



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал
Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси
(Journal of Civil Protection)
Том 8, № 3, 2024

Редакционная коллегия:

главный редактор:

Полевода

Иван Иванович

кандидат технических наук,
доцент

зам. главного редактора:

Гончаренко

Игорь Андреевич

доктор физико-математических наук,
профессор

Платонов

Александр Сергеевич

кандидат физико-математических
наук, доцент

Редакционный совет:

Ковтун Вадим Анатольевич, доктор технических наук, профессор – председатель; Богданова Валентина Владимировна, доктор химических наук, профессор – зам. председателя; Акулов Артем Юрьевич, кандидат технических наук (Россия); Байков Валентин Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Барановский Николай Викторович, кандидат физико-математических наук (Россия); Бирюк Виктор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент; Бордак Сергей Сергеевич, кандидат военных наук; Волочко Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор; Волянин Ежи, доктор технических наук, профессор (Польша); Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Каван Степан, доктор технических наук (Чехия); Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, доцент (Россия); Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Карпиленья Николай Васильевич, доктор военных наук, профессор; Кремень Маркс Аронович, доктор психологических наук, профессор; Кудряшов Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент; Кузьмицкий Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, доцент; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор; Мурзич Игорь Константинович, доктор военных наук, профессор; Пасовец Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент; Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Украина); Соколов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор (Россия); Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Тур Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор; Фурманов Игорь Александрович, доктор психологических наук, профессор; Чень Цзяньго, доктор технических наук, профессор (Китай); Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич, доктор технических наук (Казахстан).

Учредитель – Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»

Решением коллегии Высшей аттестационной комиссии № 18/8 от 9 декабря 2016 г.
журнал включен в перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 1835 от 19 сентября 2016 г.

Номер подготовлен совместно с учреждениями образования и науки Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Журнал включен в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по психологическим, техническим (по научным направлениям – безопасность в чрезвычайных ситуациях; пожарная и промышленная безопасность; гражданская оборона) и военным (по научному направлению – гражданская оборона) наукам.

С декабря 2023 г. журнал включен в российский перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, по 5 научным специальностям отрасли технических наук: 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, 2.10.1. Пожарная безопасность, 2.10.2. Экологическая безопасность, 2.10.3. Безопасность труда, 3.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Ответственность за подбор и точность приведенных данных, а также за использование сведений, не подлежащих открытой публикации, несут авторы опубликованных материалов.

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

Полная или частичная перепечатка, размножение, воспроизведение или иное использование опубликованных материалов допускаются с обязательной ссылкой на журнал «Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси».

Адрес редакции: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск

Контактные телефоны: +37517 340-53-93 (главный редактор)
+37517 341-32-99

Сайт Университета гражданской защиты: www.ucsp.by

Email редакции: vestnik@ucsp.by

ISSN 2519-237X (print)

ISSN 2708-017X (online)

СОДЕРЖАНИЕ

Пожаробезопасность и взрывозащита. Огнестойкость строительных материалов

Суриков А.В., Зайнудинова Н.В., Гараев Ю.В. Исследование изменения динамической твердости гипсовых плит, обусловленного тепловым воздействием пожара 253

Перевалов А.С., Пастухов К.В. Модель оценки эффективности тушения пожаров резервуаров нефтепродуктов..... 264

Аварийно-спасательная техника, оборудование и экипировка. Тренажерная техника

Камлюк А.Н. Количественное описание механизмов образования воздушно-механической пены низкой кратности для нужд пожаротушения..... 276

Материалы и вещества, применяемые в сфере предупреждения и ликвидации ЧС, производстве техники. Технологии их применения

Рева О.В., Говор Т.А. Получение оптимальных параметров скоростного электрохимического осаждения никелевых покрытий для деталей ПАСТ методом математического планирования эксперимента 289

Технологии и программное обеспечение в сфере предупреждения и ликвидации ЧС, промышленной и пожарной безопасности

Ильючик Е.А., Бугай А.Н. Совершенствование системы обеспечения радиационной безопасности органов пограничной службы Республики Беларусь..... 301

Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Экологическая безопасность

Байков В.И., Нахай Д.М., Миканович Д.С. Растекание капли неньютоновской вязкой жидкости по твердой горизонтальной поверхности 312

Басова Е.А., Ивахнюк Г.К., Королева Л.А., Семенов В.В. Особенности протекания крупных пожаров на объектах нефтегазового комплекса и методика снижения аварийной эмиссии CO₂ 325

Научное обеспечение гражданской защиты

Хроколов В.А. Развитие взглядов на применение сил гражданской обороны..... 337

Психологические аспекты предупреждения и ликвидации ЧС

Шейнов В.П., Карпиевич В.А. Детско-родительские отношения и формирование представления детей о безопасности в цифровом мире 353

Нормативно-правовое и методическое обеспечение деятельности МЧС

Кудряшов В.А., Панасик А.С., Коба С.С. Развитие методов обеспечения пожарной безопасности систем общеобменной вентиляции 367

Правила предоставления статей 381

CONTENTS

Fire safety and explosion protection of buildings and structures. Fire resistance of building materials

Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Garaev Yu.V. Research of changes in the dynamic hardness of gypsum boards under the influence of thermal effects of fire..... 253

Perevalov A.S., Pastukhov K.V. Model for assessing the efficiency of fire extinguishing reservoirs of oil products 264

Emergency rescue techniques, equipment and outfit. Training equipment

Kamlyuk A.N. Quantitative description of the mechanisms of formation of low multiplicity air-mechanical foam for firefighting needs 276

Materials and substances used for emergency prevention and elimination, as well as equipment production. Application technologies of these materials

Reva O.V., Govor T.A. Obtaining optimal parameters of high-speed electrochemical deposition of nickel coatings for parts of fire rescue equipment by the method of mathematical planning of the experiment..... 289

Technologies and software in the sphere of emergency prevention and elimination, industrial and fire safety

Il'yuchik E.A., Bugay A.N. Improvement of the system of ensuring radiation safety of the border service of the Republic of Belarus..... 301

Safety in emergencies. Ecological safety

Baykov V.I., Nakhay D.M., Mikanovich D.S. Spreading of a drop of non-Newtonian viscous liquid over a solid horizontal surface..... 312

Basova E.A., Ivakhnyuk G.K., Koroleva L.A., Semenov V.V. Particularities of the occurrence of large fires at oil and gas facilities and methods of reducing emergency CO₂ emissions 325

Scientific support of civil defense

Khrokolov V.A. Development of views on the use of civil defense forces..... 337

Psychological aspects of emergency prevention and elimination

Sheinov V.P., Karpievich V.A. Children-parent relations and formation of children's views about safety in the digital world..... 353

Legal and methodic support of the activity of the Ministry of Emergency Situations

Kudryashov V.A., Panasik A.S., Koba S.S. Development of methods of ensuring fire safety of general ventilation systems..... 367

Rules of submitting articles for publication..... 381

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТВЕРДОСТИ ГИПСОВЫХ ПЛИТ, ОБУСЛОВЛЕННОГО ТЕПЛОМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОЖАРА

Суриков А.В., Зайнудинова Н.В., Гараев Ю.В.

Цель. Определить изменение динамической твердости гипсовых плит, обусловленное воздействием высоких температур, для установления применимости динамического индентирования конструкций, выполненных из данного материала, для проведения оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений.

Методы. Натурные огневые испытания гипсовых плит. Динамическое индентирование.

Результаты. Подтверждена возможность оценки изменения динамической твердости гипсовых плит, обусловленного воздействием повышенной температуры во время пожара, с применением метода динамического индентирования. На основании проведенных огневых испытаний каркасно-обшивной перегородки, выполненной из гипсовой плиты типа Н на стальном каркасе, приведены результаты определения изменения динамической твердости гипсовой плиты указанного типа. Помимо максимальной температуры на поверхности гипсовой плиты, значительное влияние на изменение глубины вдавливания инденторов оказывает время нагрева. Установлено, что на различных участках поверхности материала при значениях максимальных (120–130 °С) и средних (104–115 °С) температур при отличающемся времени нагрева значение глубины вдавливания индентора отличается в 1,5–2,0 раза.

Область применения исследований. Полученные результаты исследований могут быть применены при разработке методики установления очага пожара по степени термических поражений конструкций, выполненных с использованием гипсовых плит.

Ключевые слова: осмотр места пожара, гипсовая плита, термическое повреждение, ударно-импульсный метод, очаг пожара.

(Поступила в редакцию 1 марта 2024 г.)

Введение

При осмотре места пожара для установления его очага лицом, производящим осмотр, осуществляется оценка термических повреждений строительных конструкций и материалов, проводимая, как правило, визуальным методом. В специальной литературе [1; 2] подробно рассмотрен метод определения очаговых признаков пожара на участке его возникновения, а также признаков направленности распространения горения. Указанный метод применяется в отношении конструкций и изделий, выполненных из неорганических строительных материалов, древесины и древесных композиционных материалов, металлоконструкций, обгоревших остатков полимерных материалов и лакокрасочных покрытий и т.д.

Визуальная оценка применима только в тех случаях, когда имеются очевидные поражения, обусловленные тепловым воздействием пожара (например, обугливание, прогары, деформация, расплавления и т.д.). В случае отсутствия явных визуальных признаков могут применяться специальные инструментальные методы. Однако следует отметить, что использование данных методов практикуется и в совокупности с визуальной оценкой. Например, при установлении очага пожара и направленности распространения горения путем оценки термических повреждений строительных конструкций, выполненных из древесины (оценка внешнего вида угля в совокупности с измерением глубины обугливания и электрического сопротивления углей) или бетона и железобетона (визуально определяемые участки осаждения сажи в совокупности с применением ультразвукового импульсного метода исследования бетонных и железобетонных конструкций).

Оценка полученных при пожаре термических повреждений визуальным методом характерна также для строительных конструкций, выполненных с применением гипсовых плит. Известно, что явные визуальные признаки (изменение цвета картона и его выгорание,

потеря целостности гипсовой плиты) формируются при достижении температуры на поверхности материала около 250–400 °С (в зависимости от типа материала – влагостойкого типа Н (далее – ГКЛВ) или с повышенной стойкостью гипсового сердечника при воздействии открытого пламени типа F (далее – ГКЛО)). Вместе с тем при относительно низких температурах (для ГКЛВ до 300 °С, а ГКЛО – до 400 °С) определить степень термического поражения плит визуально достаточно проблематично [3].

В работе [4] показана перспективность применения динамического индентирования для проведения оценки термического поражения конструкций, выполненных с применением гипсовых плит, что объясняется влиянием высоких температур на динамическую твердость материала. Непосредственно само динамическое индентирование представляет собой ударное внедрение индентора в испытуемый материал под действием однократного ударного импульса, создаваемого посредством специального разгонного устройства или силы тяжести.

Результаты представленных в работе [4] лабораторных исследований показали, что наиболее оптимальным для решения вышеуказанной задачи является применение инденторов цилиндрической формы с поперечным сечением 12,6 мм² при силе сжатия пружины разгонного устройства 130 Н.

В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований, проведенных в полевых условиях и направленных на определение применимости динамического индентирования гипсовых плит для установления степени их термического повреждения в условиях пожара.

Основная часть

Огневые испытания. Исследования проводились в помещении размерами 5,72×3,56×2,8 м, в котором три вертикальные ограждающие конструкции были выполнены из железобетона, а четвертая представляла собой каркасно-обшивную перегородку, выполненную из ГКЛВ на стальном каркасе, с проемом размером 2,1×0,86 м. ГКЛВ был прикреплен на каркас саморезами для гипсовых плит, шляпки которых были углублены в плиту на 4 мм. Шаг установки саморезов – 10–30 см. Швы на стыках плит усилены армирующей сеткой. Поверхность перегородки оштукатурена. Толщина штукатурки в местах с армирующей сеткой около 4 мм, толщина штукатурки ГКЛВ – 2 мм. Температура окружающей среды на начало испытания составила 18 °С.

Исследования состояли из двух опытов. В первом опыте (предварительном эксперименте) определялись зоны, подвергаемые меньшему тепловому воздействию от модельного очага пожара, с целью установления мест размещения термоэлектрических преобразователей (далее – ТП).

Во втором опыте измерение температуры на поверхности перегородки осуществлялось с применением ТП.

Схема помещения и размещения модельных очагов приведена на рисунке 1. В качестве пожарной нагрузки использовались бумага и древесина. Интервал времени от начала воспламенения до тушения модельного очага составлял 20 мин.

Внешний вид гипсовой перегородки после проведения первого опыта приведен на рисунке 2а. На изображении отчетливо видна сформированная воздействием пламени следовая картина термических поражений гипсовой плиты в форме перевернутого конуса. Подобные следы характерны для начальной стадии пожара либо являются проявлением относительно коротких пожаров и формируются при достаточно низком тепловыделении¹. Следы, сформированные на поверхности перегородки (над модельным очагом по вертикали в углу помещения) и обусловленные контактом с ней конвективного потока, представляют собой зону с осажженной сажей без явных механических повреждений штукатурки и гипсовой плиты. Указанная зона имеет колоннообразную (столбчатую) форму.

¹ NFPA 921-2017. Guide for Fire and Explosion Investigations. – 425 p. – Par. 6.3.7.2.1

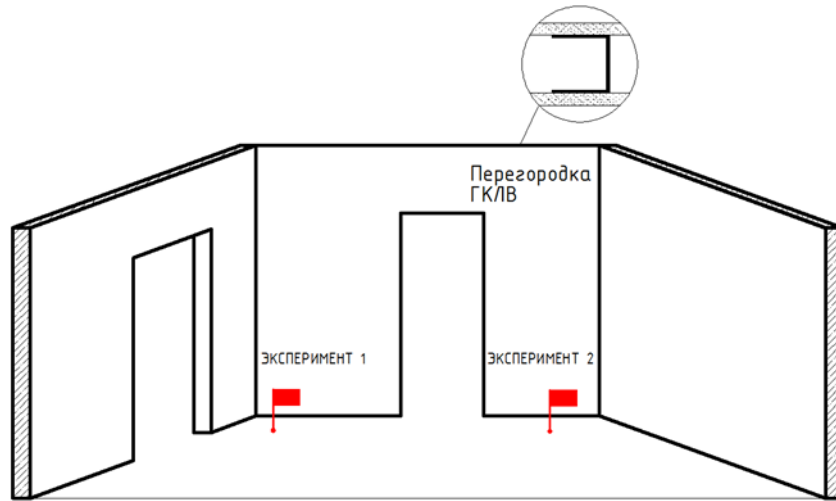


Рисунок 1. – Схема помещения и размещения модельных очагов

Поверхность плиты имеет несколько зон термических повреждений, которые можно дифференцировать следующим образом:

- зона 1 – зона без явных повреждений поверхности перегородки; на части поверхности, находящейся ближе к углу, образованному смежной стеной и перегородкой, имеются отложения сажи; на определенных областях поверхности, покрытой сажей, имеются светлые пятна, образованные в результате применения воды для тушения модельного очага пожара;
- зона 2 – зона с отслоившейся и разрушенной штукатуркой; поверхность облицовочного картона имеет темный (близкий к черному) цвет;
- зона 3 – зона с отслоившейся и разрушенной штукатуркой; поверхность облицовочного картона вспучена, имеются ее расслоения;
- зона 4 – зона с отслоившейся и разрушенной штукатуркой; облицовочный картон сгорел; поверхность гипсового сердечника имеет светло-серый цвет.

Распределение зон термических повреждений поверхности перегородки приведено на рисунке 2б.



а – термические повреждения ГКЛВ
(на фото справа)







б – распределение зон с различными термическими повреждениями ГКЛВ

Рисунок 2. – Внешний вид гипсовой перегородки после первого испытания

На основании работы [5] зоны термического поражения перегородки были соотнесены с известными индикаторами визуальной оценки повреждений гипсовых плит, полученных в результате воздействия высоких температур, и примерной температурой на ее поверхности согласно работе [3]. Полученные результаты приведены в таблице 1 (в таблице: ИВОП – индикатор визуальной оценки повреждений гипсовых плит, полученных в результате воздействия высоких температур, отн. ед.; $T_{\text{прим.}}$ – примерная температура на поверхности перегородки).

Таблица 1. – Соотношение термических повреждений гипсовой перегородки и примерных температур на ее поверхности (с индикатора визуальной оценки повреждений гипсовых плит)

Внешний вид отдельных зон гипсовой перегородки после первого опыта огневых испытаний	
 <p>Зона 1: ИВОП – 1; $T_{\text{прим.}}$ до 200 °С</p>	 <p>Зона 2: ИВОП – 2; $T_{\text{прим.}}$ = 200–300 °С</p>
 <p>Зона 3: ИВОП – 3; $T_{\text{прим.}}$ = 300–400 °С</p>	 <p>Зона 4: ИВОП – 4; $T_{\text{прим.}}$ = 400–500 °С</p>

Примечание. ИВОП:

1. Сажа оседает на поверхности: определенные области обесцвечиваются, но поверхность картона не повреждена.
2. Изменение цвета картона и выгорание органических компонентов краски: эти места поверхности обесцвечиваются в результате термического воздействия; картон может стать бурым, светло- или темно-черным (в зависимости от изначального цвета краски).
3. Картон отклеивается, пузырится и расслаивается: тепловое воздействие передалось за лицевую сторону картона.
4. Лицевая сторона картона сгорела: эти места, как правило, серого или белого цвета [5].

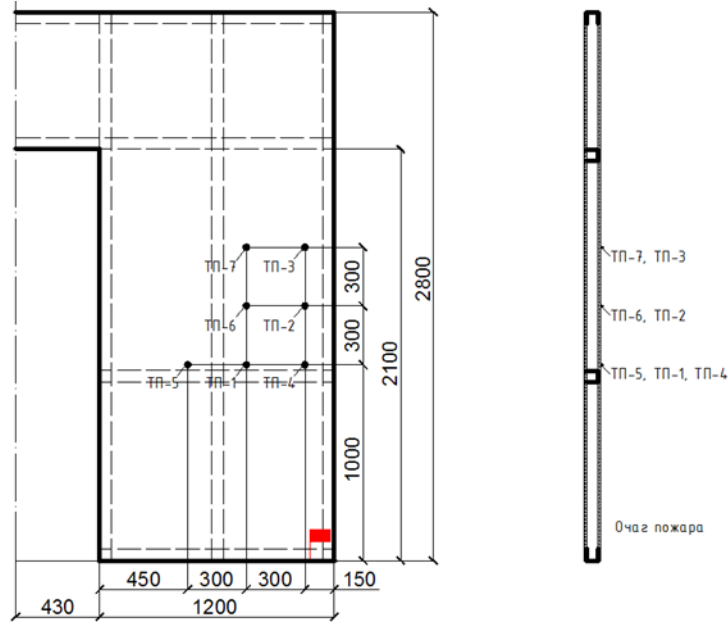
Дальнейшие исследования проводились исходя из необходимости определения степени термических повреждений ГКЛВ, которые не могут быть выявлены визуально, т.е. для случаев, когда поверхность гипсовой плиты не имеет явных идентификационных признаков, таких как изменение цвета либо выгорание облицовочного картона и т.д.

С учетом геометрии зон термических поражений, полученных в результате проведения первого опыта экспериментальных исследований, были определены точки установки ТП для проведения второго опыта. Схема размещения преобразователей приведена на рисунке 3.

Условия горения модельного очага пожара (количество пожарной нагрузки, время горения и т.д.) при проведении второго опыта были аналогичны условиям проведения предварительного эксперимента (рис. 4а). Полученная следовая картина (рис. 4б) термических поражений гипсовой перегородки в результате проведения второго опыта в целом совпадает

с результатами, полученными в первом опыте. Как и на предварительной стадии, на поверхности ГКЛВ имеется четко выраженный перевернутый конус, а по вертикали угла помещения наблюдается осаждение сажи, имеющее столбчатую форму.

На рисунке 4б видно, что в местах размещения ТП видимых термических повреждений нет, кроме осажденной сажи в местах размещения ТП-2, ТП-3 и ТП-4.



ТП-1–ТП-7 – преобразователи термоэлектрические для очага пожара 2; ■ – очаг пожара
Рисунок 3. – Схема расположения термоэлектрических преобразователей



а – горение модельного очага пожара



б – внешний вид конструкций после тушения модельного очага пожара

Рисунок 4. – Второй опыт проведенных экспериментальных исследований

Полученные в ходе проведения эксперимента температурные зависимости от времени горения модельного очага пожара на поверхности гипсовой перегородки приведены на рисунке 5. Поскольку температура в заданной точке измерялась одним ТП (измерение прямое:

преобразование электрических сигналов, полученных измерителем-регулятором от ТП, осуществлялось автоматически), оценка случайной погрешности не проводилась, а граница погрешности результата измерений температуры принята равной границе неисключенной систематической погрешности. Неисключенная систематическая погрешность определялась погрешностями используемого оборудования, а именно ТП (погрешность измерения $\pm 1,1$ °С при диапазоне измерения $-40...+275$ °С) и измерителя-регулятора (погрешность измерения 0,5 % при диапазоне измерения $-200...+1300$ °С), по ГОСТ 8.207-76². Результат измерения температуры с учетом погрешности измерения примет вид: $T = (195,0 \pm 1,6)$ °С, $p = 95$ %.

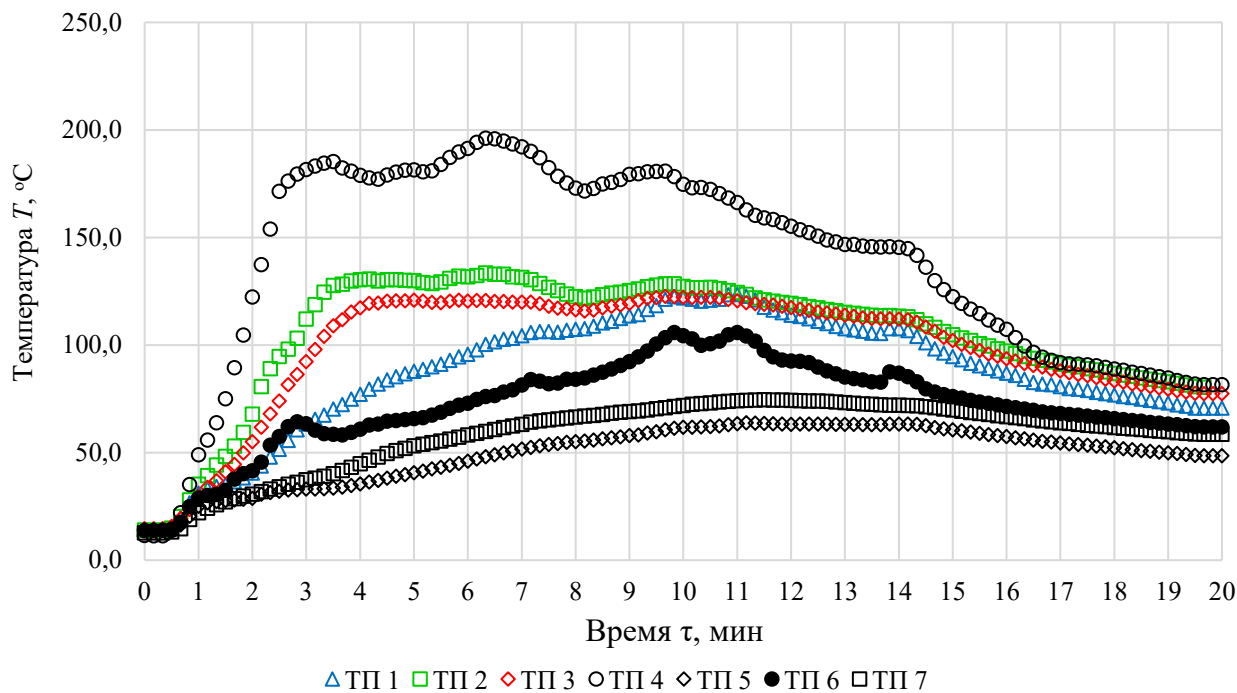


Рисунок 5. – Зависимости температуры на поверхности гипсовой перегородки от времени горения модельного очага пожара (очаг 2)

Наиболее интенсивный нагрев поверхности перегородки наблюдался в точках размещения ТП-2, ТП-3 и ТП-4, что объясняется движением конвективной колонки вдоль угла помещения, образованного гипсовой перегородкой и смежной стеной.

В точке размещения ТП-4 на 3 мин температура на поверхности достигла значения около 180 °С, затем фиксировалась относительная ее стабилизация вплоть до 10 мин с незначительным по времени (около двух минут) пиком, при котором температура поднималась до значения около 195 °С. Подобный характер распределения температур наблюдался и в точках размещения ТП-2 и ТП-3: в точке размещения ТП-2 на третьей с половиной минуте температура составила около 130 °С, а в точке размещения ТП-3 – около 120 °С на четвертой минуте горения модельного очага пожара.

Максимальные температуры в 123 и 106 °С, зафиксированные соответственно ТП-1 и ТП-6, достигли своих значений на 10-й мин горения. В точках размещения ТП-5 и ТП-7 температура не поднималась выше 75 °С, что ниже температуры начала реакции термического разложения гипса.

Во всех точках измерения после 10–14 мин (в зависимости от расположения ТП относительно угла помещения и высоты их установки) наблюдалось снижение температуры на поверхности перегородки, что объясняется выгоранием пожарной нагрузки.

² Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений: ГОСТ 8.207-76. – Введ. 01.01.77. – М.: Пост. Гос. ком. стандартов Сов. Мин. СССР, 1976. – 8 с.

Исследование изменения динамической твердости ГКЛВ, обусловленной тепловым воздействием модельного очага пожара. Исследование проводилось с применением метода динамического индентирования. Глубина вдавливания индентора h измерялась на участках поверхности гипсовой перегородки, на которых не было выявлено явных визуальных признаков термических повреждений, а также с учетом распределения температуры ее поверхности: по вертикали – начиная с высоты 1 м от уровня пола до высоты 1,6 м (высота размещения верхнего ряда ТП), по горизонтали – от угла помещения до ряда размещения ТП-1, ТП-6, ТП-7. На участке размещения ТП-5 измерения h не производились по причине низкого нагрева поверхности при горении модельного очага (максимальная температура не превышала 64 °С).

Индентирование производилось с использованием стального цилиндрического индентора с поперечным сечением 12,6 мм², а также разгонного устройства, примененного в работе [6], при силе сжатия пружины 130 Н. Измерения глубины вдавливания проводились цифровым глубиномером с диапазоном измерений от 0 до 25,00 мм, ценой деления и погрешностью 0,01 мм.

Поверхность гипсовой перегородки была разделена на сетку с размером ячеек 0,05×0,05 м и отступом от угла помещения на 0,15 м. Таким образом были определены 104 контрольные точки для измерения. В каждой контрольной точке производилось по 5 измерений, при этом расстояние между центрами двух соседних отпечатков составляло не менее трех их диаметров. При проведении индентирования разгонное устройство плотно прижималось к поверхности перегородки, а усилие прикладывалось строго перпендикулярно.

Полученные средние значение h приведены в таблице 2. Погрешность измерений определялась согласно ГОСТ 8.207. В столбцах таблицы указаны результаты, полученные в точках по степени их приближения к углу помещения (столбец 1 – наиболее дальняя от угла контрольная точка, размещенная на расстоянии 0,5 м, столбец 8 – наиболее ближняя точка на расстоянии 0,15 м). Значения глубины вдавливания индентора в точках размещения ТП выделены курсивом.

Для простоты восприятия интервалы значений h обозначены различными цветами (красный при $h \geq 4,0$ мм; оранжевый при $4,0 \text{ мм} > h \geq 3,0$ мм; желтый при $3,0 \text{ мм} > h \geq 2,5$ мм; зеленый при $2,5 \text{ мм} > h \geq 2,0$ мм; синий при $h < 2,0$ мм).

