стадии газовой выделения.

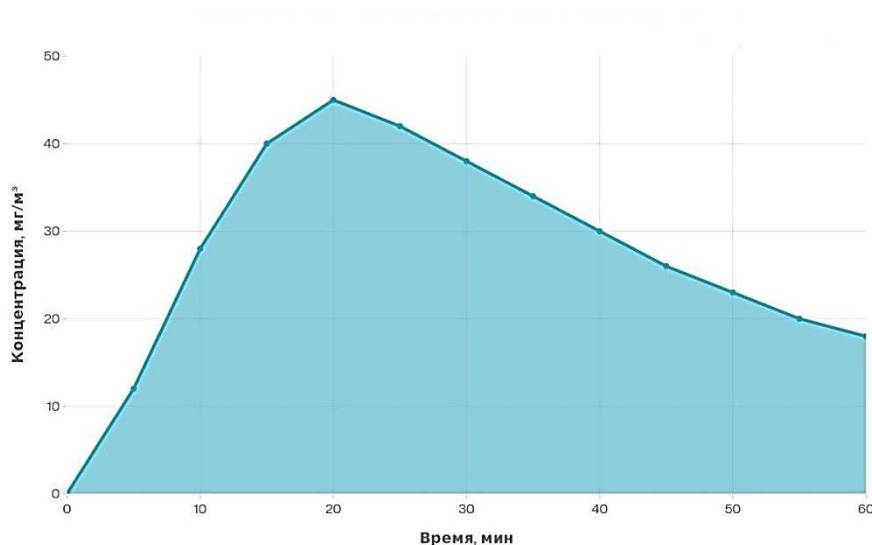


Рис. 1. Концентрация СО в зоне нахождения оператора

Сравнение с предельно допустимой концентрацией (ПДК) СО для рабочей зоны (20 мг/м^3) [19] показывает, что в период с 5-й по 25-ю минуту происходит превышение норматива, что требует либо усиления вентиляции, либо использования средств индивидуальной защиты органов дыхания в этот временной интервал.

Анализ пространственного распределения показывает, что зона с концентрацией выше $0,5$ ПДК распространяется на расстояние до 3 м от люка реактора при штатной работе вентиляции. При отказе вентиляции ($u = 0$) модель прогнозирует накопление СО до уровней, превышающих ПДК в 5 - 7 раз, что подтверждает критическую важность системы вытяжки.

Оценка устойчивости решения показала, что при $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ и выбранной сетке невязка баланса массы не превышает 2% за весь период моделирования, а при уменьшении шага по времени в 2 раза изменение результатов составляет менее 3% , что свидетельствует о сходимости численной схемы.

Разработанная физико-химическая модель и численный алгоритм могут быть использованы для:

1. Прогнозной оценки условий труда на стадии проектирования новых пиролизных установок, позволяя определить необходимую производительность систем вентиляции и локализации выбросов.

2. Обоснования режимов труда и отдыха персонала, исходя из временных окон превышения ПДК.

3. Выбора и размещения стационарных газоанализаторов в наиболее критических точках рабочей зоны, определенных в ходе моделирования.

4. Оценки эффективности планируемых мероприятий по снижению риска (например, герметизация оборудования, увеличение кратности воздухообмена) путем параметрических расчетов.

Дальнейшее развитие модели предполагает учет многокомпонентного состава газовой фазы, введение более детальной кинетической схемы (включая образование диоксинов и фуранов) [20], а также интеграцию с системами цифрового мониторинга в рамках концепции «цифрового двойника» участка пиролиза.

Выводы. В работе предложена физико-химическая модель генерации опасных газообразных факторов при пиролизе твердых коммунальных отходов,

основанная на системе дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих кинетику разложения, теплоперенос и диффузионно-конвективный перенос продуктов в рабочей зоне. Выполнена численная реализация метода конечных разностей, проведена оценка устойчивости решений по критерию (10) и сходимости на сгущающихся сетках. Обоснованы начальные и граничные условия, соответствующие типовым режимам эксплуатации пиролизных установок. На примере расчета показано, что модель позволяет количественно прогнозировать превышение ПДК токсичных компонентов во времени и пространстве, что имеет ключевое значение для управления профессиональными рисками. Разработанный инструмент может быть интегрирован в системы управления охраной труда на объектах обращения с ТКО, повышая обоснованность принимаемых решений.

Список источников

1. Габитов Р.Н., Колибаба О.Б., Долинин Д.А., Чижикова М.М. Повышение эффективности пиролизной переработки твердых коммунальных отходов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2023. – № 2. – С. 19-27.
2. ГОСТ Р 58483-2019. Наилучшие доступные технологии. Обращение с отходами. Термическая переработка отходов. – Введ. 2019-12-01. – М.: Стандартинформ, 2019.
3. Копец Ю. В. Управление профессиональными рисками на промышленных предприятиях: современные подходы и инструменты / Ю. В. Копец, А. Т. Павленко // Безопасность труда в промышленности. – 2026. – № 1. – С. 78-83. – DOI 10.24000/0409-2961-2026-1-78-83. – EDN ZSBCRU.
4. Копец Ю. В. Логико-вероятностная модель оценки интегральной защищенности персонала предприятий по обращению с твердыми коммунальными отходами с использованием технологий пиролиза / Ю. В. Копец, А. Т. Павленко, В. Ю. Малкин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2026. – Т. 15. – № 1(73). – С. 134-139. – EDN: OKKXRA.
5. Методика оценки профессиональных рисков, утв. Приказом Минтруда России от 29.10.2021 № 771н.
6. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005.
7. Белов П.Г. Управление рисками, системный анализ и моделирование: учебник и практикум для вузов. – М.: Издательство Юрайт, 2026. – 721 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-17939-2. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/599038> (дата обращения: 20.03.2026).
8. Зализняк В.Е., Золотов О.А. Математическое моделирование: учебник для вузов. – М.: Издательство Юрайт, 2026. – 125 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-20525-1. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/index.php/bcode/587694> (дата обращения: 20.03.2026).
9. Кузнецова А.Н., Хамидуллина Е.А. Моделирование при анализе рисков химических аварий // XXI век. Техносферная безопасность. – 2020. – Т. 5, № 2. – С. 173-186.
10. Vose D. Risk Analysis: A Quantitative Guide. – 3rd ed. – John Wiley & Sons, 2008. – 752 p.
11. Di Blasi C. Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis // Progress in Energy and Combustion Science. – 2008. – Vol. 34, No. 1. – P. 47-90.
12. Babu B.V., Chaurasia A.S. Modeling, simulation and estimation of optimum parameters in pyrolysis of biomass // Energy Conversion and

Management. – 2003. – Vol. 44, No. 13. – P. 2135-2158.

13. Versteeg H.K., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. – 2nd ed. – Pearson Education, 2007. – 503 p.

14. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1989. – 616 с.

15. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977. – 736 с.

16. Courant R., Friedrichs K., Lewy H. On the partial difference equations of mathematical physics // IBM Journal of Research and Development. – 1967. – Vol. 11, No. 2. – P. 215-234.

17. Sharma A., Mohanty B. Kinetic analysis and modeling of municipal solid waste pyrolysis // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2015. – Vol. 37, No. 10. – P. 1069-1078.

18. Chen D., Yin L., Wang H., He P. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review // Waste Management. – 2014. – Vol. 34, No. 12. – P. 2466-2486.

19. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Издательство стандартов, 1989.

20. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (вместо устаревшего Р 2.2.2006-05).

References

1. Gabitov R.N., Kolibaba O.B., Dolinin D.A., Chizhikova M.M. Improvement of efficiency of pyrolysis processing of municipal solid waste // Vestnik of Ivanovo State Power Engineering University. – 2023. – No. 2. – P. 19-27. (In Russ.)

2. GOST R 58483-2019. The best available technologies. Waste management. Thermal waste treatment. Introduction. 2019-12-01. Moscow: Standartinform, 2019.

3. Kopets Iu. V. Professional Risk Management at Industrial Enterprises: Modern

Approaches and Tools / Iu. V. Kopets, A. T. Pavlenko // Occupational Safety in Industry. – 2026. – No. 1. – P. 78-83. – DOI 10.24000/0409-2961-2026-1-78-83. – EDN ZSBCRU. (In Russ.)

4. Kopets Iu.V. Logical and probability model for assessing the integral protection of personnel in solid waste management enterprises using pyrolysis technologies / Iu. V. Kopets, A. T. Pavlenko, V. Yu. Malkin // XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus. – 2026. – Vol. 15. – No. 1 (73). – P. 134-139. – EDN: OKKXRA. (In Russ.)

5. Methodology for assessing occupational risks, approved by By Order of the Ministry of Labor of the Russian Federation dated 29.10.2021 No. 771n.

6. Р 2.2.2006-05. Guidelines for the hygienic assessment of the factors of the working environment and the labor process. Criteria and classification of working conditions. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2005.

7. Belov P.G. Risk management, system analysis and modeling: textbook and workshop for universities. Moscow: Publishing URAIT, 2026. 721 p. – ISBN 978-5-534-17939-2. – Text: electronic // Educational platform Yurayt [website]. – Available at: <https://urait.ru/bcode/599038> (access 03.20.2026). (In Russ.)

8. Zaliznyak V.E., Zolotov O.A. Mathematical modeling: a textbook for universities. Moscow: Publishing URAIT, 2026. 125 p. (Higher education). – ISBN 978-5-534-20525-1. – Text: electronic // Educational platform Yurayt [website]. – Available at: <https://urait.ru/index.php/bcode/587694> (access 03.20.2026). (In Russ.)

9. Kuznetsova A.N., Khamidullina E.A. Modeling for chemical accident risk assessment // XXI century. Technosphere safety. – 2020. – Vol. 5, No. 2. – P. 173-186. (In Russ.)

10. Vose D. Risk Analysis: A Quantitative Guide. – 3rd ed. – John Wiley & Sons, 2008. – 752 p.

11. Di Blasi C. Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis

// Progress in Energy and Combustion Science. – 2008. – Vol. 34, No. 1. – P. 47-90.

12. Babu B.V., Chaurasia A.S. Modeling, simulation and estimation of optimum parameters in pyrolysis of biomass // Energy Conversion and Management. – 2003. – Vol. 44, No. 13. – P. 2135-2158.

13. Versteeg H.K., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. – 2nd ed. – Pearson Education, 2007. – 503 p.

14. Samarskiy A.A. Theory of difference schemes, Moscow: Nauka Publ., 1989, 616 p.

15. Tikhonov A.N., Samarskiy A.A. Equations of Mathematical Physics, Moscow: Nauka Publ., 1977, 736 p.

16. Courant R., Friedrichs K., Lewy H. On the partial difference equations of mathematical physics // IBM Journal of Research and Development. – 1967. – Vol. 11, No. 2. – P. 215-234.

17. Sharma A., Mohanty B. Kinetic analysis and modeling of municipal solid waste pyrolysis // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2015. – Vol. 37, No. 10. – P. 1069-1078.

18. Chen D., Yin L., Wang H., He P. Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review // Waste Management. – 2014. – Vol. 34, No. 12. – P. 2466-2486.

19. GOST 12.1.005-88. A system of occupational safety standards. General sanitary and hygienic requirements for the air of the working area. Moscow: Publishing House of Standards, 1989.

20. SanPiN 1.2.3685–21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans" (instead of the outdated R 2.2.2006-05).

Статья поступила в редакцию 12.02.2026

Информация об авторах

Конец Юрий Витальевич, к-т тех. н., заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Института гражданской защиты Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

<https://orcid.org/0009-0000-2700-9740>

SPIN-код: 9524-6246, AuthorID: 1164071

E-mail: yura_87-87@mail.ru

Information about the authors

Kopets Iurii Vitalievich, Cand. of Tech. Sci., Head of the Department of Technosphere Safety of the Institute of Civil Defense of the Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk.

<https://orcid.org/0009-0000-2700-9740>

SPIN-код: 9524-6246, AuthorID: 1164071

E-mail: yura_87-87@mail.ru

Малкин Владимир Юрьевич, д-р э. н., профессор, директор Института гражданской защиты Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

<https://orcid.org/0000-001-6224-2062>

SPIN-код: 6138-5873, AuthorID: 1281803

E-mail: malkvu@mail.ru

Malkin Vladimir Yurevich, Doctor of Sciences in Economics, Professor, Director of the Institute of Civil Protection of the Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk.

<https://orcid.org/0000-001-6224-2062>

SPIN-код: 6138-5873, AuthorID: 1281803

E-mail: malkvu@mail.ru

Рыбаков Анатолий Валерьевич, д-р техн. н., профессор, начальник научно-исследовательского центра, ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика».
<https://orcid.org/0000-0002-4037-1231>
SPIN-код: 8654-3788, AuthorID: 709088
E-mail: anatoll_rubakov@mail.ru

Rybakov Anatoly Valerevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Research Center, Academy of Civil Defense of the Ministry of Emergency Situations of Russia.
<https://orcid.org/0000-0002-4037-1231>
SPIN-код: 8654-3788, AuthorID: 709088
E-mail: anatoll_rubakov@mail.ru

Копец Карина Константиновна, к-т тех. н., доцент, доцент кафедры «Вентиляция, теплогазо- и водоснабжение» Института строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
SPIN-код: 2364-9474, AuthorID: 1180916
E-mail: karina_0101@mail.ru

Kopets Karina Konstantinovna, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ventilation, Heat, Gas and Water Supply at the Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Lugansk Vladimir Dahl State University.
SPIN-код: 2364-9474, AuthorID: 1180916
E-mail: karina_0101@mail.ru

Для цитирования:

Копец Ю.В., Малкин В.Ю., Рыбаков А.В., Копец К.К. О разработке физико-химической модели генерации опасных факторов при пиролизе твердых коммунальных отходов для прогнозирования условий труда // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – №1(6). – С. 59-69.

For citation:

Kopets I.V., Malkin V.Y., Rybakov A.V., Kopets K.K. On the development of a physico-chemical model for the generation of hazards during pyrolysis of municipal solid waste for predicting working conditions // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – №1(6). – P. 59-69.

УДК 614.8:004.9:528.8

АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ, ВЕРИФИКАЦИИ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ И БЕСПИЛОТНЫХ ПЛАТФОРМ

Павленко А. Т., Рыбаков А. В., Малкин В. Ю.

ALGORITHMS FOR FILTERING, VERIFICATION AND SPATIO-TEMPORAL INTERPOLATION OF DATA IN MONITORING SYSTEMS BASED ON SENSOR NETWORKS AND UNMANNED PLATFORMS

Pavlenko A. T., Rybakov A. V., Malkin V. Y.

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы обеспечения достоверности и полноты данных в автоматизированных системах мониторинга, развертываемых при проведении аварийно-спасательных работ на опасных производственных объектах. Предложен комплекс алгоритмов первичной обработки данных, включающий медианную фильтрацию для подавления импульсных помех, верификацию показаний на основе правила Граббса и пространственную кросс-проверку с использованием соседних сенсорных узлов. Разработан алгоритм пространственно-временной интерполяции на основе метода обратных взвешенных расстояний с учетом анизотропии, обусловленной направлением ветра, позволяющий восстанавливать поля концентраций опасных веществ и строить карты изолиний. Предложена адвективная модель для краткосрочного прогнозирования перемещения опасных зон. Приведен пример построения динамики зон заражения при разгерметизации аммиачного трубопровода по данным гипотетической сенсорной сети, включающей стационарные датчики и беспилотные системы. Выполнена оценка точности интерполяции путем сравнения с эталонными полями, полученными методом вычислительной гидродинамики. Результаты работы направлены на формирование целостной картины обстановки в реальном времени для поддержки принятия решений руководителем аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: фильтрация данных, верификация, пространственная интерполяция, метод обратных взвешенных расстояний, сенсорные сети, беспилотные платформы, карты опасных зон, аварийно-спасательные работы.

Abstract. The article addresses the problems of ensuring data reliability and completeness in automated monitoring systems deployed during emergency rescue operations at hazardous production facilities. A set of primary data processing algorithms is proposed, including median filtering to suppress impulse noise, verification of readings based on Grubbs' rule, and spatial cross-checking using neighboring sensor nodes. An algorithm for spatio-temporal interpolation based on the inverse distance weighting method with anisotropy due to wind direction is developed, allowing the reconstruction of hazardous substance concentration fields and the construction of contour maps. An advective model for short-term forecasting of hazardous zone movement is proposed. An example of constructing the dynamics of contamination zones during an ammonia pipeline rupture using data from a hypothetical sensor network including stationary sensors and unmanned systems is given. The interpolation accuracy is estimated by comparison with reference fields obtained by computational fluid dynamics. The results are aimed at forming a holistic picture of the situation in real time to support decision-making by the head of emergency rescue operations.

Key words: data filtering, verification, spatial interpolation, inverse distance weighting method, sensor networks, unmanned platforms, hazardous zone maps, emergency rescue operations.

Введение. Эффективность проведения аварийно-спасательных работ на опасных производственных объектах (далее – ОПО) в значительной степени зависит от полноты и достоверности информации о текущей обстановке [1]. Развертывание систем мониторинга на базе распределенных сенсорных сетей и беспилотных платформ позволяет получать данные о концентрациях опасных веществ, температуре, тепловом излучении и других параметрах среды в реальном времени [2]. Однако сырые данные, поступающие от датчиков, содержат помехи, выбросы, пропуски и требуют тщательной предобработки перед использованием для принятия решений [3].