Таблица 2. – Средние значения глубины вдавливания индентора

Высота контрольной точки измерения от пола помещения, м	Глубина вдавливания индентора h , мм							
	Точка измерения по горизонтали (интервал между точками 0,05 м)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1,60	2 ± 0,2	2,1 ± 0,2⁷	1,8 ± 0,1	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0	2,1 ± 0,1	2,5 ± 0,5	3,2 ± 0,5³
1,55	1,9 ± 0,1	2 ± 0,2	1,7 ± 0,3	1,8 ± 0	2 ± 0,2	2,3 ± 0,2	2,7 ± 0,1	3,2 ± 0,3
1,50	2 ± 0,2	1,9 ± 0,2	2 ± 0,2	1,7 ± 0,3	1,9 ± 0,2	2,2 ± 0	2,6 ± 0,1	3,1 ± 0,1
1,45	1,7 ± 0,3	1,8 ± 0,2	1,8 ± 0	1,7 ± 0,2	2 ± 0,3	2,5 ± 0,1	2,8 ± 0,2	3,3 ± 0,3
1,40	1,9 ± 0,2	1,8 ± 0,1	1,7 ± 0	1,7 ± 0,1	2,1 ± 0,1	2,5 ± 0,1	2,8 ± 0,1	3,5 ± 0,1
1,35	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1	1,8 ± 0,2	2,1 ± 0,3	2,6 ± 0	3,1 ± 0,1	3,5 ± 0,3
1,30	1,9 ± 0,3	1,8 ± 0,1⁶	1,7 ± 0,2	2 ± 0,2	2,3 ± 0,1	2,6 ± 0,3	3,3 ± 0,1	3,6 ± 0,3²
1,25	1,6 ± 0,1	1,7 ± 0,1	2,1 ± 0	2,1 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,2 ± 0,1	3,8 ± 0,2	4 ± 0,4
1,20	1,9 ± 0,1	1,8 ± 0	1,7 ± 0,1	2,1 ± 0,2	2,7 ± 0,1	3,4 ± 0,2	4 ± 0,3	4,4 ± 0,2
1,15	1,7 ± 0	1,8 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,4 ± 0,2	3 ± 0,2	3,3 ± 0,1	3,9 ± 0,2	4,3 ± 0,4
1,10	1,7 ± 0,1	1,4 ± 0,2	1,7 ± 0,1	2,3 ± 0	2,9 ± 0,1	3,5 ± 0,1	4 ± 0,1	4,3 ± 0,2
1,05	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,2	1,6 ± 0,2	2,4 ± 0,2	3,3 ± 0,2	4,2 ± 0,3	4,2 ± 0,1	4,3 ± 0,3
1,00	1,7 ± 0,1	1,8 ± 0,2¹	2,3 ± 0,2	2,9 ± 0	3,6 ± 0,1	4,2 ± 0,1	4,7 ± 0,1	4,4 ± 0,2⁴

Примечание: 1 – точка размещения ТП-1; 2 – точка размещения ТП-2; ...; 7 – точка размещения ТП-7.

Обсуждение результатов. По приведенным данным в таблице 2 видно, что глубина вдавливания индентора увеличивается по мере приближения контрольной точки измерения к углу помещения. При этом максимальные значения h получены на участках перегородки,

находившихся в зонах наибольшего нагрева ГКЛВ. В порядке возрастания это участки размещения ТП-3, ТП-2, ТП-4. В сравнении с менее нагретыми участками глубина вдавливания индентора на указанных участках имеет значение, превышающее значение h в точках размещения ТП-1, ТП-6, ТП-7 в 1,5–2,5 раза.

Исходя из анализа распределения температур на поверхности ГКЛВ (рис. 5) и полученных значений h , следует отметить, что на изменение динамической твердости гипсовой плиты влияет временной фактор. В частности, это отчетливо видно при сравнении значений температур и времени нагрева, полученных в точках ТП-1, ТП-2 и ТП-3, и значений h . При относительно сопоставимых значениях максимальных температур на поверхности участков (ТП-1 – 123 °С, ТП-2 – 133 °С и ТП-3 – 123 °С) разница в глубине вдавливания индентора значительна (1,5–2,0 раза). Это объясняется именно временем нагрева участков. Если в точках ТП-2 и ТП-3 температура на поверхности перегородки во время горения модельного очага пожара достигла значения температуры начала реакции химического разложения гипса уже примерно через 2–2,5 мин и превышала указанное значение вплоть до 19-й мин испытания, то в точке ТП-1 она была зафиксирована на 4,5-й мин, а по окончании 16-й мин ее значение опустилось ниже температуры дегидратации гипса. При этом средняя температура нагрева участков ТП-2 и ТП-3 была несколько выше, чем в точке размещения ТП-1. Так, в указанных временных интервалах в точке ТП-2 средняя температура составила около 115 °С, в точке ТП-3 – 109 °С. В то же время в точке размещения ТП-1 значение средней температуры составило около 104 °С. Описанные результаты совпадают с результатами, полученными авторами настоящей статьи, в работе [4].

В целом отметим, что наблюдаемая следовая картина, интерпретируемая по данным таблицы 2, коррелирует со следовой картиной, полученной при анализе визуально определяемых признаков термических повреждений гипсовой перегородки (рис. 2б), и представляет собой не что иное, как перевернутый конус, что соответствует условиям проведенных огневых испытаний. Следовательно, можно констатировать, что для случаев, когда конструкции, выполненные с применением гипсовых плит, не имеют явно выраженных визуальных признаков воздействия высоких температур, исследование изменения динамической твердости материала с применением метода динамического индентирования дает возможность проведения оценки их термических повреждений.

Заключение

Проведенные исследования подтвердили полученные ранее в лабораторных условиях выводы, что изменение динамической твердости гипсовых плит, обусловленное воздействием повышенной температуры во время пожара, может быть оценено с применением метода динамического индентирования.

Представленные результаты свидетельствуют, что помимо максимальной температуры на поверхности гипсовой плиты, значительное влияние на изменение глубины вдавливания инденторов оказывает время нагрева. В частности, при значениях максимальных (120–130 °С) и средних (104–115 °С) температур на различных участках поверхности материала разница в глубине вдавливания индентора составила 1,5–2,0 раза, что обусловлено именно временным фактором (нагрев до температур, превышающих значение начала реакции химического разложения гипса, на участках, где были получены большие значения, продолжался около 17 мин, тогда как на участках с меньшей глубиной – около 11,5 мин).

Полученные результаты наиболее актуальны для случаев, когда конструкции, выполненные с применением гипсовых плит, не имеют явно выраженных визуальных признаков воздействия высоких температур. Соответственно, исследование изменения динамической твердости материала дает возможность проведения оценки их термических повреждений.

Полученные результаты являются предпосылкой для разработки методики оценки термических повреждений рассматриваемых в настоящей статье строительных конструкций при осмотре места пожара, что позволит расширить спектр инструментария, применяемого

соответствующими должностными лицами при проведении оценки признаков очага пожара и его распространения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мегорский, Б.В. Методика установления причин пожаров / Б.В. Мегорский. – М.: Стройиздат, 1966. – 347 с.
2. Чешко, И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие / И.Д. Чешко. – М.: ВНИИПО, 2002. – 330 с.
3. Суриков, А.В. Перспективные методы оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением гипсовых плит / А.В. Суриков, Н.В. Зайнудинова, В.П. Бойко // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 4. – С. 400–414. – DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.400. – EDN: ZYWQWU.
4. Суриков, А.В. Оценка возможности применения динамического индентирования гипсовых плит для установления степени полученных в условиях пожара термических поражений конструкций / А.В. Суриков [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2023. – Т. 7, № 2. – С. 164–177. – DOI: 0.33408/2519-237X.2023.7-2.164. – EDN: KWSHQS.
5. Gorbett, G.E. A new method for the characterization of the degree of fire damage to gypsum wallboard for use in fire investigations / G.E. Gorbett [et al.] // Journal of Forensic Sciences. – 2015. – Vol. 60, Iss. s1. – P. 193–196. – DOI: 10.1111/1556-4029.12616.
6. Волосач, А.В. Результаты экспериментальных исследований поверхностной твердости ячеистых бетонов, подвергшихся температурному воздействию, инденторами с углами раствора конуса 20–55° / А.В. Волосач, О.Г. Горовых // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 13–22. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.13. – EDN: YZVGBF.

**Исследование изменения динамической твердости гипсовых плит,
обусловленного тепловым воздействием пожара**

**Research of changes in the dynamic hardness of gypsum boards
under the influence of thermal effects of fire**

Суриков Андрей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра организации
надзорной и профилактической деятельности,
начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: shurikoff@bk.ru

SPIN-код: 1163-6294

Andrey V. Surikov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Organization of Supervisory
and Preventive Activities,
Head of the Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: shurikoff@bk.ru

ORCID: 0000-0002-3659-7297

Зайнудинова Наталья Владимировна

кандидат технических наук
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
промышленной безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: Zainudzinava@gmail.com

SPIN-код: 3032-4413

Natal'ya V. Zaynudinova

PhD in Technical Sciences
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Industrial Safety,
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: Zainudzinava@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1848-1562

Гараев Юрий Владимирович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», оперативно-
аналитический отдел, старший инспектор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: y.garaev@icloud.com

SPIN-код: 8162-6836

Yuriy V. Garaev

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Operational and Analytical Department,
Senior Inspector

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: y.garaev@icloud.com

ORCID: 0000-0002-4980-2712

RESEARCH OF CHANGES IN THE DYNAMIC HARDNESS OF GYPSUM BOARDS UNDER THE INFLUENCE OF THERMAL EFFECTS OF FIRE

Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Garaev Yu.V.

Purpose. To determine the change in the dynamic hardness of gypsum boards caused by exposure to high temperatures in order to establish the applicability of dynamic indentation of structures made from this material to assess the degree of thermal damage received in fire conditions.

Methods. Full-scale fire tests of gypsum boards. Dynamic indentation.

Findings. The possibility of assessing changes in the dynamic hardness of gypsum boards caused by exposure to elevated temperatures during a fire using the dynamic indentation method has been confirmed. Based on the fire tests of a frame-sheathing partition using a gypsum board of type H on a steel frame, the results of determining the change in the dynamic hardness of a gypsum board of the specified type are presented. In addition to the maximum temperature on the surface of the gypsum board, the heating time has a significant influence on the change in the indentation depth of the indenters. It was established that in different areas of the material surface at values of maximum (120–130 °C) and average (104–115 °C) temperatures and different heating times, the value of the indentation depth of the indenter differs by 1.5–2.0 times.

Application field of research. The obtained research results can be applied in the development a method for identifying the source of a fire based on the degree of thermal damage to structures made using gypsum boards.

Keywords: inspection of the fire site, gypsum board, thermal damage, shock-pulse method, seat of fire.

(The date of submitting: March 1, 2024)

REFERENCES

1. Megorskiy B.V. *Metodika ustanovleniya prichin pozharov* [Methodology for identifying the causes of fires]. Moscow: Stroyizdat, 1966. 347 p. (rus).
2. Cheshko I.D. *Tekhnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov* [Technical basics of fire investigation]: tutorial. Moscow: VNIPO, 2002. 330 p. (rus).
3. Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Boyko V.P. Perspektivnye metody otsenki stepeni poluchennykh v usloviyakh pozhara termicheskikh povrezhdeniy konstruksiy, vpolnennykh s primeneniem gipsovykh plit [Promising methods for assessing the degree of thermal damage obtained under fire conditions made with the application of gypsum boards]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol.6, No. 4. Pp. 400–414. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.400. EDN: ZYWQWU.
4. Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Boyko V.P., Garaev Yu.V. Otsenka vozmozhnosti primeneniya dinamicheskogo indentirovaniya gipsovykh plit dlya ustanovleniya stepeni poluchennykh v usloviyakh pozhara termicheskikh porazheniy konstruksiy [Evaluation of the possibility of using dynamic indentation of gypsum boards to determine the degree of thermal damage to structures received under fire conditions]. *Journal of Civil Protection*, 2023. Vol.7, No. 2. Pp. 164–177. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2023.7-2.164. EDN: KWSHQ5.
5. Gorbett G.E., Morris S.M., Meacham B.J., Wood C.B. A new method for the characterization of the degree of fire damage to gypsum wallboard for use in fire investigations. *Journal of Forensic Sciences*, 2015. Vol. 60, Iss. s1. Pp. 193–196. DOI: 10.1111/1556-4029.12616.
6. Volosach A.V., Gorovykh O.G. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy poverkhnostnoy tverdosti yacheistykh betonov, podvergshikhsya temperaturnomu vozdeystviyu, indentorami s uglami rastvora konusa 20–55° [Results of experimental researches of surface hardness of cellular concretes exposed to temperature by indentors having 20–55° angles of cone opening]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 1. Pp. 13–22. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.13. EDN: YZVGBF.

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ РЕЗЕРВУАРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Перевалов А.С., Пастухов К.В.

Цель. Разработка модели оценки эффективности тушения пожаров резервуаров хранения нефтепродуктов; обоснование перспективных способов тушения пожаров резервуаров вертикальных стальных (далее – РВС).

Методы. Обоснование перспективных способов тушения пожаров в резервуарных парках хранения нефтепродуктов проведено методом анализа иерархий.

Результаты. Представлен канонический показатель эффективности, включающий в себя ресурсоемкость, надежность, безопасность и оперативность с последующей их декомпозицией в иерархической форме. Имеющиеся субъективные суждения экспертов позволяют не только выделить одно приоритетное направление совершенствования способов тушения пожаров в РВС, но и определить весовые коэффициенты показателей эффективности. Совершенствование способов создания изолирующего слоя над поверхностью горения, а также разработка новых и перспективных приемов прекращения горения для различных сценариев развития ЧС в резервуарах хранения нефтепродуктов является приоритетным направлением повышения пожарной безопасности при возникновении пожара в РВС.

Область применения исследований. Результаты исследований позволяют не только выделить приоритетное направление повышения пожарной безопасности при возникновении пожара на РВС, в частности, совершенствование способов создания изолирующего слоя над поверхностью горения, но и смоделировать показатель эффективности автоматических установок пожаротушения резервуарного парка.

Ключевые слова: эффективность, метод анализа иерархий, ресурсоемкость, надежность, безопасность, оперативность.

(Поступила в редакцию 24 мая 2024 г.)

Введение

Основными направлениями повышения безопасности при пожаре резервуарных парков хранения нефтепродуктов являются совершенствование и развитие автоматических установок пожаротушения (далее – АУПТ) [1–3], а также разработка новых и обоснование перспективных приемов ликвидации пожаров в резервуарах [4–8]. В работе рассмотрены оценка и совершенствование способов:

- подачи огнетушащих веществ на поверхность горячей жидкости (A_1);
- подачи огнетушащего вещества в слой горячей жидкости (A_2);
- создания изолирующего слоя над поверхностью горения (A_3).

Основная часть

Основной задачей, подлежащей решению в данной работе, является разработка модели оценки эффективности мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности резервуаров и выбор целесообразного направления тушения РВС.

В соответствии с основными положениями теории эффективности, рассматриваемой в работах [9–11], принимаем W , определяемую четырьмя компонентами:

$$W = W(R, N, B, T), \quad (1)$$

где R – ресурсоемкость;

N – надежность;

B – безопасность;

T – оперативность.

Расход ресурсов связан с затратами на разработку направления R_1 , производство его технических средств R_2 и их эксплуатацию R_3 :

$$R = \{R_1, R_2, R_3\}. \quad (2)$$

Компонент надежности, рассматриваемый в работе [12] и ГОСТ 27.002-2015¹, свяжем в нашем случае со свойствами безотказности N_1 , долговечности N_2 , сохраняемости N_3 и ремонтпригодности N_4 :

$$R = \{N_1, N_2, N_3, N_4\}. \quad (3)$$

Часто элемент безопасности рассматривается одним из свойств надежности² [13]. Однако в рамках оценки эффективности рассматриваемых способов тушения резервуаров вертикальных стальных (РВС) данный компонент следует рассматривать отдельно. Безопасность будем характеризовать социальным и индивидуальным риском B_1 , экологическим B_2 и технико-экономическим риском B_3 :

$$B = \{B_1, B_2, B_3\}. \quad (4)$$

Оперативность, в свою очередь, связана со временем достижения требуемого результата:

$$T = \{\tau_{\text{п}}, \tau_{\text{л}}\}. \quad (5)$$

где $\tau_{\text{п}}$ – время подачи огнетушащего вещества в очаг горения (от момента срабатывания АУПТ);

$\tau_{\text{л}}$ – время ликвидации горения.

Многокритериальное ранжирование направлений повышения пожарной безопасности РВС представим в иерархической форме (рис. 1).

Выделенные подкритерии позволят обосновать необходимость совершенствования и оценки одного из трех направлений. Для решения проблемы сложно формализуемой задачи принятия решений воспользуемся методом анализа иерархий (МАИ), сочетающим в себе математический инструмент системного подхода и субъективные суждения экспертов [14; 15]. Установление относительной важности элементов представленной иерархии друг к другу определим с применением шкалы отношений (табл. 1), в полной мере отражающей предпочтения экспертов. В качестве экспертов привлекались специалисты данного направления, сотрудники ПАО «Газпром нефть», «Лукойл».

Таблица 1. Шкала отношений

Значение	Определение	Примечание
9	Абсолютное превосходство	Очевидно превосходство одного рассматриваемого компонента над другим
7	Значительное превосходство	
5	Сильное или существенное превосходство	
3	Незначительное превосходство	
1	Одинаковая важность	Равный вклад компонентов в результат
0	Компоненты не сравнимы	Эксперт затрудняется в возможности сравнения
2, 4, 6, 8	Промежуточное значение	Компромиссный случай

¹ Надежность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-2015. – Введ. 01.03.17. – М.: Стандартинформ, 2016. – 24 с.

² Безопасность [Электронный ресурс] // Толковый словарь Ожегова. – Режим доступа: <https://slovarozhegova.ru/word.php?wordid=1346>. – Дата доступа: 20.05.2024.

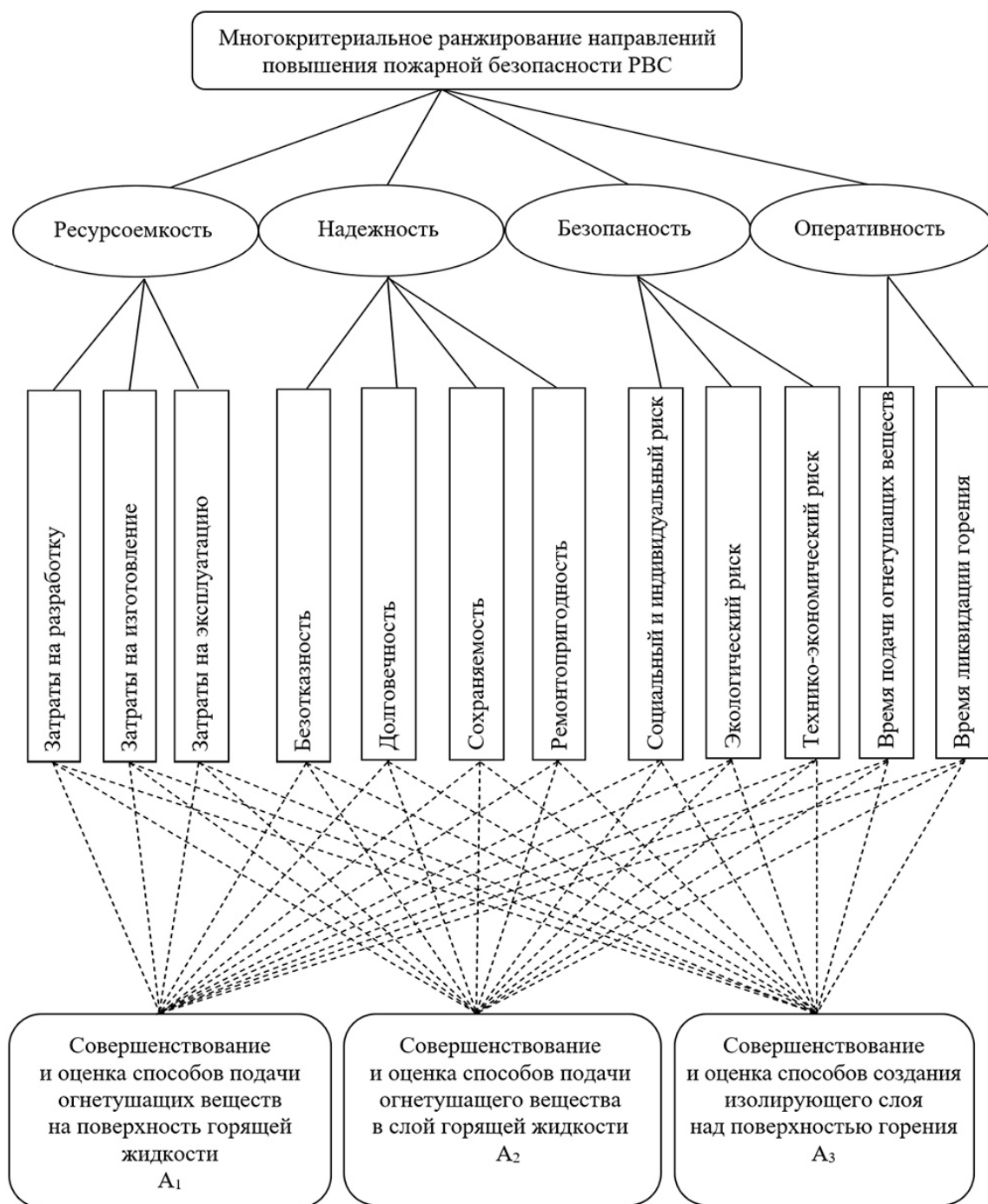


Рисунок 1. Иерархическая модель эффективности тушения РВС

Элементы матриц для каждого уровня заполнялись в соответствии со средневзвешенными решениями субъективных суждений. В таблице 2 представлена иллюстрация декомпозиции сравнительных суждений парных сравнений для третьего уровня.

Анализ данного уровня сравнений показывает, что элементы оперативности и надежности при выборе приоритетного направления воспринимаются наиболее значимыми. Компоненты безопасности и ресурсоемкости, в свою очередь, не подтверждают большую важность.

Для следующего уровня суждений (табл. 3) были составлены двенадцать матриц размером 3×3 по каждому подкритерию. Проведено парное сравнение трех элементов четвертого уровня в отношении подкритериев третьего. Для данного уровня сравнений суждения экспертов часто не были столь категоричными.

Таблица 2. Матрица сравнительных суждений парных сравнений для третьего уровня иерархии

	Затраты на разработку	Затраты на изготовление	Затраты на эксплуатацию	Безотказность	Долговечность	Сохраняемость	Ремонтопригодность	Социальный и индивидуальный риск	Экологический риск	Технико-экономический риск	Время подачи огнетушащих веществ	Время ликвидации горения	Произведение элементов строки $q_i = a_{i1}a_{i2}...a_{in}$, $n = 12$	Вес критерия (корень 12 степени произведения q_i)	Нормализованная оценка вектора приоритетов
	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	a_{i4}	a_{i5}	a_{i6}	a_{i7}	a_{i8}	a_{i9}	a_{i10}	a_{i11}	a_{i12}	q_i	$Q_i = \sqrt[12]{q_i}$	$q_i^n = Q_i / S$
Затраты на разработку	1	1/3	1/5	1/6	1/7	1/6	1/3	1/3	1/4	1/6	1/9	1/9	2E-08	0,2230	0,0119
Затраты на изготовление	3	1	1/4	1/5	1/6	1/5	3	1/3	1/4	1/5	1/8	1/8	4E-06	0,3543	0,0189
Затраты на эксплуатацию	5	4	1	1/4	1/4	1/4	4	4	4	1/3	1/6	1/6	0,1852	0,8689	0,0463
Безотказность	6	5	4	1	1/2	3	6	5	4	4	1/3	1/4	7200	2,0963	0,1116
Долговечность	7	6	4	2	1	3	7	5	4	4	1/3	1/3	62720	2,5106	0,1337
Сохраняемость	6	5	4	1/3	1/3	1	5	5	4	3	1/4	1/5	200	1,5551	0,0828
Ремонтопригодность	3	1/3	1/4	1/6	1/7	1/5	1	1/3	1/4	1/5	1/9	1/9	2E-07	0,2812	0,0150
Социальный и индивидуальный риск	3	3	1/4	1/5	1/5	1/5	3	1	1/3	1/4	1/7	1/7	9E-05	0,4609	0,0245
Экологический риск	4	4	1/4	1/4	1/4	1/4	4	3	1	1/4	1/5	1/6	0,0063	0,6551	0,0349
Технико-экономический риск	6	5	3	1/4	1/4	1/3	5	4	4	1	1/5	1/6	5	1,1435	0,0609
Время подачи огнетушащих веществ	9	8	6	3	3	4	9	7	5	5	1	1/3	8E+06	3,7670	0,2006
Время ликвидации горения	9	8	6	4	3	5	9	7	6	6	3	1	2E+08	4,8663	0,2591
$s_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$	62	49,67	29,2	11,817	9,2357	17,6	56,333	42	33,083	24,4	5,9734	3,1067	$S = \sum_{i=1}^n Q_i = 18,782$		

Максимальное собственное значение матрицы $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n s_i q_i^n = 13,551$; индекс согласованности $ИС = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = 0,141$; отношение согласованности $ОС = ИС / СИ = 0,0953$; где $СИ = 1,48$ – среднее значение случайного индекса (СИ) для матриц порядка $n = 12$ [14, с. 25].

Рассматривая векторы приоритетов, необходимо отметить, что совершенствование третьего направления (создание изолирующего слоя над поверхностью горения) оказалось предпочтительным по следующим подкритериям: затраты на разработку, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность, социальный и индивидуальный риск, экологический риск, время ликвидации горения. Для данных элементов совершенствование АУПТ внесет больший вклад в повышение пожарной безопасности РВС.

Заключительный этап МАИ способствует выбору приоритетного направления повышения пожарной безопасности РВС. Сумма перемноженных векторов приоритета третьего уровня на соответствующий вектор четвертого и будет определять глобальный приоритет каждого направления (табл. 4).

Таблица 3. Матрица сравнительных суждений парных сравнений для четвертого уровня

	Направление A ₁	Направление A ₂	Направление A ₃	Произведение элементов строки	Вес кри- терия	Нормализованная оценка вектора приоритетов
	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	p _i = a ₁₁ a ₁₂ a ₁₃	Q _i = $\sqrt[3]{q_i}$	q _i ⁿ = Q _i / S
Затраты на разработку						
A ₁	1	1/7	1/9	0,01587	0,25132	0,05101
A ₂	7	1	1/5	1,4	1,11869	0,22706
A ₃	9	5	1	45	3,55689	0,72193
Затраты на изготовление						
A ₁	1	1/5	1/3	0,06667	0,40548	0,10473
A ₂	5	1	3	15	2,46621	0,63699
A ₃	3	1/3	1	1	1	0,25829
Затраты на эксплуатацию						
A ₁	1	3	5	15	2,46621	0,63699
A ₂	1/3	1	3	1	1	0,25829
A ₃	1/5	1/3	1	0,06667	0,40548	0,10473
Безотказность						
A ₁	1	1/5	1/9	0,02222	0,28114	0,06880
A ₂	5	1	2	10	2,15443	0,52720
A ₃	9	1/2	1	4,5	1,65096	0,40400
Долговечность						
A ₁	1	1/5	1/7	0,02857	0,30571	0,06680
A ₂	5	1	1/5	1	1	0,21849
A ₃	7	5	1	35	3,27107	0,71471
Сохраняемость						
A ₁	1	1/5	1/7	0,02857	0,30571	0,06680
A ₂	5	1	1/5	1	1	0,21849
A ₃	7	5	1	35	3,27107	0,71471
Ремонтопригодность						
A ₁	1	1/7	1/5	0,02857	0,30571	0,07460
A ₂	7	1	1/3	2,33333	1,32635	0,32363
A ₃	5	3	1	15	2,46621	0,60177
Социальный и индивидуальный риск						
A ₁	1	1/3	1/7	0,04762	0,36246	0,08794
A ₂	3	1	1/3	1	1	0,24264
A ₃	7	3	1	21	2,75892	0,66942
Экологический риск						
A ₁	1	1/5	1/7	0,02857	0,30571	0,07193
A ₂	5	1	1/3	1,66667	1,18563	0,27895
A ₃	7	3	1	21	2,75892	0,64912
Технико-экономический риск						
A ₁	1	1/5	1/5	0,04	0,342	0,08563
A ₂	5	1	3	15	2,46621	0,61750
A ₃	1/5	1/3	1	1,66667	1,18563	0,29687
Время подачи огнетушащих веществ						
A ₁	1	3	3	9	2,08008	0,5666
A ₂	1/3	1	5	1,66667	1,18563	0,323
A ₃	1/3	1/5	1	0,06667	0,40548	0,1104
Время ликвидации горения						
A ₁	1	1/5	1/7	0,02857	0,30571	0,0668
A ₂	5	1	1/5	1	1	0,21849
A ₃	7	5	1	35	3,27107	0,71471

Таблица 4. Многокритериальное ранжирование направлений

	Затраты на разработку	Затраты на изготовление	Затраты на эксплуатацию	Безотказность	Долговечность	Сохраняемость	Ремонто-пригодность
Вектор приоритетов для критериев ранжирования (приоритеты 3-го уровня)							
Приоритет	0,0119	0,0189	0,0463	0,1116	0,1337	0,0828	0,0150
Векторы приоритетов для направлений А ₁ , А ₂ и А ₃ (приоритеты 4-го уровня)							
А ₁	0,05101	0,10473	0,63699	0,06880	0,06680	0,06680	0,07460
А ₂	0,22706	0,63699	0,25829	0,52720	0,21849	0,21849	0,32363
А ₃	0,72193	0,25829	0,10473	0,40400	0,71471	0,71471	0,60177

Продолжение таблицы 4

	Социальный и индивидуальный риск	Экологический риск	Технико-экономический риск	Время подачи огнетушащих веществ	Время ликвидации горения	Глобальные приоритеты направлений
Вектор приоритетов для критериев ранжирования (приоритеты 3-го уровня)						
Приоритет	0,0245	0,0349	0,0609	0,2006	0,2591	
Векторы приоритетов для направлений А ₁ , А ₂ и А ₃ (приоритеты 4-го уровня)						
А ₁	0,08794	0,07193	0,08563	0,5666	0,06680	0,1961
А ₂	0,24264	0,27895	0,61750	0,3230	0,21849	0,3123
А ₃	0,66942	0,64912	0,29687	0,1104	0,71471	0,4916

Из представленной таблицы видно, что наиболее важные подкритерии эффективности, такие как надежность и оперативность, включены в направление А₃.

Эффективность одного направления над другим определяется отношением глобальных приоритетов:

$$\frac{A_1}{1} = \frac{A_2}{1,6} = \frac{A_3}{2,5}. \quad (6)$$

Следовательно, совершенствование способов создания изолирующего слоя над поверхностью горения, а также разработка новых и перспективных приемов прекращения горения для различных сценариев развития ЧС в резервуарах хранения нефтепродуктов является приоритетным направлением повышения пожарной безопасности при возникновении пожара на РВС.

Проведенные исследования также позволяют раскрыть численные составляющие канонического показателя W , определяющего эффективность тушения пожаров РВС любой автоматической установкой пожаротушения. Поскольку каждый компонент W возможно оценить в виде относительных величин $(\tilde{R}, \tilde{N}, \tilde{B}, \tilde{T})$, получим:

$$W = k_1\tilde{R} + k_2\tilde{N} + k_3\tilde{B} + k_4\tilde{T}, \quad (7)$$

где k_i – весовые коэффициенты.

Поскольку экспертный опрос уже проведен в рамках сравнительных суждений третьего уровня (табл. 2), то дополнительных парных сравнений второго уровня можно избежать. В этой ситуации сумма нормализованной оценки векторов приоритетов своего направления и даст искомый весовой коэффициент [14]:

$$k_1 = 0,0119 + 0,0189 + 0,0463 = 0,0771; \quad k_2 = 0,3431; \quad k_3 = 0,1203; \quad k_4 = 0,4597.$$

Вместе с тем предложенные формулы (2)–(5) хоть и были интуитивно понятны и удобны для экспертной оценки, их дальнейшее применение для выявления относительных величин \tilde{R} , \tilde{N} , \tilde{B} и \tilde{T} нередко приводит к существенным затруднениям численного определения. Приведем возможный подход дальнейшего расчета компонентов W , который авторами видится удобным как по оперативности его применения, так и по количеству исходных данных.

Ресурсоемкость определяется величиной $R_{л}$ затраченных сил и средств, направленных на ликвидацию ЧС, от общего $R_{д}$ количества ресурсов, привлекаемых к ликвидации пожара на РВС:

$$\tilde{R} = 1 - \frac{R_{л}}{R_{д}}. \quad (8)$$

Надежность, в свою очередь, определяется вероятностью безотказной работы [5; 6]:

$$\tilde{N} = e^{-\frac{t}{T^*}}, \quad (9)$$

где t – суммарное время наработки АУПТ;

T^* – время наработки на одну неисправность.

Безопасность определяется социальным, индивидуальным, экологическим и технико-экономическим рисками. С одной стороны, данный компонент эффективности может быть определен как произведение вероятности события на меру ожидаемых последствий [16–19]. С другой – показателем риска может служить сумма ущербов от всех возможных событий, если в течение рассматриваемого периода произойдет несколько опасных событий. Тогда мера риска (средний риск) B_p , выражаемая в тех же показателях, что и ущерб, будет определена следующей зависимостью:

$$B_p = \sum_{i=1}^m p_i U_i, \quad (10)$$

где U_i – величина ущерба в стоимостном выражении

p_i – вероятность наступления неблагоприятного события (группы событий);

m – число возможных вариантов ущербов при наступлении неблагоприятного события.

Безопасность можно определить отношением величины предотвращенного ущерба $U_{п}$ к максимально ожидаемому U_{\max} :

$$\tilde{B} = 1 - \frac{B_p}{U_{\max}} = \frac{U_{\max} - B_p}{U_{\max}} = \frac{U_{п}}{U_{\max}}. \quad (11)$$

Оперативность целесообразно определить из условия своевременности ликвидации пожара в РВС:

$$\tilde{T} = \begin{cases} 1 - T_{л} / T_{п} & \text{при } T_{л} \leq T_{п}, \\ 0 & \text{при } T_{л} > T_{п}, \end{cases} \quad (12)$$

где $T_{л}$ – время ликвидации пожара на РВС при запуске АУПТ (принимается исходя из суммы временных интервалов $\tau_n + \tau_{л}$);

$T_{п}$ – расчетное время тушения (например, для установок пенного пожаротушения составляет 10 мин³).

Заключение

Представленная в работе модель оценки эффективности тушения пожаров резервуаров нефтепродуктов характеризуется учетом ресурсоемкости, безопасности, надежности и оперативности применяемых способов пожаротушения. Определенные с помощью МАИ весовые коэффициенты позволяют говорить о приоритетности надежности и оперативности.

Проведенные исследования позволили выделить приоритетное направление повышения пожарной безопасности на РВС – совершенствование способов создания изолирующего

³ СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности». – Введ. 01.01.14.

слоя над поверхностью горения, показать необходимость разработки новых и перспективных способов прекращения горения, а также смоделировать показатель эффективности автоматических установок пожаротушения резервуарного парка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пастухов, К.В. Пути и способы тушения пожаров в резервуарах хранения нефтепродуктов / К.В. Пастухов, А.С. Перевалов, А.В. Мироньчев // Техносферная безопасность. – 2019. – № 2 (23). – С. 22–32. – EDN: WVABLW.
2. Перевалов, А.С. Перспективы применения системы жалюзи при автоматическом тушении резервуарного парка / А.С. Перевалов, М.А. Рассохин, А.В. Юркин // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2022. – № 2 (12). – С. 183–186. – EDN: VHNOEX.
3. Jenft, A. Modeling of fire suppression by fuel cooling / A. Jenft, P. Boulet, A. Collin [et al.] // Fire Safety Journal. – 2017. – Vol. 91. – P. 680–687. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.067.
4. Peller, A.T. A new approach to extinguishing fires on combustible-liquid storage tanks / A.T. Peller // International Fire Protection. – 2018. – Iss. 74. – P. 22–25. – Url: <https://ifpmag.com/a-new-approach-to-extinguishing-fires-on-combustible-liquid-storage-tanks/>.
5. Zhao, H. The feasibility study of extinguishing oil tank fire by using compressed air foam system / H. Zhao, J.-S. Liu // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 135. – P. 61–66. – DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.080.
6. Полотно для тушения пожаров в резервуарах: пат. на полез. модель RU 222179U1 / А.С. Перевалов, К.В. Пастухов, Н.О. Девяткин, М.А. Рассохин, В.Н. Сащенко, А.В. Юркин. – Оpubл. 14.12.2023.
7. Перевалов, А.С. Перспективные приемы ликвидации пожаров с нефтепродуктами в резервуарах вертикальных стальных / А.С. Перевалов // Школа молодых ученых и специалистов МЧС России: материалы юбилейного X форума, Санкт-Петербург, 15 окт. 2020 г. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. – С. 66–68. – EDN: CNFIXT.
8. Mykhalichko, B. New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions / B. Mykhalichko, H. Lavrenyuk, O. Mykhalichko // Fire Safety Journal. – 2019. – Vol. 105. – P. 188–195. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.03.005.
9. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / ред. В.С. Авдеевский – М.: Машиностроение, 1986–1990. – Т. 3: Эффективность технических систем / Под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – 1988. – 328 с.
10. Петухов, Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1: Методология, методы, модели / Г.Б. Петухов. – М.: Министерство обороны СССР, 1989. – 660 с.
11. Перевалов, А.С. Обоснование показателей качества целенаправленных процессов повышения безопасности на акватории внутренних водоемов / А.С. Перевалов, В.П. Сугак, Ю.В. Сметанин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2012. – № 4 (24). – С. 42–46. – EDN: PYQWBV.
12. Барлоу, Р.Е. Математическая теория надежности / Р.Е. Барлоу, Ф. Прошан; пер. с англ. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
13. Зубарев, Ю.А. Энциклопедический словарь терминов по менеджменту, маркетингу, экономике, предпринимательству: учеб. пособие: в 2 т. / Ю.А. Зубарев, А.И. Шамардин. – Волгоград: Бибком, 2012. – Т. 2.
14. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.
15. Сугак, В.П. Многокритериальный выбор методом анализа иерархий: монография / В.П. Сугак, В.М. Моргунов, Е.С. Калинина; под ред. В.С. Артамонова. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2010. – 72 с.

16. Алымов, В.Т. Анализ техногенного риска: учеб. пособие / В.Т. Алымов, В.П. Крапчатов, Н.П. Тарасова. – М.: Круглый год, 2000. – 156 с.
17. Сугак, Е.В. Информационные технологии управления социально-экологическим риском / Е.В. Сугак, Е.Н. Окладникова, Л.В. Ермолаева // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2008. – № 4 (21). – С. 87–91. – EDN: JWJUER.
18. Гражданкин, А.И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 5. – С. 33–36. – EDN: JVVUEJ.
19. Сугак, Е.В. Современные методы оценки экологических рисков / Е.В. Сугак // Европейский журнал социальных наук. – 2014. – № 5-2 (44). – Т. 2. – С. 427–433. – EDN: SPDDTV.

Модель оценки эффективности тушения пожаров резервуаров нефтепродуктов
Model for assessing the efficiency of fire extinguishing reservoirs of oil products

Перевалов Андрей Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Уральский институт ГПС МЧС России,
кафедра специальной подготовки,
начальник кафедры

Адрес: ул. Мира, 22,
620062, г. Екатеринбург,
Свердловская обл., Россия
Email: pas_ural@mail.ru
SPIN-код: 7948-9189

Andrey S. Perevalov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
Ural Institute of State Fire Service
of EMERCOM of Russia,
Chair of Special Training,
Head of the Chair

Address: Mira str., 22,
620062, Ekaterinburg,
Sverdlovsk region, Russia
Email: pas_ural@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5426-2992

Пастухов Константин Васильевич

Публичное акционерное общество
«Уралмашзавод», управление охраны
труда и промышленной безопасности,
заместитель начальника управления

Адрес: пл. 1-й Пятилетки,
620012, г. Екатеринбург,
Свердловская обл., Россия
Email: kosoi911@mail.ru
SPIN-код: 6292-5900

Konstantin V. Pastukhov

Public Joint Stock Company «Uralmashzavod»,
Division of Labor Protection and Industrial Safety,
Deputy Head of the Division

Address: 1st Pyatiletka sq.,
620012, Ekaterinburg,
Sverdlovsk region, Russia
Email: kosoi911@mail.ru
ORCID: 0009-0009-4681-4572

MODEL FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF FIRE EXTINGUISHING RESERVOIRS OF OIL PRODUCTS

Perevalov A.S., Pastukhov K.V.

Purpose. Development of a model for assessing the efficiency of fire extinguishing of oil product storage tanks; substantiation of promising fire extinguishing methods for vertical steel tanks (hereinafter - VST).

Methods. Justification of promising methods of fire extinguishing in oil product storage tank farms was carried out by the method of hierarchy analysis.

Findings. The canonical efficiency indicator including resource intensity, reliability, safety and efficiency with their subsequent decomposition in hierarchical form is presented. The available subjective judgments of experts allow not only to identify one priority direction of improving the methods of fire extinguishing in VST, but also to determine the weight coefficients of efficiency indicators. Improvement of methods of creating an insulating layer over the combustion surface, as well as the development of new and promising techniques to stop combustion for different scenarios of emergency development in oil product storage tanks, is a priority direction to improve fire safety in case of fire in VST.

Application field of research. The results of the research allow not only identifying the priority direction of fire safety improvement in case of fire on VST, in particular, improving the methods of creating an insulating layer over the combustion surface, but also to model the efficiency index of automatic fire extinguishing installations of the tank farm.

Keywords: efficiency, hierarchy analysis method, resource intensity, reliability, safety, responsiveness.

(The date of submitting: May 24, 2024)

REFERENCES

1. Perevalov A.S., Pastukhov K.V., Mironchev A.V. Puti i sposoby tusheniya pozharov v rezervuarakh khraneniya nefteproduktov [Ways and methods of fire extinguishing in oil producer reservoirs]. *Technosphere Safety*, 2019. No. 2 (23). Pp. 22–32. (rus). EDN: WVABLW.
2. Perevalov A.S., M.A. Rassokhin, Yurkin A.V. Perspektivy primeneniya sistemy zhalyuzi pri avtomaticheskom tushenii rezervuarnogo parka [Prospects for the use the shutter system for automatic extinguishing of the tank farm]. *Fire and Technospheric Safety: Problems and Ways of Improvement*, 2022. No. 2 (12). Pp. 183–186. (rus). EDN: VHNOEX.
3. Jenft A., Boulet P., Collin A., Trevisan N., Mauger P.-N., Pianet G. Modeling of fire suppression by fuel cooling. *Fire Safety Journal*, 2017. Vol. 91. Pp. 680–687. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.067.
4. Peller A.T. A new approach to extinguishing fires on combustible-liquid storage tanks. *International Fire Fighter*, 2018. Iss. 74. P. 22–25. Url: <https://ifpmag.com/a-new-approach-to-extinguishing-fires-on-combustible-liquid-storage-tanks/>.
5. Zhao H., Liu J.-S. The feasibility study of extinguishing oil tank fire by using compressed air foam system. *Procedia Engineering*, 2016. Vol. 135. Pp. 61–66. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.080.
6. Perevalov A.S., Pastukhov K.V., Devyatkin N.O., Rassokhin M.A., Sashchenko V.N., Yurkin A.V. *Polotno dlya tusheniya pozharov v rezervuarakh [Blanket for extinguishing fires in tanks]*: patent fot utility model RU 222179U1. Published December 14, 2023. (rus)
7. Perevalov A.S. Perspektivnye priemy likvidatsii pozharov s nefteproduktami v rezervuarakh vertikal'nykh stal'nykh [Perspective techniques for eliminating fires in reservoirs with oil products]. *Proc. of X Anniversary Forum «Shkola molodyh uchyonih i specialistov MCHS Rossii» [«School of young scientists and specialists of EMERCOM of Russia»]*, Saint-Petersburg, October 15, 2020. Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2020. (rus). EDN: CNFIXT.
8. Mykhalichko B., Lavrenyuk H., Mykhalichko O. New water-based fire extinguishant: Elaboration, bench-scale tests, and flame extinguishment efficiency determination by cupric chloride aqueous solutions. *Fire Safety Journal*, 2019. Vol. 105. Pp. 188–195. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.03.005.
9. Avduevskiy V.S. et al. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike [Reliability and efficiency in technology]*: reference book in 10 volumes. Moscow: Mashinostroenie, 1986–1990. Vol. 3: *Effektivnost' tekhnicheskikh sistem [Efficiency of technical systems]*: ed. by Utkin V.F., Kryuchkov Yu.V. 1988. 328 p. (rus)

10. Petukhov G.B. *Osnovy teorii effektivnosti tselenapravlennykh protsessov. Ch. 1: Metodologiya, metody, modeli* [Fundamentals of the theory of efficiency of targeted processes. Part 1: Methodology, methods, models]: tutorial. Moscow: Ministry of Defense of USSR, 1989. 660 p. (rus)
11. Perevalov A.S., Sugak V.P., Smetanin Yu.V. Obosnovanie pokazateley kachestva tselenapravlennykh protsessov povysheniya bezopasnosti na akvatorii vnutrennikh vodoemov [Justification of quality indicators of targeted safety improvement processes in the water area of inland water bodies]. *Problems of risk management in the technosphere*, 2012. No. 4 (24). Pp. 42–46. EDN: PYQWBV.
12. Barlow R.E., Proschan F. *Mathematical theory of reliability*: translation from English. Moscow: Sovetskoe radio, 1969. 488 p. (rus)
13. Zubarev Yu.A., A.I. Shamardin. *Entsiklopedicheskiy slovar' terminov po menedzhmentu, marketingu, ekonomike, predprinimatel'stvu* [Encyclopedic dictionary of terms on management, marketing, economics, entrepreneurship]. Tutorial in 2 volumes. Volgograd: Bibkom, 2012. Vol. 2. (rus)
14. Saati T. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy* [How to make a decision. The analytic hierarchy process]: translation from English. Moscow: Radio i svyaz', 1993. 314 p. (rus)
15. Sugak V.P., Morgunov V.M., Kalinina E.S. *Mnogokriterial'nyy vybor metodom analiza ierarkhiy* [Multicriteria choice by hierarchy analysis]: monograph. Saint-Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2010. 72 p. (rus)
16. Alymov V. T., Krapchatov V. P., Tarasova N. P. *Analiz tekhnogenogo riska* [Analysis of technogenic risk]: tutorial. Moscow: Kruglyy god, 2000. 156 p. (rus)
17. Sugak E.V., Okladnikova E.N., Ermolaeva L.V. *Informatsionnye tekhnologii upravleniya sotsial'no-ekologicheskim riskom* [Information control technologies of social-ecologic risk]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M.F. Reshetneva*, 2008. No. 4 (21). Pp. 87–91. (rus). EDN: JWJUEP.
18. Grazhdankin A.I., Lisanov M.V., Pecherkin A.S. *Ispol'zovanie veroyatnostnykh otsenok pri analize bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov* [Use of probabilistic assessments in analyzing the safety of hazardous production facilities]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, 2001. No. 5. Pp. 33–36. (rus). EDN: JVVUEJ.
19. Sugak E.V. *Sovremennyye metody otsenki ekologicheskikh riskov* [Modern methods of estimation of environmental risk]. *European Social Science Journal*, 2014. No. 5-2 (44). Pp. 427–433. (rus). EDN: SPDDTV.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ ДЛЯ НУЖД ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Камлюк А.Н.

Цель. Теоретически оценить влияние различных факторов на генерирование воздушно-механической пены, получаемой в устройствах для пожаротушения. Сравнить полученные данные с результатами экспериментальных исследований.

Методы. В процессе исследований применялись теоретические и эмпирические методы анализа.

Результаты. В результате расчетов получены данные о предельных (минимальной и максимальной) скоростях для потока жидкости, в диапазоне которых обеспечивается генерирование воздушно-механической пены низкой кратности для широкого класса пеногенерирующих устройств. Рассмотрены механизмы генерирования пены на сетках в насадках на пожарные стволы методом выдувания, на поверхности розеток пенных оросителей автоматических систем пожаротушения методом взбивания, а также за счет введения в камеру смешения воздуха.

Область применения исследований. Результаты анализа могут быть применены при разработке пеногенерирующих устройств, а также для определения оптимальных режимов их работы.

Ключевые слова: пена, диаметр пузырька, скорость выдувания пузырьков, скорость взбивания пузырьков, кратность, устойчивость, дисперсность, газосодержание, эжектор, сетка, ороситель.

(Поступила в редакцию 10 июля 2024 г.)

Введение

Воздушно-механическая пена (далее – пена), применяемая для нужд пожаротушения, представляет собой дисперсную систему, состоящую из пузырьков газа, разделенных пленками жидкости. Принципиальная схема получения пены низкой кратности представлена на рисунке 1а. Как видно, минимальное количество компонентов: вода, пенообразователь и воздух. Процентное соотношение на рисунке 1а указано в соответствии с рекомендациями производителей пенообразователей. Последний играет роль стабилизатора, без которого невозможно получение устойчивой пены низкой кратности.

К основным характеристикам пен относятся кратность, устойчивость и дисперсность (рис. 1б). Для нужд пожаротушения главной характеристикой, которую указывают в технических требованиях к пеногенерирующим устройствам, является кратность, поэтому в данной работе будет идти речь в основном о ней. Если кратность пены находится в диапазоне от 4 до 20, то ее называют пеной низкой кратности. Под кратностью понимают отношение объема получаемой пены к объему водного раствора пенообразователя (далее – раствора), из которого она получена. В отношении устойчивости пен различают следующие ее показатели: устойчивость объема (время разрушения 25 % ее первоначального объема), устойчивость к синерезису (время выделения из пены 50 % жидкой фазы), структурная устойчивость (время изменения среднего диаметра пузырька на 25 % от исходной величины) и др. Что же касается дисперсности – это физическая величина, обратно пропорциональная среднему диаметру пузырьков. По дисперсности пены различают: монодисперсные и полидисперсные. Первые можно получить лишь в особых случаях, используя специальные устройства, поэтому в реальных условиях пены оказываются всегда полидисперсными.

На кратность, устойчивость и дисперсность пен существенное влияние оказывают физико-механические свойства раствора, способ смешения фаз, конструкция пеногенерирующего устройства, а также режимы ведения процесса пенообразования. Тем не менее все

указанные характеристики пены связаны между собой и зависят в первую очередь от газосодержания, смачивающей способности раствора и капиллярных явлений (рис. 1б). Под пеногенерирующими в данной работе понимаются устройства, способные генерировать пену, независимо от конструктивных особенностей и способа подачи или получения раствора и воздуха.

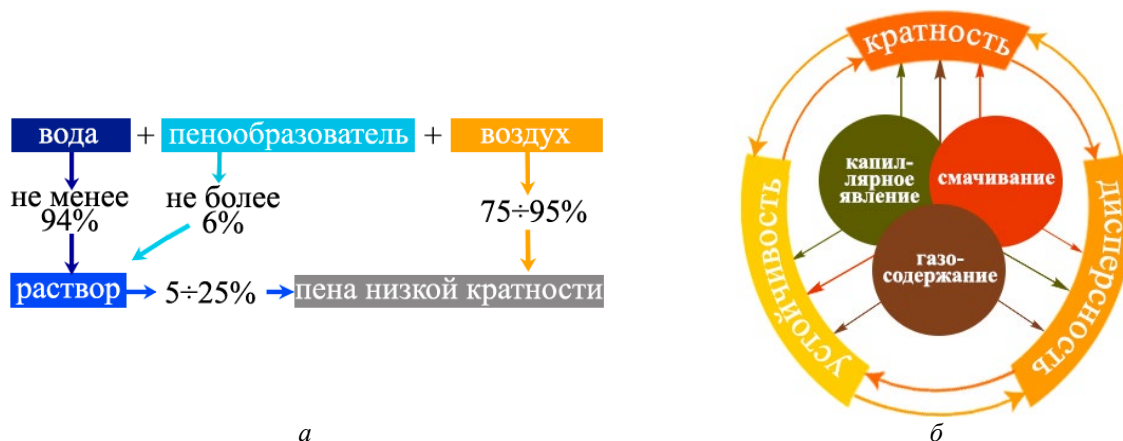


Рисунок 1. – Принципиальная схема получения пены низкой кратности (а) и основные ее характеристики (б)

Основная часть

На практике пену генерируют либо на сетках в насадках на пожарные стволы методом выдувания, либо на поверхности розеток пенных оросителей автоматических систем пожаротушения методом взбивания, либо за счет введения в камеру смешения воздуха (рис. 2).

Экспериментально было зафиксировано, что скорость подачи раствора на рабочий орган (сетку или поверхность розетки оросителя) пеногенерирующего устройства оказывает существенное влияние на процесс пенообразования при прочих равных условиях. Так, в случае небольших скоростей вместо пены получается пеноэмульсия, а при достижении скорости некоторого критического значения происходит срыв процесса [1; 2] и, как итог, снова получается пеноэмульсия. Таким образом, процесс пенообразования может протекать только в ограниченном диапазоне скоростей подачи раствора на рабочий орган пеногенерирующего устройства, поэтому его важно знать, чтобы эффективность ликвидации пожара всегда оставалась на высоком уровне.

Причины, по которым нарушается процесс пенообразования, были рассмотрены в обзорной статье И.Ф. Безродного «Забытые имена – забытые знания или... “Почему не тушит пена?..”» [3]. Как считает сам автор, ответ на вопрос, поставленный в названии его работы, является многовариантным:

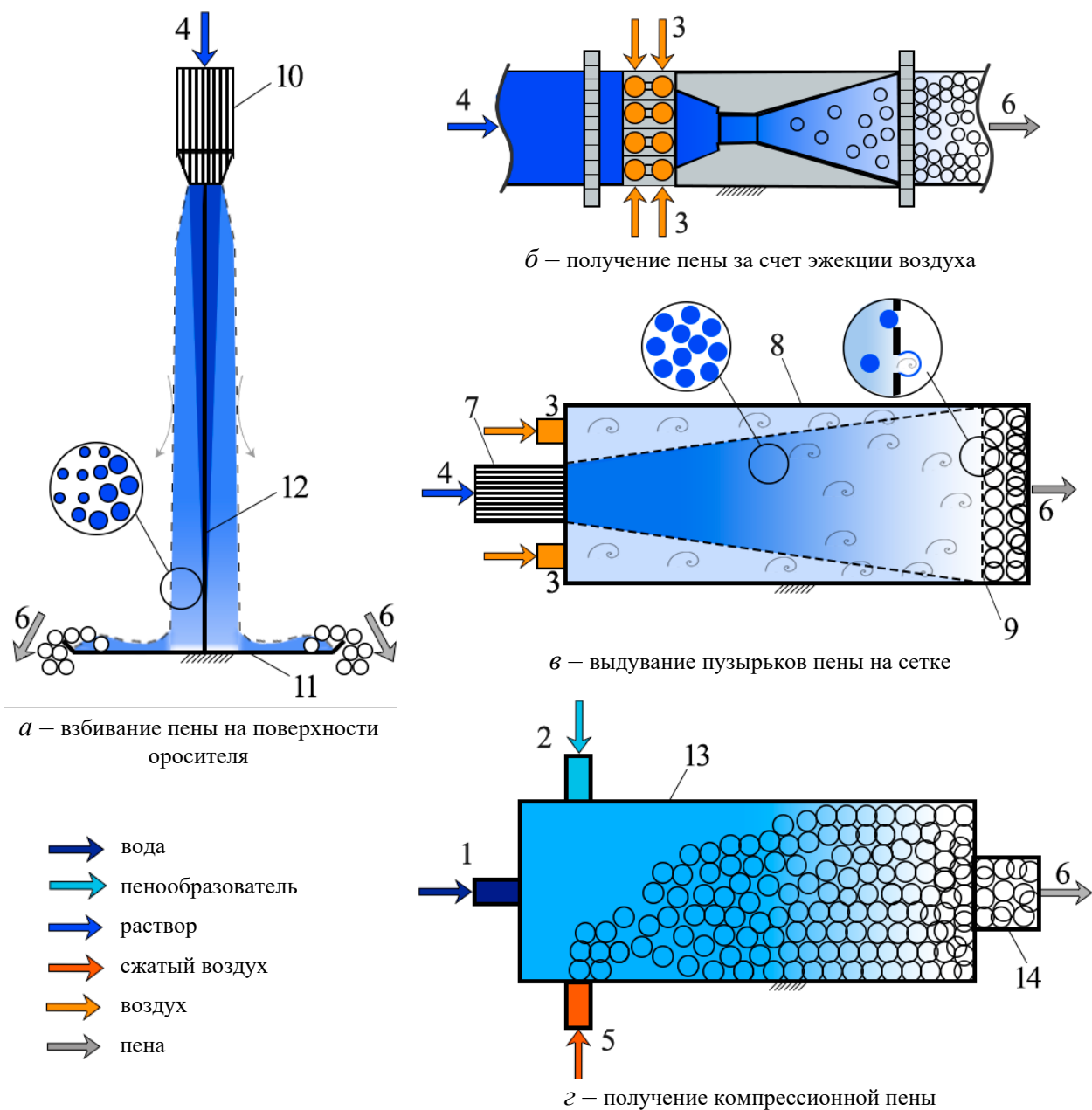
1) первая и основная причина – применяется «неправильный пеногенератор», при разработке которого были допущены ошибки, конструкция которого не прошла полный цикл испытаний, включая огневые, или неверно выбран режим его работы, в результате чего кратность и дисперсность пены ниже требуемых значений;

2) при выборе интенсивности (расхода) пены не учтен тепловой режим в зоне пожара. В этом случае для достижения эффекта тушения необходимо увеличить интенсивность;

3) если первый и второй варианты учтены, то, возможно, горит не тот продукт, о котором сообщили.

Несмотря на то что подобного рода вопросы регулярно обсуждаются в научных кругах, они остаются актуальными и по сей день. Так, в работе С.Н. Копылова [4] показано, что имеющиеся конструктивные отличия, например в расстоянии от распылителя до сетки или параметрах сетки у пеногенераторов, могут существенно сказываться на качестве генерируемой пены. В статье приведены сравнения результатов экспериментальных исследований по действующему в России стандарту с помощью пеногенераторов, изготовленных по

чертежам Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский ордена Знак Почета научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», и генераторов, поступивших в 2013 г. в подразделения Федеральных государственных бюджетных учреждений Федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» в рамках централизованной поставки, которые используются при проведении испытаний пенообразователей по определению одного из главных показателей – «кратность пены». Значения кратности в отдельных случаях оказались отличающимися более чем на 100 %, что недопустимо, т.к. может привести к увеличению времени, требуемого на ликвидацию пожара, и к значительным материальным потерям.



1 – трубопровод для подачи воды; 2 – трубопровод для подачи пенообразователя; 3 – отверстия для эжекции воздуха; 4 – трубопровод для подачи раствора пенообразователя; 5 – трубопровод для подачи сжатого воздуха; 6 – поток пены; 7 – ствол пожарный; 8 – насадок; 9 – металлическая сетка; 10 – штуцер; 11 – розетка; 12 – дужки; 13 – камера смешения; 14 – рукавная линия

Рисунок 2. – Схемы устройств для генерирования пены низкой кратности

Образование пены на поверхности розетки оросителя (рис. 2а). В момент удара струи о поверхность происходит процесс совместного диспергирования раствора и воздуха с образованием пены. Данный процесс протекает при расползании струи в виде пленки, которая затем отрывается.