Статистика аварийности на ОПО свидетельствует, что значительная часть ошибок при оценке обстановки связана с использованием недостоверных или неполных данных [4]. В условиях динамично развивающейся аварии, когда счет идет на секунды, критически важно иметь не только отдельные точечные измерения, но и целостную пространственно-временную картину распределения опасных факторов. Это требует применения методов интерполяции, позволяющих восстанавливать значения параметров в точках, не охваченных измерениями, и строить карты изолиний [5].

Материалы и методы. В существующих работах предложены различные подходы к обработке данных мониторинга. Так, в [6] рассматриваются методы фильтрации сигналов газоанализаторов для подавления шумов. В [7] исследуются алгоритмы обнаружения и коррекции выбросов в данных сенсорных сетей. Вопросы пространственной интерполяции полей концентраций

загрязняющих веществ подробно освещены в [8, 9]. Однако большинство известных методов ориентированы либо на стационарные системы экологического мониторинга, либо на лабораторные условия и недостаточно адаптированы к специфике аварийно-спасательных работ, характеризующейся высокой динамикой, ограниченным числом измерительных точек и необходимостью работы в реальном времени.

В предыдущих работах авторов были разработаны общие принципы прогнозирования динамики опасных зон [10] и методы обнаружения критических изменений параметров среды [11]. Развитием этих исследований является создание специализированных алгоритмов предобработки и интерполяции данных, обеспечивающих формирование целостной картины обстановки для поддержки принятия решений.

Целью статьи является разработка и обоснование комплекса алгоритмов фильтрации, верификации и пространственно-временной интерполяции данных, интегрируемых в системы мониторинга на базе сенсорных сетей и беспилотных платформ, для применения на опасных производственных объектах при проведении аварийно-спасательных работ.

Результаты и обсуждения. Постановка задачи обработки данных.

Пусть на объекте или в зоне проведения аварийно-спасательных работ развернута распределенная система мониторинга, включающая множество сенсорных узлов $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$. Каждый узел s_i в момент времени t генерирует вектор наблюдений (1):

$$X_i(t) = (x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{im}(t))^T, \quad (1)$$
где m – количество контролируемых параметров.

В силу различных причин (шумы, сбои, временная неработоспособность датчиков, помехи передачи данных) наблюдаемые значения $x_{ij}(t)$ могут содержать ошибки. Требуется разработать алгоритмы, обеспечивающие:

1. Фильтрацию – подавление высокочастотных и импульсных помех при сохранении полезного сигнала.

2. Верификацию – обнаружение и отбраковку аномальных значений (выбросов), не соответствующих реальной физической картине.

3. Восстановление пропущенных данных – в случае временного отсутствия показаний от отдельных узлов.

4. Пространственную интерполяцию – построение непрерывных полей параметров $\hat{x}_j(p, t)$ по дискретным измерениям в точках расположения сенсоров для произвольной точки пространства $p \in \Omega$, где Ω – область проведения работ.

5. Построение изолиний – выделение границ опасных зон

$$HZ_j^k(t) = \{p \in \Omega: \hat{x}_j(p, t) \geq L_j^k\}$$

$$x_{ij}^{\text{фильт}}(t) = \text{median}\{x_{ij}(t - L_f + 1), x_{ij}(t - L_f + 2), \dots, x_{ij}(t)\}. \quad (2)$$

Медианный фильтр эффективно удаляет одиночные выбросы, не сглаживая при этом резкие перепады, что важно для сохранения информации о быстрых изменениях концентраций при авариях. Медианный фильтр – это нелинейный метод цифровой обработки сигналов, который заменяет текущее значение на медиану значений в скользящем окне. Суть алгоритма работы этого фильтра заключается в том, что задаётся размер окна L_f (нечётное число, обычно 3, 5 или 7). Для каждого момента времени t формируется окно из L_f отсчётов

для заданных пороговых уровней L_j^k .

6. Краткосрочное прогнозирование перемещения опасных зон на основе метеоданных и текущей динамики.

Результатом обработки должны являться карты распределения опасных факторов, обновляемые в реальном времени и доступные руководителю аварийно-спасательных работ для принятия решений.

Алгоритм первичной фильтрации и верификации реализуется непосредственно в микроконтроллере сенсорного узла или на ближайшем шлюзе сбора данных и включает шаги.

Для подавления импульсных помех (выбросов, обусловленных электромагнитными наводками или кратковременными сбоями) используется скользящая медианная фильтрация [12]. Для каждого параметра x_{ij} формируется окно длины L_f (рекомендуемое значение $L_f = 5 - 7$ отсчетов). Выходное значение $x_{ij}^{\text{фильт}}(t)$ определяется как медиана окна (2):

$$[x(t - \frac{L_f - 1}{2}), \dots, x(t - 1), x(t), x(t + 1), \dots, x(t + \frac{L_f - 1}{2})].$$

Все значения в окне сортируются по возрастанию, затем выбирается средний элемент отсортированного списка – это и есть медиана. Исходное значение $x(t)$ заменяется на найденную медиану. Так, например, с окном 5 исходный сигнал с выбросом [10, 12, 150, 11, 13]. Производим сортировку [10, 11, 12, 13, 15]. Медиана (3-й элемент) – 12. Результат фильтрации – [10, 12, 12, 11, 13]. Выброс 150 был полностью удалён и заменён на нормальное значение 12.

Для выявления аномальных значений, которые могут быть следствием неисправности датчика или внешних воздействий, применяется статистический критерий Граббса [12]. Для накопленной за период T_{norm} статистики (рекомендуемое значение $T_{norm} = 100 - 200$ отсчетов, что при частоте опроса 1 Гц соответствует 1,5–3 минутам) вычисляются выборочное среднее $\hat{\mu}_{ij}$ и выборочное СКО $\hat{\sigma}_{ij}$.

Текущее значение считается выбросом, если выполняется (3):

$$\frac{|x_{ij}^{фильт}(t) - \hat{\mu}_{ij}|}{\hat{\sigma}_{ij}} > G_{крит}(\alpha, N), \quad (3)$$

где $G_{крит}$ – критическое значение критерия Граббса для уровня значимости α (рекомендуется $\alpha = 0,05$) и объема выборки N . Значения $G_{крит}$ табулированы или могут быть аппроксимированы.

При обнаружении выброса значение маркируется как потенциально недостоверное и подлежит дополнительной проверке. Если в системе имеются другие сенсорные узлы в пространственной близости, выполняется проверка согласованности показаний. Для каждого параметра формируется пространственная окрестность N_i радиусом R , включающая другие сенсорные узлы. Вычисляется среднее значение по окрестности (4):

$$\bar{x}_{N_i}(t) = \frac{1}{|N_i|} \sum_{s_k \in N_i} x_{kj}^{фильт}(t) \quad (4)$$

и среднеквадратическое отклонение по окрестности $\bar{\sigma}_{N_i}$.

Текущее значение считается аномальным, если выполняется (5):

$$\frac{|x_{ij}^{фильт}(t) - \bar{x}_{N_i}(t)|}{\hat{\sigma}_{ij}} > \delta_{порог}, \quad (5)$$

где $\delta_{порог}$ – пороговый коэффициент (рекомендуется $\delta_{порог} = 3$, исходя из правила трех сигм). При отсутствии соседних узлов или недостаточном их количестве ($|N_i| < 3$) пространственная проверка не выполняется.

Для формирования признака достоверности каждому значению присваивается бит достоверности $v_{ij}(t) \in \{0,1\}$, где 0 означает недостоверное значение (не прошло проверку по Граббсу или пространственную проверку). Недостоверные значения исключаются из дальнейшей обработки, но могут использоваться для диагностики состояния самого датчика.

Для заполнения пропусков (отсутствие данных или недостоверные значения) может использоваться линейная интерполяция по времени или замена на среднее по соседним узлам.

Далее для построения непрерывных полей концентраций газов, температуры и других параметров по дискретным измерениям используется метод обратных взвешенных расстояний [13]. Этот метод выбран ввиду его вычислительной простоты, возможности работы в реальном времени и удовлетворительной точности для задач оперативного мониторинга.

Оценка значения параметра в произвольной точке пространства p в момент времени t вычисляется как взвешенное среднее измерений во всех сенсорных узлах с достоверными данными (6):

$$\hat{x}_j(p, t) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i(p) \cdot x_{ij}^{фильт}(t) \cdot v_{ij}(t)}{\sum_{i=1}^n w_i(p) \cdot v_{ij}(t)}, \quad (6)$$

где веса $w_i(p)$ зависят от расстояния $r_i = |p - p_i|$ между точкой интерполяции p и положением сенсорного узла p_i (7):

$$w_i(p) = \frac{1}{r_i^\alpha}. \quad (7)$$

Параметр α определяет степень убывания веса с расстоянием (обычно принимается $\alpha = 2$, что соответствует закону обратных квадратов). r_i – это расстояние между точкой интерполяции p и положением i -го сенсорного узла p_i . Чем дальше датчик от интересующей нас точки, тем меньше его влияние на результат интерполяции. Вес обратно пропорционален расстоянию в степени α .

При распространении газообразных опасных веществ существенную роль играет направление ветра. Облако заражения вытягивается по ветру, и градиенты концентрации в направлении ветра меньше, чем в поперечном направлении. Для учета этого эффекта вводится анизотропная весовая функция (8):

$$w_i(p) = \frac{1}{r_i^\alpha} \cdot e^{(\beta \cdot (\cos(\varphi_i - \varphi_{\text{ветер}})))}, \quad (8)$$

где φ_i – азимут (угол) от точки измерения p_i к интерполируемой точке p ; $\varphi_{\text{ветер}}$ – направление ветра (угол); β – коэффициент анизотропии, определяющий степень вытянутости (рекомендуется $\beta = 1 - 3$ в зависимости от устойчивости атмосферы).

Множитель $e^{(\beta \cdot (\cos(\varphi_i - \varphi_{\text{ветер}})))}$ увеличивает вес узлов, расположенных по направлению ветра от точки интерполяции, и уменьшает вес узлов с наветренной стороны, что соответствует физике переноса.

Для повышения точности интерполяции могут использоваться не только текущие, но и предшествующие измерения. В простейшем случае

применяется экспоненциальное сглаживание по времени (9):

$$\hat{x}_j(p, t) = \gamma \cdot x_j^{\text{OBP}}(p, t) + (1 - \gamma) \cdot \hat{x}_j(p, t - \Delta t), \quad (9)$$

где γ – коэффициент сглаживания (рекомендуется $\gamma = 0,3 - 0,7$), $x_j^{\text{OBP}}(p, t)$ – оценка по текущим данным метода обратных взвешенных расстояний.

На основе интерполированного поля для каждого момента времени строятся изолинии критических уровней L_j^k . Для этого область Ω покрывается регулярной сеткой с шагом, обеспечивающим требуемую детализацию (например, 5–10 м). В каждом узле сетки вычисляется значение $\hat{x}_j(p, t)$. Затем с помощью алгоритма марширующих квадратов (marching squares) [14] выделяются изолинии и соответствующие им замкнутые области – опасные зоны (10):

$$HZ_j^k(t) = \{p \in \Omega: \hat{x}_j(p, t) \geq L_j^k\}. \quad (10)$$

Для каждого уровня опасности k формируется отдельная зона. Зоны могут отображаться на карте различными цветами (например, желтый – предупреждение, оранжевый – опасность, красный – критическая опасность).

Для прогноза положения опасной зоны на ближайшее будущее (до 5–10 минут) используется адвективная модель (модель атмосферы, в которой принята адвективная гипотеза: все изменения температуры обусловлены только адвекцией, т.е. перенос воздуха и его свойств в горизонтальном направлении) переноса с учетом ветра и турбулентной диффузии [15]. Предполагается, что основным механизмом перемещения является перенос средним ветром, а диффузия приводит к размытию границ.

Прогноз поля концентрации на момент $t + \Delta T$ выполняется путем сдвига текущего поля на вектор $V_{\text{ветер}} \cdot \Delta T$ в направлении

ветра и последующего сглаживания гауссовым ядром (11):

$$\hat{x}_j(p, t + \Delta T) = \iint_{\Omega} \hat{x}_j(q, t) \cdot G(p - q - V_{\text{ветер}} \Delta T \bar{d}_{\text{ветер}}, \sigma_{\text{дифф}}) dq, \quad (11)$$

где $V_{\text{ветер}}$ – скорость ветра; $\bar{d}_{\text{ветер}}$ – единичный вектор направления ветра; G – двумерная функция Гаусса с дисперсией $\sigma_{\text{дифф}}^2 = 2 D \Delta T$, D – коэффициент турбулентной диффузии; интегрирование ведется по области, где $\hat{x}_j(q, t)$ отлично от нуля.

На практике вместо численного интегрирования применяется дискретная свертка поля, представленного на регулярной сетке, с гауссовым ядром, что позволяет эффективно реализовать алгоритм на вычислительных средствах среднего уровня.

Прогнозируемые опасные зоны $HZ_j^k(t + \Delta T)$ строятся по спрогнозированному полю аналогично текущим. Сравнение текущих и прогнозируемых зон позволяет руководителю работ планировать эвакуацию, корректировать расстановку сил и средств.

Рассмотрим применение разработанных алгоритмов для сценария аварии на объекте нефтехимии: разгерметизации трубопровода с жидким аммиаком под давлением. Сценарий аналогичен использованному в [11], что позволяет сопоставить результаты.

Исходные данные: площадка объекта – 500×300 м. Размещение сенсорных узлов: 10 стационарных датчиков аммиака (электрохимические сенсоры, время отклика ≤ 30 с, диапазон 0–2000 мг/м³), 2 БПЛА с газоанализаторами (оптические сенсоры, время отклика ≤ 5 с), способные

перемещаться и выполнять измерения в заданных точках.

Метеоусловия: скорость ветра 3 м/с, направление юго-западное (азимут 225°), температура воздуха 15°C, устойчивость атмосферы – слабая инверсия (класс устойчивости по Пасквиллу F). Источник аварии – разгерметизация в точке с координатами (250, 150). Начало истечения в $t = 0$.

Для верификации алгоритмов использовалось эталонное поле концентраций, полученное методом вычислительной гидродинамики (программный комплекс FLACS [16]) для того же сценария. Это поле считалось «истинным» для оценки точности интерполяции.

На рис. 1 показан пример зашумленного сигнала от стационарного датчика, расположенного в 50 м от источника, и результат медианной фильтрации ($L_f = 5$). Видно, что импульсные помехи подавлены, а форма сигнала сохранена.

Правило Граббса ($\alpha = 0,05, N = 120$) позволило выявить 3 % отсчетов как выбросы (в основном за пределами первых 30 с, когда концентрация была близка к нулю). Пространственная проверка с $\delta = 3$ выявила расхождения между соседними датчиками в зоне больших градиентов, но после анализа эти расхождения были признаны соответствующими реальной физической картине.

На рис. 2 представлены карты изолиний концентрации аммиака на моменты времени $t = 30$ с, 60 с, 120 с, построенные по данным всех сенсорных узлов с использованием анизотропного

алгоритма ($\alpha = 2$, $\beta = 2$, направление ветра учтено). Для сравнения приведены эталонные поля, полученные методом численного моделирования.