На участок пленки в форме круга радиусом R и площадью S действуют следующие силы:

F_R – сила реакции поверхности;

σl – силы поверхностного натяжения ($l = 2\pi R$ длина контура, σ – коэффициент поверхностного натяжения);

$p_0 S = \pi p_0 R^2$ – силы атмосферного давления (p_0 – атмосферное давление).

Силой тяжести, действующей на пленку, можно пренебречь ввиду малой толщины пленки.

По третьему закону Ньютона сила реакции поверхности равна силе, с которой струя раствора действует на поверхность. Тогда, если считать, что струя ударяется о поверхность абсолютно упруго, то проекция изменения ее импульса на вертикальную ось:

$$\Delta p = p_1 - (-p_1) = 2p_1 = 2mv = 2Sv\Delta t\rho v = 2S\rho v^2\Delta t, \quad (1)$$

где p_1 – проекция импульса струи на вертикальную ось до удара о поверхность;

$m = Sv\Delta t\rho$ – масса струи раствора с объемом $Sv\Delta t$ и плотностью ρ , прошедшей через поверхность площадью S за время Δt ;

v – скорость струи в момент удара.

С другой стороны, по второму закону Ньютона изменение импульса струи равно импульсу силы:

$$\Delta p = F_R \Delta t. \quad (2)$$

Сравнивая выражения (1) и (2), для абсолютно упругого удара получаем $F_R = 2S\rho v^2$.

В момент отрыва пленки с образованием пузырька можно записать:

$$F_R = p_0 S + \sigma l$$

или

$$2S\rho v^2 = \pi p_0 R^2 + 2\pi\sigma R. \quad (3)$$

Уравнение (3) представляет собой уравнение равновесия пленки раствора на горизонтальной поверхности. Из (3) можно получить выражение для расчета минимальной скорости удара раствора о поверхность, необходимой для отрыва пленки и образования пузырька с радиусом R :

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{p_0}{2\rho} + \frac{\sigma}{R\rho}}. \quad (4)$$

Если принять в рассмотрение вариант, когда отрыв пленки происходит после некоторого растекания вертикальной струи по горизонтальной поверхности, то проекция изменения ее импульса на вертикальную ось:

$$\Delta p = p_1 = S\rho v^2\Delta t,$$

и сила реакции будет определяться по формуле $F_R = S\rho v^2$, а выражение для определения скорости примет вид:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{p_0}{\rho} + \frac{\sigma}{R\rho}}. \quad (5)$$

Теперь необходимо получить выражение для определения максимальной скорости струи раствора, при превышении которой может произойти срыв процесса пенообразования. Теоретически основные физические параметры процесса соударения струи суспензии с преградой рассмотрены В.И. Ковалевым и соавторами в работе [5]. При исследовании соударения струи суспензии с преградой ими получены аналитические зависимости для количественной оценки величины минимальной скорости струи ($v = \sigma/\eta$), при которой может происходить разрушение материала, находящегося при контакте струи суспензии с преградой. В этом случае струя приобретает свойства твердого тела, не подверженного деформации. Если скорость струи достигает значений, при которых она способна разрушать преграду, то логично сделать вывод, что в данном случае речи об образовании пены идти не может, а следовательно, данное значение скорости может приниматься как максимальное, при превышении которого будет наблюдаться срыв процесса пенообразования:

$$v_{\max} = \frac{\sigma}{\eta}, \quad (6)$$

где η – динамическая вязкость раствора.

Для численной оценки скоростей необходимо задаться внешними условиями, физико-механическими характеристиками раствора, средним радиусом генерируемых пузырьков. Пусть будут приняты следующие параметры: атмосферное давление – 10^5 Па, плотность раствора – 1000 кг/м^3 , поверхностное натяжение раствора – $0,02 \text{ Н/м}$, динамическая вязкость раствора – $10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, средний радиус пузырька – 10^{-3} м [6]. Тогда по формуле (4) получается $v_{\min} = 7,1 \text{ м/с}$, а по формуле (5) – $v_{\min} = 10,0 \text{ м/с}$, в то время как по формуле (6) – $v_{\max} = 20,0 \text{ м/с}$. Из двух скоростей, рассчитанных по (4) и (5), в качестве критерия начала процесса пенообразования логично принять наименьшую. Как итог – довольно узкий диапазон скоростей, в пределах которого будет обеспечено генерирование пены в результате взбивания струи раствора о неподвижную поверхность:

$$7,1 \text{ м/с} \leq v_p \leq 20,0 \text{ м/с}, \quad (7)$$

где v_p – скорость раствора при ударе о поверхность, необходимая для образования пены.

Для проверки адекватности описанного механизма образования пены на розетке оросителя необходимо провести экспериментальные исследования.

В качестве критерия начала процесса пенообразования можно аналогично капиллярному числу [7; 8] ввести отношение числа Вебера к числу Рейнольдса, выражающее соотношение между вязким трением и поверхностным натяжением:

$$\frac{We}{Re} = \frac{\eta v}{\sigma}, \quad (8)$$

поскольку оно учитывает не только скорость, раствора, но и его физико-механические свойства. В этом случае условие образования пены при взбивании о поверхность выглядит следующим образом:

$$\frac{\eta}{\sigma} \sqrt{\frac{p_0}{2\rho} + \frac{\sigma}{R\rho}} \leq \frac{We}{Re} \leq 1 \quad (9)$$

или с учетом внешних и внутренних характеристик, принятых в работе

$$0,36 \leq \frac{We}{Re} \leq 1. \quad (10)$$

Таким образом, началом срыва процесса пенообразования можно считать равенство капиллярного числа единице.

Образование пены за счет эжектирования воздуха в раствор (рис. 2б). Образование пены в данном случае осуществляется за счет активного поступления воздуха в месте локального сужения поперечного сечения трубопровода через отверстия в эжекторе смесителя для подачи раствора. Эжектор-смеситель представляет собой устройство, устанавливаемое в трубопровод (рис. 2б) и содержащее участки сужения (конфузор), узкого сечения и расширения (диффузор). Таким образом, за счет снижения давления в узком сечении обеспечивается поступление воздуха из окружающей среды в поток раствора. Пузырьки воздуха в растворе сначала образуют эмульсию «газ-жидкость», затем они поднимаются вверх, образуют на своей поверхности пленку и наслаиваются друг на друга, в результате этого образуется пена.

Оценить скорость раствора v_p , необходимую для образования пены, можно по зависимости, полученной И.В. Качановым с соавторами [9, с. 75]:

$$v_p = \frac{Q\rho}{\pi \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} \rho_{\text{см}} \left(l_{\text{диф}} + \frac{d_0}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right)^2}, \quad (11)$$

где Q – объемный расход раствора;

α – угол конусности диффузора;

$\rho_{\text{см}}$ – плотность смеси;

$l_{\text{диф}}$ – длина диффузора от начального (сжатого) до начала цилиндрической части;

d_0 – диаметр сжатого сечения.

Для определения плотности смеси предложено использовать формулу [9, с. 78]:

$$\rho_{\text{см}} \approx \frac{\rho(p + p_0)}{p + Kp_0}, \quad (12)$$

где p – давление в сжатом сечении диффузора;

K – кратность пены.

Принимая во внимание, что давление в сжатом сечении значительно меньше атмосферного [9, с. 78], можно записать:

$$K \approx \frac{\rho}{\rho_{\text{см}}}. \quad (13)$$

С учетом геометрии канала длину диффузора можно выразить через диаметр узкого сечения d_0 и диаметр трубопровода $D_{\text{тр}}$:

$$l_{\text{диф}} = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} (D_{\text{тр}} - d_0). \quad (14)$$

После подстановки (13) и (14) в (11) получается:

$$v_p = \frac{4QK}{\pi D_{\text{тр}}^2} = v_{\text{тр}} K, \quad (15)$$

где $v_{\text{тр}}$ – скорость раствора по трубопроводу до эжектора-смесителя.

Получается, что критерием образования пены на выходе раствора из эжектора-смесителя является рост ее скорости в K раз.

Скорость в (15) можно выразить через газосодержание φ [10, с. 14]:

$$v_p = v_{\text{тр}} \frac{1}{1 - \varphi}. \quad (16)$$

Образование пены на сетке (рис. 2в). Механизм образования пены на сетках пеногенератора в настоящее время изучен достаточно хорошо. На сетку (рис. 2в), состоящую из ячеек определенных размеров, движется двухфазный поток из капель раствора и воздуха. Подача воздушного потока происходит через отверстия в пеногенераторе со скоростью, близкой к скорости распыляемого раствора. Капля, попадая на ячейку, закупоривает ее и под давлением заторможенного воздуха деформируется, растягиваясь по ходу потока. В результате деформации возникает полость, заполненная воздухом. Увеличение полости продолжается до тех пор, пока следующая капля опять не закроет ячейку сетки. Так, методом выдувания образуется пузырек пены. Действительный процесс пенообразования на сетке состоит из множества таких элементарных актов непрерывного образования пузырьков пены на каждой ячейке. В результате из пеногенератора выходит относительно однородная по структуре пенная струя.

Характеристики пены зависят, как и в случае взбивания пенной струи на розетке оросителя, от физико-механических характеристик раствора. В отличие от первого случая здесь значительную роль играют размер ячеек сетки, дисперсность распыленной струи и скорость воздуха перед сеткой. Как было установлено ранее, пенообразование на сетках происходит только в определенном интервале скоростей набегающего воздушного потока [1; 2]. При малой скорости воздуха, а также если скорость воздушного потока будет больше верхнего предела, пена не будет образовываться. Остается установить диапазон скоростей, требуемых для образования пены на сетке.

Генерирование пены на сетке методом выдувания аналогично процессу выдувания мыльных пузырей на воздухе с тем лишь различием, что в первом случае имеется сетка, а во втором – плоский монокаркас из жесткой проволоки, на котором при окутании в мыльную воду образуется тонкая пленка. Достаточно детально изучить второй способ, а затем распространить его для случая сетки. Атмосферное давление вдоль пленки на каркасе постоянно, ее поверхность разглаживается, а кривизна стремится к нулю во всех точках. Чтобы получить мыльный пузырь (поверхность минимальной площади без границы), достаточно подуть на пленку, заставляя ее деформироваться и отрываться от каркаса. Данный способ изучен совсем недавно. Причина, по которой он не рассмотрен ранее, – сложность уравнений движения пленки и сильная нелинейность деформаций, которые возникают при отрыве пузыря. Первые статьи, посвященные физике этого процесса, появились только в 2016 г., когда французские ученые (Л. Салкин и др.) проанализировали большое число экспериментальных данных и разработали первую модель, описывающую процесс выдувания мыльных пузырей [11]. Они установили, что основными параметрами, влияющими на диаметр пузырьков, являются размеры ячейки, на которой формируется мыльная пленка, диаметр поперечного сечения потока воздуха, скорость. Также на диаметр пузырька большое влияние оказывают физико-механические свойства раствора (поверхностное натяжение, вязкость, концентрация поверхностно-активных веществ). Влияние размеров ячеек сетки и скорости подачи раствора пенообразователя, а также места установки сетки в насадке пожарного ствола на кратность получаемой пены рассматривалось в работе [12]. Расчет диаметра пузырьков проведен в работах [6; 13].

Таким образом, механизм образования пены методом выдувания на сетках качественно и количественно описан. Кроме того, исследователями даны рекомендации по оценке минимальной скорости подачи раствора пенообразования для начала процесса образования пены [11]:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{8\sigma}{\rho_{\text{в}}a}}, \quad (17)$$

где a – размер ячейки сетки; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха.

Как видно из формулы (17), чем больше размер ячейки сетки, тем меньше будет значение скорости выдувания. На практике используют мелкую сетку с размерами ячеек от 2,0×2,0 мм и менее. Поэтому при оценке минимальной скорости использовались следующие значения физических величин: $\rho_{\text{в}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $\sigma = 0,02 \text{ Н/м}$, $a = 0,002 \text{ м}$. Значение максимальной скорости можно получить по формуле (6), т.к. этой скорости достаточно, чтобы начать разрушение материала сетки в месте контакта с раствором. Таким образом, можно записать диапазон скоростей для выдувания пузырьков на сетке, который хорошо согласуется с диапазоном скоростей для взбивания пены на поверхности:

$$8,2 \text{ м/с} \leq v_p \leq 20,0 \text{ м/с}. \quad (18)$$

Условие образования пены при выдувании пузырьков на сетке через We/Re выглядит следующим образом:

$$\frac{\eta}{\sigma} \sqrt{\frac{8\sigma}{\rho_{\text{в}} a}} \leq \frac{We}{Re} \leq 1 \quad (19)$$

или с учетом принятых внешних и внутренних характеристик, принятых в работе,

$$0,41 \leq \frac{We}{Re} \leq 1. \quad (20)$$

Экспериментально скорость срыва пенообразования на сетках установил А.И. Бычков в работе [14]. Им установлено, что срыв процесса пенообразования происходит независимо от количества сеток (от одной до трех), установленных в пеногенераторе, а определяется физико-механическими свойствами раствора и интенсивностью его подачи на сетку. Скорость срыва пенообразования наблюдалась в диапазоне от 20 до 23 м/с при интенсивности орошения сетки $0,13 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, что хорошо согласуется с теоретически определенным значением максимальной скорости.

Образование пены в установках генерирования компрессионной пены (рис. 2з). Механизм образования пены в данном случае самый простой: пузырьки надуваются в среде раствора под давлением от компрессора (поэтому и называется получаемая пена компрессионной) через отверстие в камере смешения. Поскольку можно регулировать как подачу воды, так и подачу пенообразователя и сжатого воздуха, кратность пены становится регулируемой и ею легко управлять [15, с. 147–164]:

$$K = 1 + \frac{p_0 + p_{\text{и}}}{p_0} \cdot \frac{\varphi}{1 - \varphi}, \quad (21)$$

где $p_{\text{и}}$ – избыточное давление на выходе из компрессора.

Полученная пена из камеры смешения по рукавной линии подается к месту тушения пожара. Длина рукавной линии может быть от десятков метров до сотен, поэтому здесь актуальным является вопрос изменения кратности пены, подаваемой на дальние расстояния, по сравнению с кратностью, генерируемой в камере смешения.

Изменение газосодержания по длине рукавной линии можно оценить по эмпирическому выражению [15, с. 165]:

$$\varphi = 0,91 + \ln(\lambda_{\text{прив}} - 0,032)^{1/12}. \quad (22)$$

Здесь $\lambda_{\text{прив}}$ – приведенный коэффициент гидравлического трения:

$$\lambda_{\text{прив}} = \frac{\pi^2 D_{\text{тр}}^5 (p_{\text{и}} - p_{\text{ств}})}{8l\rho Q^2}, \quad (23)$$

где $p_{\text{ств}}$ – избыточное давление на стволе (в конце рукавной линии).

Значения приведенного коэффициента гидравлического трения находятся в интервале [15, с. 165]:

$$0,032 \leq \lambda_{\text{прив}} \leq 0,9, \quad (24)$$

где значение $\lambda_{\text{прив}} = 0,032$ соответствует приведенному коэффициенту гидравлического трения при течении по рукавной линии воды.

Зная текущее значение φ , всегда можно по формуле (21) рассчитать кратность получаемой пены.

Заключение

В работе рассмотрены концептуальные подходы к описанию механизмов образования воздушно-механической пены низкой кратности для нужд пожаротушения. Описаны механизмы генерирования пены на поверхности розеток пенных оросителей автоматических систем пожаротушения методом взбивания, на сетках в насадках на пожарные стволы методом выдувания, а также за счет введения в камеру смешения воздуха. Дана оценка диапазонов скоростей, в пределах которых будет обеспечен процесс пенообразования.

Предложенные подходы позволяют проводить расчеты минимальной и максимальной скоростей для потока жидкости (коэффициент поверхностного натяжения, динамическая вязкость, плотность раствора и смеси) с любым пенообразователем, в диапазоне которых обеспечивается генерирование пены для широкого класса пеногенерирующих устройств (размер ячеек сетки, длина рукавной линии): для пенных оросителей – условия (9), для насадков на пожарные стволы – условия (19). Кроме того, описаны особенности формирования пены в смесителях при эжектировании воздуха и при подаче компрессионной пены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Навроцкий, О.Д. Повышение кратности пены водных растворов ПАВ / О.Д. Навроцкий, С.Г. Котов // *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*. – 2007. – Т. 6, № 2. – С. 49–56. – EDN: STSCWP.
2. Кокшаров, А.В. Определение критических параметров образования пены на сетках пеногенератора средней кратности / А.В. Кокшаров, С.И. Осипенко // *Техносферная безопасность*. – 2017. – № 1 (14). – С. 35–38. – EDN: YHNVWN.
3. Безродный, И.Ф. Забытые имена – забытые знания... или «Почему не тушит пена?..» / И.Ф. Безродный // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2011. – Т. 20, № 12. – С. 49–55. – EDN: ONZENF.
4. Копылов, С.Н. Исследование влияния экспериментального оборудования на результаты испытаний пенообразователя по ГОСТ Р 50588–2012 / С.Н. Копылов [и др.] // *Актуальные вопросы пожарной безопасности*. – 2020. – № 1 (3). – С. 26–33. – EDN: GBWGRS.
5. Ковалев, В.И. Основные физические параметры процесса соударения струи суспензии с преградой с безножевой размольной установкой / В.И. Ковалев, А.А. Ерофеева, Ю.Д. Алашкевич // *Химия растительного сырья*. – 2009. – № 3. – С. 165–168. – EDN: KYRBHP.
6. Камлюк, А.Н. Влияние размеров ячейки сетки и расстояния от сопла на дисперсность пены / А.Н. Камлюк [и др.] // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2022. – Т. 6, № 4. – С. 441–450. – DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.441. – EDN: GNBQTD.
7. Попков, В.И. Гидродинамическое моделирование фильтрации при малых значениях капиллярного числа / В.И. Попков, С.В. Зацепина, В.П. Шакшин // *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки*. – 2005. – № 34. – С. 163–170. – EDN: ISCORF.
8. Скрипкин, А.Г. Экспериментальные исследования кривой капиллярного осушения при ПАВ-полимерном заводнении / А.Г. Скрипкин, И.Н. Кольцов, С.В. Мильчаков // *PRОнефть. Профессионально о нефти*. – 2021. – Т. 6, № 1. – С. 40–46. – EDN: QWLMKE.
9. Качанов, И.В. Установки автоматического пожаротушения с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды / И.В. Качанов, И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков. – Минск: БНТУ, 2018. – 149 с.
10. Канн, К.Б. Капиллярная гидродинамика пен / К.Б. Канн. – Новосибирск: Наука: Сибирское отделение, 1989. – 167 с. – ISBN: 5-02-028655-9.

11. Salkin, L. Generation soap bubbles by blowing on soap films / L. Salkin [et. al.] // *Physical Review Letters*. – 2016. – Vol. 116, No. 7. – Article 077801. – DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.077801.
12. Камлюк, А.Н. Ствол пожарный ручной универсальный комбинированный с расходом до 5 л/с и возможностью формирования воздушно-механической пены / А.Н. Камлюк, В.В. Пармон, А.А. Морозов // *Научные и образовательные проблемы гражданской защиты*. – 2019. – № 1 (40). – С. 76–85. – EDN: ZEUEPZ.
13. Чан, Д.Х. Оценка диаметра пузырьков и скорости потока пенообразующей смеси для их образования на сетке пеногенерирующих устройств / Д.Х. Чан [и др.] // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 84–94. – DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.84. – EDN: QAENWG.
14. Бычков, А.И. О срыве пенообразования на сетках / А.И. Бычков // *Материалы VII Всесоюзной науч.-практ. конф. «Горение и проблемы тушения пожаров»: Секция «Тепломассообмен в условиях пожара»*. – М.: ВНИИПО, 1981. – С. 17–20.
15. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с. – ISBN: 978-985-590-050-5.

**Количественное описание механизмов образования воздушно-механической пены
низкой кратности для нужд пожаротушения**

**Quantitative description of the mechanisms of formation of low multiplicity air-mechanical
foam for firefighting needs**

Камлюк Андрей Николаевич

кандидат физико-математических наук,
доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», заместитель
начальника университета по научной
и инновационной деятельности

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: kan@ucp.by

SPIN-код: 8858-0296

Andrey N. Kamlyuk

PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Deputy Chief of the University
on Scientific and Innovative Activity

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

ScopusID: 57218325403

QUANTITATIVE DESCRIPTION OF THE MECHANISMS OF FORMATION OF LOW MULTIPLICITY AIR-MECHANICAL FOAM FOR FIREFIGHTING NEEDS

Kamlyuk A.N.

Purpose. To theoretically evaluate the influence of various factors on the generation of air-mechanical foam obtained in fire extinguishing devices. To compare the obtained data with the results of experimental studies.

Methods. Theoretical and empirical methods of analysis were used in the research process.

Findings. As a result of calculations, the data on the limiting (minimum and maximum) speeds for the liquid flow were obtained, in the range of which the generation of low-expansion air-mechanical foam is ensured for a wide class of foam-generating devices. The mechanisms of foam generation on grids in nozzles of fire trunks by the blowing method, on the surface of foam sprinkler rosettes of automatic fire extinguishing systems by the whipping method, and also by introducing air into the mixing chamber are considered.

Application field of research. The results of the analysis can be used in the development of foam-generating devices, as well as to determine the optimal modes of their operation.

Keywords: foam, bubble diameter, bubble blowing speed, bubble whipping speed, multiplicity, stability, dispersion, gas content, ejector, mesh, sprinkler.

(The date of submitting: July 10, 2024)

REFERENCES

1. Navrotsky O.D., Kotov S.G. Povyschenie kratnosti peny vodnykh rastvorov PAV [Increasing the foam multiplicity of aqueous solutions of surfactants]. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 2007. Vol. 6, No. 2. Pp. 49–56 (rus). EDN: STSCWP.
2. Koksharov A.V., Osipenko S.I. Opredelenie kriticheskikh parametrov obrazovaniya peny na setkakh penogeneratora sredney kratnosti [The determination of the critical parameters of the foam generation on the grid foam generator average multiplicity]. *Technosphere safety*, 2017. No. 1 (14). Pp. 35–38 (rus). EDN: YHMVWN.
3. Bezrodnyy I.F. Zabytye imena – zabytye znaniya... ili «Pochemu ne tushit pena?...?» [Forgotten names – forgotten knowledge... or «Why doesn't the foam put out the fire...?». *Fire and Explosion Safety*, 2011. Vol. 20, No. 12. Pp. 49–55 (rus). EDN: ONZENF.
4. Kopylov S.N., Shentyapin D.S., Baranov E.V., Grishin V.V., Arkhipov E.E. Issledovanie vliyaniya eksperimental'nogo oborudovaniya na rezul'taty ispytaniy penoobrazovatelya po GOST R 50588–2012 [Study of the experimental equipment influence on the results of frother tests according to GOST R 50588–2012]. *Current Fire Safety Issues*, 2020. No. 1 (3). Pp. 26–33 (rus). EDN: GBWGRS.
5. Kovalev V.I., Erofeeva A.A., Alashkevich Yu.D. Osnovnye fizicheskie parametry protsessa soudareniya strui suspenzii s pregradoy s beznozhevoy razmol'noy ustanovke [Fundamental physical parameters of collision process jets suspension with a barrier in knifeless mechanical installation]. *Khimiya ras-titel'nogo syr'ya*, 2009. No. 3. Pp. 165–168 (rus). EDN: KYRBHP.
6. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Titovets A.F., Polochanin N.S., Grachulin A.V. Vliyanie razmerov yacheyki setki i rasstoyaniya ot sopla na dispersnost' peny [Influence of the dimensions of the grid cell and the distance from it to the nozzle of the foam-generating device on the foam dispersion]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol. 6, No. 4. Pp. 441–450. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.441. EDN: GNBQTD.
7. Popkov V.I., Zatsepina S.V., Shakshin V.P. Gidrodinamicheskoe modelirovanie fil'tratsii pri malykh znachenyakh kapillyarnogo chisla [Hydrodynamic modeling of filtration at low capillary number values]. *Journal of Samara State Technical University. Series: Physical and Mathematical Sciences*, 2005. No. 34. Pp. 163–170. (rus). EDN: ISCORF.
8. Skripkin A.G., Kol'tsov I.N., Mil'chakov S.V. Eksperimental'nye issledovaniya krivoy kapillyarnogo osusheniya pri PAV-polimernom zavodnenii [Experimental studies of the capillary desaturation curve in polymer-surfactant flooding]. *PROneft. Professionally About Oil*, 2021. Vol. 6, No. 1. Pp. 40–46. (rus). EDN: QWLMKE.
9. Kachanov I.V., Karpenchuk I.V., Pavlyukov S.Yu. Ustanovki avtomaticheskogo pozharotusheniya s predvaritel'noy aeratsiyey ognetushashchey rabochey sredy [Automatic fire extinguishing installations with preliminary aeration of the working medium].

- with preliminary aeration of the fire extinguishing working environment]. Minsk: Belarusian National Technical University, 2018. 149 p. (rus)
10. Kann K.B. *Kapillyarnaya gidrodinamika pen* [Capillary hydrodynamics of foams]. Novosibirsk: Nauka, 1989. 167 p. (rus). ISBN: 5-02-028655-9.
 11. Salkin L., Schmit A., Panizza P., Courbin L. Generating soap bubbles by blowing on soap films. *Physical Review Letters*, 2016. Vol. 116, No. 7. Article 077801. DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.077801.
 12. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Morozov A.A. Stvol pozharney ruchnoy universal'nyy kombinirovanny s raskhodom do 5 l/s i vozmozhnost'yu formirovaniya vozdušno-mekhanicheskoy peny [Universal fire-fighter manual fire barrel combined with a flow rate of up to 5 l/s and the possibility of forming an air-mechanical foam]. *Scientific & Educational Problems of the Civil Protection*, 2019. No. 1 (40). Pp. 76–85. (rus). EDN: ZEUEPZ.
 13. Chan D.Kh., Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V., Platonov A.S., Titovets A.F. Otsenka diametra puzyr'kov i skorosti potoka penoobrazuyushchey smesi dlya ikh obrazovaniya na setke penogeneriruyushchikh ustroystv [Evaluation of the bubbles diameter and the blowing speed of the air-mechanical foam forming bubbles on the screen of the foam generators]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol. 6, No. 1. Pp. 84–94. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.84. EDN: QAEHWG.
 14. Bychkov A.I. O sryve penoobrazovaniya na setkakh [About foaming disruption on the nets]. *Proc. of VII All-Union scientific-practical conf. «Gorenie i problemy tusheniya pozharov»: Section «Teplomassoobmen v usloviyakh pozhara»*. Moscow: FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, 1981. Pp. 17–20. (rus)
 15. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. *Kompressionnaya pena dlya nuzhd pozharnykh podrazdeleniy* [Compression foam for the needs of fire departments]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2019. 224 p. (rus). ISBN: 978-985-590-050-5.

ПОЛУЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПАСТ¹ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Рева О.В., Говор Т.А.

Цель. Разработка математической модели многофакторного процесса гидрометаллургического синтеза защитных никелевых покрытий для деталей ПАСТ из высокоскоростных кремнефтористых электролитов для определения оптимальных технологических режимов работы при варьировании ряда факторов (концентрация кремнефторида никеля в растворе, плотность катодного тока, температура раствора).

Методы. В работе применены метод рандомизации, стандартные методики определения электрохимических характеристик (толщина осажденных никелевых покрытий, выход по току катодной реакции), модуль «Профили желательности» программного пакета STATISTICA, а также метод полного факторного эксперимента для получения регрессионной модели.

Результаты. Проведен полный факторный эксперимент с использованием нового высокоскоростного кремнефтористого электролита никелирования на трех уровнях факторов, влияющих на скорость осаждения никелевых покрытий: молярная концентрация кремнефторида никеля (NiSiF_6) в растворе $c = 1; 1,25; 1,5$ моль/дм³, температура раствора электролита $t = 40; 50; 60$ °С, плотность катодного тока $i = 8; 10; 12$ А/дм². В результате анализа экспериментальных данных разработана регрессионная модель прогнозирования скорости осаждения никелевых покрытий в исследованных диапазонах изменения варьируемых факторов. Оптимальные значения варьируемых факторов: молярная концентрация NiSiF_6 в растворе $c = 1,2$ моль/дм³; температура раствора электролита $t = 53$ °С; плотность катодного тока $i = 11,6$ А/дм². При данных условиях достигается наибольшее значение зависимой переменной (скорость осаждения никелевого покрытия), составляющее 240,7 мкм/ч.

Область применения исследований. Разработанная регрессионная модель позволяет определить оптимальный диапазон для каждого из основных параметров системы, в частности концентрации кремнефторида никеля в растворе, плотности катодного тока, температуры электролита, что дает возможность наметить пути минимизации побочных процессов (формирования на катоде оксо- и гидроксосоединений никеля и выделения водорода) для получения защитных никелевых покрытий с заданными свойствами.

Ключевые слова: защитные никелевые покрытия, скоростные кремнефтористые электролиты, гексафторсиликатные комплексы никеля, полный факторный эксперимент.

(Поступила в редакцию 10 июля 2024 г.)

Введение

Одним из наиболее эффективных технологических путей повышения надежности деталей аварийно-спасательной техники, эксплуатирующихся в экстремальных условиях, является нанесение на рабочую поверхность изделий упрочняющих покрытий, что значительно более экономично, чем изготовление всей детали из высокопрочных легированных сталей и сплавов цветных металлов. Гидрометаллургический (электрохимический) низкотемпературный синтез защитных покрытий путем кристаллизации металлов при низких температурах энергией электрического тока известен давно и описан во множестве литературных источников, обзор и критический анализ которых приведен в монографии [1]. Однако внимание исследователей к данным системам не ослабевает, поскольку они характеризуются практически неисчерпаемыми возможностями регулирования состава и микроструктуры

¹ ПАСТ – пожарная аварийно-спасательная техника

и, соответственно, физико-механических свойств синтезируемых материалов, в отличие от металлургических аналогов. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов позволяет также проводить дозированное включение в матрицу упрочняющей и структурирующей микро- и наноразмерной неметаллической фазы с получением композиционных материалов с улучшенными свойствами.

Поскольку гальваническое формирование металлопокрытий является сложным и многофакторным физико-химическим процессом, протекающим на границе раздела фаз, в большинстве литературных источников суммированы результаты эмпирического изучения влияния отдельных факторов на закономерности протекающих процессов и свойства получаемых покрытий. Математическое моделирование в данных системах весьма затруднительно, поскольку велико количество значимых факторов (природа и концентрация каждого из компонентов электролита, температура, рН раствора, потенциалы катода и анода, наличие побочных химических реакций и их критические потенциалы, плотность катодного и анодного токов, направление роста текстур кристаллизации, скорость диффузии и разряда каждого из комплексных ионов в электролите и др.). Кроме того, влияние целого ряда факторов нелинейно: оно может приближаться к параболической, логарифмической, гиперболической, экспоненциальной и другим функциям или иметь сложную форму, не описываемую одной функцией. Это наглядно иллюстрируется очень сложной формой экспериментальных вольтамперметрических кривых для разных электролитов, на которых имеется множество минимумов, максимумов, перегибов и плато, положение каждого из которых связано с преимущественным протеканием какого-то процесса [1].

Помимо этого, ионы многовалентных металлов, таких как никель, в водных растворах практически никогда не присутствуют в виде простых катионов. Равновесная концентрация различных комплексных форм является динамичной в зависимости от нескольких факторов (концентрация соли, рН, температура, присутствие дополнительных лигандов), так же как и скорость их диффузии и потенциал разряда на катоде. Ионы никеля в водных растворах чаще всего существуют в виде комплексов типа $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ и $[\text{NiCl}_4]^{2-}$; но в гальванотехнике никелирование производится чаще всего из электролитов сложного состава, содержащих целый комплекс разнородных лигандов. Как правило, часть лигандов имеет органическую природу: ацетат, цитрат, глицин, гистидин, сульфамат и др.; причем неорганические анионы фона могут принимать участие в комплексных равновесиях, и в электролитах образуются смешанные комплексы, такие как $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Gly}]^+$, $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_2\text{Gly}_2]^0$, $[\text{NiGly}_3]^-$, $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_4\text{SO}_4]$, $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}]^+$, $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_2\text{Cl}_2]^0$, $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Ac}]^+$, $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_2\text{Ac}_2]^0$, из которых далеко не все являются электроактивными и характеризуются высокой скоростью диффузии [2–5]. Для кислых кремнефтористых концентрированных электролитов никелирования комплексные равновесия в литературных источниках не описаны, но можно предположить существование сложных комплексных форм никеля с участием анионов Cl^- , SO_4^{2-} , SiF_6^{2-} , HBO_3^{2-} и молекул воды, но их состав и константы образования неизвестны; поэтому моделировать процессы, связанные со скоростью диффузии и потенциалами разряда на катоде различных комплексных форм никеля на данном этапе невозможно.

Работ, посвященных построению математических моделей по отношению к гальваническим процессам, немного, и в них либо варьируется один фактор, для которого составляется уравнение, либо делается ряд допущений и ограничений, например, что электропроводность, плотность и магнитная проницаемость конкретного электролита не зависят от концентрации компонентов и температуры [6].

Авторами работы [7] предложена система автоматизированного проектирования для управления гальваническими процессами, представляющая сложную многоступенчатую схему построения программного комплекса, в котором каждый из параметров конечного материала рассчитывается по отдельному уравнению, формируются графические образы и строится полигональная модель, после обработки которой получается система уравнений

с варьируемыми краевыми параметрами. Решение этой системы уравнений, как подчеркивают авторы, сопряжено с большими временными затратами. Для ускорения получения результатов используется распараллеливание вычислительного процесса: в частности, использованный при решении метод расщепления предусматривает сведение трехмерной задачи к двум двумерным. Двумерные задачи решаются параллельно, после чего находится решение исходной задачи путем суммирования результатов двумерных задач в одинаковых узлах. Однако авторами не приводится оценка адекватности системы проектирования применительно к конкретным системам получения гальванопокрытий и соответствия полученных расчетным методом характеристик экспериментальным данным.

В работе [8] предложена нестационарная математическая модель гальванического процесса, которая учитывает колебания концентрации компонентов электролита вследствие электрохимических и химических реакций, испарения воды; уноса компонентов электролита с деталями при постоянном значении прочих факторов. Для решения вариативной задачи прямым модифицированным методом Ритца авторами был разработан комплекс программного обеспечения и доказано, что для достижения заданной точности достаточно использования полинома первой степени в качестве управляющего воздействия. Для построения модели последовательно решаются системы алгебраических уравнений как методом простых итераций, так и методом нижней релаксации, явными схемами пошагового интегрирования (например, семейства Рунге – Кутты) с применением метода оврагов в качестве алгоритма поиска значений постоянных коэффициентов.

Таким образом, можно сделать вывод, что для математического моделирования процессов, протекающих на поверхности катода даже при фиксированном составе электролита, температуре и области рабочих потенциалов, требуется достаточно сложное программное обеспечение с использованием полиномов различных степеней и последовательным решением систем уравнений параболического типа с нелинейными граничными условиями третьего рода, что возможно только для хорошо изученных систем с известными оптимальными параметрами. Для большинства сложных систем, где оптимальные параметры действующих факторов не определены, эти методы в настоящий момент неприменимы. Наиболее оптимальным для исследуемой системы – новый скоростной кремнефтористый электролит никелирования – представляется сочетание экспериментальных и расчетных методов [9].

Основная часть

С целью определения оптимальных параметров скоростного электрохимического осаждения защитных никелевых покрытий из кремнефтористых электролитов с высоким выходом по току и плотной бездефектной структурой применялся метод полного факторного эксперимента (далее – ПФЭ).

На начальном этапе ПФЭ проведен выбор факторов (независимых переменных уравнения регрессии) и отклика (зависимой переменной уравнения регрессии). В качестве главных факторов приняты:

- x_1 – молярная концентрация c никеля кремнефтористого (NiSiF_6) в растворе, моль/дм³;
- x_2 – температура раствора электролита t ; °С;
- x_3 – плотность катодного тока i , А/дм².

В качестве отклика (y) принята скорость осаждения покрытия v , мкм/ч.

Электроосаждение никеля производили из ванны объемом 500 см³ на медные подложки с геометрической площадью поверхности не менее 10,5 см². Плотность тока варьировали от 2 до 14 А/дм² (с шагом 2 А/дм²), температуру – от 20 до 60 °С (с шагом 10 °С); молярную концентрацию никеля кремнефтористого – от 1 до 2 моль/дм³ (с шагом 0,5 моль/дм³). Приведенные граничные условия определяются наличием в системе побочных процессов, влияние которых сложно учесть численно: с возрастанием плотности катодного тока ускоряется параллельное кристаллизации никеля восстановление водорода, которое еще до

заметного замедления роста покрытия вызывает его наводороживание и накопление внутренних напряжений. Кроме того, еще до возникновения диффузионных затруднений комплексных форм никеля в растворе (также лимитирующей скорость кристаллизации) при низких и высоких плотностях катодного тока возможна пассивация катода продуктами неполного восстановления никеля, что существенно снижает эксплуатационные характеристики покрытия.

Толщину осажденных никелевых покрытий l (мкм) определяли гравиметрически с помощью аналитических весов СЕ224-С (с абсолютной погрешностью измерения $\pm 0,0002$ г) и рассчитывали по формуле:

$$l = \frac{\Delta m}{S \cdot \rho_{Ni}} \cdot 10, \quad (1)$$

где Δm – разница между массой образца m_2 после осаждения покрытия и массой образца m_1 до осаждения покрытия, мг;

S – площадь поверхности образца, см²;

ρ_{Ni} – плотность никеля, г/см³ (8,902 г/см³).

Выход по току катодной реакции вычисляли по формуле:

$$ВТ = \frac{m_{\phi}}{m_t} \cdot 100\% = \frac{\Delta m}{qIt} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где q – электрохимический эквивалент вещества, г/(А·ч) (для никеля – 1,095);

I – сила тока, А;

t – продолжительность осаждения, ч.

Математическое описание. Для построения математической модели, описывающей процесс электрохимического осаждения никелевого покрытия, нами предварительно проведено $n = 8$ серий экспериментов по 5 опытов в серии. В каждой из них были отобраны $m = 3$ результата, в которых наблюдалась большая толщина никелевых покрытий. Для исключения влияния систематических погрешностей, вызванных внешними условиями, применялся метод рандомизации (случайный порядок проведения эксперимента) [10, с. 56].

Для определения оптимальных условий скоростного электрохимического синтеза защитных никелевых покрытий из кремнефтористого электролита с высоким выходом по току и плотной бездефектной структурой было рассмотрено уравнение регрессии, учитывающее взаимодействие факторов x_1, x_2, x_3 – условий электрокристаллизации никеля:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{123}x_1x_2x_3, \quad (3)$$

где a_0, a_1, \dots, a_{123} – неизвестные коэффициенты, подлежащие оцениванию.

Для каждого фактора определили центр, интервал варьирования и зависимость кодированной переменной X_i от натуральной x_i . Для обработки результатов экспериментов и дальнейшего определения коэффициентов уравнения регрессии факторы приводились к одному масштабу путем кодирования переменных (табл. 1) [10, с. 54; 11, с. 73].

Таблица 1. – Кодирование факторов

Факторы	Верхний уровень x_i^+	Нижний уровень x_i^-	Центр x_i^0	Интервал варьирования Δx	Зависимость кодированной переменной от натуральной
x_1	1,5	1	1,25	0,25	$X_1 = (x_1 - 1,25) / 0,25 = 4x_1 - 5$
x_2	60	40	50	10	$X_2 = (x_2 - 50) / 10 = 0,1x_2 - 5$
x_3	12	8	10	2	$X_3 = (x_3 - 10) / 2 = 0,5x_3 - 5$

После кодирования уровни факторов принимают значения: 1 – верхний уровень; -1 – нижний уровень; 0 – нулевой уровень.

В кодированных переменных модель (3) приняла следующий вид:

$$\bar{y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3, \quad (4)$$

где b_0, b_1, \dots, b_{123} – коэффициенты регрессии при кодированных переменных X_i .

Строим матрицу планирования с учетом всех взаимодействий и средних значений отклика (табл. 2).

Таблица 2. – Расширенный план проведения экспериментов и его результаты

№ серии	Факторы в натуральном масштабе			Факторы в кодированных переменных			Взаимодействие факторов				Среднее значение результатов \bar{y}
	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	
1	1	40	8	-1	-1	-1	1	1	1	-1	98,41
2	1,5	40	8	1	-1	-1	-1	-1	1	1	107,52
3	1	60	8	-1	1	-1	-1	1	-1	1	167,06
4	1,5	60	8	1	1	-1	1	-1	-1	-1	165,55
5	1	40	12	-1	-1	1	1	-1	-1	1	181,31
6	1,5	40	12	1	-1	1	-1	1	-1	-1	184,84
7	1	60	12	-1	1	1	-1	-1	1	-1	253,39
8	1,5	60	12	1	1	1	1	1	1	1	260,62

В матрице плана экспериментов столбцы факторов в кодированных переменных X_1, X_2, X_3 взаимно ортогональны.

Значение среднего выборочного \bar{y}_i для i -той серии экспериментов рассчитывались по формуле:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{3}(y_{i1} + y_{i2} + y_{i3}), \quad (5)$$

где y_{ij} – скорость осаждения покрытия в j -том результате i -той серии экспериментов.

В соответствии с [11, с. 79] коэффициенты регрессии (3) вычислялись по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{y}_i; \quad b_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij} \bar{y}_i; \quad (6)$$

$$b_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij} X_{ik} \bar{y}_i, \quad j \neq k; \quad (7)$$

$$b_{123} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i1} X_{i2} X_{i3} \bar{y}_i, \quad (8)$$

где X_{ij} – элемент матрицы плана эксперимента (кодированные переменные), расположенный в i -той строке и j -том столбце. По итогам вычислений получили следующее уравнение регрессии:

$$\bar{y} = 177,336 + 2,295X_1 + 34,318X_2 + 42,703X_3 - 0,866X_1X_2 + 0,393X_1X_3 + 2,648X_2X_3 + 1,789X_1X_2X_3. \quad (9)$$

Далее с помощью критерия Стьюдента проверена значимость полученных коэффициентов b_0, b_1, \dots, b_{123} . Среднеквадратичное отклонение коэффициентов определяли по формуле [12, с. 76]:

$$S_{\text{коэф}} = \sqrt{\frac{S_y^2}{n \cdot m}}, \quad (10)$$

где S_y^2 – дисперсия воспроизводимости, характеризующая ошибку всего эксперимента и равная:

$$S_y^2 = \frac{1}{n \cdot (m-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 = 0,554. \quad (11)$$

При числе степеней свободы $n(m-1) = 8 \cdot 2 = 16$ и уровне значимости $\alpha = 0,05$ критическое значение критерия Стьюдента составило $t_{\text{кр}} = 2,12$.

При полученном среднеквадратичном отклонении коэффициентов $S_{\text{коэф}} = 0,152$ значимый коэффициент b регрессии (9) удовлетворяет условию $|b| > t_{\text{кр}} S_{\text{коэф}} = 0,322$. Следовательно, все коэффициенты значимы и уравнение регрессии в кодированных переменных (9) имеет $r = 8$ значимых коэффициентов.

Для проверки адекватности уравнения регрессии по критерию Фишера вычисляют остаточную дисперсию (дисперсию адекватности), используя следующую формулу [12, с. 79]:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{n-r} \sum_{i=1}^n (\tilde{y}_i - \bar{y}_i)^2, \quad (12)$$

где \tilde{y}_i – значение скорости осаждения покрытия, вычисленное по уравнению регрессии (9) для i -той серии экспериментов.

Однако в случае построения модели вида (4) число степеней свободы дисперсии адекватности $f_{\text{ад}} = n - r = 0$, план становится насыщенным. Учитывая данный факт, все коэффициенты значимы и проверка адекватности полученной модели по критерию Фишера не проводится [10, с. 56; 13, с. 64].

Интерпретация модели производится только тогда, когда она записана в кодированных переменных, т.к. только в этом случае масштаб факторов не влияет на коэффициенты, и, следовательно, по величине коэффициентов можно судить о степени влияния того или иного фактора. При построении уравнения для натуральных переменных коэффициенты регрессии изменятся, и при этом пропадет возможность интерпретации влияния факторов по величинам и знакам коэффициентов регрессии. Вектор-столбцы натуральных значений переменных в матрице планирования уже не будут ортогональными, коэффициенты определяются независимо друг от друга [14, с. 191, 192].

Таким образом, чем больше абсолютная величина коэффициента, тем сильнее фактор влияет на отклик. О характере влияния факторов указывают знаки коэффициентов. Знак «плюс» свидетельствует о том, что с увеличением значения фактора растет величина отклика (изучаемого параметра), а при знаке «минус» – убывает [14]. Следовательно, вид регрессии (9) позволяет утверждать, что наиболее сильное влияние оказывает фактор X_3 – плотность катодного тока, т.к. он имеет наибольший по абсолютной величине коэффициент. После него по силе влияния на отклик идет фактор X_2 (температура раствора электролита). Далее не столь значимое влияние на отклик оказывает парное взаимодействие факторов $X_2 X_3$ и влияние фактора X_1 (молярная концентрация никеля кремнефтористого в растворе), причем коэффициенты регрессии перед данными переменными отличаются незначительно. С учетом знаков коэффициентов можно сделать вывод, что увеличение факторов X_1, X_2, X_3 приведет к увеличению скорости осаждения никелевых покрытий в исследуемых диапазонах концентрации гексафторсилката никеля в растворе.

Для получения математической модели в натуральных переменных в уравнение регрессии (9) вместо X_j подставили их выражения из формул (табл. 1):

$$y = -388,494 + 197,540x_1 + 7,013x_2 + 36,112x_3 - 3,924x_1x_2 - 17,104x_1x_3 - 0,315x_2x_3 + 0,358x_1x_2x_3. \quad (13)$$

Далее в результате обработки экспериментальных данных построен ряд зависимостей скорости осаждения покрытия от плотности катодного тока, температуры раствора и молярной концентрации никеля кремнефтористого в растворе (рис. 1).

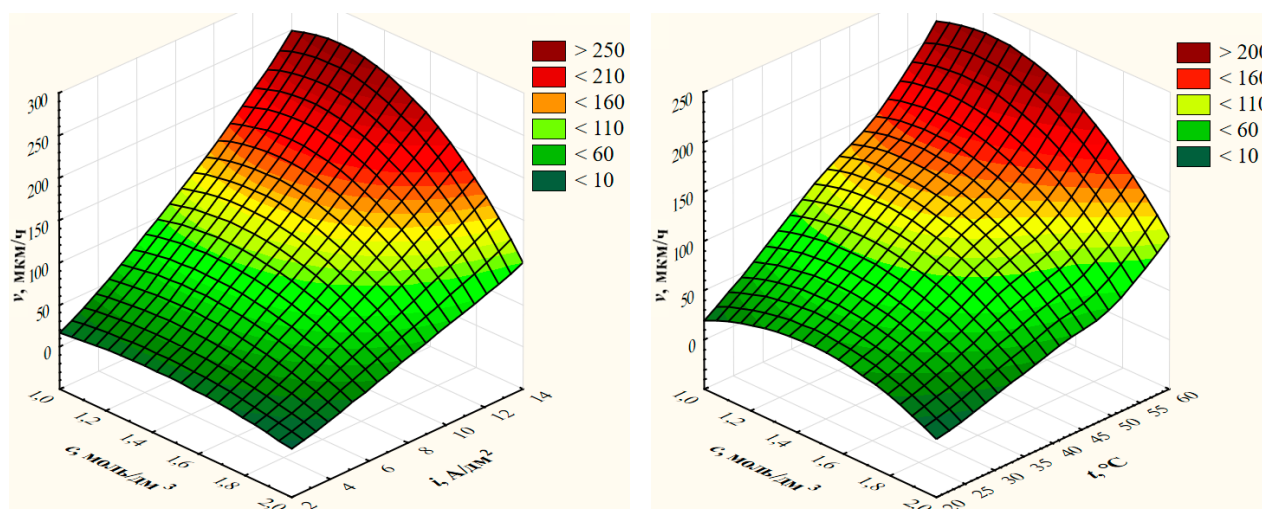


Рисунок 1. – Зависимости скорости осаждения никелевого покрытия v от c и i , c и t соответственно

По графикам видно, что с увеличением плотности катодного тока и повышением температуры раствора электролита происходит устойчивое увеличение скорости осаждения никелевых покрытий без достижения явного перегиба, характерного для большинства других электролитов. Следует подчеркнуть, что отсутствие замедления осаждения никеля при высоких плотностях тока не всегда позволяет получать качественные плотноупакованные покрытия без внутренних напряжений и формирования дендритов по краям детали.

По приведенным графикам можно определить оптимальные значения варьируемых параметров с целью получения покрытий заданной толщины с минимальным наводороживанием и внутренними напряжениями.

Следует отметить, что во всех случаях при увеличении плотности катодного тока и повышении температуры электролита выход никеля по току возрастает, при этом влияние температуры выражено сильнее. Оптимальные значения выхода никеля по току (не ниже 65 %) достигаются при плотности катодного тока от 10 до 12 А/дм² и температуре раствора электролита от 40 до 55 °С [9].

Определение оптимальных параметров скоростного электрохимического осаждения никелевых покрытий, т.е. приближения к максимальному значению величины $y(x) = y(x_1, x_2, x_3)$ скорости осаждения покрытия, проводилось с использованием модуля «Профили желательности» программного пакета STATISTICA [15]. В заданных диапазонах значений факторов оптимальными являются: молярная концентрация NiSiF₆ в растворе $c = 1,2$ моль/дм³; температура раствора электролита $t = 53$ °С; плотность катодного тока $i = 11,6$ А/дм². При данных условиях достигается наибольшее значение зависимой переменной (скорость осаждения никелевого покрытия), составляющее 240,7 мкм/ч.

Заключение

В соответствии с разработанным планом полного факторного эксперимента определено влияние следующих параметров на скорость электрохимического осаждения защитных

никелевых покрытий для нового кремнефтористого электролита: молярной концентрации кремнефторида никеля в растворе (c), температуры раствора электролита (t), плотности катодного тока (i). Полный факторный эксперимент проводился на трех уровнях вышеперечисленных факторов: $c = 1; 1,25; 1,5$ моль/дм³, $t = 40; 50; 60$ °С, $i = 8; 10; 12$ А/дм².

На основе анализа результатов полного факторного эксперимента построена регрессионная модель (8) прогнозирования скорости осаждения никелевых покрытий в зависимости от вышеуказанных параметров в следующих диапазонах значений: молярная концентрация c кремнефторида никеля (NiSiF₆) в растворе от 1,0 до 1,5 моль/дм³; температура t раствора электролита от 40 до 60 °С; плотность катодного тока i от 8 до 12 А/дм². На основании регрессионной модели (9) получена математическая модель в натуральных переменных (14). Разработанная модель может быть использована для скоростного электросинтеза защитных никелевых покрытий с необходимым значением толщины, незначительными внутренними напряжениями и плотной бездефектной структурой.

При регрессионном анализе модели установлено, что наибольшее влияние на скорость осаждения никелевых покрытий оказывает такой фактор, как плотность катодного тока i , следующий по значимости фактор – температура раствора электролита t . Не столь значимое влияние оказывает парное взаимодействие температуры раствора и плотности катодного тока и молярная концентрация никеля кремнефтористого в растворе. Наименьшее влияние оказывает парное взаимодействие молярной концентрации NiSiF₆ в растворе и плотности катодного тока, а также парное взаимодействие молярной концентрации NiSiF₆ и температуры раствора.

Проведена оптимизация основных параметров скоростного электрохимического синтеза защитных никелевых покрытий с помощью программного пакета STATISTICA. В соответствии с составленным профилем желательности оптимальными параметрами являются: молярная концентрация NiSiF₆ в растворе 1,2 моль/дм³; температура раствора электролита 53 °С; плотность катодного тока 11,6 А/дм². Следует подчеркнуть, что при выборе других функций отклика, например, размера зерен, составляющих покрытия, превалирующей текстуры кристаллизации, износостойкости или твердости получаемого покрытия эти параметры могут смещаться.

Изложенные результаты получены впервые и являются основой для дальнейшего изучения закономерностей синтеза защитных гальванопокрытий из никеля, его сплавов и композитов из высокоскоростных кремнефтористых электролитов при модификации их устойчивой неметаллической фазой с целью получения композиционных покрытий с улучшенными физико-механическими и коррозионными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гамбург, Ю.Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов / Ю.Д. Гамбург. – М.: Янус-К, 1997. – 384 с.
2. Трошанин, Н.В. Гетеролигандные комплексы меди (II), никеля (II), кобальта (II) с гидразидом изоникотиновой кислоты и L-гистидином / Н.В. Трошанин, Т.И. Бычкова // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2021. – Т. 163, № 1. – С. 45–60. – DOI: 10.26907/2542-064X.2021.1.45-60. – EDN: GLHVYP.
3. Долгих, О.В. Электроосаждение никеля из растворов, содержащих глицин / О.В. Долгих, Н.В. Соцкая, Е.С. Шаманаева // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2006. – Т. 8, № 4. – С. 275–282. – EDN: ICJAVT.
4. Логинова, О.Ю. Разработка сульфатно-глицинатно-хлоридного электролита и условий электроосаждения сплава никель-фосфор: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.03 / О.Ю. Логинова. – М., 2016. – 148 л.
5. Электроосаждение никеля из сульфатных растворов в присутствии аминокислотной кислоты / О.А. Таранина [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83, Вып. 1. – С. 60–63. – DOI: 10.1134/S107042721001012X. – EDN: GJQFCK.

6. Белов, П.А. Моделирование процесса гальванического нанесения композиционных покрытий на основе меди / П.А. Белов, В.О. Петрова, Е.Ю. Хорунжая // Auditorium. – 2016. – № 3 (11). – С. 95–101. – EDN: WWWSWD.
7. САПР гальванических процессов / Ю.В. Литовка [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 882–891. – EDN: PUTEEK.
8. Соловьев, Д.С. Математическое моделирование и оптимальное управление процессом осаждения гальванического покрытия в многоанодной ванне с учетом изменения концентрации компонентов электролита / Д.С. Соловьев, Ю.В. Литовка // Компьютерные исследования и моделирование. – 2013. – Т. 5, № 2. – С. 193–203. – EDN: QYUQUN.
9. Говор, Т.А. Скоростной гидromеталлургический синтез бездефектных защитных никелевых покрытий для деталей пожарной аварийно-спасательной техники / Т.А. Говор, О.В. Рева // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : сб. материалов XVII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Минск, 18 апреля 2024 г. – Минск: УГЗ, 2024. – С. 24–26. – ISBN 978-985-590-228-8.
10. Гринфельд, Г.М. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: конспект лекций / Г.М. Гринфельд, А.В. Моисеев. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 76 с. – ISBN 978-5-7765-1102-8.
11. Реброва, И.А. Планирование эксперимента: учеб. пособие / И.А. Реброва. – Омск: СибАДИ, 2010. – 105 с.
12. Володарский, Е.Т. Планирование и организация измерительного эксперимента / Е.Т. Володарский, Б.Н. Малиновский, Ю.М. Туз. – Киев: Вища школа, 1987. – 280 с.
13. Бондарь, А.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры): учеб. пособие / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха, И.А. Потяженко. – Киев: Вища школа, 1980. – 264 с.
14. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – Изд. 2-е. – М.: Наука, 1976. – 139 с.
15. Халафян, А.А. Промышленная статистика: контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA: учеб. пособие / А.А. Халафян. – М.: Книжный дом «ЛИБ-РОКОМ», 2013. – 384 с.

Получение оптимальных параметров скоростного электрохимического осаждения никелевых покрытий для деталей ПАСТ методом математического планирования эксперимента

Obtaining optimal parameters of high-speed electrochemical deposition of nickel coatings for parts of fire rescue equipment by the method of mathematical planning of the experiment

Рева Ольга Владимировна

кандидат химических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра химической, биологической, радиационной и ядерной защиты, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

Email: volha107@rambler.ru

SPIN-код: 9028-4876

Olga V. Reva

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Chemical, Biological, Radiation and Nuclear Protection, Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus

Email: volha107@rambler.ru

ORCID: 0000-0003-4006-8678

Говор Татьяна Алексеевна

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», факультет подготовки научных кадров, адъюнкт

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

Email: tatiana.govor.ucp@yandex.by

SPIN-код: 6586-2434

Tatyana A. Govor

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Faculty of Postgraduate Scientific Education, adjunct

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus

Email: tatiana.govor.ucp@yandex.by

ORCID: 0009-0002-7927-8971

OBTAINING OPTIMAL PARAMETERS OF HIGH-SPEED ELECTROCHEMICAL DEPOSITION OF NICKEL COATINGS FOR PARTS OF FIRE RESCUE EQUIPMENT BY THE METHOD OF MATHEMATICAL PLANNING OF THE EXPERIMENT

Reva O.V., Govor T.A.

Purpose. Development of a mathematical model of a multifactor process of hydrometallurgical synthesis of protective nickel coatings for fire rescue equipment parts from high-speed silicofluoride electrolytes to determine the optimal technological modes of operation when varying a number of factors (concentration of nickel silicofluoride in solution, cathodic current density, solution temperature).

Methods. The randomization method, standard techniques for determining electrochemical characteristics (thickness of deposited nickel coatings, current yield of the cathodic reaction), the «Desirability Profiles» module of the STATISTICA software package, as well as the method of full factorial experiment to obtain a regression model were applied in this work.