Рис. 1. Исходный зашумленный сигнал и результат медианной фильтрации

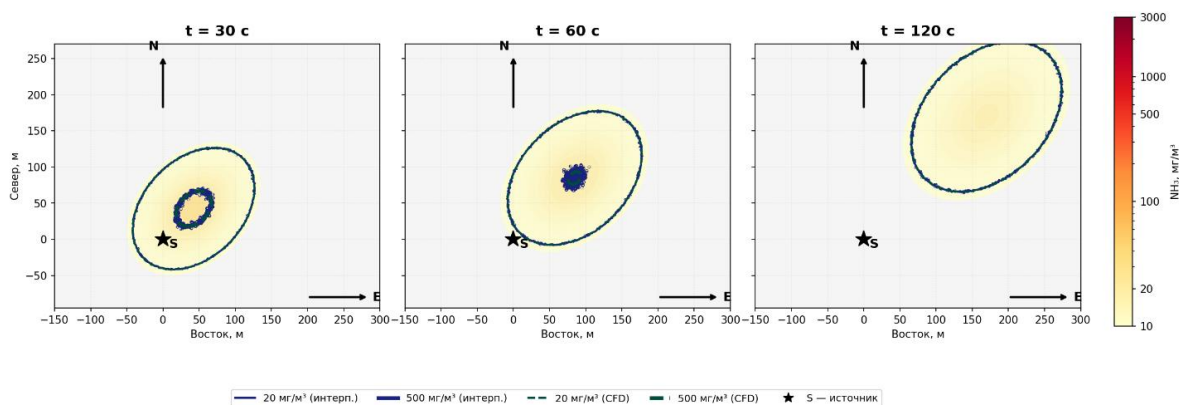


Рис. 2. Сравнение интерполированных и эталонных полей концентрации аммиака

Визуально наблюдается хорошее соответствие форм изолиний. Количественная оценка точности проводилась путем вычисления среднеквадратической ошибки на регулярной сетке 50×30 узлов (шаг 10 м). Результаты представлены в табл. 1. Увеличение ошибки со временем объясняется ростом неопределенности из-за ограниченного числа датчиков и влияния турбулентной диффузии. Тем не менее для

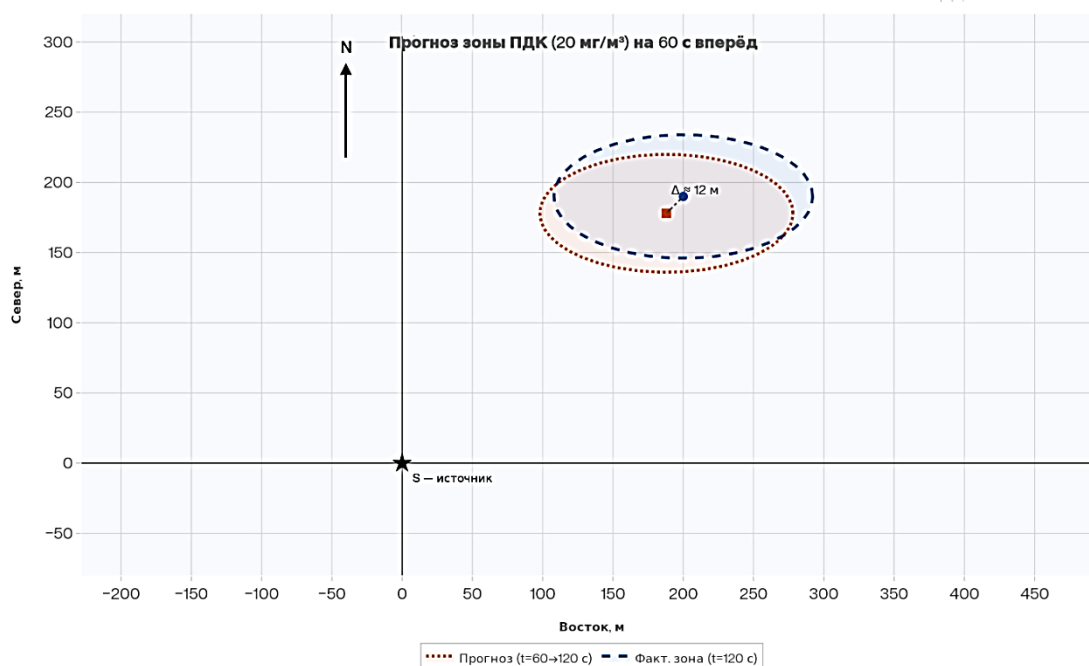
оперативных целей (определение безопасных расстояний) точность можно считать приемлемой (ошибка площади зоны менее 20%).

На рис. 3 показан пример прогноза положения зоны концентрации 20 мг/м³ на $t = 120$ с, выполненного в момент $t = 60$ с с использованием адвективной модели. Прогноз сравнивается с фактическим положением, полученным интерполяцией по данным на $t = 120$ с.

Таблица 1

Ошибки интерполяции по сравнению с численной моделью

Время, с	Среднеквадратическая ошибка для 20 мг/м ³ , м	Среднеквадратическая ошибка для 500 мг/м ³ , м	Относительная ошибка площади зоны 20 мг/м ³ , %
30	4,2	3,1	8,5
60	6,8	5,4	12,3
120	9,5	7,8	15,6

Рис. 3. Прогноз положения зоны ПДК (20 мг/м³) на 60 с вперед

Ошибка прогноза положения центра зоны составила 12 м, что при скорости ветра 3 м/с соответствует погрешности по времени около 4 с. Такая точность достаточна для планирования эвакуации и корректировки тактики.

Выводы. Таким образом, разработан комплекс алгоритмов первичной обработки и пространственно-временной интерполяции данных для систем мониторинга на базе сенсорных сетей и беспилотных платформ. Алгоритмы включают медианную фильтрацию, верификацию по правилу Граббса и пространственную кросс-проверку, анизотропную интерполяцию и адвективное прогнозирование.

Экспериментально подтверждена эффективность алгоритмов на примере сценария разгерметизации аммиачного трубопровода. Медианная фильтрация позволяет эффективно подавлять импульсные помехи без сглаживания фронтов. Пространственная кросс-проверка выявляет аномальные показания с вероятностью обнаружения >95 % при уровне ложных срабатываний < 5 %.

Установлено, что анизотропная интерполяция с учетом направления ветра обеспечивает восстановление полей концентраций с погрешностью площади опасных зон не более 15-20 %, что приемлемо для оперативных задач. Точность прогноза перемещения зон на 60

с вперед составляет 10-15 м, что соответствует задержке 3-5 с.

Показано, что предложенные алгоритмы могут быть реализованы на вычислительных средствах среднего уровня (промышленные компьютеры, мощные микроконтроллеры) и обеспечивают построение карт обстановки в реальном времени с периодичностью обновления 1-5 с.

Практическая значимость работы заключается в создании инструментария для формирования целостной пространственно-временной картины распределения опасных факторов, что критически важно для поддержки принятия решений руководителем аварийно-спасательных работ.

Список источников

1. ГОСТ Р 22.3.08-2022. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита пожарных и спасателей на пожаре. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2022.
2. Ежегодный государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2024 году». – М.: МЧС России, 2025. – 277 с.
3. Системная инженерия в проблемах национальной безопасности: Тематический блок «Национальная безопасность» / А.В. Анищенко, В.Б. Артемьев, М.К. Бондарева [и др.]. – М.: Международный гуманитарный фонд «Знание», 2025. – 904 с. – ISBN 978-5-87633-211-0.
4. Уровни травматизма личного состава ФПС ГПС во время прохождения службы за 2017–2021 годы при выполнении ими различных видов деятельности / Н.А. Панкратов, В.А. Маштаков, Е.Ю. Удавцова [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2022. – № 2(25). – С. 186-192.
5. ГОСТ Р ИСО 45001-2020. Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению. – М.: Стандартинформ, 2020.
6. Гребенюк Е.А. Построение моделей, описывающих динамику изменения во времени концентраций загрязняющих веществ в атмосфере // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 55-64.
7. Клевцов С.И. Определение опасных изменений быстропеременной физической величины в реальном времени // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 3(176). – С. 45-56.
8. Банников В.В. Моделирование последствий аварий на опасных производственных объектах с использованием программного комплекса FLACS / В.В. Банников, Т.В. Савицкая // Успехи в химии и химической технологии. – 2016. – Т. 30, № 4(173). – С. 24-26.
9. Wang Z., Jia F., Galea E.R. A comparative study of CFD fire models for large-scale compartment fires // Fire Safety Journal. – 2021. – Vol. 120. – P. 103-129.
10. Павленко А.Т., Копец Ю.В., Рыбаков А.В. Разработка показателя интегральной защищенности спасателей при проведении работ на опасных производственных объектах в условиях разрушений // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2025. – № 5(6). – С. 32-44.
11. Сафиуллин, Р.Р. Комплексные подходы внедрения интегрированных интеллектуальных технологий в транспортные системы / Р. Р. Сафиуллин, Л. А. Симонова. – М.: ООО «Директ-Медиа», 2024. – 500 с. – ISBN 978-5-4499-4374-3. – DOI 10.23681/712933. – EDN TSBCKB.
12. Граббс Ф. Процедуры обнаружения выбросов // Техническая статистика. – 1969. – Т. 11, № 1. – С. 1-21.
13. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // Proceedings of the 1968 ACM National Conference. – 1968. – P. 517-524.
14. Lorensen W.E., Cline H.E. Marching cubes: A high-resolution 3D surface construction algorithm // ACM SIGGRAPH Computer Graphics. – 1987. – Vol. 21, no. 4. – P. 163-169.

15. Методы расчета рассеивания выбросов вредных веществ в атмосфере: РД 52.04.186-89. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 124 с.

16. FLACS User's Manual. – GexCon AS, 2023. – 450 p.

17. Моделирование информационных потоков в интегрированных системах безопасности и мониторинга потенциально опасных объектов / И.Ю. Святенко, О.С. Волков, К.А. Афанасьев [и др.] // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2008. – № 2(6). – С. 77-81. – EDN LMBDVB.

18. Байбулатов А.А. Прикладное программное обеспечение систем верхнего уровня АСУТП АЭС: автоматизация внесения изменений / А. А. Байбулатов, А.Г. Полетыкин, М.Е. Бывайков // Автоматизация в промышленности. – 2026. – № 3. – С. 22-27. – EDN SPPXIR.

19. McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K. Fire Dynamics Simulator (FDS) Technical Reference Guide. – NIST Special Publication 1018-1. – 2023.

20. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – Введ. 1977-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 8 с.

21. ARIA Database. French Ministry of Ecological Transition. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/> (дата обращения: 10.02.2026).

22. ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines. – Geneva: International Organization for Standardization, 2018.

23. Taufik S., Setiawan E.A., Prabowo A.R. Risk assessment of fire and explosion in oil and gas processing facility using CFD and event tree analysis // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2023. – Vol. 8.

24. Рыбаков А.В., Шляпин А.С., Петренко П.П. К вопросу оценки риска профессиональной деятельности спасателей с учетом факторов, влияющих на их защиту при проведении аварийно-спасательных работ в условиях обрушений зданий и сооружений // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2023. – № 2. – С. 45-55.

25. Павленко А.Т. О создании научно-методических основ рискоориентированного обеспечения безопасности труда личного состава аварийно-спасательных и пожарных подразделений // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 49-56.

References

1. GOST R 22.3.08-2022. Safety in emergency situations. Protection of firefighters and rescuers on fire. General requirements. Moscow, Standartinform Publ., 2022.

2. Annual State Report "On the State of Protection of the Population and Territories of the Russian Federation from Natural and Man-Made Emergencies in 2024". – Moscow: EMERCOM of Russia, 2025. – 277 p.

3. System Engineering in the Problems of National Security: Thematic Block "National Security" / A.V. Anishchenko, V.B. Artemyev, M.K. Bondareva [and others]. – Moscow: International Humanitarian Foundation "Znanie", 2025. – 904 p. – ISBN 978-5-87633-211-0.

4. Levels of traumatism of the personnel of the Federal Fire Service of the State Fire Service during the service for 2017-2021 when they perform various types of activity / N.A. Pankratov, V.A. Mashtakov, E.Yu. – 2022. – № 2(25). – P. 186-192.

5. GOST R ISO 45001-2020. Occupational health and safety management systems. Requirements and guidance for use. Moscow: Standartinform, 2020.

6. Grebenyuk E.A. Construction of models describing the dynamics of changes in time concentrations of pollutants in the atmosphere // Management issues. – 2008. – № 6. – P. 55-64.

7. Klevtsov S.I. Opredelenie opasnykh izmeneniy bystroberemnoy fizicheskoy magnitude v realnoy vremya [Determination of dangerous changes in the rapid change of physical magnitude in real time] // Technical Sciences. – 2016. – № 3(176). – P. 45-56.

8. Bannikov V.V., Savitskaya T.V. Modelirovanie posledstviya accident na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh s ispol'zovaniye programmogo kompleksa FLACS [Modeling of the consequences of accidents at hazardous

production facilities using the FLACS software complex]. – 2016. – T. 30, No 4 (173). – P. 24-26.

9. Wang Z., Jia F., Galea E.R. A comparative study of CFD fire models for large-scale compartment fires // *Fire Safety Journal*. – 2021. – Vol. 120. – P. 103-129.

10. Pavlenko A.T., Kopets Yu.V., Rybakov A.V. Development of the indicator of integral protection of rescuers during work on hazardous production facilities in the conditions of destruction // *Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl*. – 2025. – № 5(6). – P. 32-44.

11. Safiullin R.R., Simonova L.A. Kompleksnye podkhody vnedreniya integrirovannykh intellektual'nykh tekhnologii v transportnykh sistemy [Integrated approaches to the introduction of integrated intelligent technologies in transport systems]. – Moscow: Direct-Media LLC, 2024. – 500 p. – ISBN 978-5-4499-4374-3. – DOI 10.23681/712933. – EDN TSBCKB.

12. Grubbs F. Procedures for Detecting Emissions // *Technical Statistics*. – 1969. – T. 11, No 1. – P. 1-21.

13. Shepard D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // *Proceedings of the 1968 ACM National Conference*. – 1968. – P. 517-524.

14. Lorensen W.E., Cline H.E. Marching cubes: A high-resolution 3D surface construction algorithm // *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*. – 1987. – Vol. 21, no. 4. – P. 163-169.

15. Methods for calculating the dispersion of emissions of harmful substances in the atmosphere: RD 52.04.186-89 – Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990. – 124 p.

16. FLACS User's Manual. – GexCon AS, 2023. – 450 p.

17. Svyatenko I.Yu., Volkov O.S., Afanasyev K.A. [i dr.] [Problems of risk management in the technosphere] // *Problems of risk management in the technosphere*. – 2008. – № 2(6). – P. 77-81. – EDN LMBDVB.

18. Baibulatov A.A., Poletykin A.G., Byvaykov M.E. Applied Software Support of Upper Level APCS Systems // *Automation in Industry*. – 2026. – № 3. – P. 22-27. – EDN SPPXIR.

19. McGrattan, K., McDermott, R., Weinschenk, C., Overholt, K. Fire Dynamics Simulator (FDS) Technical Reference Guide. – NIST Special Publication 1018-1. – 2023.

20. GOST 12.1.007-76. System of Occupational Safety Standards (SSBT). Harmful substances. Classification and general safety requirements. – Introduction. 1977-01-01. – Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2002. – 8 p.

21. ARIA Database. French Ministry of Ecological Transition. [Electronic resource]. Available at: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/> (accessed: 10.02.2026).

22. ISO 31000:2018. Risk management – Guidelines. – Geneva: International Organization for Standardization, 2018.

23. Taufik S., Setiawan E.A., Prabowo A.R. Risk assessment of fire and explosion in oil and gas processing facility using CFD and event tree analysis // *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. – 2023. – Vol. 8.

24. Rybakov A.V., Shlyapin A.S., Petrenko P.P. K voprosu otsenki riska professional'noy deyatel'nosti spasateli s uchetom faktorov, vliyayushchikh na ikh zashchita pri provedenii avariantno-spatnykh raboty v usloviyakh obraneniya uzhaniy zdaniy i utrozheniya [On the issue of assessing the risk of professional activity of rescuers taking into account the factors influencing their protection when conducting emergency rescue work in the conditions of collapse of buildings and structures] // *Security and emergency issues*. – 2023. – № 2. – P. 45-55.

25. Pavlenko A.T. O sozdanii nauchno-metodicheskikh osnov risk-orientirovannogo obespecheniya bezopasnosti truda personalovno-spasavannykh i pozharnykh otdeleniya [On the creation of scientific and methodological foundations of risk-oriented labor safety of the personnel of the emergency rescue and fire departments] // *Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl*. – 2025. – № 4(5). P. 49-56.

Статья поступила в редакцию 14.01.2026

Информация об авторах

Павленко Александр Тимофеевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Института гражданской защиты Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
<https://orcid.org/0009-0001-2749-8385>
SPIN-код: 3018-5709, AuthorID: 1251201
E-mail: pavlenko1901@yandex.ru

Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор, начальник научно-исследовательского центра Академии гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика.
<https://orcid.org/0000-0002-4037-1231>
SPIN-код: 8654-3788, AuthorID: 709088
E-mail: anatoll_rubakov@mail.ru

Малкин Владимир Юрьевич, доктор экономических наук, профессор, директор Института гражданской защиты Луганского государственного университета имени Владимира Даля.
<https://orcid.org/0000-001-6224-2062>
SPIN-код: 6138-5873, AuthorID: 1281803
E-mail: malkvu@mail.ru

Information about the authors

Pavlenko Aleksandr Timofeevich, Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor, associate Director of the Institute of Civil Defense of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
<https://orcid.org/0009-0001-2749-8385>
SPIN-код: 3018-5709, AuthorID: 1251201
E-mail: pavlenko1901@yandex.ru

Rybakov Anatoly Valerevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Research Center, Academy of Civil Defense of the Ministry of Emergency Situations of Russia.
<https://orcid.org/0000-0002-4037-1231>
SPIN-код: 8654-3788, AuthorID: 709088
E-mail: anatoll_rubakov@mail.ru

Malkin Vladimir Yurevich, Doctor of Sciences in Economics, Professor, Director of the Institute of Civil Protection of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
<https://orcid.org/0000-001-6224-2062>
SPIN-код: 6138-5873, AuthorID: 1281803
E-mail: malkvu@mail.ru

Для цитирования:

Павленко А.Т., Рыбаков А.В., Малкин В.Ю. Алгоритмы фильтрации, верификации и пространственно-временной интерполяции данных в системах мониторинга на основе сенсорных сетей и беспилотных платформ // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1 (6). – С. 70-81.

For citation:

Pavlenko A. T., Rybakov A. V., Malkin V.Y. Algorithms for filtering, verification and spatio-temporal interpolation of data in monitoring systems based on sensor networks and unmanned platforms // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – № 1(6). – P. 70-81.

УДК 656.1.08:629.3.08:519.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА УРОВЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО РИСКА НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО- СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Панайотов К. К.

MODELLING THE INFLUENCE OF DIAGNOSTIC PARAMETERS OF VEHICLE TECHNICAL CONDITION ON OCCUPATIONAL RISK LEVEL BASED ON PROBABILISTIC-STATISTICAL MODELS

Panayotov K. K.