Findings. A full factorial experiment using a new high-speed silicofluoride electrolyte for nickel plating at three levels of factors affecting the deposition rate of nickel coatings was carried out: molar concentration of nickel silicofluoride (NiSiF_6) in solution $c = 1; 1.25; 1.5 \text{ mol/dm}^3$, temperature of electrolyte solution $t = 40; 50; 60 \text{ }^\circ\text{C}$, cathodic current density $i = 8; 10; 12 \text{ A/dm}^2$. As a result of the analysis of experimental data, a regression model for predicting the deposition rate of nickel coatings in the studied ranges of changing of the varying factors was developed. Optimal values of the varied factors are: molar concentration of NiSiF_6 in solution $c = 1.2 \text{ mol/dm}^3$; temperature of electrolyte solution $t = 53 \text{ }^\circ\text{C}$; cathodic current density $i = 11.6 \text{ A/dm}^2$. Under these conditions, the highest value of the dependent variable (deposition rate of nickel coating), which is $240.7 \text{ } \mu\text{m/h}$, is achieved.

Application field of research. The developed regression model makes it possible to determine the optimal range for each of the main parameters of the system, in particular, the concentration of nickel silicon fluoride in solution, cathode current density, and electrolyte temperature, which makes it possible to outline ways to minimize side processes (formation of nickel oxo- and hydroxo compounds and hydrogen release at the cathode) to obtain protective nickel coatings with specified properties.

Keywords: protective nickel coatings, high-speed silicofluoride electrolytes, nickel hexafluorosilicate complexes, full factor experiment.

(The date of submitting: July 10, 2024)

REFERENCES

1. Gamburg Yu.D. *Elektrokhimicheskaya kristallizatsiya metallov i splavov* [Electrochemical crystallization of metals and alloys]. Moscow: Yanus-K, 1997. 384 p. (rus)
2. Troshanin N.V., Bychkova T.I. Geteroligandnye komplekсы medi (II), nikelya (II), kobal'ta (II) s gidrazidom izonikotinovoy kisloty i L-gistidinom [Heteroligand copper (II), nickel (II) and cobalt (II) with isonicotinic acid hydrazide and L-histidine]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki*, 2021. Vol. 163, No. 1. Pp. 45–60. (rus). DOI: 10.26907/2542-064X.2021.1.45-60. EDN: GLHVYP.
3. Dolgikh O.V., Sotskaya N.V., Shamanaeva E.S. Elektroosazhdenie nikelya iz rastvorov, sodержashchikh glitsin [Electrodeposition of nickel from solutions comprising glycine]. *Condensed Matter and Interphases*, 2006. Vol. 8, No. 4. Pp. 275–282. (rus). EDN: MUHJID.
4. Loginova O.Yu. Razrabotka sul'fatno-glitsinatno-khlорidnogo elektrolita i usloviy elektroosazhdeniya splava nikel'-fosfor [Development of sulphate-glycinate-chloride electrolyte and conditions for electro-deposition of nickel-phosphorus alloys]. PhD tech. sci. diss.: 05.17.03. Moscow, 2016. 148 p. (rus)
5. Tarantina O.A., Evreinova N.V., Shoshina I.A., Naraev V.N., Tikhonov K.I. Elektroosazhdenie nikelya iz sul'fatnykh rastvorov v prisutstvii aminouksusnoy kisloty [Electrodeposition of nickel from sulphate solutions in the presence of aminoacetic acid]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2010. Vol. 83, No. 1. Pp. 60–63. (rus). DOI: 10.1134/S107042721001012X. EDN: GJQFCK.
6. Belov P.A., Petrova V.O., Khorunzhaya E.Yu. Modelirovanie protsessа gal'vanicheskogo naneseniya kompozitsionnykh pokrytiy na osnove medi [Modelling of the process of electroplating of copper-based composite coatings]. *Auditorium*, 2016. No. 3 (11). Pp. 95–101. (rus). EDN: WWSWD.

7. Litovka Yu.V., Kirichenko G.A., Popova M.A., Popov A.S. SAPR gal'vanicheskikh protsessov [SAD for galvanic processes]. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2008. Vol. 14, No. 4. Pp. 882–891. (rus). EDN: KASBFF.
8. Solov'ev D.S., Litovka Yu.V. Matematicheskoe modelirovanie i optimal'noe upravlenie protsessom osazhdeniya gal'vanicheskogo pokrytiya v mnogoanodnoy vanne s uchetom izmeneniya kontsentratsii komponentov elektrolita [Mathematical modeling and optimal control deposition process galvanic coverings in a multianode bath taking into account change concentrations of electrolyte components]. *Computer Research and Modeling*, 2013. Vol. 5, No. 2. Pp. 193–203. (rus). EDN: QYUQUN.
9. Govor T.A., Reva O.V. Skorostnoy gidrometallurgicheskoy sintez bezdefektnykh zashchitnykh nikelovykh pokrytiy dlya detaley pozhar'noy avariyno-spasatel'noy tekhniki [Fast hydrometallurgical synthesis of defect-free protective nickel coatings for rescue equipment details]. *Proc. of XVII Intern. scientific-practical conf. young scientists «Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy»*, Minsk, April, 18, 2024. Minsk: University of Civil Protection, 2024. Pp. 24–26. (rus). ISBN 978-985-590-228-8.
10. Grinfel'd G.M., Moiseev A.V. *Metody optimizatsii eksperimenta v khimicheskoy tekhnologii* [Methods for optimizing experiments in chemical technology]: lecture notes. Komsomolsk-on-Amur: Komsomolsk-na-Amure State University, 2014. 74 p. (rus). ISBN: 978-5-7765-1102-8.
11. Rebrova I.A. *Planirovanie eksperimenta* [Experiment planning]: tutorial. Omsk: Siberian State Automobile and Highway University, 2010. 105 p. (rus)
12. Volodarskiy E.T., Malinovskiy B.N., Tuz Yu.M. *Planirovanie i organizatsiya izmeritel'nogo eksperimenta* [Planning and organisation of a measurement experiment]. Kiev: Vishcha shkola, 1987. 280 p. (rus)
13. Bondar' A.G., Statyukha G.A., Potyazhenko I.A. *Planirovanie eksperimenta pri optimizatsii protsessov khimicheskoy tekhnologii (algoritmy i primery)* [Planning an experiment when optimizing chemical technology processes (algorithms and examples)]: tutorial. Kiev: Vishcha shkola, 1980. 264 p. (rus)
14. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskiy Yu.V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy* [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Moscow: Nauka, 1976. 139 p. (rus)
15. Khalafyan A.A. *Promyshlennaya statistika: kontrol' kachestva, analiz protsessov, planirovanie eksperimentov v pakete STATISTICA* [Industrial statistics: quality control, process analysis, experiment design in STATISTICA]. Moscow: LIBROKOM, 2013. 384 p. (rus)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНОВ ПОГРАНИЧНОЙ СЛУЖБЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ильючик Е.А., Бугай А.Н.

Цель. Выработка и обоснование наиболее перспективных направлений интеграции искусственного интеллекта в систему обеспечения радиационной безопасности органов пограничной службы в целях повышения ее эффективности.

Методы. Анализ возможностей искусственного интеллекта и экстраполяция сфер его применения в систему обеспечения радиационной безопасности органов пограничной службы, моделирование технической составляющей системы с учетом интеграции искусственного интеллекта.

Результаты. Установлены основные факторы, определяющие актуальность применения искусственного интеллекта, предложены наиболее перспективные направления его применения в системе обеспечения радиационной безопасности органов пограничной службы. Проведен анализ технических средств радиационного и дозиметрического контроля, который позволил выработать основные требования к элементам системы с учетом интеграции искусственного интеллекта, включая принципиальную схему передачи данных и возможность внедрения средств дистанционного радиационного контроля и разведки с использованием перспективного программно-аппаратного комплекса радиационного контроля и беспилотных летательных аппаратов. Предложена элементная база программно-аппаратного комплекса радиационного контроля, обеспечивающая возможность внедрения технологий анализа, оценки и прогнозирования радиационной обстановки на участке государственной границы в случае возникновения радиологической чрезвычайной ситуации, а также выбора оптимального маршрута для ведения воздушной и наземной радиационной разведки с учетом способности искусственного интеллекта дистанционно управлять беспилотным летательным аппаратом.

Область применения исследований. Обеспечение радиационной безопасности органов пограничной службы Республики Беларусь.

Ключевые слова: искусственный интеллект, радиационная безопасность, трансграничное перемещение ядерных и радиоактивных материалов, программно-аппаратный комплекс, радиационный и дозиметрический контроль, государственная граница, радиологическая чрезвычайная ситуация.

(Поступила в редакцию 12 марта 2024 г.)

Введение

Современная наука развивается очень быстрыми темпами, в настоящее время по статистике объем научных знаний удваивается каждые 10–15 лет. Около 90 % всех ученых являются нашими современниками, т.е. большинство всех научно-технических достижений были сделаны в наше время, исключением не стало и открытие человечеством такого феномена, как «искусственный интеллект». Первые результаты внедрения искусственного интеллекта в жизнь человека мы наблюдали при создании роботов и машин, которые стали помогать человеку выполнять тяжелую, монотонную, а порой и связанную с риском для жизни работу, производить сложные расчеты и находить решения сложнейших задач.

Изучение истории вопроса выявило, что одно из первых определений искусственного интеллекта дал Марвин Минский в 1956 г., который описал это явление как «науку о том, как заставить машины делать вещи, которые требуют применения интеллекта, когда их делают люди». С тех пор искусственный интеллект и управление различными объемами данных развивались взаимозависимым образом. Определено, что для выполнения анализа искусственному интеллекту требуется большой объем данных, а для их цифровой обработки

системе требуется искусственный интеллект. То есть можно сделать вывод, что история искусственного интеллекта развивалась параллельно с ростом вычислительных мощностей компьютерной техники и сопутствующих технологий¹.

С развитием технологий, вычислительной и компьютерной техники, средств обработки данных такие понятия, как «искусственный интеллект», «машинное обучение», «нейронные сети» все чаще встречаются и обсуждаются в научных кругах и средствах массовой информации. Проведенный анализ возможностей искусственного интеллекта позволяет сделать вывод, что сферы его применения достаточно многогранны и в общем виде схематично представлены на рисунке 1.

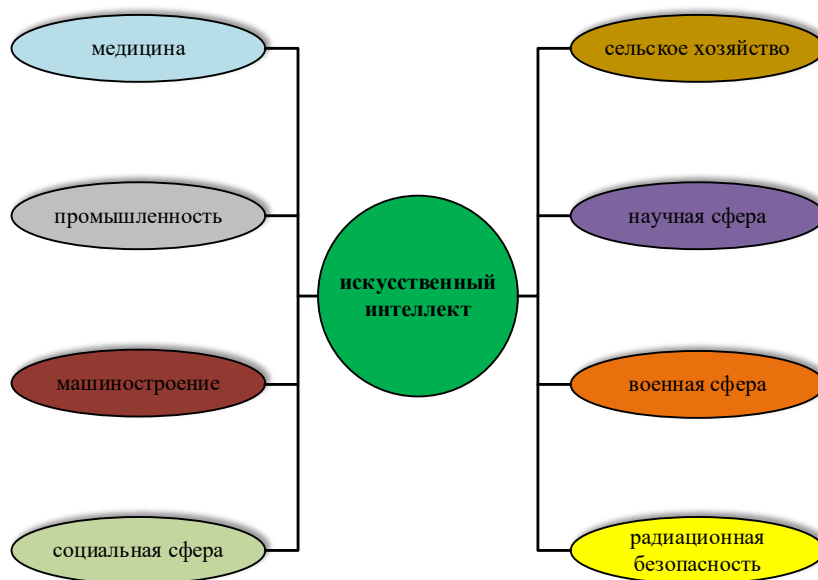


Рисунок 1. – Сферы применения искусственного интеллекта

Современный искусственный интеллект – это система, которая способна воспринимать свою среду и принимать меры, чтобы максимизировать шансы на успешное достижение своих целей, а также интерпретировать и анализировать данные таким образом, чтобы они обучались и адаптировались по мере развития².

В настоящее время различают три основных типа искусственного интеллекта:

ANI (ИИ узкого назначения), «слабый»;

AGI (ИИ общего назначения), «сильный»;

ASI (искусственный суперинтеллект), теоретически обладает полным самосознанием.

В ходе анализа возможностей искусственного интеллекта определено, что машинное обучение и все его компоненты являются подмножеством искусственного интеллекта, а разница между ними заключается в том, что машинное обучение не способно реализоваться в отрыве от искусственного интеллекта и поэтому дело не в том, что они разные, а в том, что их отличает. Следует отметить, что в процессе машинного обучения алгоритмы применяются к различным методам обучения и анализа, позволяя системе автоматически обучаться и совершенствоваться на основе своего опыта без явного программирования³.

Таким образом, искусственный интеллект обрабатывает данные для принятия решений и создания прогнозов, а алгоритмы машинного обучения позволяют ему не только обра-

¹ Что представляет собой искусственный интеллект? [Электронный ресурс] // SAP. – Режим доступа: <https://www.sap.com/central-asia-caucasus/products/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html#:~:text=> – Дата доступа: 10.03.2024.

² См. сноску 1.

³ См. сноску 1.

батывать эти данные, но и использовать их для обучения и повышения «интеллектуальности», не требуя дополнительного программирования, т.е. следует полагать, что машинное обучение может применяться, например при оценке радиационной обстановки, которая требует прогнозирования результатов, получаемых на основе комплексного анализа различных данных.

На современном этапе развития специалисты различных направлений деятельности, в том числе в органах пограничной службы, сталкиваются с проблемой обработки и анализа больших объемов данных. Вместе с тем технологии в области компьютерной и цифровой техники достигли впечатляющих результатов и продолжают стремительно развиваться, создавая оптимальные условия для интеграции искусственного интеллекта, что подтверждается количественной статистикой публикаций о нем в различных сферах деятельности исходя из запросов, сделанных по ключевым словам, представленной на рисунке 2.

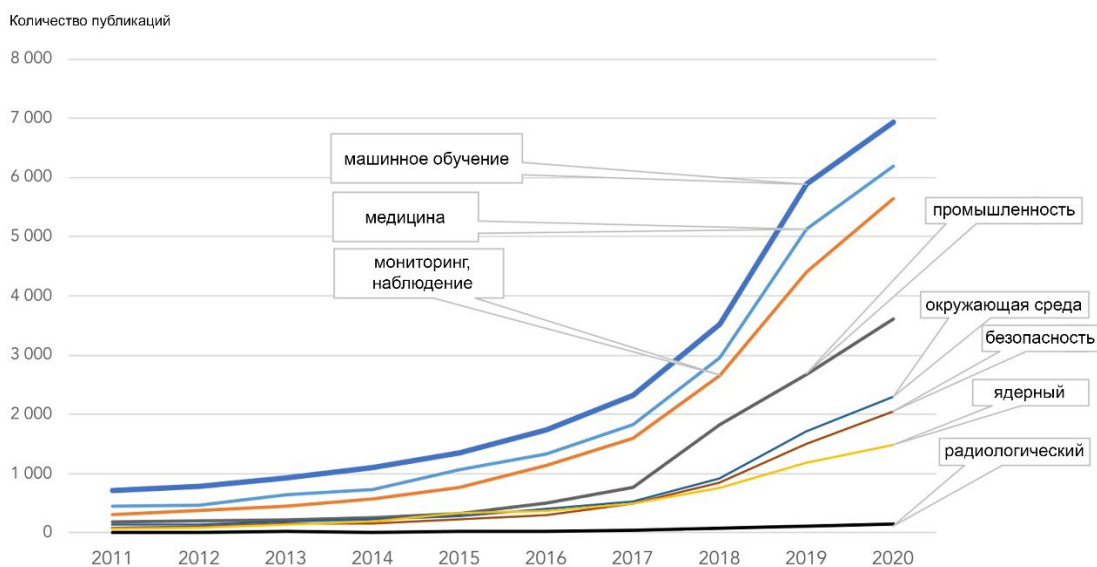


Рисунок 2. – Статистические показатели количества публикаций о машинном обучении (в сносках указаны ключевые слова, по которым проводился запрос) [1]

Из данного анализа следует, что к 2020 г. количество публикаций об искусственном интеллекте и машинном обучении резко возросло практически во всех областях. Лидирующие позиции по публикациям занимают такие области, как медицина, промышленность, безопасность, мониторинг и окружающая среда.

Основная часть

В статье рассматривается ряд наиболее перспективных вариантов использования искусственного интеллекта органами пограничной службы в области обеспечения радиационной безопасности, а именно его интеграция в систему радиационного и дозиметрического контроля, анализа и оценки радиационной обстановки, моделирование ситуаций, связанных с возникновением радиоактивного загрязнения, под которым следует понимать присутствие радиоактивных веществ на поверхности различных объектов, материалов, продуктов питания, а также в организме человека, окружающей среде, где их количество превышает установленные гигиеническими нормативами уровни⁴.

⁴ О радиационной безопасности [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 18 июня 2019 г., N 198-3 // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.

Например, в медицине искусственный интеллект использует алгоритмы и программное обеспечение для аппроксимации человеческих знаний при анализе сложных медицинских данных. Так, ряд систем искусственного интеллекта позволяют медицинским учреждениям детально анализировать клинические данные и получать более глубокое представление о здоровье пациентов. Это дает возможность снизить стоимость медицинской помощи, используя ресурсы более эффективно, и значительно упростить заботу о здоровье населения⁵. Искусственный интеллект используют для анализа данных, в том числе графических, с целью диагностирования заболеваний. Например, для жителей Беларуси особенно актуальными являются аспекты, касающиеся облучения щитовидной железы [2].

Достаточно эффективным является применение искусственного интеллекта для идентификации радионуклидов, где машинное обучение способно идентифицировать изотопы по энергетическим пикам спектроскопии, что в случае его внедрения позволит на порядок увеличить эффективность осуществления радиационного контроля на государственной границе и оперативность проведения проверочных мероприятий по фактам обнаружения либо задержания ядерных и радиоактивных материалов специалистами органов пограничной службы.

В радиационной биологии искусственный интеллект, как правило, применяется для количественной оценки рисков после облучения, хотя количество биологических проявлений, их взаимодействие и сопутствующие факторы могут вызвать некоторые затруднения. Ранее были проведены исследования по использованию машинного обучения для определения зависимости «доза-эффект», причем на различных уровнях организации живого вещества: на отдельных клетках, тканях и органах [3]. Внедрение данных достижений в органах пограничной службы может значительно повысить эффективность и оперативность сбора, анализа и оценки радиационной обстановки для специалистов на различных уровнях реагирования и в различных условиях обстановки [4].

Важное значение для органов пограничной службы имеет применение искусственного интеллекта в дозиметрическом контроле сотрудников в случае его осуществления с помощью пассивных дозиметров, где активные дозиметры служат в качестве вспомогательного прибора. При этом нейронная сеть, обученная на показаниях пассивного дозиметра, может без активного дозиметра оценить данные однократного облучения большой (выше порогового значения) дозой. Следует полагать, что такой метод может быть использован для оценки дозовой нагрузки сотрудников органов пограничной службы, выполняющих задачи оперативно-служебной деятельности в условиях радиоактивного загрязнения местности. Также известны различные методы интерпретации данных радиационной разведки, которые позволяют провести их обработку, при этом будут учитываться данные динамики формирования зон радиоактивного загрязнения местности [5].

Актуальность применения искусственного интеллекта в органах пограничной службы Республики Беларусь в сфере обеспечения радиационной безопасности обуславливается следующими основными факторами:

требованиями руководства Государственного пограничного комитета Республики Беларусь по совершенствованию обеспечения радиационной безопасности в органах пограничной службы Республики Беларусь;

нахождением вблизи Государственной границы Республики Беларусь, а также непосредственно на территории Республики Беларусь (Островецкая атомная электростанция) ряда радиационно опасных объектов (Игналинская, Смоленская, Чернобыльская, Ровенская атомные электростанции);

⁵ Искусственный интеллект в медицине: сферы, технологии и перспективы [Электронный ресурс] / Блог компании FirstVDS // Habr. – 18 авг. 2022. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/first/articles/682516/>. – Дата доступа: 10.03.2024.

большой протяженностью Государственной границы Республики Беларусь, проходящей через зону радиоактивного загрязнения (около 500 км), включая Полесский государственный радиационный экологический заповедник, на территории которого выполняются задачи по ее охране;

необходимостью оперативного принятия управленческих решений на всех уровнях реагирования при угрозе возникновения либо возникновении радиологической чрезвычайной ситуации;

необходимостью оперативного выявления маршрутов и районов с наиболее высокими уровнями радиации, прогнозирования, анализа и оценки радиационной обстановки.

Что касается непосредственно радиационной безопасности органов пограничной службы Республики Беларусь, то на современном этапе она обеспечивается выполнением следующих основных мероприятий:

ведением мониторинга радиационной обстановки в круглосуточном режиме;

осуществлением радиационного контроля на границе;

проведением систематического радиационного обследования территорий пунктов постоянной дислокации, мест несения службы, жилищно-казарменного фонда;

проведением радиационной разведки маршрутов (районов) на радиоактивно загрязненной местности Полесского государственного радиационного экологического заповедника;

проведением контроля внутреннего облучения военнослужащих, работников и членов семьи, а также местного населения, проживающего на приграничной территории;

осуществлением дозиметрического контроля военнослужащих, выполняющих задачи по охране государственной границы на радиоактивно загрязненной местности;

осуществлением специальной обработки.

Далее необходимо отметить, что в органах пограничной службы Республики Беларусь разработана и реализуется Концепция создания интегрированной системы противодействия ядерному терроризму и незаконному трансграничному обороту ядерных и радиоактивных материалов. В рамках данной системы созданы отдельные элементы, объединяющие технические средства радиационного и дозиметрического контроля, средства хранения и обработки данных, мобильные лаборатории и системы обнаружения в единую информационно-аналитическую сеть.

Таким образом, системой противодействия решается часть общих задач по обеспечению радиационной безопасности, к которым можно отнести:

определение в режиме реального времени места обнаружения ядерных и радиоактивных материалов на участке государственной границы и мощности дозы посредством интеграции приборов с использованием различных каналов связи, в том числе глобальной сети Интернет с позиционированием на электронно-цифровой карте;

сбор радиологической информации, поступающей со всех имеющихся на границе интегрируемых в систему радиационного контроля, персональных радиационных детекторов (включая спектроскопические) и радиоизотопных идентификаторов, находящихся в мобильных лабораториях;

возможность отслеживания и анализа радиометрических данных, проводимых исследований в региональных пунктах реагирования, проведения независимой повторной идентификации гамма-спектра для координации действий и оказания необходимой экспертной поддержки специалистам мобильных лабораторий и систем обнаружения в режиме реального времени;

создание и ведение базы радиометрических данных (мощности дозы, географических координат мест проведения радиологических измерений, дат и времени их проведения, имен пользователей, названий и заводских номеров приборов, осуществлявших замеры, и другой информации).

Исходя из актуальности рассматриваемой проблематики, а также проведенного анализа возможностей искусственного интеллекта и имеющейся системы обеспечения радиационной безопасности в органах пограничной службы на современном этапе можно утверждать, что интеграция искусственного интеллекта в данную систему позволит:

оперативно проводить расчеты по оценке радиационной обстановки и вырабатывать наиболее рациональные предложения, влияющие на решение командира;

осуществлять построение охраны границы и определять порядок действий на зараженной местности с учетом изменения радиационной обстановки;

оперативно выбирать основные маршруты, порядок несения службы пограничными нарядами, применения средств индивидуальной и коллективной защиты, радиационного и дозиметрического контроля;

эффективно использовать средства дистанционного радиационного контроля и разведки, обеспечить организацию дозиметрического контроля;

оперативно проводить радиометрический контроль в целях определения необходимости проведения специальной обработки;

оптимизировать составление маршрутов для ведения воздушной и наземной радиационной разведки, порядок несения службы пограничными нарядами, применение средств индивидуальной и коллективной защиты, радиационного и дозиметрического контроля;

вести удаленный мониторинг как за радиационным фоном, так и за состоянием и работоспособностью технических средств охраны границы;

передавать необходимую информацию взаимодействующим республиканским органам государственного управления;

определять порядок действий по выявленным сработкам, порядок и районы ведения разведывательно-поисковых действий, радиационной разведки;

осуществлять в режиме реального времени экспертную поддержку в ходе проведения проверочных мероприятий, моделировать различные сценарии радиологических чрезвычайных ситуаций;

осуществлять экспертную поддержку в ходе проведения проверочных мероприятий; минимизировать возможность негативного влияния человеческого фактора.

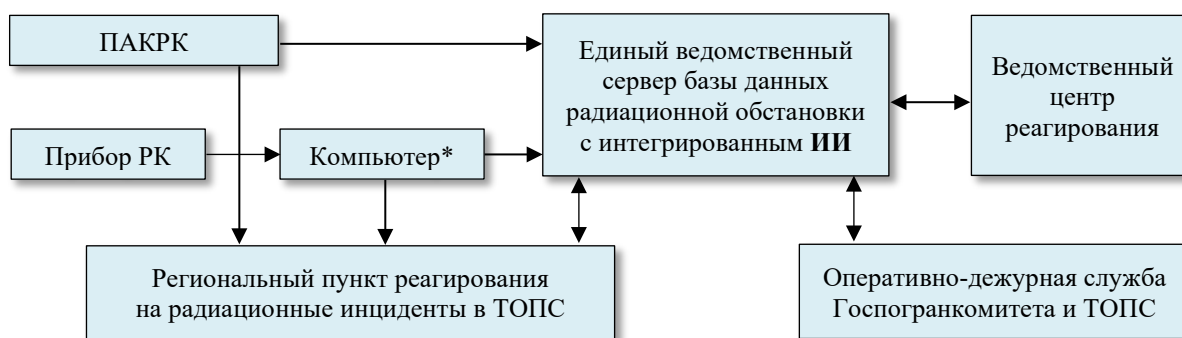
Необходимо отметить, что основой в обеспечении выполнения вышеуказанных мероприятий является техническая составляющая. Применяемые в органах пограничной службы технические средства радиационного и дозиметрического контроля подразделяются на приборы с возможностью передачи информации в режиме реального времени, приборы, требующие для переноса показаний на компьютер использование USB-кабеля либо беспроводного соединения, а также приборы, не имеющие функции передачи данных.

Проведенный анализ технических средств радиационного и дозиметрического контроля позволил определить, что в дальнейшем наиболее перспективным средством обработки и передачи данных в режиме реального времени может стать программно-аппаратный комплекс радиационного контроля (далее – ПАКРК), который будет включать современные приборы радиационного и дозиметрического контроля, соответствующие требованиям МАГАТЭ, портативный компьютер, планшет (ноутбук) с соответствующим программным обеспечением. Необходимо отметить, что одним из требований по безопасности к данному комплексу должно стать обеспечение передачи данных по защищенным (закрытым) каналам связи, без сопряжения с глобальной сетью Интернет, в отличие от используемой в настоящее время в органах пограничной службы системы радиационного контроля СРКNET. При этом переносные и подвижные (на базе мобильных лабораторий оперативного реагирования, интегрированных мобильных систем обнаружения, беспилотных летательных аппаратов) ПАКРК должны обладать функцией геопозиционирования (определения точного местоположения в режиме реального времени). Последовательность передачи данных планируется осуществлять в следующем порядке: данные ПАКРК поступают на единый ведомственный

сервер базы данных радиационной обстановки, с дальнейшей их маршрутизацией в региональный пункт реагирования на радиационные инциденты, созданные в каждом территориальном органе пограничной службы, по принципу принадлежности ПАКРК, при этом вся информация с ПАКРК параллельно поступает и в ведомственный центр реагирования. В региональном пункте реагирования, как и в ведомственном центре, осуществляется экспертная поддержка и сопровождение мероприятий реагирования на различные радиационные инциденты в пограничном пространстве Республики Беларусь. Стоит отметить, что в случае возникновения и выявления с помощью ПАКРК радиоактивного загрязнения местности на участке подразделения территориального органа пограничной службы информация с ведомственного сервера должна поступать в оперативно-ситуационный центр Госпогранкомитета, а также оперативному дежурному и дежурному по подразделению территориального органа пограничной службы, на участке которого было выявлено радиоактивное загрязнение.

Исходя из вышеизложенного, предполагается, что наибольшую эффективность работы ПАКРК обеспечит интеграция искусственного интеллекта в единый ведомственный сервер базы данных радиационной обстановки.

Таким образом, с учетом рассматриваемого варианта интеграции искусственного интеллекта на рисунке 2 представлена принципиальная схема передачи данных.



* – средство вычислительной техники (компьютер), которое находится в подразделении границы, подразделении пограничного контроля ТОПС

Рисунок 2. – Схема передачи данных радиационной обстановки с интеграцией ИИ

Далее необходимо отметить, что исходные данные с ПАКРК и приборов радиационного и дозиметрического контроля параллельно переадресовываются в региональный пункт реагирования на радиационные инциденты по принципу принадлежности технических средств радиационного и дозиметрического контроля к тому или иному территориальному органу пограничной службы. Такая маршрутизация исходных данных обеспечит необходимую экспертную поддержку специалистами в случае отсутствия связи с единым ведомственным центром (базой данных о радиационной обстановке).

Таким образом, в общей системе обеспечения радиационной безопасности в органах пограничной службы ПАКРК сможет оперативно обрабатывать следующую информацию:

- данные об источнике радиоактивного загрязнения (размеры объекта, другие данные);
- данные с приборов радиационного и дозиметрического контроля (мощность эквивалентной дозы, эквивалентное значение дозы, спектрометрические данные);
- топогеодезические данные (местоположение, характер рельефа и растительности, другие параметры);
- климатические и метеорологические условия;
- фото- и видеоматериалы.

С точки зрения технической составляющей вышеперечисленные параметры предполагают обработку больших объемов данных и информации. При возникновении радиоактивного загрязнения на этапе принятия решения по порядку реагирования человеческий фактор

будет лимитирован, т.к. искусственный интеллект способен намного быстрее человека проанализировать большой объем данных и провести оценку обстановки с выводом всей необходимой графической и текстовой информации специалисту для принятия решения. При этом необходимо отметить, что в любом случае ответственность за принятие решения лежит на соответствующем должностном лице.

Обработка данных, проведение расчетов по оценке радиационной обстановки и выработка предложений по решению задачи предусматривает возможность искусственному интеллекту получать опыт, обучаться и совершенствоваться. При этом время обработки и анализа информации будет сокращаться, а предлагаемые варианты решений будут более рациональными.

Важнейшим аспектом применения технологий искусственного интеллекта в обработке данных при радиоактивном загрязнении местности в различных информационных ситуациях является возможность выбора нужного алгоритма вычислений (обработки данных) с последующей интерпретацией данных радиационной разведки и графического отображения зон радиоактивного загрязнения местности [6].

На «зеленой границе» и на территории пунктов пропуска моделирование различных радиологических чрезвычайных ситуаций позволит создать условия для внедрения искусственного интеллекта в систему подготовки сотрудников органов пограничной службы по направлению радиационной, химической и биологической защиты. В дальнейшем, создавая различные сценарии развития чрезвычайной ситуации на участке государственной границы, можно обучить искусственный интеллект созданию условий, приближенных к реальным, для отработки наиболее рациональных алгоритмов действий (реагирования), тем самым обеспечивая безопасность как сотрудников органов пограничной службы, так и лиц, пересекающих границу.

Наиболее перспективным направлением совершенствования радиационной безопасности в органах пограничной службы будет внедрение средств дистанционного радиационного контроля и разведки. Использование возможностей беспилотных летательных аппаратов и ПАКРК позволит получать практически все вышеуказанные данные, необходимые для обработки искусственным интеллектом, а также составлять оптимальный маршрут для воздушной и наземной радиационной разведки с учетом возможностей искусственного интеллекта дистанционно управлять беспилотным летательным аппаратом и корректировать маршруты ее ведения.

Необходимо отметить, что внедрение данных технологий на базе беспилотных летательных аппаратов весьма перспективно и в рамках выполнения задач по противодействию незаконному трансграничному перемещению ядерных и радиоактивных материалов, что позволит значительно усилить действующую систему радиационного контроля как в пунктах пропуска, так и на «зеленой границе» [7]. Это связано с тем, что ПАКРК на базе беспилотного летательного аппарата способен проводить зональный радиационный контроль в отличие от стационарных систем радиационного контроля. Способность искусственного интеллекта определять оптимальную скорость проведения радиационного контроля транспортных средств, физических лиц и при этом корректировать расстояние до объектов, а в случае выявления источника ионизирующего излучения «зависнуть» над ним для проведения спектрометрического анализа значительно увеличит эффективность проведения данной процедуры. Также ПАКРК способен осуществлять фото- и (или) видеофиксацию различных инцидентов, в том числе по выявлению нарушений пограничного законодательства, и в реальном режиме времени отправлять информацию в соответствующий центр реагирования, где искусственный интеллект анализирует изображение с камер беспилотного летательного аппарата, выявляя при этом признаки и попытки нарушения. Однако необходимо учитывать, что для обучения искусственного интеллекта потребуется тесное межведом-

ственное взаимодействие и скрупулезная работа множества высококвалифицированных специалистов по направлению информационных технологий, юристов, специалистов пограничного контроля, пограничной службы, таможенных органов и др.

Заключение

Проведенный анализ существующей в органах пограничной службы Республики Беларусь системы обеспечения радиационной безопасности, а также ее технической составляющей позволил определить наиболее перспективные направления повышения эффективности ее работы.

Одно из таких направлений совершенствования данной системы – интеграция искусственного интеллекта в единый ведомственный сервер базы данных радиационной обстановки.

Следующим направлением стало обеспечение возможности внедрения технологий анализа, оценки и прогнозирования радиационной обстановки на участке государственной границы в случае возникновения радиологической чрезвычайной ситуации, реализованное с учетом интеграции искусственного интеллекта посредством выработки основных требований к элементной базе системы.

Также важным фактором, обеспечивающим устойчивую работу системы, является предложенная принципиальная схема передачи данных с использованием перспективного программно-аппаратного комплекса радиационного контроля.

Безусловно, дальнейшим и наиболее перспективным направлением совершенствования системы обеспечения радиационной безопасности в органах пограничной службы будет являться возможность внедрения средств дистанционного радиационного контроля и разведки, реализованная с помощью беспилотных летательных аппаратов, с учетом возможностей искусственного интеллекта по их управлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andresz, S. Artificial intelligence and radiation protection. A game changer or an update? / S. Andresz, A. Zéphir, J. Bez, M. Karst, J. Danieli // Radioprotection – 2022. – Vol. 57, No. 2. – Pp. 157–164. – DOI: 10.1051/radiopro/2022004.
2. Кенигсберг, Я.Э. Облучение щитовидной железы жителей Беларуси вследствие чернобыльской аварии: дозы и эффекты: монография / Я.Э. Кенигсберг, Ю.Е. Крюк. – Гомель: Институт радиологии, 2004. – 121 с.
3. Барабанова, А.В. Зависимость тяжести лучевых поражений кожи от глубинного распределения дозы бета-излучения у пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Барабанова, Д.П. Осанов // Медицинская радиология. – 1993. – Т. 38. № 2. – С. 28–31. – EDN: KSRLBH.
4. Бугай, А.Н. Некоторые аспекты оценки влияния прогнозируемой радиационной обстановки на выполнение задач по охране государственной границы в мирное время / А.Н. Бугай, Д.В. Воробьев // Вестник института пограничной службы Республики Беларусь. – 2021. – № 2. – С. 26–33. – Url: <https://ips.gpk.gov.by/nauchnaya-deyatelnost/nauchnye-izdaniya/vestnik/Vestnik%202%202021.pdf>
5. Венцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учеб. пособие / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: КноРус, 2014. – 448 с.
6. Хомяков, Н.Н. Автоматизированная интеллектуальная система принятия управленческих решений в ходе ликвидации последствий радиационных инцидентов на основе физико-математического моделирования / Н.Н. Хомяков // Технологии гражданской безопасности. – 2010. – Т. 7, № 4 (26). – С. 60–67. – EDN: NBRYFT.
7. Бугай, А.Н. Противодействие незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ как фактор обеспечения пограничной безопасности Республики Беларусь: монография / А.Н. Бугай. – Минск: ГУО «ИПС РБ», 2014. – 261 с.

**Совершенствование системы обеспечения радиационной безопасности
органов пограничной службы Республики Беларусь**
**Improvement of the system of ensuring radiation safety
of the border service of the Republic of Belarus**

Ильючик Евгений Андреевич

Государственное учреждение образования
«Институт пограничной службы Республики
Беларусь», кафедра дисциплин обеспечения,
старший преподаватель

Адрес: ул. Славинского, 4,
220103, г. Минск, Беларусь

Email: irathemam@gmail.com

Evgeniy A. Il'yuchik

State educational institution
«Institute of Border Service Republic of Belarus»,
Chair of Support Disciplines,
Senior Lecturer

Address: Slavinskogo str., 4,
220103, Minsk, Belarus

Email: irathemam@gmail.com

ORCID: 0009-0006-8809-8226

Бугай Андрей Николаевич

кандидат военных наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Институт пограничной службы Республики
Беларусь», кафедра дисциплин обеспечения,
профессор

Адрес: ул. Славинского, 4,
220103, г. Минск, Беларусь

Email: anbugay68@gmail.com

Andrey N. Bugay

PhD in Military Sciences, Associate Professor

State educational institution
«Institute of Border Service Republic of Belarus»,
Chair of Support Disciplines,
Professor

Address: Slavinskogo str., 4,
220103, Minsk, Belarus

Email: anbugay68@gmail.com

ORCID: 0009-0005-8149-6689

IMPROVEMENT OF THE SYSTEM OF ENSURING RADIATION SAFETY OF THE BORDER SERVICE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Il'yuchik E.A., Bugay A.N.

Purpose. Development and justification of the most promising areas for integrating artificial intelligence into the radiation safety system of border service agencies in order to increase its efficiency.

Methods. Analysis of the capabilities of artificial intelligence and extrapolation of the scope of its application into the radiation safety system of border services, modeling of the technical component of the system taking into account the integration of artificial intelligence.

Findings. The main factors determining the relevance of the use of artificial intelligence have been established, and the most promising directions for its application in the system for ensuring radiation safety of border service agencies have been proposed. An analysis of the technical means of radiation and dosimetric monitoring was carried out, which made it possible to develop the basic requirements for the elements of the system, taking into account the integration of artificial intelligence, including the basic design of data transmission and the possibility of introducing means of remote radiation monitoring and reconnaissance using a promising software and hardware complex for radiation monitoring and unmanned aerial vehicles. An elemental base of a software and hardware complex for radiation monitoring has been proposed, providing the possibility of introducing technologies for analyzing, assessing and forecasting the radiation situation within a section of the state border in the event of a radiological emergency, as well as choosing the optimal route for conducting aerial and ground radiation reconnaissance, taking into account the ability of artificial intelligence to remotely control unmanned aerial vehicle.

Application field of research. Ensuring radiation safety of border service of the Republic of Belarus.

Keywords: artificial intelligence, radiation safety, cross-border movement of nuclear and radioactive materials, software and hardware complex, radiation and dosimetric monitoring, state border, radiological emergency.

(The date of submitting: March 12, 2024)

REFERENCES

1. Andresz S., Zéphir A., Bez J., Karst M., Danieli J. Artificial intelligence and radiation protection. A game changer or an update? *Radioprotection*, 2022. Vol. 57, No. 2. Pp. 157–164. DOI: 10.1051/radiopro/2022004.
2. Kenigsberg Ya.E., Kryuk Yu.E. Obluchenie shchitovidnoy zhelezy zhiteley Belarusi vsledstvie chernobyl'skoy avarii: dozy i efekty [Thyroid gland exposure of Belarusian residents due to the Chernobyl accident: doses and effects]: monograph. Gomel: Institute of Radiology, 2004. 121 p. (rus)
3. Barabanova A.V., Osanov D.P. Zavisimost' tyazhesti luchevykh porazheniy kozhi ot glubinnogo raspredeleniya dozy beta-izlucheniya u postradavshikh pri avarii na Chernobyl'skoy AES [Relationship between the severity of radiation involvement of the skin and the in-depth distribution of the absorbed dose of beta-irradiation in subjects who suffered in the Chernobyl Power Plant accident]. *Medical Radiology*, 1993. Vol. 38, No. 2. Pp. 28–31. (rus). EDN: KSRLBH.
4. Bugay A.N., Vorob'ev D.V. Nekotorye aspekty otsenki vliyaniya prognoziruemoy radiatsionnoy obstanovki na vypolnenie zadach po okhrane gosudarstvennoy granitsy v mirnoe vremya [Some aspects of the evaluation of the predicted radiation situation influence on the state border protection tasks completion]. *Vestnik instituta pogranichnoy sluzhby Respubliki Belarus'*, 2021. No. 2. Pp. 26–33. (rus). Url: <https://ips.gpk.gov.by/nauchnaya-deyatelnost/nauchnye-izdaniya/vestnik/Vestnik%202%202021.pdf>
5. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya [Theory of random processes and its engineering applications]*: tutorial. Moscow: KnoRus, 2014. 448 p. (rus)
6. Khomyakov N.N. Avtomatizirovannaya intellektual'naya sistema prinyatiya upravlencheskikh resheniy v khode likvidatsii posledstviy radiatsionnykh intsidentov na osnove fiziko-matematicheskogo modelirovaniya [The automated intellectual system of acceptance of administrative decisions during liquidation of consequences of radiating incidents on the basis of physical and mathematical modelling]. *Civil Security Technology*, 2010. Vol. 7, No. 4 (26). Pp. 60–67. (rus). EDN: NBRYFT.
7. Bugay A.N. Protivodeystvie nezakonnomu transgranichnomu oborotu opasnykh materialov i veshchestv kak faktor obespecheniya pogranichnoy bezopasnosti Respubliki Belarus' [Counteraction to illegal cross-border trafficking of hazardous materials and substances as a factor in ensuring border security of the Republic of Belarus]: monograph. Minsk: Institute of Border Service of the Republic of Belarus, 2014. 261 p. (rus)

РАСТЕКАНИЕ КАПЛИ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ПО ТВЕРДОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Байков В.И., Нахай Д.М., Миканович Д.С.

Цель. Исследовать кинетику растекания капли неньютоновской вязкой жидкости по горизонтальной поверхности.

Методы. Математическое моделирование.

Результаты. Получено кинетическое уравнение, описывающее процесс растекания капли неньютоновской вязкой жидкости по твердой горизонтальной поверхности.

Область применения исследований. Полученные результаты важны для дальнейшего исследования движения неньютоновских вязких жидкостей по твердой поверхности.

Ключевые слова: динамический мениск, краевой угол, равновесный краевой угол.

(Поступила в редакцию 28 марта 2024 г.)

Введение

Вода является широко применяемым огнетушащим средством тушения пожаров веществ в различных агрегатных состояниях. Для повышения огнетушащих свойств воды в нее вводят поверхностно-активные вещества, применяют различного рода загустители, увеличивающие вязкость воды и одновременно повышающие адгезию, т.е. способность воды задерживаться на поверхности твердого горящего тела. Добавление в воду незначительного количества высокомолекулярных полимеров позволяет существенно сократить сопротивление транспортирующих такую воду трубопроводов.

Эти добавки изменяют реологическое поведение воды, превращая ее в неньютоновскую жидкость, хорошо описываемую степенным реологическим уравнением [1]:

$$\tau = k \left| \frac{dv}{dz} \right|^{n-1} \frac{dv}{dz}, \quad (1)$$

где τ – напряжение сдвига, Па;

k – коэффициент консистенции жидкости, Па·с ^{n} ;

n – показатель неньютоновского поведения ($n \leq 1$);

dv/dz – скорость сдвига, м/с.

Для подачи воды при тушении пожара используют пожарные стволы или оросители, которыми можно создавать сплошные, капельные, распыленные и мелкораспыленные водяные струи, т.е. потоки воды, состоящие из мелких капель. При горении твердых материалов основную роль в пожаротушении играет охлаждение поверхности. Поэтому чрезвычайно важно знать поведение капель на твердых поверхностях, окружающих очаг горения, поскольку, попадая на твердую поверхность, капля растекается по ней и испаряется, тем самым создавая охлаждающий эффект.

Отметим, что в работах [2–4] установлено существование пристенного эффекта скольжения при фильтрации растворов полимеров через грунты ограждающих сооружений шламохранилищ [2] и при пропитке полимерными растворами пористых материалов [3; 4]. Явление пристенного скольжения следует иметь в виду и при экспериментальном изучении растекания неньютоновских капель по твердым поверхностям.

Основная часть

Дадим описание процесса растекания капли неньютоновской жидкости по твердой горизонтальной поверхности, взяв за основу идею, изложенную в работе [5].

Результаты экспериментов [6; 7] показывают, что капля жидкости при растекании имеет форму, схематически изображенную на рисунке 1. Большая (центральная) часть капли сохраняет форму, близкую к шаровому сегменту, и ограничена выпуклой поверхностью с краевым углом θ . На периферии капли образуется зона динамического мениска, имеющая вогнутую поверхность с краевым углом, близким к равновесному θ_c . Такой вид внешней поверхности капли свидетельствует о равномерном распределении давления в основной (центральной) части и его перераспределении в зоне динамического мениска относительно твердой поверхности, т.е. центральную часть капли считаем неподвижной по сравнению с перемещением динамического мениска. Давление жидкости p (м) на входе в динамический мениск полагаем равным давлению в центральной части капли:

$$p = \frac{2\sigma}{r_1} \sin \theta, \quad (2)$$

где σ – поверхностное натяжение, Н/м;

r_1 – внутренний радиус капли, м;

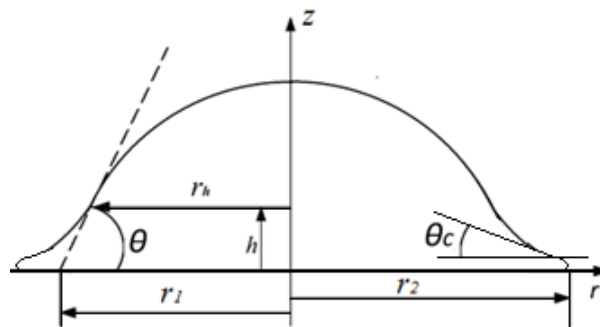
θ – краевой угол, рад;

p – давление в капле, Па.

Давление вблизи внешней границы динамического мениска и твердой поверхности считаем близким к равновесному значению:

$$p_c = \frac{2\sigma}{r_2} \sin \theta_c,$$

где r_2 – внешний радиус капли, м.



r_1 и r_2 – внутренний и внешний радиусы капли; θ – краевой угол; θ_c – равновесный краевой угол;
 h – высота динамического мениска, z и r – продольная и радиальная координаты;
 r_h – радиальная координата поверхности динамического мениска.

Рисунок 1. – Схема растекания капли

Пусть R_1 и R_2 – главные радиусы кривизны в данной точке поверхности динамического мениска. Считаем радиус кривизны поверхности положительным, если он направлен внутрь капли, и отрицательным, если наружу от капли. Тогда поверхностное давление в зоне динамического мениска:

$$p - p_0 = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (3)$$

где p_0 – давление воздуха.

Введем цилиндрическую систему координат, в которой ось z перпендикулярна твердой поверхности и совпадает с осью симметрии капли, а ось r – радиальная координата капли. В результате главные радиусы кривизны поверхности в зоне динамического мениска примут в вид:

$$R_1 = r_h \left[1 + \left(\frac{dh}{dr} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad R_2 = - \left[1 + \left(\frac{dh}{dr} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} / \frac{d^2h}{dr^2}. \quad (4)$$

Будем полагать, что для растекающейся по твердой поверхности капли справедливо $R_1 \gg R_2$. В уравнениях движения зоны динамического мениска пренебрегаем локальной производной скорости по времени по сравнению с вязкостным слагаемым и игнорируем инерционные эффекты. Тогда уравнения неразрывности и движения «степенной» жидкости для области мениска примут вид:

$$\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0, \quad -\frac{\partial p}{\partial r} + k \frac{\partial}{\partial z} \left(\left| \frac{\partial v}{\partial z} \right|^{n-1} \frac{\partial v}{\partial z} \right) = 0, \quad (6)$$

где ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения;

$u = u(z, r)$ и $v = v(z, r)$ – продольная и радиальная скорости жидкости в динамическом мениске.

Дополним эти уравнения краевыми условиями. Считаем, что поверхность твердого тела непроницаема и на ней выполняется условие прилипания жидкости:

$$u = 0, \quad v = 0 \quad \text{при} \quad z = 0. \quad (7)$$

На свободной поверхности динамического мениска, уравнение которой запишем в виде:

$$z = h(r),$$

должны выполняться условия двух типов: кинематическое и динамические. Так как в каждый момент времени через свободную поверхность отсутствует поток жидкости, дифференцируя последнее соотношение по времени, получим:

$$u = v \frac{dh}{dr} \quad \text{при} \quad z = h(r). \quad (8)$$

Динамические условия выражают равенство нормальных и касательных напряжений, действующих со стороны жидкости и газа:

$$p - p_0 = -\sigma \frac{d^2h}{dr^2} \left[1 + \left(\frac{dh}{dr} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} \quad \text{при} \quad z = h, \quad (9)$$

$$k \left| \frac{\partial v}{\partial z} \right|^{n-1} \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad \text{при} \quad z = h. \quad (10)$$

Представим уравнение неразрывности (5) в интегральном виде. Для этого проинтегрируем (5) по z от 0 до h и учтем первое условие (7):

$$u(z, r) \Big|_0^h + \int_0^h \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} dz = u(h, r) + \int_0^h \frac{1}{r} \frac{\partial(rv)}{\partial r} dz = 0.$$

С помощью правила Лейбница дифференцирования интеграла по параметру поменяем порядок интегрирования и дифференцирования:

$$\frac{1}{r} \int_0^h \frac{\partial(rv)}{\partial r} dz = \frac{1}{r} \left[\frac{d}{dr} \int_0^h rv(z,r) dz - rv(h,r) \frac{dh}{dr} \right]$$

и воспользуемся кинематическим условием (8). Тогда:

$$\frac{d}{dr} \int_0^h rv(z,r) dz = 0.$$

Введем расход жидкости:

$$Q = \int_0^h 2\pi rv(z,r) dz, \quad (11)$$

т.е. количество жидкости Q , протекающей в 1 с через поперечное сечение динамического мениска. В результате получим:

$$\frac{d}{dr} Q[h(r)] = 0. \quad (12)$$

Формула (12) означает, что Q не зависит от r и в данный момент времени расход по всей длине динамического мениска постоянен. Необходимо ясно представлять себе, что расход из-за растекания капли есть функция от времени $Q = Q(t)$, где t – время.

Найдем распределение скоростей $v(z,r)$. Проинтегрируем первое уравнение движения (6) по z от z до h :

$$p(z,r) = p(h,r) - \rho g(h-z),$$

и учтем краевое условие (9):

$$p(z,r) = p_0 - \rho g(h-z) - \sigma \frac{d^2 h}{dr^2} \left[1 + \left(\frac{dh}{dr} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}. \quad (13)$$

Уравнение (13) показывает, что производная $\partial p(z,r) / \partial r$ от координаты z не зависит. Тогда, дважды интегрируя второе уравнение движения (6) по z с учетом краевых условий (7), (10) и того, что $\partial v / \partial z > 0$, получим распределение скоростей:

$$v(z,r) = \frac{n}{1+n} \left(-\frac{1}{k} \frac{\partial p}{\partial r} \right)^{\frac{1}{n}} \left[h^{\frac{1+n}{n}} - (h-z)^{\frac{1+n}{n}} \right]. \quad (14)$$

Действительно, после первого интегрирования второго уравнения (6) по z от z до h получим:

$$\left(-\frac{\partial p}{\partial r} z + k \left| \frac{\partial v}{\partial z} \right|^{n-1} \frac{\partial v}{\partial z} \right) \Big|_h^z = 0, \quad \stackrel{(10)}{\Rightarrow} \quad -\frac{\partial p}{\partial r} (z-h) + k \left| \frac{\partial v}{\partial z} \right|^{n-1} \frac{\partial v}{\partial z} = 0,$$

$$\left| \frac{\partial v}{\partial z} \right|^n = -\frac{1}{k} \frac{\partial p}{\partial r} (h-z), \quad \frac{\partial v}{\partial z} = \left(-\frac{1}{k} \frac{\partial p}{\partial r} \right)^{\frac{1}{n}} (h-z)^{\frac{1}{n}}.$$

Проинтегрировав последнее уравнение по z от 0 до z , будем иметь:

$$v \Big|_0^z = - \left(-\frac{1}{k} \frac{\partial p}{\partial r} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{1+n} (h-z)^{\frac{1+n}{n}} \Big|_0^z, \quad \stackrel{(7)}{\Rightarrow} \quad v = \frac{n}{1+n} \left(-\frac{1}{k} \frac{\partial p}{\partial r} \right)^{\frac{1}{n}} (h-z)^{\frac{1+n}{n}} \Big|_z^0.$$

С помощью формул (11), (14) находим расход жидкости в зоне динамического мениска:

$$Q = \frac{2\pi n}{1+2n} r h^{\frac{1+2n}{n}} \left(-\frac{1}{k} \frac{\partial p}{\partial r} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (15)$$

Отсюда для средней по толщине зоны динамического мениска скорости получаем соотношение:

$$\bar{v} = \frac{dr}{dt} = \frac{Q}{2\pi r h} = \frac{n}{1+2n} h^{\frac{1+n}{n}} \left(-\frac{1}{k} \frac{\partial p}{\partial r} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (16)$$

которое содержит две неизвестные величины: $h(r)$ и $\partial p / \partial r$. Для их определения воспользуемся следующими соображениями. Исходя из соотношений (2) и (3), нетрудно получить:

$$-\frac{\partial p}{\partial r} \approx \frac{p - p_c}{r_2 - r_1} = \frac{2\sigma}{r_1(r_2 - r_1)} \left(\sin \theta - \frac{r}{r_2} \sin \theta_c \right).$$

Учтем, что зона мениска $(r_2 - r_1)$ намного меньше основной части капли r_1 , т.е. $r_1 / r_2 \approx 1$. В итоге имеем:

$$-\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{2\sigma}{r_1(r_2 - r_1)} (\sin \theta - \sin \theta_c). \quad (17)$$

Подставив выражение (17) в формулу (16), найдем среднюю скорость динамического мениска:

$$\bar{v} = \frac{dr}{dt} = \frac{n}{1+2n} [h(r)]^{\frac{1+n}{n}} \left(\frac{1}{k} \right)^{\frac{1}{n}} \left[\frac{2\sigma}{r_1(r_2 - r_1)} (\sin \theta - \sin \theta_c) \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (18)$$

Найдем высоту капли $h_1 = h(r_1)$ на входе в зону динамического мениска. На свободной поверхности динамического мениска касательное напряжение трения равно нулю (см. (10)). Поэтому его форма определяется поверхностным натяжением σ и действующей на единицу объема силой тяжести ρg . Тогда для нахождения формы поверхности мениска можно использовать уравнение статического мениска:

$$\frac{d^2 r_h}{dz^2} \left[1 + \left(\frac{dr_h}{dz} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} = \frac{\rho g h}{\sigma}, \quad (19)$$

с граничными условиями:

$$\frac{dr_h}{dz} = -\text{ctg} \theta_c \quad \text{при } z = 0, \quad \frac{dr_h}{dz} = -\text{ctg} \theta \quad \text{при } z = h_1. \quad (20)$$

Однократное интегрирование соотношения (19) дает:

$$\frac{dr_h}{dz} \left[1 + \left(\frac{dr_h}{dz} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{\rho g}{2\sigma} z^2 + C, \quad (21)$$

где C – постоянная интегрирования. Из формулы (21), с учетом граничных условий (20), находим высоту h_1 капли на входе в зону динамического мениска:

$$h_1 = \left(\frac{2\sigma}{\rho g} \right)^{\frac{1}{2}} (\cos \theta_c - \cos \theta)^{\frac{1}{2}}, \quad (22)$$

где длина $\sqrt{2\sigma/(\rho g)}$ представляет собой капиллярную постоянную. Величина h_1 является характерным размером зоны динамического мениска, поэтому полагаем, что:

$$r_2 - r_1 = ah_1. \quad (23)$$

Коэффициент пропорциональности a можно получить либо из экспериментальных данных, либо из численного решения уравнения (19). Подставим соотношения (22), (23) в формулу (18). В результате кинетическое уравнение, описывающее процесс растекания капли неньютоновской жидкости по твердой горизонтальной поверхности, принимает вид:

$$\frac{dr_1}{dt} = \frac{n}{2n+1} \left(\frac{2\sigma}{\rho g} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2\sigma}{ak} \right)^{\frac{1}{n}} r_1^{-\frac{1}{n}} (\sin \theta - \sin \theta_c)^{\frac{1}{n}} (\cos \theta_c - \cos \theta)^{\frac{1}{2}}. \quad (24)$$

Связь краевого угла θ шарообразного сегмента (основной части капли) с радиусом его основания r_1 определим из тригонометрического равенства:

$$\frac{6V}{\pi r_1^3} = 3 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + \operatorname{tg}^3 \frac{\theta}{2}, \quad (25)$$

где объем капли $V = m/\rho$ можно определить, например, экспериментально через массу m и плотность ρ капли жидкости.

Система уравнений (24), (25) с единых позиций описывает кинетику растекания капли неньютоновской жидкости в области как острых ($\theta < \pi/2$), так и тупых углов ($\theta > \pi/2$). Чтобы в этом убедиться, введем безразмерные переменные:

- безразмерный радиус: $R = r_1/r_0$, где $r_0 = \sqrt[3]{3V/(2\pi)}$ – радиус основания капли, когда она имеет форму полусферы;
- безразмерное время:

$$\bar{\tau} = \frac{n}{2n+1} \left(\frac{2\pi}{3V} \right)^{\frac{1+n}{3n}} \left(\frac{2\sigma}{\rho g} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{2\sigma}{ak} \right)^{\frac{1}{n}} t.$$

Тогда систему уравнений (24), (25) в безразмерном виде представим как:

$$\frac{dR}{d\bar{\tau}} = \left(\frac{\sin \theta - \sin \theta_c}{R} \right)^{\frac{1}{n}} (\cos \theta_c - \cos \theta)^{\frac{1}{2}}, \quad \frac{4}{R^3} = 3 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + \operatorname{tg}^3 \frac{\theta}{2}. \quad (26)$$

На рисунке 2 представлены графики кинетики растекания капли неньютоновской вязкой жидкости по твердой поверхности, полученные путем численного решения системы уравнений (26) для различных значений показателя неньютоновского поведения n и равновесного краевого угла θ_c . С возрастанием времени радиус капли увеличивается, тупые краевые углы переходят в острые.