Аннотация. В статье рассматривается проблема управления профессиональными рисками для водителей, механиков и персонала, осуществляющего техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Актуальность исследования обусловлена значительным уровнем аварийности и травматизма в автотранспортной отрасли, часть причин которых связана с эксплуатацией неисправных транспортных средств. Целью работы является разработка вероятностно-статистической модели, устанавливающей количественную связь между значениями диагностических параметров технического состояния автомобиля (таких как эффективность торможения, состояние рулевого управления, уровень эмиссии) и уровнем профессионального риска возникновения нежелательного события (аварии, поломки, травмы).

Ключевые слова: профессиональный риск, безопасность труда, автомобильный транспорт, диагностические параметры, техническое состояние, вероятностно-статистическая модель, дерево событий, дерево отказов, риск-ориентированное управление.

Abstract. The article addresses the problem of occupational risk management for drivers, mechanics, and personnel engaged in vehicle maintenance and repair. The relevance of the study is driven by the significant level of accidents and injuries in the road transport industry, some of which are caused by the operation of faulty vehicles. The purpose of the work is to develop a probabilistic-statistical model that establishes a quantitative relationship between the values of diagnostic parameters of a vehicle's technical condition (such as braking efficiency, steering system condition, and emission level) and the level of occupational risk of an undesired event (accident, breakdown, injury).

Key words: occupational risk, occupational safety, road transport, diagnostic parameters, technical condition, probabilistic-statistical model, event tree, fault tree, risk-based management.

Введение. При эксплуатации автомобильного транспорта возникает проблема управления профессиональными рисками для водителей, механиков и персонала, осуществляющего техническое обслуживание и ремонт автомобилей. В основу предложенной методологии положен логико-вероятностный подход, реализуемый через построение и анализ

деревьев событий (деревьев отказов), а также аппарат статистического анализа данных о диагностических параметрах. Актуальность исследования обусловлена значительным уровнем аварийности и травматизма в автотранспортной отрасли, часть причин которых связана с эксплуатацией неисправных транспортных средств. Целью работы является разработка

вероятностно-статистической модели, устанавливающей количественную связь между значениями диагностических параметров технического состояния автомобиля (таких как эффективность торможения, состояние рулевого управления, уровень эмиссии) и уровнем профессионального риска возникновения нежелательного события (аварии, поломки, травмы).

В основу предложенной методологии положен логико-вероятностный подход, реализуемый через построение и анализ деревьев событий (деревьев отказов), а также аппарат статистического анализа данных о диагностических параметрах.

В исследовании представлена математическая постановка задачи, в которой уровень риска определяется как вероятность наступления корневого неблагоприятного события, зависящая от вероятностей базовых событий – превышения диагностическими параметрами критических границ. В отличие от существующих решений это позволяет обеспечить устойчивое снижение профессиональных рисков на всех этап производственных процессов на автотранспорте.

На примере сценария «Отказ рабочей тормозной системы в процессе движения» приведен расчетный пример, демонстрирующий применение модели. Полученные результаты позволяют ранжировать диагностические параметры по степени их влияния на итоговый риск, обосновывать периодичность и глубину контроля, а также принимать решения по приоритетности ремонтных воздействий. Модель предназначена для интеграции в системы риск-ориентированного управления охраной труда и промышленной безопасностью на

автотранспортных предприятиях и в сервисных центрах.

Материалы и методы.

Автомобильный транспорт является неотъемлемой частью современной экономики, однако деятельность, связанная с его эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом, характеризуется высоким уровнем профессионального риска [1]. По данным оперативной статистики, в период 2020–2024 гг. доля дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП) и происшествий на производстве, связанных с техническими неисправностями транспортных средств, составляла от 15% до 25% от общего числа инцидентов [2, 3]. Персонал (водители, механики, диагносты) подвергается воздействию комплекса опасных факторов: механических (движущиеся части, падающие предметы), физических (шум, вибрация), химических (выхлопные газы, технологические жидкости), а также риску травм при дорожных авариях [4].

Ключевым превентивным мероприятием, направленным на снижение таких рисков, является система технического диагностирования (далее – ТД), цель которой – выявление неисправностей на ранней стадии [5]. Однако традиционные подходы к планированию технического обслуживания (далее – ТО) и ремонта часто носят нормативно-регламентный или корректирующий характер и не учитывают вероятностную природу отказов и их дифференцированное влияние на уровень безопасности. Существующие методики оценки профессиональных рисков в транспорте зачастую рассматривают техническое состояние как бинарный фактор («исправен/неисправен»), не

устанавливая количественной связи между конкретными значениями диагностических параметров (например, удельной тормозной силой, люфтом рулевого колеса) и вероятностью возникновения опасного события [6].

В этой связи актуальной задачей является разработка научно-обоснованных моделей, позволяющих оценивать вклад каждого диагностируемого параметра в интегральный профессиональный риск. Такой подход соответствует принципам риск-ориентированного управления, изложенным в международных и национальных стандартах [7, 8], и позволяет перейти от пассивных к активным стратегиям обеспечения безопасности.

Для моделирования сложных причинно-следственных связей между отказами технических систем и конечными нежелательными событиями в различных отраслях успешно применяются логико-вероятностные методы, в частности анализ деревьев событий (деревьев отказов) [9, 10]. Данный метод, обладая наглядностью и строгостью, позволяет декомпозировать корневое неблагоприятное событие на комбинации элементарных отказов и оценить его вероятность через вероятности базовых событий [11, 12]. Кроме того, для формализации экспертных знаний и учета комплексного воздействия факторов может быть использован метод анализа иерархий [13, 14], а для прогнозирования динамики опасных зон – интеграция сценарного и численного моделирования [15, 16].

Целью данной статьи является разработка вероятностно-статистической модели, устанавливающей количественную зависимость между значениями диагностических параметров технического

состояния автомобиля и уровнем профессионального риска для персонала, основанной на логико-вероятностном подходе и анализе статистических данных.

Результаты и обсуждения.

Постановка задачи. Пусть для автомобиля или группы однотипных автомобилей определено множество контролируемых диагностических параметров $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$. Каждый параметр d_j имеет допустимую область значений $\Omega_j^{\text{доп}}$ и критическую (опасную) область $\Omega_j^{\text{крит}}$, выход за пределы которой существенно повышает вероятность отказа соответствующей системы.

На основе анализа потенциально опасных ситуаций идентифицировано множество $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ сценариев (корневых неблагоприятных событий), представляющих угрозу для персонала. Примеры: «Отказ тормозной системы при движении под уклон», «Внезапная блокировка рулевого управления», «Возгорание в моторном отсеке во время ремонта», «Отравление угарным газом в закрытом помещении при регулировке двигателя».

Каждый сценарий S_i может быть реализован через различные комбинации отказов (базовых событий) B_k , связанных с превышением диагностическими параметрами критических значений, ошибками персонала или организационными нарушениями. Логическая структура взаимосвязи между корневым событием S_i и базовыми событиями B_k описывается с помощью дерева событий (далее – ДС) или дерева отказов (далее – ДО) с использованием операторов конъюнкции (И) и дизъюнкции (ИЛИ) [10, 17].

Вероятность базового события B_k , связанного с диагностическим параметром

d_j , предлагается определять как функцию от текущего значения этого параметра x_j и его критического порога $L_j^{\text{крит}}$. В простейшем случае можно использовать модель, где вероятность отказа резко возрастает при приближении параметра к критической границе. Например, для параметров, чье ухудшение носит постепенный характер (износ тормозных колодок, увеличение люфта), можно использовать сигмоидную функцию (1):

$$P(B_k | x_j) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(x_j - \beta)}}, \quad (1)$$

где β – значение параметра, при котором вероятность отказа равна 0.5, а α – коэффициент, определяющий крутизну перехода. Для параметров с внезапными отказами (обрыв ремня ГРМ) вероятность может оцениваться на основе статистики наработки на отказ.

Применение сигмоидальной функции в предлагаемой модели является методологически обоснованным. Оно позволяет преодолеть ограничения бинарных моделей, учесть нелинейный и постепенный характер нарастания риска при деградации технических систем автомобиля, а также обеспечивает гибкость и возможность калибровки модели на основе объективных статистических данных. Это соответствует общему риск-ориентированному подходу, направленному на прогнозирование и предотвращение инцидентов, а не на констатацию уже свершившихся отказов.

Тогда вероятность корневого события S_i вычисляется по правилам булевой алгебры и теории вероятностей для полученной логической структуры дерева [11] (2):

$$P(S_i) = F(P(B_1), P(B_2), \dots, P(B_K)), \quad (2)$$

где F – логико-вероятностная функция, соответствующая дереву событий для сценария S_i .

Уровень профессионального риска R_i , связанный со сценарием S_i , предлагается определять как математическое ожидание тяжести последствий (3):

$$R_i = P(S_i) \cdot C, \quad (3)$$

где C_i – коэффициент тяжести последствий реализации сценария S_i (например, в условных единицах от 1 до 10, основанный на потенциальном ущербе здоровью).

Интегральный профессиональный риск R_Σ для рабочего места (водителя, механика) или для автомобиля в целом может быть рассчитан как сумма рисков по всем значимым сценариям или как максимальный из них в зависимости от контекста оценки.

Таким образом, формулировка задачи заключается в том, что на основе заданных диагностических параметров $\{d_j\}$, их текущих значений $\{x_j\}$, библиотеки опасных сценариев $\{S_i\}$ с соответствующими деревьями событий и оценок тяжести последствий $\{C_i\}$ необходимо разработать алгоритм количественной оценки уровня профессионального риска R_Σ и определить вклад каждого диагностического параметра в его формирование для поддержки принятия управленческих решений по обеспечению безопасности.

Решение поставленной задачи осуществляется по следующему алгоритму, интегрирующему этапы сбора данных, логико-вероятностного моделирования и анализа важности.

На первом этапе происходит формирование исходной информационной базы. Для этого необходимо определить

перечень диагностических параметров (D), критичных для безопасности. К ним относятся параметры тормозной системы (усилие на педали, удельная тормозная сила, неравномерность), рулевого управления (свободный ход, усилие поворота), ходовой части (развал-схождение, состояние амортизаторов), двигателя (уровень токсичности, компрессия), электрооборудования (напряжение, ток утечки) и др. [18].

Для каждого параметра d_j устанавливаются нормативное значение и допустимые пределы $\Omega_j^{\text{доп}}$ (по ГОСТ, ТУ); критический порог $L_j^{\text{крит}}$, выход за который с высокой вероятностью ведет к отказу.

Вид функции ($P(B_k | x_j)$), связывающей значение параметра с вероятностью связанного базового события отказа определяется на основе анализа статистики отказов, данных производителей, экспертных оценок [19].

Также необходимо сформировать библиотеки опасных сценариев (S). Каждый сценарий (S_i) описывается формулировкой корневого события; перечнем вовлеченных систем и диагностических параметров; предварительной качественной оценкой тяжести последствий (C_i).

На втором этапе необходимо разработать логико-вероятностные модели для сценариев. Для каждого сценария (S_i) методом дедуктивного анализа строится дерево событий (ДС). В качестве корневого события выбирается (S_i). Далее событие декомпозируется на промежуточные и базовые события. Базовые события включают:

$B_j^{\text{тех}}$ – технические отказы, связанные с превышением диагностическим параметром d_j критического порога;

$B^{\text{орг}}$ – организационные нарушения (просрочка ТО, отсутствие допуска к работе);

$B^{\text{чф}}$ – ошибки персонала (нарушение инструкций, неиспользование СИЗ) [20].

Здесь же необходимо установить логические связи между событиями, которые определяются с использованием вентиля И и ИЛИ. Например, для сценария «Потеря устойчивости при торможении» может потребоваться одновременное наличие (И) события «Снижение эффективности тормозов» и события «Резкий поворот руля», каждое из которых в свою очередь может произойти по разным причинам (ИЛИ). На основе вида функций $P(B_k | x_j)$ и текущих значений параметров $\{x_j\}$ вычисляются вероятности базовых событий $P(B_k)$.

На третьем этапе произвести расчет вероятностей сценариев и уровней риска. Для каждого дерева вычисляется вероятность корневого события $P(S_i)$ по правилам преобразования логических функций в вероятностные [11]. Для вентиля И вероятность выходного события равна произведению вероятностей входных событий. Для вентиля ИЛИ вероятность выходного события равна $1 - \prod(1 - P_{\text{вход}})$. Далее определяется уровень риска для каждого сценария: $R_i = P(S_i) \cdot C_i$. После этого рассчитывается интегральный показатель риска для рассматриваемого объекта (автомобиля, рабочего места). В данной работе предлагается использовать сумму рисков по всем сценариям (4):

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (4)$$

Для задач планирования может быть более релевантным показатель максимального риска.

На четвертом этапе проводится анализ важности базовых событий

(диагностических параметров). Определяется, как изменение вероятности отдельного базового события $\Delta P(B_k)$ влияет на изменение вероятности корневого события $\Delta P(S_i)$ и итогового риска ΔR_Σ . Может использоваться индекс Фусселла-Весели или другие меры важности [12]. Также выполняется ранжирование диагностических параметров по степени их влияния на интегральный риск. Это позволяет выделить наиболее критические параметры, требующие приоритетного контроля и поддержания в узких пределах.

И на заключительном этапе формируются рекомендации, связанные с установлением индивидуальных, ужесточенных контрольных пределов для наиболее значимых параметров; корректировкой периодичности проведения диагностических операций; с планированием превентивных ремонтных воздействий до достижения параметрами критических значений; внесением изменений в инструкции по охране труда и программы обучения персонала, акцентирующие внимание на рисках, связанных с ключевыми неисправностями. Предлагаемая модель предполагает циклическое обновление, так при поступлении новых данных диагностики производится пересчет уровней риска, что позволяет осуществлять динамический риск-ориентированный менеджмент.

Рассмотрим для примера упрощенный сценарий S_1 : «Отказ рабочей тормозной системы автомобиля в процессе движения, приводящий к ДТП».

Исходные данные являются значения диагностических параметров:

1. d_1 – удельная тормозная сила (УТС), %. Норма: $\geq 55\%$. Критический порог $L_1^{\text{крит}} = 40\%$.

2. d_2 – усилие на педали тормоза, Н. Норма: 300-600 Н. Критический порог $L_2^{\text{крит}} = 700$ Н (заклинивание) или $L_2^{\text{крит}} = 200$ Н (провал).

3. d_3 – уровень тормозной жидкости в бачке, мм. Критический порог – min.

Текущие значения

$x_1 = 48\%$, $x_2 = 350$ Н, x_3 – в норме.

Функции вероятности отказа для параметров выбраны в виде ступенчатых (для упрощения): $P(B_k) = 0$ при x_j в допустимых пределах и $P(B_k) = p_j$ при выходе за критический предел. На основе статистики [2, 3] примем: $p_1 = 0,05$ (при $УТС < 40\%$), $p_2 = 0,02$ (при отклонении усилия за критические пределы), $p_3 = 0,10$ (при уровне жидкости ниже min). Коэффициент тяжести для данного сценария примем $C_1 = 8$ (высокая потенциальная тяжесть).

Для построения дерева событий необходимо выбрать корневое событие S_1 : «Отказ рабочей тормозной системы в движении» и определить логическую структуру (упрощенно): отказ происходит, ЕСЛИ (И) произошла утечка тормозной жидкости B_3 , связана с d_3 ИЛИ (И) произошел износ колодок/дисков, приведший к снижению УТС B_1 , связан с d_1 И произошло падение давления в гидроприводе B_2 , связанное с d_2 (за счет износа главного тормозного цилиндра). Также возможен прямой отказ усилителя (другой вариант B'_2 (рис.1). Для примера ограничимся первым путем.

Таким образом, дерево имеет вид $S_1 = B_3 \vee (B_1 \wedge B_2)$.

Если текущие значения $x_1 = 48\% > 40\%$, то $P(B_1) = 0$; x_2 – в норме, то $P(B_2) = 0$; x_3 – в норме, то $P(B_3) = 0$. Следовательно, $P(S_1) = 1 - [(1 - 0) \cdot (1 - (0 \cdot 0))] = 0$. Риск $R_1 = 0 \cdot 8 = 0$.

Рассмотрим ситуацию, когда при очередной диагностике зафиксировано $x'_1 = 38\%$ (ниже критического порога). Тогда $P(B'_1) = 0,05$. Предположим, $P(B_2)$ осталась 0,002 (небольшая вероятность отказа цилиндра). $P(B_3) = 0$.

Тогда вероятность по пути через износ: $P(B_1 \wedge B_2) = 0,05 \cdot 0,002 = 0,0001$.

Общая вероятность

$P(S'_1) = 1 - [(1 - 0) \cdot (1 - 0,0001)] = 0,0001$. Риск $R'_1 = 0,0001 \cdot 8 = 0,0008$.

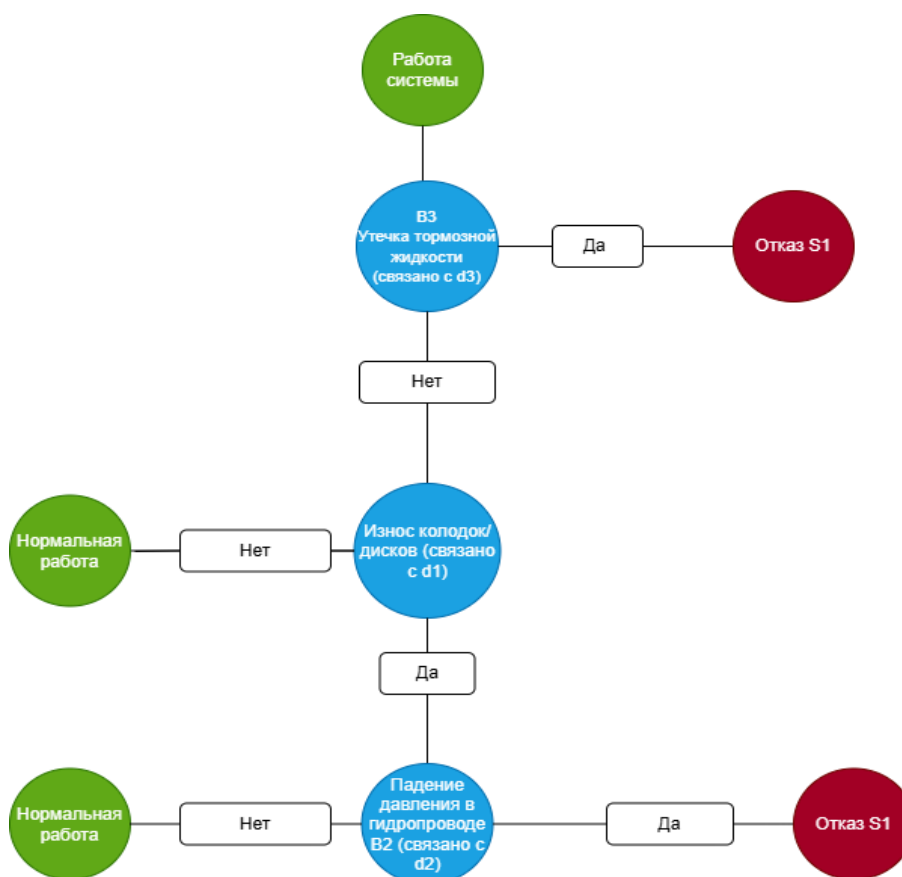


Рис. 1. Графическое представление дерева событий

Хотя абсолютное значение риска мало, относительный рост значителен (с нуля). Анализ важности показывает, что в данной конфигурации наиболее чувствительным параметром является d_1 (UTC), так как его ухудшение непосредственно приводит к появлению ненулевой вероятности по одному из путей реализации отказа. При приближении $P(B_2)$ к 0,01 вклад этого пути становится сопоставимым с другими.

Разработанная вероятностно-статистическая модель позволяет перейти от качественных оценок технического состояния к количественной оценке его

влияния на безопасность персонала. Основные преимущества предложенного подхода заключается в обосновании решений на основе модели, которая предоставляет собой численные аргументы для установления индивидуальных графиков ТО, выбора глубины диагностики и планирования ремонтов не по истечении регламентного срока, а по достижению порогового уровня риска. Выделение диагностических параметров с наибольшим вкладом в интегральный риск позволяет сконцентрировать ресурсы на контроле наиболее значимых узлов и систем

(например, тормозная система оказывается приоритетнее системы кондиционирования). Модель может стать ядром прогнозного модуля в системе управления охраной труда (далее – СУОТ) автотранспортного предприятия, соответствуя требованиям ГОСТ Р ИСО 45001-2020 [8] и ГОСТ Р 54989-2012 [22]. Построенные деревья событий являются наглядным материалом для обучения водителей и технического персонала, демонстрируя, как постепенное ухудшение конкретного параметра (люфт руля, износ шин) через цепь событий может привести к тяжелым последствиям.

Для практического внедрения модели необходима разработка отраслевых библиотек сценариев и деревьев событий для типовых моделей автомобилей и видов работ (управление, ТО, ремонт). Эта работа может быть выполнена на основе анализа баз данных аварийности и отказов, таких как ARIA [13], с привлечением экспертов. Также требуется создание программного обеспечения, автоматизирующего процесс сбора диагностических данных (через OBD-II, данные стендового контроля), расчета рисков в реальном времени или при плановой диагностике, и визуализации результатов в виде «светофора» или карт риска. Необходимо провести адаптацию методики для учета сочетанного воздействия факторов, например, одновременного ухудшения нескольких параметров ходовой части, которое может давать синергетический эффект на риск потери управляемости. Здесь может быть полезен метод анализа иерархий [14] для определения весовых коэффициентов комбинаций. И провести валидацию модели на реальных статистических данных конкретного автопарка, позволяющая уточнить вероятности

базовых событий и скорректировать пороговые значения.

Выводы. Предложенная вероятностно-статистическая модель оценки влияния диагностических параметров технического состояния автомобиля на уровень профессионального риска для персонала основана на логико-вероятностном подходе, реализуемом через построение деревьев событий для типовых опасных сценариев. Это позволяет устанавливать количественную связь между значениями контролируемых параметров и вероятностью возникновения аварий или инцидентов.

Полученные результаты позволяют ранжировать диагностические параметры по степени их влияния на итоговый риск, обосновывать периодичность и глубину контроля, а также принимать решения по приоритетности ремонтных воздействий. Модель предназначена для интеграции в системы риск-ориентированного управления охраной труда и промышленной безопасностью на автотранспортных предприятиях и в сервисных центрах.

Представленный алгоритм включает этапы формирования информационной базы, построения моделей, расчета рисков и анализа важности факторов. Расчетный пример для сценария отказа тормозной системы демонстрирует работоспособность подхода и его чувствительность к изменению диагностических параметров.

Разработан алгоритм решения, включающий этапы формирования базы диагностических данных, идентификации опасных сценариев, построения деревьев событий, оценки вероятностей, расчёта интегрального показателя риска и анализа важности факторов.

Представлена математическая постановка задачи, в которой уровень риска определяется как вероятность наступления корневого неблагоприятного события, зависящая от вероятностей базовых событий – превышения диагностическими параметрами критических границ. Разработан алгоритм решения, включающий этапы формирования базы диагностических данных, идентификации опасных сценариев, построения деревьев событий, оценки вероятностей, расчёта интегрального показателя риска и анализа важности факторов. На примере сценария «Отказ рабочей тормозной системы в процессе движения» приведен расчетный пример, демонстрирующий применение модели.

Разработанная модель способствует переходу к научно обоснованным методам управления профессиональными рисками в автотранспортной отрасли. Ее внедрение позволит оптимизировать процессы технического обслуживания и ремонта, повысить обоснованность управленческих решений в области охраны труда и, как следствие, снизить уровень аварийности и травматизма.

Список источников

1. Девисилов В.А. Охрана труда: учебник. 6-е изд., перераб. и доп. / В.А. Девисилов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. – 512 с.
2. Изучение динамики рисков гибели и травматизма личного состава / В.А. Маштаков, А. А. Кондашов, Е. В. Бобринев [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. – 2022. – № 3. – С. 4–11.
3. Уровни травматизма личного состава ФПС ГПС / Н. А. Панкратов, В. А. Маштаков, Е. Ю. Удавцова [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2022. – № 2(25). – С. 186–192.
4. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.
5. РД 37.009.015-98. Методическое руководство по диагностированию технического состояния автомобилей. М., 1998.
6. Методика оценки профессиональных рисков: утв. Приказом Минтруда России от 29.10.2021 № 771н.
7. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – М.: Стандартинформ, 2019. – 28 с.
8. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2018. – 65 p.
9. Копец Ю. В. Анализ создания комплексной системы управления профессиональными рисками на объектах переработки твердых коммунальных отходов с применением методов прогнозного моделирования и автоматизированного контроля // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 24-31.
10. Ericson C.A. Hazard Analysis Techniques for System Safety. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. – 632 p.
11. Белов П.Г. Системный анализ и управление рисками в техносфере: учебник для вузов. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 658 с.
12. Fault Tree Analysis (FTA): Concepts and Applications / NASA System Safety Handbook. 2015. Vol. 1. Appendix C.
13. ARIA Database. French Ministry of Ecological Transition. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/> (дата обращения: 10.12.2025).
14. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
15. Павленко А. Т. О создании научно-методических основ рискориентированного обеспечения безопасности труда личного состава аварийно-спасательных и пожарных подразделений // Вестник Луганского государственного университета имени

Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2025. – № 4(5). – С. 49-56.

16. Novozhilov V. Computational fluid dynamics modeling of compartment fires // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2001. Vol. 27, no. 6. – P. 611–666.

17. ГОСТ Р 54989-2012 (ИСО/МЭК 31010:2009). Менеджмент риска. Методы оценки риска. – М.: Стандартинформ, 2012.

18. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки. – М.: Стандартинформ, 2001.

19. Немчинов Д. В. Оценка риска аварий с использованием экспертных систем // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. – 2007. – № 1(36). – С. 40–45.

20. Reason J. Human error: models and management // *BMJ*. 2000. Vol. 320, no. 7237. – P. 768–770.

21. ГОСТ Р 22.0.05-2020. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.

22. ГОСТ Р ИСО 45001-2020 (ISO 45001:2018). Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению. М.: Стандартинформ, 2020.

References

1. Devisilov V.A. Occupational Safety: textbook. 6th ed., revised and enlarged / V.A. Devisilov. - М.: FORUM: INFRA-M, 2020. – 512 p.

2. Study of the dynamics of risks of death and injury of personnel / V.A. Mashtakov, A.A. Kondashov, E.V. Bobrinev [et al.] // *Safety of man-made and natural systems*. - 2022. - No. 3. - P. 4-11.

3. Injury levels of FPS GPS personnel / N.A. Pankratov, V.A. Mashtakov, E.Yu. Udavtsova [et al.] // *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. - 2022. - No. 2 (25). – P. 186–192.

4. GOST 12.0.003-2015. Occupational safety standards system. Hazardous and harmful

production factors. Classification. – Moscow: Standartinform, 2016. – 12 p.

5. RD 37.009.015-98. Methodological guidelines for diagnosing the technical condition of vehicles. Moscow, 1998.

6. Occupational risk assessment methodology: approved by Order of the Ministry of Labor of Russia dated October 29, 2021, No. 771n.

7. GOST R ISO 31000-2019. Risk management. Principles and guidelines. – Moscow: Standartinform, 2019. – 28 p.

8. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. – Geneva: ISO, 2018. – 65 p.

9. Kopets Yu. V. Analysis of the creation of an integrated professional risk management system at municipal solid waste processing facilities using predictive modeling and automated control methods // *Bulletin of Volodymyr Dahl Luhansk State University. Series: Technical Sciences*. – 2025. – No. 4(5). – Pp. 24-31.

10. Ericson C.A. Hazard Analysis Techniques for System Safety. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. – 632 p.

11. Belov P.G. System analysis and risk management in the technosphere: a textbook for universities. – Moscow: Yurait Publishing House, 2024. – 658 p.

12. Fault Tree Analysis (FTA): Concepts and Applications / NASA System Safety Handbook. 2015. Vol. 1. Appendix C.

13. ARIA Database. French Ministry of Ecological Transition. [Electronic resource]. URL: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/> (date accessed: 10.12.2025).

14. Saati T. Decision Making. Hierarchy Analysis Method. – Moscow: Radio i Svyaz, 1993. – 278 p.

15. Pavlenko A. T. On the Creation of Scientific and Methodological Foundations for Risk-Oriented Occupational Safety of Personnel of Emergency Rescue and Fire Departments // *Bulletin of Vladimir Dahl Luhansk State University. Series: Technical Sciences*. – 2025. – No. 4(5). – Pp. 49-56.

16. Novozhilov V. Computational Fluid Dynamics Modeling of Compartment Fires //

Progress in Energy and Combustion Science. 2001. Vol. 27, no. 6. – P. 611–666.

17. GOST R 54989-2012 (ISO/IEC 31010:2009). Risk management. Risk assessment methods. – Moscow: Standartinform, 2012.

18. GOST R 51709-2001. Motor vehicles. Safety requirements for technical condition and inspection methods. – Moscow: Standartinform, 2001.

19. Nemchinov D. V. Accident risk assessment using expert systems // Bulletin of Astrakhan State Technical University. – 2007. – No. 1(36). – P. 40–45.

20. Reason J. Human error: models and management // BMJ. 2000. Vol. 320, no. 7237. – P. 768–770. 21. GOST R 22.0.05-2020. Safety in Emergency Situations. Man-Made Emergencies. Terms and Definitions. Moscow: Standartinform, 2020. – 12 p.

22. GOST R ISO 45001-2020 (ISO 45001:2018). Occupational Health and Safety Management Systems. Requirements and Guidance for Use. Moscow: Standartinform, 2020.

Статья поступила в редакцию 12.02.2026

Информация об авторе

Панайотов Константин Константинович, к-т тех. н., доцент, директор Краснодарского факультета инженерии и менеджмента (филиал) Луганского государственного университета имени Владимира Даля.

ORCID: 0009-0005-4367-558X

SPIN-код: 8856-0813, AuthorID: 1148884

E-mail: k.panayotov@mail.ru

Information about the author

Panayotov Konstantin Konstantinovich, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director of the Krasnodonsk Faculty of Engineering and Management (branch) of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl.

ORCID: 0009-0005-4367-558X

SPIN-код: 8856-0813, AuthorID: 1148884

E-mail: k.panayotov@mail.ru

Для цитирования:

Панайотов К.К. Моделирование влияния диагностических параметров технического состояния автомобиля на уровень профессионального риска на основе вероятностно-статистических моделей // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1 (6). – С. 82-92.

For citation:

Panayotov K.K. Modelling the influence of diagnostic parameters of vehicle technical condition on occupational risk level based on probabilistic- statistical models // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Series Technical Sciences. – 2026. – № 1 (6). – P. 82-92.

УДК 69.05

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ ОСТАТОЧНОГО ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ЖИЛЫХ ДОМОВ ПЕРВЫХ МАССОВЫХ СЕРИЙ В ЛУГАНСКЕ

Родыгина М. М., Красногрудов А. В., Рожков И. Н., Приходько В. П.

TECHNOLOGICAL MONITORING OF THE RESIDUAL SERVICE LIFE OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF THE FIRST MASS SERIES IN LUGANSK

Rodygina M. M., Krasnogradov A. V., Rozhkov I. N., Prikhodko V. P.

Аннотация: Разработаны методические подходы по разработке системы технологического мониторинга параметров остаточного эксплуатационного ресурса для жилых домов первых массовых серий. Определены проблемы, которые существуют в связи с эксплуатацией этих домов.

Ключевые слова: технологический мониторинг, техническое состояние, параметры остаточного эксплуатационного ресурса, ретрофитинг.

Abstract: Methodological approaches have been developed for the development of a technological monitoring system for the residual operational resource parameters of residential buildings of the first mass series. The problems that exist in connection with the operation of these buildings have been identified.

Key words: technological monitoring, technical condition, residual service life parameters, retrofitting.

Введение. Первые массовые серии пятиэтажной застройки в составе крупнопанельных домов 1-480А и 1-464А, а также кирпичных домов серии 1-438А осуществлялись в Луганске в 60-е годы минувшего столетия. Общее количество таких домов, например, в Луганской области 6771, что составляет 53,2% жилья, построенного в те годы.

Эти дома находятся в эксплуатации более 60-ти лет, в большинстве своем без капитального ремонта. Техническое состояние этих зданий с каждым годом ухудшается. Процесс разрушения принимает угрожающий характер и через некоторое время может стать необратимым.

Цель и задачи исследования. Мировая практика в оценке технического

состояния объектов, находящихся в эксплуатации претерпевает в настоящее время существенные изменения. Речь идет о создании систем мониторинга, когда можно будет в любой момент времени знать техническое состояние конструкции и на основании этого определять остаточный эксплуатационный ресурс здания в целом. В литературе [1] это направление получило определение «технологический мониторинг».

Учитывая техническое состояние жилых зданий первых массовых серий в Луганске, которое большинство специалистов определяет, как угрожающее, разработка и применение в практических условиях специальных систем мониторинга

их технического состояния [2] представляется актуальной проблемой.

Материалы и методы. Мировая практика в оценке технического состояния объектов, находящихся в эксплуатации претерпевает в настоящее время существенные изменения. Речь идет о создании систем мониторинга, когда можно будет в любой момент времени знать техническое состояние конструкций и на основе этого определять остаточный эксплуатационный ресурс здания в целом.

Сохранение в работоспособном состоянии жилых домов только в крупнопанельном исполнении региона – это огромный фонд в более чем 10 млн квадратных метров площадей, а по г. Луганску около 3,5 млн.

За время эксплуатации пятиэтажной жилой застройки выявилось большое количество градостроительных, морально-эстетических, физических и иных недостатков [3, 4, 13].

Так, наибольшему физическому износу (трещины, коррозия) подверглись стыки сборных элементов крупнопанельных домов, гидро-, тепло и звукоизоляция ограждающих конструкций; конструкции покрытий и перекрытий, кровли, элементы подполья и подвалов, балконы, козырьки и пр. являющиеся основой прочности, устойчивости, теплозвукопроводности, надежности и безопасной эксплуатации. До 60% таких зданий требует немедленного обследования и оценки технического состояния конструкций. Например, свыше 15,0 тыс. балконов, карнизов, козырьков и др. элементов и конструктивов навесного типа находятся в аварийном состоянии [5, 6].

Проблема сохранения эксплуатационных параметров домов

первых массовых серий застройки возникла перед регионом в связи со следующими основными причинами:

- отсутствие проведения капитальных ремонтов после 35-45 лет эксплуатации зданий;
- физический износ (65%), снижение надежности и безопасной эксплуатации здания и инженерных сетей, многочисленных примеров предаварийных и аварийных состояний эксплуатируемых жилых домов;
- несоответствие ограждающих конструкций действующим нормативным требованиям теплотехнических качеств, вследствие чего теряется до 40% тепловой энергии;
- как одно из средств достижения параметров гармонизации и реабилитации городской среды, решения социальных задач развития городов, направленных на экономическое улучшение условий проживания населения.

Результаты исследований. Ниже, в табл. 1 приведен основные архитектурно-конструктивные характеристики наиболее часто встречающихся серий жилых домов в нашем регионе.

К настоящему времени, на основе обширных исследований, установлены следующие статистические данные частоты повреждений строительных элементов крупнопанельных зданий: наружных стен – 69%, окон – 62%, балконов и лоджий – 55%, крыш – 50%. Причем 42% балконов и лоджий, 32% кровель, 19% гидроизоляции стен подвалов требуют полной замены на новые. Особого внимания требуют вертикальные и горизонтальные стыки панелей, и, прежде всего, их соединения на металлических закладных деталях, чаще всего подверженных коррозии (рис. 1).

Таблица 1

Архитектурно-конструктивные характеристики жилых зданий, строительство которых велось по проектам первых массовых серий в г. Луганске и Луганской области

№ п/п	Название серии	Этажность	Состав и кол-во квартир	Конструктивная схема (поперечная/продольные несущие стены/шаг несущих стен)	Материал наружных стен	Условия строительства (обычные/сложные)	Объем введения домов в области в 60-70 гг.	
							Общая площадь, тыс. м ²	Кол-во домов серии /квартир/
1.	1-464 А	5	1-2-3 кв. 60, 90, 119	Поперечные и продольные 5.76; 3.2; 2.6	Шлако-бетон Термозитобетон	Обычные Просадочные горн. выработки	2260	565 /45200
2.	1-438/438А	5	1-2-3-4 кв. 60, 70, 80, 100	Продольные 6.0м	Кирпич	-//-	3870	1032 /77400
3.	1-480А	5	2-3 кв. 60, 90	Продольные 5.5м	Термозит шлакобетон	-//-	1840	472 /30670

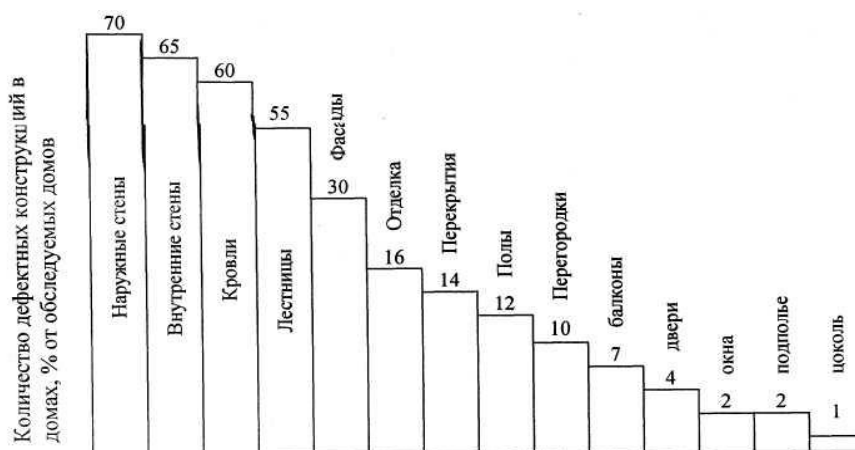


Рис. 1. Распределение дефектных конструктивных элементов пятиэтажных панельных зданий

Для условий г. Луганска, учитывая фактическое техническое состояние большинства жилых домов застройки 60-70 г. прошлого века, в первую очередь должна решаться задача сохранности жилого фонда, обеспечения устойчивости и пространственной жесткости зданий с учетом дефектов и повреждений, полученных в процессе эксплуатации, что позволит предохранить эти здания от разрушения.

Решение жилищной проблемы на основе индустриального домостроения обернулось серостью и невыразительностью наших городов, абсолютной повторяемостью проектов для различных городов страны, низким качеством

строительных работ, занижению требований теплопроводности и прочностных характеристик отдельных конструкций.

Этот жилищный фонд имеет ряд реальных проблем, связанных в первую очередь с его физическим и моральным износом вследствие несовершенных проектных решений, низкого качества строительства, а также неудовлетворительной эксплуатации и технического обслуживания на протяжении прошлого периода.

К наиболее острым техническим проблемам следует отнести появление трещин во внешних стенах, их переувлажнение и промерзание и, как

следствие, потерю пространственной устойчивости и разрушение [8].

Ниже предлагается алгоритм функционирования системы мониторинга эксплуатационного износа элементов жилых домов первых массовых серий с прогнозированием и выбором времени их адресного восстановления (ремонт, реконструкция, модернизация, снос), в рамках которой поставлена задача отработки методических подходов по непрерывному контролю за состоянием наиболее нагруженных элементов, отказ которых способен вызвать аварийные ситуации.

На рис. 2 приведена последовательность определения параметров остаточного эксплуатационного ресурса жилых домов первых массовых серий.

Применительно к региональному аспекту, ставящему в первую очередь проблему сохранности жилищного фонда, должен быть использован подход, основанный на определении среднего значения коэффициентов использования несущей способности конструкций обследуемых домов.

При этом под коэффициентом использования несущей способности понимается отношение действующей эксплуатационной нагрузки к предельно допустимой нагрузке для реальной конструкции.

Все расчеты необходимо осуществлять с применением современных программно-вычислительных комплексов, таких как ЛИРА-САПР, RSA, SCAD Office [7].

Заключительным этапом расчета является подготовка прогноза продолжительности эксплуатации объекта, в т.ч. вероятностной продолжительности его безопасной эксплуатации.

После чего, на основании технико-экономического обоснования следует разработка многовариантных решений о дальнейшей судьбе объекта – капитальный ремонт, модернизация (надстройка, пристройка, переустройство и т.д.), тепловая реабилитация, а в отдельных случаях и снос здания.

В том случае, когда рекомендуется дальнейшая эксплуатация здания, возникает вопрос о гарантиях безопасной эксплуатации объекта на ближайшие годы. Вряд ли в этом случае можно считать достаточным подход, существующий в настоящее время, когда по результатам обследования выдаются рекомендации о безопасной эксплуатации здания на ближайшие 3-5 лет.

Принято считать, что некоторую гарантию в этом вопросе может дать только комплексный контроль технического состоянию объектов, осуществляемый с помощью многопараметрических информационно-регистрирующих систем, контролирующих напряженно-деформационные процессы в строительных конструкциях и условия их эксплуатации [9, 12].

Такие системы являются дорогостоящими в обслуживании и эксплуатации, применительно к очень большому количеству домов первых массовых серий, использование систем технологического мониторинга может быть рекомендовано на первом этапе для объектов, техническое состояние которых нельзя однозначно оценить как удовлетворительное или гарантировать безопасность их дальнейшей эксплуатации.

Одной из первых систем технологического мониторинга является программа ретрофитинга – усиления конструкций на основе компьютерного

моделирования поведения объекта в сложных условиях, на непрочных грунтах, при землетрясениях, вообще для высотных зданий. Приборы и датчики регистрируют рост напряжений в соответствующих узлах и конструкциях. Такие программы используются, например, для мониторинга

технического состояния Крымского моста, зданий «Москва-Сити».

Для этих целей успешно разрабатывается, применяется и совершенствуется современная приборная база.

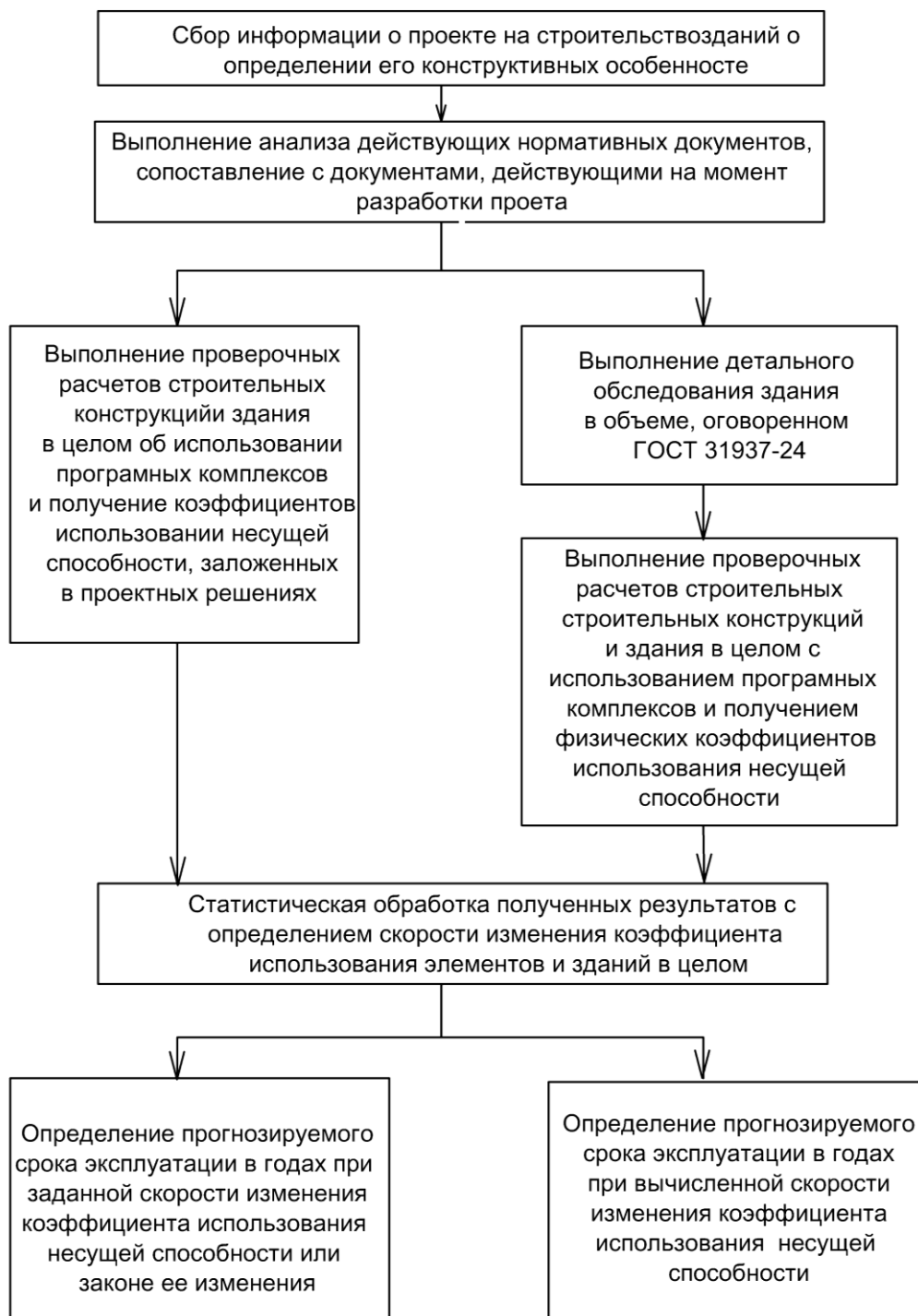


Рис. 2. Последовательность определения параметров

эксплуатационного ресурса здания

В качестве примера можно привести приборы многопараметрического действия, доказавшие свою эффективность для выявления, оценки и локализации дефектов и повреждений конструкций, определения неоднородности по прочности, глубины трещин. Это ультразвуковой тестер Пульсар-2М; измеритель прочности бетона ОНИКС-10С; локаторы арматуры Proseq Profometer; ультразвуковой дефектоскоп УДЗ-71сПЭП; адгезиметр Proseq Dyna Z 16; анализатор коррозии Proseq Canin+; влагомер Testo 616 и другие приборы, приспособленные для работы в автоматизированном режиме управления [8, 9,11]

Целый ряд научных центров и учреждений занимаются приборным обеспечением мониторинга технического состояния строительных конструкций. Среди них – Инженерный центр диагностики состояния сооружений (ИЦДСС) при МГТУ имени Баумана, ООО «НЦП «БАУ-Мониторинг», ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга» и др. [10].

Изложенное свидетельствует, что приборная и аппаратурно-программная база для создания систем технологического мониторинга существует и может быть реализована в процессе обновления и модернизации жилых домов первых массовых серий.

Методика оценки параметров остаточного эксплуатационного ресурса жилых домов первых массовых серий в Луганске области при практической реализации позволит:

- создать полный реестр аварийных объектов;
- привести в порядок планирование ремонтно-восстановительных работ,

включая определение первоочередности их выполнения и финансирования;

- получить сведения по диагностике технического и функционального состояния таких объектов;
- определить состав и структуру проектно-восстановительных работ;
- установить ориентировочную оценку стоимости работ;
- разработать предложения по модернизации или ликвидации объектов;
- разработать предложения по определению остаточного эксплуатационного ресурса для объектов первых массовых серий застройки.

Первыми практическими шагами для реализации выше названной программы станут:

- выбор объектов – представителей по указанным сериям;
- проведение их комплексного обследования с вскрытием отдельных узлов;
- определение пространственной жесткости и устойчивости объектов с использованием программных комплексов;
- определение прочностных характеристик основных несущих конструкций, включая балконы с расчетом коэффициентов использования несущей способности;
- оценка сопротивления теплопередаче наружных ограждений;
- оценка технического состояния инженерных систем;
- оценка шумозащитных свойств зданий и необходимости повышения звукоизоляции и т.д.

Выводы. Разработка систем технологического мониторинга, сочетающих в себе программно-вычислительные расчеты параметров

остаточного эксплуатационного ресурса и приборного обеспечения мониторинга технического состояния жилых домов первых массовых серий позволит предотвратить аварийность и обеспечить их безопасную эксплуатацию на ближайшие 20-30 лет, а при соответствующей качественной эксплуатации и на более длительный период.

Список источников

1. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014. – 54 с.
2. Родыгина М.М., Красногрудов А.В., Рожков И.Н., Щербак В.Н. Управление остаточным сроком безопасной эксплуатации жилых домов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия технические науки. – 2025. – № 2(3). – С.52-58.
3. Григоренко К.А., Петренева О.В. Реконструкция домов первых массовых серий как способ увеличения полезной площади // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 47–55. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.06
4. Хайрулин В.А., Салов А.С., Терехов И.Г., Масалимов Р.Б. Техничко-экономическая оценка долговечности и остаточного ресурса эксплуатации объекта строительства // Дискуссия. – 2022. – Вып. 115. – С. 52-70. – DOI: 10.46320/2077-7639-2022-6-115-52-70.
5. Ремнев В.В. Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений: учебное пособие / В.В. Ремнев, А.С., А.С. Морозов, Г.П. Тонких. – М.: Маршрут, 2005. – 196 с.
6. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2004. – 26 с.
7. Сопегин Г.В., Сурсанов Д.Н. Использование автоматизированных систем мониторинга конструкций (АСМК) // Вестник МГСУ. Том 12. Выпуск 2 (101). С. 230 – 242. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.230-242.
8. Лемешкин А.В. Контроль качества материалов в строительстве: современные технологии и принципы работы // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 7. – С. 348 – 53.
9. Карпов Д.Ф., Павлов М.В., Гудков А.Г. Выявление скрытых дефектов тепловой защиты зданий и определение некоторых термических свойств конструкционных строительных материалов неразрушающими методами тепловидения // Вестник Дагестанского ГТУ. Технические науки. 2023. Т. 50. N 1. С. 174-184. DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-174-184.
10. Грушковский П.А., Щельников В.Н., Ситников А.В. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений визуальными и инструментальными методами // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 6. С. 208 – 212. DOI: 10. 24412/2017-6168-2021-6-208-212.
11. Бредихин В.В., Бредихина Н.В. Некоторые подходы к реконструкции городского пространства в условиях сложившей застройки // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 2. – С.47 – 50.
12. Скачков П.А., Горнева О.С., Шутов С.В., Гнатюк К.В. Метод определения потенциала развития застроенных жилых территорий // Жилищное строительство. – 2015. – № 4. – С. 3–7.
13. Гусенцова Я.А. Системы автоматического регулирования процесса теплообмена в вентилируемом помещении / Я.А. Гусенцова, С.А. Письменная, М.В. Логвинова // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля №12 (48) Луганск.: Изд. ЛГУ им. В. Даля. 2020. – С. 38 – 43.

References

1. GOST 31937-2011. Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of

technical condition. – Moscow: Standartinform, 2014. – 54 p.

2. Rodygina M.M., Krasnogradov A.V., Rozhkov I.N., Shcherbak V.N. Management of the remaining safe operation life of residential buildings // Bulletin of Vladimir Dahl Luhansk State University. Technical sciences series. – 2025. – No. 2(3). – P.52-58.

3. Grigorenko K.A., Petreneva O.V. Reconstruction of first mass-produced buildings as a way to increase usable area // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture. – 2016. – Vol. 7, No. 1. – P.47–55. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.06

4. Khairulin V.A., Salov A.S., Terekhov I.G., Masalimov R.B. Technical and economic assessment of the durability and residual service life of a construction project // Discussion. - 2022. Issue. 115. - Pp. 52-70. - DOI: 10.46320/2077-7639-2022-6-115-52-70.

5. Remnev V.V. Inspection of the technical condition of building structures: a tutorial / V.V. Remnev, A.S., A.S. Morozov, G.P. Tonkikh. - M.: Route, 2005. - 196 p.

6. SP 13-102-2003. Rules for the inspection of load-bearing structures of buildings and structures. – Moscow: Gosstroy of Russia, 2004. – 26 p.

7. Sopegin G.V., Sursanov D.N. Use of automated structural monitoring systems (ASMS) // Bulletin of MGSU. Vol. 12. Issue 2 (101). Pp. 230–242. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.2.230-242.

8. Lemeskin A.V. Quality control of materials in construction: modern technologies and

operating principles // Innovations and Investments. – 2023. – No. 7. – Pp. 348–53.

9. Karpov D.F., Pavlov M.V., Gudkov A.G. Identification of hidden defects in thermal protection of buildings and determination of some thermal properties of structural building materials using non-destructive thermal imaging methods // Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences. 2023. Vol. 50. No. 1. pp. 174-184. DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-174-184.

10. Grushkovsky P.A., Shchelnikov V.N., Sitnikov A.V. Assessment of the technical condition of building structures and structures using visual and instrumental methods // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. 2021. Issue 6. pp. 208–212. DOI: 10.24412/2017-6168-2021-6-208-212.

11. Bredikhin V.V., Bredikhina N.V. Some approaches to the reconstruction of urban space in the context of established development // Industrial and civil engineering. - 2014. - No. 2. - P. 47 - 50.

12. Skachkov P.A., Gorneva O.S., Shutov S.V., Gnatyuk K.V. Method for determining the development potential of built-up residential areas // Housing construction. - 2015. - No. 4. - P. 3-7.

13. Gusentsova Ya.A. Automatic control systems for heat exchange in a ventilated space / Ya.A. Gusentsova, S.A. Pismennaya, M.V. Logvinova // Bulletin of Volodymyr Dahl Luhansk National University, No. 12 (48) Luhansk: Publishing House of LSU named after V.Dal. 2020. – P. 38 – 43.

Статья поступила в редакцию 16.01.2026

Информация об авторах

Родыгина Мария Михайловна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск.

E-mail: sunsara_06@mail.ru

Information about the authors

Rodygina Maria Mikhailovna, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.

E-mail: sunsara_06@mail.ru

Красногрудов Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой пожарной безопасности Луганского государственного университета имени В. Даля, г. Луганск.
E-mail: krasnogradov@mail.ru

Рожков Игорь Николаевич, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля». **E-mail:** i.rojkov@mail.ru

Приходько Владимир Павлович, старший преподаватель кафедры аварийно-спасательных работ Луганского государственного университета имени Владимира Даля, г. Луганск. **E-mail:** vladimir.prihodko@mail.ru

Krasnogradov Alexander Vasilievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: krasnogradov@mail.ru

Rozhkov Igor Nikolaevich, senior lecturer of the Department of Fire Safety of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: i.rojkov@mail.ru

Prihodko Vladimir Pavlovich, Senior Lecturer at the Department of Emergency and Rescue Operations of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
E-mail: vladimir.prihodko@mail.ru

Для цитирования:

Родыгина М.М., Красногрудов А.В., Рожков И.Н., Приходько В.П. Технологический мониторинг параметров остаточного эксплуатационного ресурса жилых домов первых массовых серий в Луганске // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1(6). – С. 93-101.

For citation:

Rodygina M., Krasnogradov A., Rozhkov I., Prihodko V. Technological monitoring of the residual service life of residential buildings of the first mass series in Lugansk // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – № 1 (6). – P. 93-101.

УДК 622.8

О КОРРЕКТНОСТИ СРАВНЕНИЯ ВОЗМОЖНОГО РАВЕНСТВА СОРБЦИОННОЙ МЕТАНОЁМКОСТИ УГЛЕЙ И ГАЗОНОСНОСТИ ШАХТОПЛАСТОВ

Филатьева Э. Н.

ON THE CORRECTNESS OF COMPARING THE POSSIBLE EQUALITY OF THE SORPTION METHANE CAPACITY OF COALS AND THE GAS CONTENT OF MINE SEAMS

Filatieva E. N.

Аннотация. Исследования проведены исходя из разной природы формирования газоёмкости и газоносности углей, обусловленной материальным балансом геологических процессов. Метан, который образовался, начиная с момента осадконакопления и превращения в угольную массу, выделен в несколько групп, сохранившийся в угольных пластах и мигрировавший из пластов; метаноёмкость, установленная в лабораторных условиях, непосредственно и достоверно характеризует только свойства твёрдого остаточного продукта на современной глубине его залегания. Сорбционная метаноёмкость углей служит, в одинаковой степени, показателем метаморфических преобразований как газоносных, так и не газоносных шахтопластов. Газоносность, в силу возможной миграции всего или некоторой части метана во вмещающие породы или на поверхность, не являются, в полной мере, окончательным продуктом метаморфических преобразований каменных углей и антрацитов. Подтверждением разной природы формирования сорбционной метаноёмкости и газоносности углей являются результаты статистической обработки экспериментальных данных. Метаноёмкость характеризуется высокой корреляционной связью с показателями степени метаморфизма. Установлено практическое отсутствие корреляционной связи газоносности со всеми показателями степени метаморфических преобразований углей, в том числе и с метаноёмкостью. Это свидетельствует о некорректности использования метаноёмкости для косвенных методов определения газоносности шахтопластов.

Ключевые слова: каменные угли, антрациты, газоносность, метаноёмкость, сорбция, диаграмма, метаморфизм, экспериментальные данные, статистическая обработка, показатели, корреляционная связь.

Abstract. The studies were conducted based on the different nature of the formation of gas capacity and gas content in coals, determined by the material balance of geological processes. Methane formed from sedimentation and transformation into coal mass is classified into several groups: methane retained in coal seams and methane that migrated from the seams. Methane capacity, determined in laboratory conditions, directly and reliably characterizes only the properties of the solid residual product at its current depth. The sorption methane capacity of coals serves equally as an indicator of the metamorphic transformations of both gas-bearing and non-gas-bearing seams. Gas content, due to the possible migration of all or some of the methane into the host rocks or to the surface, is not fully representative of the final product of the metamorphic transformations of hard coals and anthracites. The results of statistical processing of experimental data confirm the different nature of the formation of sorption methane capacity and gas content in coals. Methane capacity is characterized by a high correlation with the degree of metamorphism. A virtual absence of correlation was established between gas content and all indicators of the degree of coal metamorphism, including methane capacity. This indicates the

inappropriateness of using methane capacity for indirect methods of determining the gas content of mine seams.

Key words: *hard coal, anthracite, gas content, methane capacity, sorption, diagram, metamorphism, experimental data, statistical processing, indicators, correlation.*

Введение. На основании близких значений сорбционной метаноемкости углей для 23 шахтопластов, определенных в лабораторных условиях, и их газоносности, установленной с помощью газокернаборников (ГКН), сделан вывод о целесообразности их совместного использования для взаимного контроля. Для этих целей разработаны эталонные диаграммы изменения газоносности (x) и метаноемкости (a_5) углей для прогнозирования газоносности и сорбционной емкости в условиях их стабилизации (до глубин 2000-2500 м) не только для Донбасса, но и для остальных угольных бассейнов [1]. Сорбция устанавливалась в лаборатории объемным методом при давлении 5-6 МПа и температуре 30°C. Было выявлено, что природная газоносность каменных углей, поднятых даже с глубин 1800-2600 м, ниже их сорбционной метаноемкости, хотя постепенно приближается к ней. По данным газового каротажа это различие невелико и составляет 9-23% (в среднем 20%). Природная газоносность углей, найденная с помощью ГКН, ниже сорбционной метаноемкости на большую величину (от 6 до 40%), что говорит о повышенных потерях газа в негерметических ГКН. Существенные расхождения природной газоносности с сорбционной метаноемкостью наблюдались в антрацитах, начиная с группы 10A₁, особенно в суперантрацитах группы 11A₁-12A₂ и выше. На основании этих результатов природная газоносность каменных углей, кроме антрацитов, приближается к сорбционной ёмкости,

оставаясь в среднем на 10÷20% ниже. По мнению автора [1] это позволяет построить более достоверную диаграмму зависимости природной газоносности углей от степени метаморфизма. При таком подходе остаются неустановленными причины несовпадения газоёмкости и газоносности для антрацитов. Пример комплексной оценки графоаналитическим методом газоносности углей, с контролем последних значениями метаноемкости, приведен для пластов 1₁, 1₂, 1₃ шахты «Краснолиманская» (рис. 1). Установлена некоторая корреляция усредненных значений, соответственно газоносности от глубины залегания пластов и метаноемкости от давления до 5 МПа и выше. Более тесная корреляционная зависимость наблюдалась метаноемкости от давления. Ее среднее значение стабилизировалось на уровне 16,5 м³/т.с.б.м.

При максимальных отклонениях индивидуальных значений метаноемкости ±1,3 м³/т.с.б.м. индивидуальные отклонения значений газоносности от усредняющей кривой газоемкости были практически на порядок выше и составляли ±7,0÷8,5 м³/т.с.б.м.. Это свидетельствует о более стабильных значениях метаноемкости углей по сравнению с газоносностью шахтопластов в пределах обособленного шахтного поля. Кроме этого, не подтверждается вывод [1] о более низких значениях газоносности каменных углей на 15-20% во всех случаях по сравнению с метаноемкостью при давлении 5÷6 МПа. О неслучайности превышения

газоносностью значений метаноемкости углей, в том числе и антрацитов, свидетельствуют данные каталогов [3, 4, 5]. В каталоге [3] для совокупности из 777 шахтопластов приведены экспериментальные данные изотерм сорбции углей (a_5) при температуре 30°C и давлении от 0,1 до 5,0 МПа. В справочниках [4,5] имеются значения газоносности для 701 шахтопласта из 777

рассматриваемой совокупности. Из них значения метаноёмкости (a_5) в 402 случаях превышали значения газоносности (x), а в остальных 299 случаях наблюдалось соотношение $x \geq a_5$. Неоднозначные и непредсказуемые экспериментальные соотношения между метаноемкостью и газоносностью свидетельствуют о разной природе возникновения рассматриваемых свойств углей.

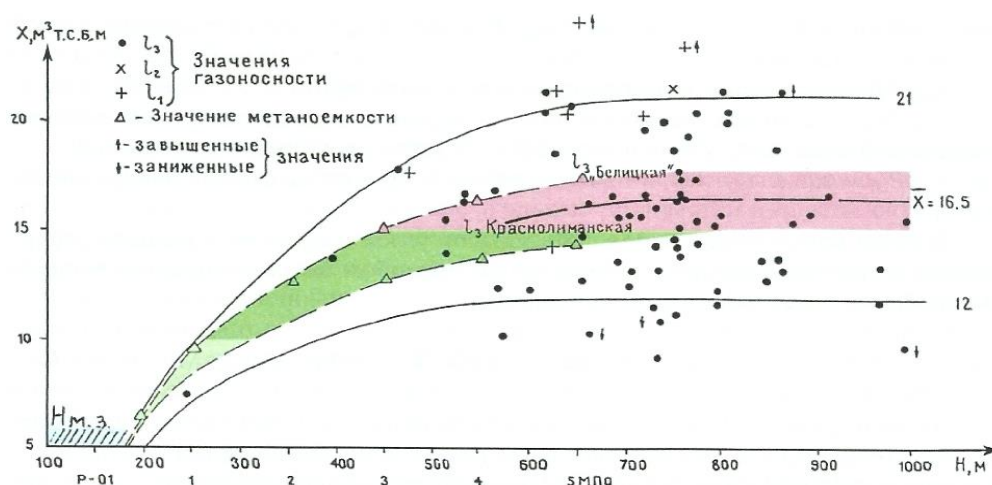


Рис. 1. Комплексная оценка графоаналитическим методом газоносности углей с контролем последних значениями метаноёмкости (на примере шахты «Краснолиманская»)

Это не подтверждает предположение [1] о превышении метаноемкостью во всех случаях, в пределах глубин до 2600 м, газоносность на 10-20%. По указанной причине возникает сомнение о возможности построения достоверной диаграммы зависимости природной газоносности углей от степени их метаморфизма. Заниженные значения газоносности по отношению к газоемкости объяснялись [1,2] увеличением потерь газа при поднятии кернов с больших глубин по причине негерметичности ГКН. В ряде случаев для устранения этого недостатка на практике использовался поправочный коэффициент 1,3. Причины получения завышенных значений газоносности по сравнению с газоемкостью не

рассматривались. Не установлены также факторы, определяющие значительную разницу между a_5 и x для антрацитовых пластов.

Разная природа формирования газоемкости и газоносности углей обусловлена материальным балансом процессов, происходящих при метаморфизме угольных пластов [6]. Состав продуктов, образующихся при геологически длительном изменении погребенного органического вещества, может быть охарактеризован лишь частично. Газообразные и жидкие продукты метаморфизма углистых веществ, в силу особенностей их физического состояния, в основной своей части удаляются, и лишь твердые остаточные

продукты полностью сохраняются в месте первоначального залегания. Баланс всей суммы веществ и характеристика удалившихся газообразных и жидких продуктов могут быть получены лишь косвенными путями, с большей или меньшей степенью достоверности.

Метан, который образовывался, начиная с момента осадконакопления и превращения органики в угольную массу, и до настоящего времени, прошел сложный путь, в результате чего разделился на ряд категорий [2], которые по данным [7] выделены в следующие группы перераспределения газа, образовавшегося в процессе превращения растительного вещества:

- метан, сохранившийся в угольных пластах;
- метан, мигрировавший из угольных пластов и сорбированный вмещающими породами;
- метан, мигрировавший из угольных пластов в результате растворения в подземных водах;
- метан, перешедший в атмосферу в процессе дегазации угольных пластов;
- свободный метан в газовых ловушках.

Основная часть. Исходя из результатов исследований [2, 6, 7], метаноёмкость, установленная в лабораторных условиях, непосредственно и достоверно характеризует только свойства твердого остаточного продукта, то есть ископаемого угля на современной глубине его залегания. Газоносность, в силу возможной миграции метана во вмещающие породы или на земную поверхность, не во всех случаях соответствует количеству метана образовавшегося на разных стадиях углеобразования. Количество метана, сохранившееся в угольном пласте, зависит,

в большей степени, в конечном итоге, не от степени преобразования исходного вещества, а от условий возможного его дальнейшего сохранения после окончательной углефикации. Сорбционная метаноемкость углей служит, в одинаковой степени показателем метаморфических преобразований как газоносных, так и не газоносных шахтопластов. Газоносность, в силу возможной миграции всего или некоторой части метана во вмещающие породы или на поверхность, не является, в полной мере, окончательным продуктом метаморфических преобразований каменных углей и антрацитов. После достижения конечных метаморфических преобразований угольных пластов их газоносность не остается постоянной, так как в дальнейшем может подвергаться влиянию тектонических движений земной коры с образованием крупных или мелких нарушений. По этой причине нет оснований ставить знак равенства между метаноемкостью и газоносностью.

Цель работы – на основании результатов статистической обработки экспериментальных данных о коллекторских свойствах ископаемых углей и тесных корреляционных зависимостей доказать возможность использования метаноемкости в качестве основного показателя метаморфических преобразований шахтопластов при прогнозе их опасных свойств.

По общепринятому определению газоёмкость (метаноёмкость) характеризует способность горных пород (углей) поглощать газы при определенных термобарических условиях [8, 9]. Зависит от строения породы (угля) и условий их залегания, возрастая с повышением пластового давления, пористости и уменьшаясь с ростом температуры и

водонасыщенности. Метаноёмкость – величина равновесная. Ее определяют в лаборатории на образцах угля весовым методом (по привесу образца) или объемным (по уменьшения объема впущенного в сорбционный сосуд метана). Условия, в которых находится система метан-уголь (газовое давление, температура, влажность и др.), задаются [9].

Метаноносность угольного пласта (горных пород) – это количество метана, содержащегося в единице массы или объема полезного ископаемого (горной породы) в виде суммы свободного и сорбированного (адсорбированного, абсорбированного, растворенного) метана. Метаноносность является фактической метанонасыщенностью угля (горной породы) в пласте, чем и отличается от метаноёмкости, определяемой при заданных условиях в лаборатории на образцах, изъятых из пласта. Природная метаноносность определяется путем отбора образцов с сохранением в них метана и дальнейшего его извлечения в лаборатории при помощи измельчения, вакуумирования и нагрева угля (горной породы) [9].

Методикой исследований предусмотрена совместная статистическая обработка экспериментальных данных справочно-нормативных документов о коллекторских свойствах каменных углей и антрацитов [3], сведения о метаноносности шахтопластов [4–5] и потребительских качеств углей [10, 11].

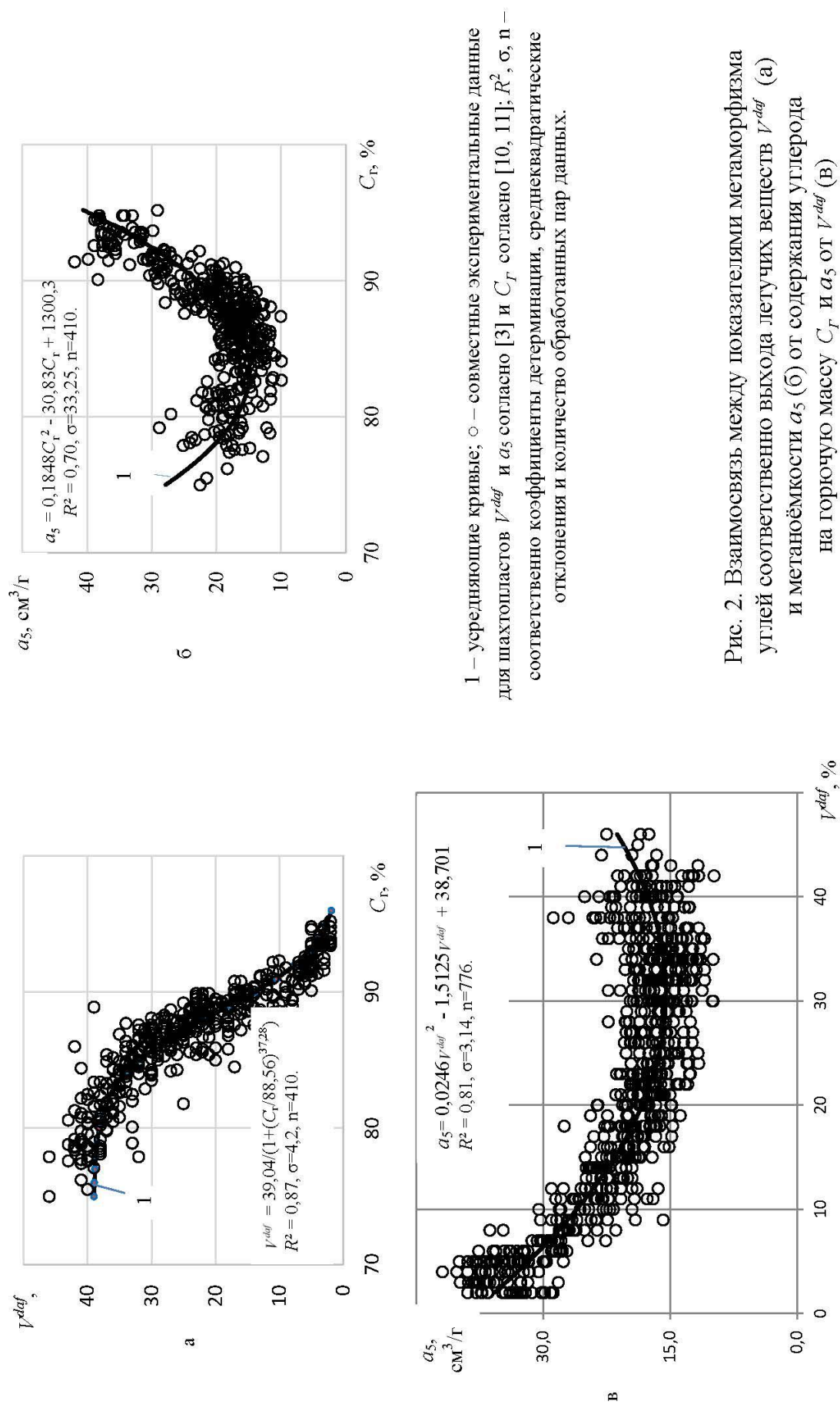
Результаты статистической обработки экспериментальных данных показали высокую тесноту корреляционных зависимостей между общепризнанными показателями степени метаморфических

преобразований углей выходом летучих веществ V^{daf} и содержанием углерода на горючую массу C_T (рис. 2, а).

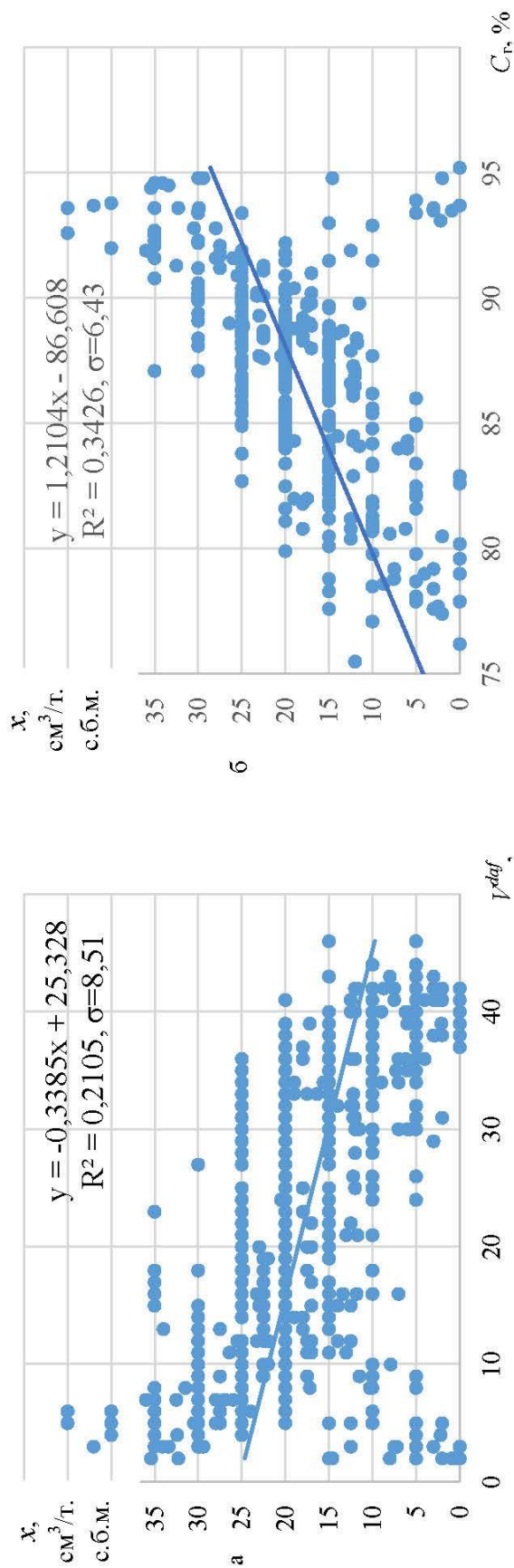
Для совокупности из 410 шахтопластов зависимость характеризовалась высоким значением корреляционного отношения ($R^2=0,87$) при среднеквадратическом отклонении $\sigma = 4,2\%$.

Аналогичными высокими показателями тесноты корреляционной связи характеризуются зависимости метаноёмкости углей a_5 от содержания углерода C_T и выхода летучих веществ V^{daf} (рис. 1, б и в). Показатели тесноты этих корреляционных связей характеризуются соответственно следующими показателями $R^2 = 0,70$, $\sigma =$, $n=410$ и $R^2 = 0,81$, $\sigma = 3,14$, $n=776$. Это свидетельствует о том, что метаноёмкость углей, по аналогии содержания углерода и выхода летучих веществ, относится к одному из основных показателей метаморфических преобразований углей.

Тесные корреляционные зависимости газоносности шахтопластов от показателей степени метаморфических преобразований углей отсутствуют (рис. 3). Эти зависимости невозможно описать определенным уравнением из-за большого разброса экспериментальных данных. Можно лишь только предполагать некоторую направленность изменения газоносности с усилением влияния метаморфических процессов. С ростом V^{daf} наблюдается некоторое снижение средней газоносности (рис. 3, а), а при увеличении содержания углерода (рис. 3, б) и газоёмкости (рис. 3, в) – увеличивается и средняя газоносность.



1 – усредняющие кривые; ○ – совместные экспериментальные данные для шахтопластов V^{daf} и a_5 согласно [3] и C_g согласно [10, 11]; R^2 , σ , n – соответственно коэффициенты детерминации, среднеквадратические отклонения и количество обработанных пар данных.



1 – усредняющие кривые; ● – совместные экспериментальные данные для шахтопластов о газоносности x согласно [4, 5], содержания углерода на горючую массу согласно [10, 11], выхода летучих веществ V^{daf} и метаноёмкости a_5 согласно [3]; r , σ , n – соответственно коэффициенты корреляции, среднеквадратические отклонения и количество обработанных пар данных

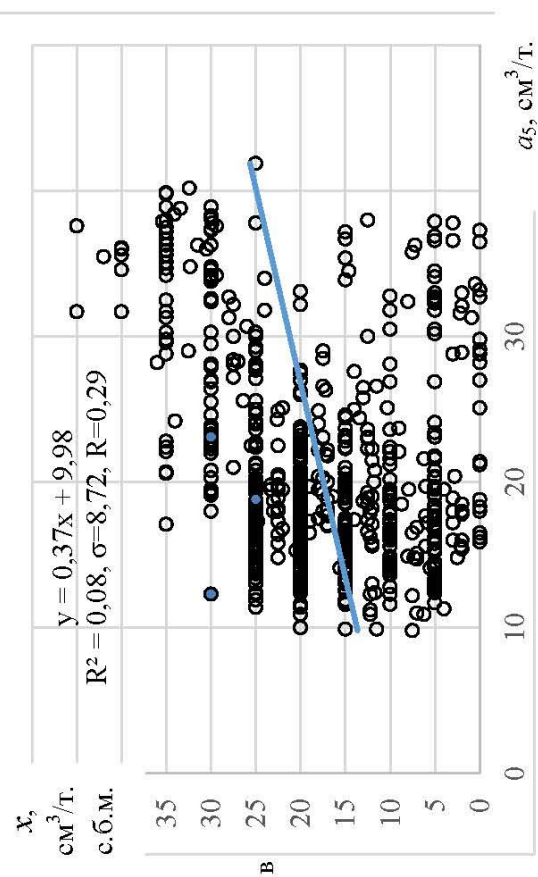


Рис. 3. Зависимость газоносности шахтопластов (x) от показателей степени метаморфизма соответственно от выхода летучих веществ V^{daf} (а), содержания углерода на горючую массу C_r (б) и метаноёмкости a_5 (в)

Выводы. Отсутствие практической корреляционной связи между метаноёмкостью углей и газоносностью шахтопластов свидетельствует о том, что метаноёмкость не корректно использовать, как это предполагалось [1, 3], для косвенных методов определения газоносности шахтопластов.

Список источников

1. Голубев А.А. Прогноз газоносности углей на глубоких горизонтах // Уголь Украины – №4. – 1988. – С. 41-42.
2. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины. монография / А. В. Анциферов [и др.]. – Донецк: Вебер, Донецкое отд-ние. Т. 1: Геология и газоносность западного, юго-западного и южного Донбасса. – 2009. – 454 с. ISBN 978-966-335-305-0
3. Каталог коллекторских свойств каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. МакНИИ. Макеевка-Донбасс. 1985. 48с.
4. Каталог метаноносности и выбросоопасности основных угольных пластов Донецкого и Львовско-Волынского угольных бассейнов в границах действующих шахт. МУП СССР. ЦБНТИ. Донецк. 1990. – 177с.
5. Каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. ИГД им. А. А. Скочинского. – М.: 1982. – 268с.
6. Успенский В. А. Опыт материального баланса процессов, происходящих при метаморфизме угольных пластов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2006. – Т. 1. – С. 1-10.
7. Багринцева К.И., Васильев В.Г., Ермаков В.И. Роль угленосных толщ в процессах генерации природного газа // Геология нефти и газа. – 1968. – №6 – с. 7-11.
8. Горная энциклопедия / Гл. ред. Е.А. Козловский; ред. кол.: М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдыров и др. – М.: Сов. энциклопедия. – Т. 1: Аа-лава – Геосистема. – 1984. – 560 с.
9. Горная энциклопедия / Гл. ред. Е.А. Козловский; ред. кол.: М.И. Агошков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдыров и др. Москва: Советская энциклопедия. – Т.3: Кенган – Орт, – 1987. – 592 с.
10. Справочник по качеству и обогатимости каменных углей и антрацитов Украинской ССР (Донбасс в границах УССР, Львовско-Волынский бассейн). Характеристика качества каменных углей и антрацитов Украинской ССР. – Москва: Недра, 1965. – 204 с.
11. Справочник по качеству каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов / Донецкий научно-исследовательский угольный институт. – Москва: Недра, 1972. – 168 с.

References

1. Golubev A.A. Forecast of coal gas content at deep horizons // Coal of Ukraine – No. 4 – 1988 – Pp. 41-42.
2. Gas content and methane resources of coal basins of Ukraine. Monograph / A.V. Antsiferov [et al.]. – Donetsk: Weber, Donetsk Branch. – T. 1: Geology and gas content of the western, southwestern and southern Donbass. – 2009. – 454 p. ISBN 978-966-335-305-0
3. Catalog of reservoir properties of hard coals and anthracites of the Donetsk and Lviv-Volyn basins. MakNII. Makeyevka-Donbass. – 1985. – 48 p.
4. Catalog of Methane Content and Outburst Hazard of the Main Coal Seams of the Donetsk and Lviv-Volyn Coal Basins within the Boundaries of Operating Mines. USSR MUP CBNTI. Donetsk. 1990. – 177 p.
5. Catalog of Mine Seams of the Donetsk Coal Basin with Characteristics of Mining and Geological Factors and Phenomena. A. A. Skochinsky Institute of Mining. Moscow. – 1982. – 268 p.
6. Uspensky V. A. Experience in the Material Balance of Processes Occurring during Coal Seam Metamorphism // Oil and Gas Geology. Theory and Practice. 2006. – Vol. 1. – pp. 1-10.

7. K. I. Bagrintseva, V. G. Vasiliev, V. I. Ermakov. The Role of Coal-Bearing Strategies in Natural Gas Generation Processes // Oil and Gas Geology. – 1968. – No. 6 – Pp. 7-11.

8. Mining Encyclopedia / Ed. in chief E. A. Kozlovsky; editorial staff: M. I. Agoshkov, N. K. Baibakov, A. S. Boldyrov, et al. Moscow: Sov. Encyclopedia. – Vol. 1: Aa-lava – Geosystem. 1984. 560 p.

9. Mining Encyclopedia / Ed. in chief E. A. Kozlovsky; editorial staff: M. I. Agoshkov, N. K. Baibakov, A. S. Boldyrov, et al. Moscow: Sovetskaya Encyclopedia. – Vol. 3: Kengan-Ort, 1987. – 592 p.

10. Handbook of the Quality and Washability of Hard Coals and Anthracites of the Ukrainian SSR (Donbass within the Borders of the Ukrainian SSR, Lviv-Volyn Basin). Characteristics of the Quality of Hard Coals and Anthracites of the Ukrainian SSR. – Moscow: Nedra, 1965. – 204 p.

11. Handbook of the Quality of Hard Coals and Anthracites of the Donetsk and Lviv-Volyn Basins / Donetsk Coal Research Institute. – Moscow: Nedra, 1972. – 168 p.

Статья поступила в редакцию 10.01.2026

Информация об авторе

Филатьева Эльвира Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры пожарной безопасности Луганского государственного университета имени Владимира Даля,
<https://orcid.org/0000-0002-1041-0535>
E-mail: Elafilatyeva@gmail.com

Information about the author

Filatieva Elvira Nikolaevna, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor of the Lugansk State University named after Vladimir Dahl, Lugansk.
<https://orcid.org/0000-0002-1041-0535>
E-mail: Elafilatyeva@gmail.com

Для цитирования:

Филатьева Э. Н. О корректности сравнения возможного равенства сорбционной метаноёмкости углей и газоносности шахтопластов // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. Серия Технические науки. – 2026. – № 1(6). – С. 102-110.

For citation:

Rodygina M., Krasnogradov A., Rozhkov I., Prihodko V. Technological monitoring of the residual service life of residential buildings of the first mass series in Lugansk // Vestnik of Lugansk State University named after Vladimir Dahl. Technical Sciences Series. – 2026. – № 1 (6). – P. 102-110.

**ВЕСТНИК ЛУГАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»
№ 1 (6) 2026**

Серия Технические науки

Главный редактор	<i>А.Н. Киреев</i>
Ответственный секретарь	<i>Д.Ю. Чижевская</i>
Лит.редакторы, корректоры	<i>Я.В. Минина</i> <i>Ю.В. Рудник</i> <i>Е.А. Паталахина</i>
Оригинал-макет	<i>А.Е. Гриниченко</i>
Выпускающий редактор	<i>Е.А. Коломиец-Кириллова</i>

Подписано в печать 29.05.2026.
Формат А4. Бумага офсетная Гарнитура Times New Roman.
Усл.-печ. л. 9,78. Тираж 22 экз. Изд. № 01594. Свободная цена.
Дата выхода в свет 14.08.2026

Издатель: ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»

Издательство ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля»
<https://izdat.daluniver.ru/>
E-mail: izdat.lguv.dal@gmail.com

Адрес издательства: 291034, ЛНР, г.о. Луганск, г. Луганск,
кв. Молодежный, 20,а.