Проанализируем результаты расчетов. Вначале рассмотрим важный практический случай, когда равновесный краевой угол θ_c равен нулю:

$$\frac{dR}{d\bar{\tau}} = \left(\frac{\sin \theta}{R} \right)^{\frac{1}{n}} (1 - \cos \theta)^{\frac{1}{2}}, \quad \frac{4}{R^3} = 3 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + \operatorname{tg}^3 \frac{\theta}{2}. \quad (27)$$

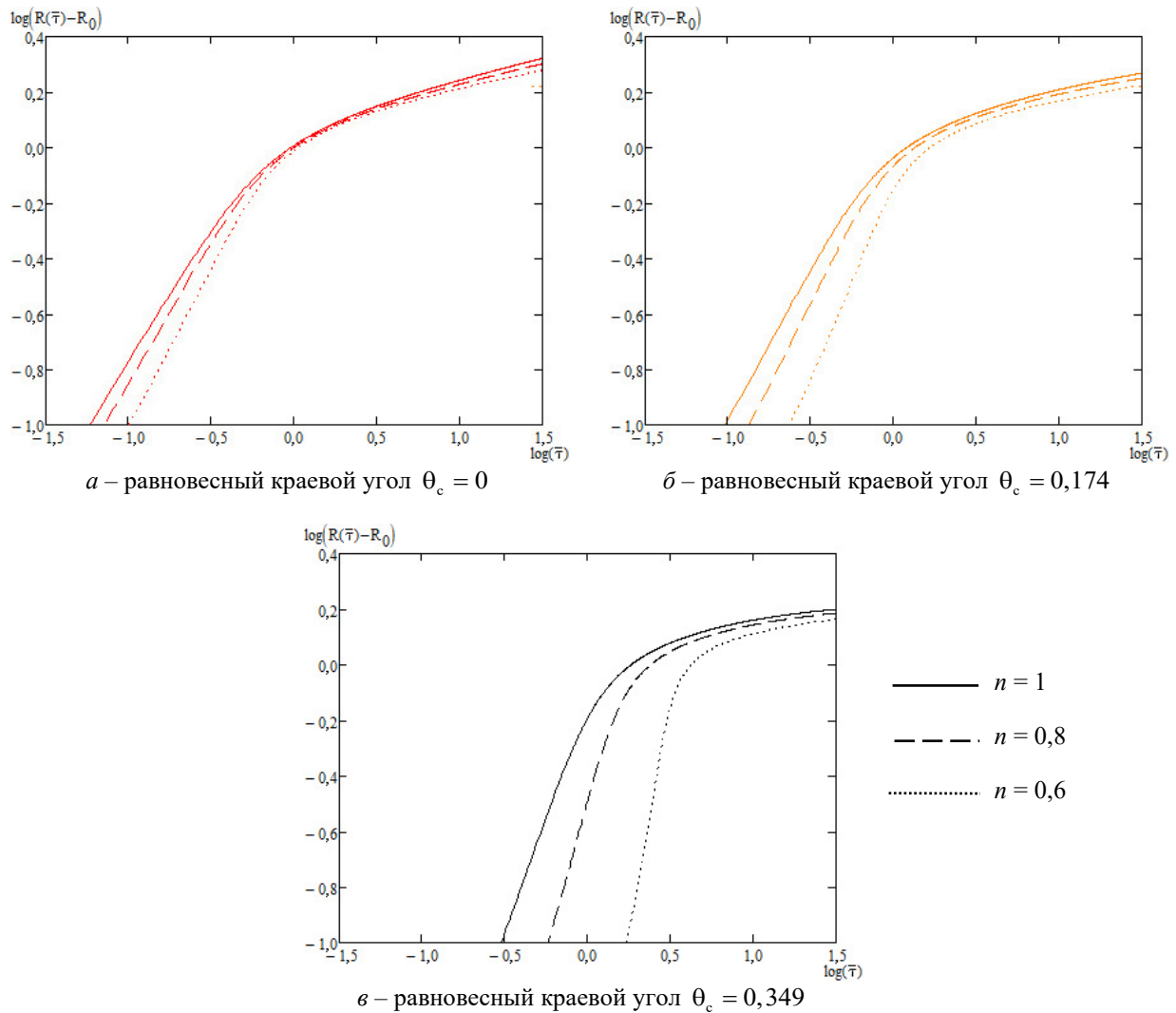


Рисунок 2. – Кинетика растекания капли для различных значений показателя неньютоновского поведения n и равновесного краевого угла θ_c

Пусть краевой угол θ имеет малые значения и лежит в области острых краевых углов ($\theta < \pi/2$). Тогда, разлагая функции $\sin \theta$, $\cos \theta$, $\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$ в ряд по степеням θ и ограничиваясь первыми членами разложения, получим:

$$\sin \theta \approx \theta, \quad \cos \theta \approx 1 - \frac{\theta^2}{2}, \quad \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \approx \frac{\theta}{2}.$$

В результате система уравнений (27) с точностью до первого порядка малости по θ преобразуется к виду:

$$\frac{dR}{d\tau} = \frac{\theta}{\sqrt{2}} \left(\frac{\theta}{R} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad \frac{8}{3R^3} = \theta \quad \text{или} \quad R^{\frac{4+3n}{n}} \frac{dR}{d\tau} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{8}{3} \right)^{\frac{1+n}{n}}. \quad (28)$$

Интегрируя уравнение (28) с начальным условием $R = R_0$ при $\tau = 0$, находим:

$$R^{\frac{4(1+n)}{n}} - R_0^{\frac{4(1+n)}{n}} = 2^{\frac{3}{2}} \left(\frac{1+n}{n} \right) \left(\frac{8}{3} \right)^{\frac{1+n}{n}} \tau. \quad (29)$$

Соотношение (29) при $R \frac{4(1+n)}{n} \gg R_0 \frac{4(1+n)}{n}$ позволяет записать:

$$R = \left[2^{\frac{3}{2}} \left(\frac{1+n}{n} \right) \left(\frac{8}{3} \right)^{\frac{1+n}{n}} \right]^{\frac{n}{4(1+n)}} \bar{\tau}^{\frac{n}{4(1+n)}}. \quad (30)$$

которое для ньютоновской жидкости ($n = 1$) принимает вид:

$$R = 1,587 \cdot \bar{\tau}^{\frac{1}{8}}. \quad (31)$$

Как показано в работе [5], формула (31) удовлетворительно описывает многочисленные экспериментальные данные [6–8] если коэффициент пропорциональности a в соотношении (23) положить численно равным величине:

$$a = \frac{|\rho g|}{|\sigma|}.$$

В статье [6] при экспериментальном исследовании растекания капель полиметилсилоксановых жидкостей с $\theta_c \approx 0$ по горизонтальным подложкам в области острых краевых углов θ было получено эмпирическое уравнение:

$$R = A \cdot \bar{\tau}^{\frac{1}{8}}, \quad (32)$$

которое полностью совпадает с теоретической формулой (31). Значения постоянной величины A для разных типов твердых подложек (лавсан, стекло, алюминий), а также при изменении вязкости жидкости в 40 раз и изменении объема капли в 10 раз изменялись в пределах $A = 1,543 - 1,603$. Сравнение этих экспериментальных значений A с теоретическим ($A = 1,587$ из формулы (31)) показывает их вполне удовлетворительное согласие.

При растекании капли неньютоновской вязкой жидкости по твердой поверхности в области тупых краевых углов $\theta = \pi - \alpha$, где α – малая величина, получим:

$$\sin \theta = \sin(\pi - \alpha) = \sin \alpha \approx \alpha, \quad \cos \theta = \cos(\pi - \alpha) = -\cos \alpha \approx -\left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right),$$

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\alpha}{2} \right) = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \approx \frac{2}{\alpha}.$$

Тогда система уравнений (27) с точностью до первого порядка малости по α примет вид:

$$\frac{dR}{d\bar{\tau}} = \sqrt{2} \left(\frac{\alpha}{R} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad \alpha = 2^{\frac{1}{3}} R \quad \text{или} \quad \frac{dR}{d\bar{\tau}} = 2^{\frac{3n+2}{6n}}. \quad (33)$$

Интегрирование соотношения (33) с начальным условием $R = R_0$ при $\bar{\tau} = 0$ приводит к выражению:

$$R - R_0 = 2^{\frac{3n+2}{6n}} \bar{\tau}. \quad (34)$$

Проанализируем кинетику растекания капли, когда равновесный краевой угол $\theta_c \in (0, \pi/2)$. Сначала рассмотрим случай острых краевых углов ($\theta < \pi/2$). Из первого уравнения системы (26) следует, что растекание происходит, когда $\sin \theta > \sin \theta_c$, а $\cos \theta < \cos \theta_c$,

т.е. при условии $\theta > \theta_c$. Положим $\theta = \theta_c + \alpha$ и рассмотрим малые значения угла α . Разложим функции $\sin \theta$, $\cos \theta$, $\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$ в ряд Тейлора и ограничимся первыми членами разложения:

$$\sin \theta \approx \sin \theta_c + \alpha \cos \theta_c, \quad \cos \theta \approx \cos \theta_c - \alpha \sin \theta_c, \quad \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \approx \operatorname{tg} \frac{\theta_c}{2} + \frac{\alpha}{2} \cos^{-2} \frac{\theta_c}{2}.$$

Из последнего соотношения, ограничившись членами первого порядка малости по α , получим:

$$\operatorname{tg}^3 \frac{\theta}{2} \approx \operatorname{tg}^3 \frac{\theta_c}{2} + 3 \operatorname{tg}^2 \frac{\theta_c}{2} \cdot \frac{\alpha}{2} \cos^{-2} \frac{\theta_c}{2}.$$

Тогда первое уравнение системы (26) примет вид:

$$\frac{dR}{d\bar{\tau}} = \alpha^{\frac{2+n}{2n}} \sin^{\frac{1}{2}} \theta_c \left(\frac{\cos \theta_c}{R} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (35)$$

а второе уравнение – вид:

$$\frac{4}{R^3} = 3 \operatorname{tg} \frac{\theta_c}{2} + \frac{3\alpha}{2} \cos^{-2} \frac{\theta_c}{2} + \operatorname{tg}^3 \frac{\theta_c}{2} + 3 \operatorname{tg}^2 \frac{\theta_c}{2} \cdot \frac{\alpha}{2} \cos^{-2} \frac{\theta_c}{2} \quad \text{или} \quad \frac{4}{R^3} = \frac{4}{R_c^3} + \frac{3\alpha}{2} \cos^{-4} \frac{\theta_c}{2},$$

где R_c – радиус, который принимает капля по окончании растекания.

Откуда:

$$\alpha = \frac{8}{3} \frac{R_c^3 - R^3}{R_c^3 R^3} \cos^4 \frac{\theta_c}{2}, \quad (36)$$

а радиус R_c определяется из условия:

$$\frac{4}{R_c^3} = 3 \operatorname{tg} \frac{\theta_c}{2} + \operatorname{tg}^3 \frac{\theta_c}{2} \quad \text{или} \quad R_c = \left(\frac{4}{3 \operatorname{tg} \frac{\theta_c}{2} + \operatorname{tg}^3 \frac{\theta_c}{2}} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (37)$$

Положим $R = R_c - r$ и пусть переменная r является малой величиной. Тогда, ограничиваясь в формуле (36) первыми членами малости по r , получим:

$$\alpha \approx 8 \frac{r}{R_c^4} \cos^4 \frac{\theta_c}{2} = 8 \frac{R_c - R}{R_c^4} \cos^4 \frac{\theta_c}{2}.$$

В результате уравнение (35) преобразуется к виду:

$$-(R_c - R)^{\frac{2+n}{2n}} d(R_c - R) = \left(\frac{8}{R_c^4} \cos^4 \frac{\theta_c}{2} \right)^{\frac{2+n}{2n}} \sin^{\frac{1}{2}} \theta_c \left(\frac{\cos \theta_c}{R_c} \right)^{\frac{1}{n}} d\bar{\tau}. \quad (38)$$

После интегрирования соотношения (38) с начальным условием $R = R_0$ при $\bar{\tau} = 0$ находим:

$$(R_c - R)^{\frac{2-n}{2n}} - (R_c - R_0)^{\frac{2-n}{2n}} = \frac{2-n}{2n} 8^{\frac{2+n}{2n}} \sin^{\frac{1}{2}} \theta_c \cos^{\frac{1}{n}} \theta_c \left(\cos \frac{\theta_c}{2} \right)^{\frac{4+2n}{n}} \bar{\tau}. \quad (39)$$

Рассмотрим кинетику растекания капли по твердой поверхности в области тупых краевых углов $\theta > \pi/2$, $\theta_c \in (0, \pi/2)$. Примем, что $\theta = \pi - \beta$, где величина угла $\beta < \pi/2$. Тогда: $\sin \theta = \sin(\pi - \beta) = \sin \beta$, $\cos \theta = \cos(\pi - \beta) = -\cos \beta$, $\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\beta}{2} \right) = \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$, и система уравнений (26) преобразуется к виду:

$$\frac{dR}{d\bar{\tau}} = \left(\frac{\sin \beta - \sin \theta_c}{R} \right)^{\frac{1}{n}} (\cos \theta_c + \cos \beta)^{\frac{1}{2}}, \quad \frac{4}{R^3} = 3 \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} + \operatorname{ctg}^3 \frac{\beta}{2}. \quad (40)$$

Из первого уравнения системы (40) следует, что растекание капли за счет сил поверхностного натяжения происходит при $\sin \beta > \sin \theta_c$, т.е. при $\beta > \theta_c$.

Считаем $\beta = \theta_c + \varepsilon$ и проанализируем случай малых значений угла ε . Разложим функции $\sin \beta$, $\cos \beta$, $\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$ в ряд Тейлора и ограничимся первыми членами разложения:

$$\sin \beta \approx \sin \theta_c + \varepsilon \cos \theta_c, \quad \cos \beta \approx \cos \theta_c - \varepsilon \sin \theta_c, \quad \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \approx \operatorname{ctg} \frac{\theta_c}{2} - \frac{\varepsilon}{2} \sin^{-2} \frac{\theta_c}{2}.$$

Из последнего соотношения, ограничившись членами первого порядка малости по ε , получим:

$$\operatorname{ctg}^3 \frac{\beta}{2} \approx \operatorname{ctg}^3 \frac{\theta_c}{2} - 3 \operatorname{ctg}^3 \frac{\theta_c}{2} \cdot \frac{\varepsilon}{2} \sin^{-2} \frac{\theta_c}{2}.$$

Тогда для первого уравнения системы (40) получим:

$$\frac{dR}{d\bar{\tau}} = \sqrt{2} \cos^{\frac{1}{2}} \theta_c \left(\frac{\varepsilon \cos \theta_c}{R} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad (41)$$

а для второго уравнения:

$$\frac{4}{R^3} = 3 \operatorname{ctg} \frac{\theta_c}{2} - \frac{3\varepsilon}{2} \sin^{-2} \frac{\theta_c}{2} + \operatorname{ctg}^3 \frac{\theta_c}{2} - 3 \operatorname{ctg}^2 \frac{\theta_c}{2} \cdot \frac{\varepsilon}{2} \sin^{-2} \frac{\theta_c}{2} \quad \text{или} \quad \frac{4}{R^3} = \frac{4}{R_h^3} - \frac{3\varepsilon}{2} \sin^{-4} \frac{\theta_c}{2},$$

где R_h – радиус капли, при котором начинается ее растекание по твердой горизонтальной поверхности за счет сил поверхностного натяжения.

Откуда:

$$\varepsilon = \frac{8}{3} \frac{R^3 - R_h^3}{R_h^3 R^3} \sin^4 \frac{\theta_c}{2}, \quad (42)$$

а радиус R_h вычисляется из условия:

$$\frac{4}{R_h^3} = 3 \operatorname{ctg} \frac{\theta_c}{2} + \operatorname{ctg}^3 \frac{\theta_c}{2} \quad \text{или} \quad R_h = \left(\frac{4}{3 \operatorname{ctg} \frac{\theta_c}{2} + \operatorname{ctg}^3 \frac{\theta_c}{2}} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (43)$$

Считаем $R = R_h + r$ и рассмотрим случай малых значений переменной r . В формуле (42) ограничимся первыми членами малости по величине r :

$$\varepsilon \approx 8 \frac{r}{R_h^4} \sin^4 \frac{\theta_c}{2} = 8 \frac{R - R_h}{R_h^4} \sin^4 \frac{\theta_c}{2}.$$

Подставим значение ε в уравнение (41):

$$(R - R_h)^{\frac{1}{n}} d(R - R_h) = \sqrt{2} \cos^{\frac{1}{2}} \theta_c \left(\frac{8}{R_h^5} \cos \theta_c \cdot \sin^4 \frac{\theta_c}{2} \right)^{\frac{1}{n}} d\bar{\tau}. \quad (44)$$

Проинтегрировав соотношение (44) с начальным условием $R = R_0$ при $\bar{\tau} = 0$, получим:

$$\text{для } n \neq 1 \quad (R - R_n)^{\frac{n-1}{n}} = (R_0 - R_n)^{\frac{n-1}{n}} + \frac{n-1}{n} \sqrt{2} \cos^{\frac{1}{2}} \theta_c \left(\frac{8}{R_n^5} \cos \theta_c \cdot \sin^4 \frac{\theta_c}{2} \right)^{\frac{1}{n}} \bar{\tau}, \quad (45)$$

$$\text{для } n = 1 \quad \ln(R - R_n) = \ln(R_0 - R_n) + \frac{8\sqrt{2}}{R_n^5} \cos^{\frac{3}{2}} \theta_c \sin^4 \frac{\theta_c}{2} \bar{\tau}. \quad (46)$$

Итак, при равновесном краевом угле $\theta_c = 0$ капля жидкости растекается неограниченно, а при угле $\theta_c \in (0, \pi/2)$ растекается ограниченно радиусом капли R_c , определяемым по формуле (37).

Заключение

Таким образом, разработана теоретическая модель процесса неограниченного и ограниченного растекания капли неньютоновской вязкой жидкости по твердой поверхности. Установлено, что при равновесном краевом угле $\theta_c = 0$ кинетика перемещения периметра капли неньютоновской вязкой жидкости изменяется неограниченно от зависимости $R \sim \bar{\tau}$ в области тупых краевых углов $\theta > \pi/2$ до зависимости $R \sim \bar{\tau}^{n/(4+4n)}$ в области острых краевых углов $\theta < \pi/2$, которые следуют из результатов расчетов и формул (30) и (34). Здесь R – безразмерный радиус растекающейся капли, $\bar{\tau}$ – безразмерное время растекания капли. Этот результат получен с единых позиций и хорошо согласуется с многочисленными экспериментальными данными для ньютоновской жидкости ($n = 1$) [6–8]. Из расчетов и теоретических выкладок найдено, что при равновесном краевом угле $\theta_c \in (0, \pi/2)$ происходит ограниченное растекание капли до радиуса $R = R_c = [4 / (3 \operatorname{tg} \frac{\theta_c}{2} + \operatorname{tg}^3 \frac{\theta_c}{2})]^{\frac{1}{3}}$ (см. формулу (37)) по закону (39).

ЛИТЕРАТУРА

1. Берд, Р.Б. Явления переноса / Р.Б. Берд, В.Е. Стюарт, Е.Н. Лайтфут; пер. с англ. – М.: Химия, 1974. – 688 с.
2. Миканович, Д.С. Исследование фильтрационных свойств грунтов ограждающих сооружений шламохранилищ с учетом влияния эффекта пристенного скольжения / Д.С. Миканович, Г.Ф. Ласута // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 2. – С. 166–177. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.166. – EDN: WKMNAK.
3. Нахай, Д.М. Влияние скорости сдвига и температуры на динамическую вязкость раствора полимеров / Д.М. Нахай, Д.С. Миканович, М.О. Бусел // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2023. – Т. 7, № 2. – С. 215–221. – DOI: 10.33408/2519-237X.2023.7-2.215. – EDN: SXKRDR.
4. Нахай, Д.М. Особенности подъема неньютоновских жидкостей в пористом материале / Д.М. Нахай, В.И. Байков, Д.С. Миканович // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2024. – Т. 8, № 1. – С. 98–105. – DOI: 10.33408/2519-237X.2024.8-1.98. – EDN: VUPGUK.
5. Байков, В.И. Растекание капли жидкости по твердой горизонтальной поверхности / В.И. Байков, Е.В. Коробко, Н.А. Гончарова // Инженерно-физический журнал. – 2003. – Т. 76, № 2. – С. 38–41.
6. Вавкушевский, А.А. Растекание капли вязкой жидкости по твердой горизонтальной поверхности / А.А. Вавкушевский [и др.] // Коллоидный журнал. – 1989. – Т. 51, № 3. – С. 439–444.
7. Коробко, Е.В. Растекание капли электрореологической суспензии во внешнем поле / Е.В. Коробко, Р.Г. Городкин, В.В. Мельниченко // Инженерно-физический журнал. – 1997. – Т. 70, № 5. – С. 766–770.
8. Рауд, Э.А. Капиллярная модель процесса растекания / Э.А. Рауд, Б.Д. Сумм // Адгезия расплавов и пайка материалов: респ. межвед. сб. – Киев: Наукова думка, 1984. – Вып. 12. – С. 3–7.

**Растекание капли неньютоновской вязкой жидкости
по твердой горизонтальной поверхности**
Spreading of a drop of non-Newtonian viscous liquid over a solid horizontal surface

Байков Валентин Иванович

доктор технических наук, доцент

Государственное научное учреждение
«Институт тепло- и массообмена имени
А.В. Лыкова Национальной академии наук
Беларуси», лаборатория турбулентности,
главный научный сотрудник

Адрес: ул. П. Бровки, 15,
220072, г. Минск, Беларусь

Email: baikov@hmti.ac.by

Valentin I. Baykov

Grand PhD in Technical Sciences,
Associate Professor

State Scientific Institution
«A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute
of the National Academy of Sciences of Belarus»,
Turbulence Laboratory, Chief Researcher

Address: P. Brovki str., 15,
220072, Minsk, Belarus

Email: baikov@hmti.ac.by

ScopusID: 6602525113

Нахай Дмитрий Михайлович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра химической,
биологической, радиационной и ядерной
защиты, преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: eurotitaner@mail.ru

Dmitriy M. Nakhay

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Chemical, Biological, Radiation
and Nuclear Protection, Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: eurotitaner@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5989-5465

Миканович Дмитрий Станиславович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
предупреждения и ликвидации чрезвычайных
ситуаций, начальник факультета

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: dmikanovich@list.ru

SPIN-код: 1516-9648

Dmitriy S. Mikanovich

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Faculty of Emergency Prevention and Elimination,
Head of Faculty

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: dmikanovich@list.ru

ORCID: 0000-0002-3560-1741

SPREADING OF A DROP OF NON-NEWTONIAN VISCOUS LIQUID OVER A SOLID HORIZONTAL SURFACE

Baykov V.I., Nakhay D.M., Mikanovich D.S.

Purpose. To investigate the kinetics of spreading a drop of a non-Newtonian viscous liquid over a horizontal surface.

Methods. Mathematical modeling.

Findings. The kinetic equation describing the process of spreading of a drop of non-Newtonian viscous liquid over a solid horizontal surface is obtained.

Application field of research. The obtained results are important for further investigation of the motion of non-Newtonian viscous liquids over a solid surface.

Keywords: dynamic meniscus, edge angle, equilibrium edge angle.

(The date of submitting: March 28, 2024)

REFERENCES

1. Byrd R.B., Stewart W.E., Lighfoot E.N. *Transport Phenomena*: translation from English. Moscow: Khimiya, 1974. 688 p. (rus)
2. Mikanovich D.S., Lasuta G.F. Issledovanie fil'tratsionnykh svoystv gruntov ograzhdayushchikh sooruzheniy shlamokhranilishch s uchetom vliyaniya effekta pristennogo skol'zheniya [Effect of wall sliding effect on filtration properties of soils of protecting constructions of slurry storage]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol.3, No. 2. Pp. 166–176. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.166. EDN: WKMNAK.
3. Nakhay D.M., Mikanovich D.S., Busel M.O. Vliyanie skorosti sdviga i temperatury na dinamicheskuyu vyazkost' rastvora polimerov [Influence of shear rate and temperature on the dynamic viscosity of a polymer solution]. *Journal of Civil Protection*, 2023. Vol.7, No. 2. Pp. 215–222. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2023.7-2.215. EDN: SXKRDR.
4. Nakhay D.M., Baykov V.I., Mikanovich D.S. Osobennosti pod"ema nen'yutonovskikh zhidkostey v poristom materiale [Peculiarities of lifting of non-Newtonian fluids in porous material]. *Journal of Civil Protection*, 2024. Vol.8, No. 1. Pp. 98–105. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2024.8-1.98. EDN: VUPGUK.
5. Baikov V.I., Korobko E.V., Goncharova N.A. Spreading of a liquid droplet over a solid horizontal surface. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2003. Vol. 76, No. 2. Pp. 274–278. DOI: 10.1023/A:1023640831609.
6. Vavkushevskii A.A., Arslanov V.V., Stepanenko V.Yu., Ogarev V.A. Spreading of viscous liquid drop on solid horizontal surface. *Colloid Journal of the USSR*, 1989. Vol. 51, No. 3. Pp. 379–383. EDN: XOASZP.
7. Korobko E.V., Gorodkin R.G., Mel'nichenko V.V. Spreading of a drop of an electrorheological suspension in an external field. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 1997. Vol. 70, No. 5. Pp. 763–768. DOI: 10.1007/BF02657635.
8. Raud E.A., Sum B.D. Kapillyarnaya model' protsessa rastekaniya [Capillary model of the spreading process]. *Adgeziya rasplavov i payka materialov [Adhesion of melts and soldering of materials]*. Kiev: Naukova dumka, 1984. Iss. 12. Pp. 3–7. (rus)

ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА И МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОЙ ЭМИССИИ CO₂

Басова Е.А., Ивахнюк С.Г., Королева Л.А., Семенов В.В.

Цель. Исследование теоретических и практических вопросов, посвященных повышенной эмиссии углекислого газа в атмосферу в результате крупных пожаров на объектах экономики, связанных с обращением углеводородных видов топлива, а также разработка и апробация методики по ее снижению.

Методы. Исследовались факты крупных пожаров на инфраструктуре опасных производственных объектов, связанных с обращением органического топлива, ставших источниками значительного поступления в атмосферу одного из мощнейших по негативному воздействию парниковых газов – диоксида углерода. Проводился анализ аварий, произошедших в 2014–2023 гг. в Российской Федерации на объектах трубопроводного транспорта органических видов топлива и резервуарах с нефтью и нефтепродуктами. Предложена и представлена положительными результатами экспериментов по применению инновационная методика снижения углеродного следа от крупных пожаров.

Результаты. Установлено, что большинство аварий на объектах исследования сопряжено с возникновением пожаров, а также взрывов топливно-воздушных смесей, сопровождаемых возгораниями горючих веществ. Показано, что множество различных причин, от имеющих техническую природу до милитаризованных террористических атак на объекты нефтегазового комплекса, разрывают технологические цепочки движения топлива от добычи до потребления, вызывая аварийное горение газа, нефти и нефтепродуктов. Предлагается негативное воздействие от аварийных возгораний органического топлива в части формирования существенного вклада в эмиссию диоксида углерода рассматривать как опасный фактор пожара непрямого отложенного действия. Применение разработанной методики приводит к увеличению общего фотосинтетического потенциала растений и, соответственно, к абсорбции ими диоксида углерода из атмосферы.

Область применения исследований. Исследование процессов протекания аварий, пожаров и взрывов, разработка способов снижения опасных воздействий на окружающую среду, разработка методологических основ и нормативных положений, направленных на обеспечение пожарной безопасности объектов защиты.

Ключевые слова: опасный производственный объект, крупные пожары, пожарная безопасность, опасные факторы пожара, углекислый газ, углеродный след, фотосинтез.

(Поступила в редакцию 10 июля 2024 г.)

Введение

Ежегодно существенное количество выбросов парниковых газов поступает в атмосферу за счет различной антропогенной деятельности и аварий на опасных производственных объектах. Современная мировая наука ставит перед собой амбициозную задачу по значительному снижению их концентрации в атмосфере и минимизации выбросов в результате деятельности человека.

Крупномасштабные пожары являются источниками значительного поступления в атмосферу планеты одного из мощнейших по негативному воздействию парниковых газов – диоксида углерода. По последствиям к ним можно отнести пожары, объектами которых являются лесные насаждения, торфяные залежи, и, несомненно, инфраструктура опасных производственных объектов (далее – ОПО), связанных с обращением органического топлива, например нефти, нефтепродуктов, природного газа и пр.

К ОПО нефтегазового комплекса относят ОПО нефтегазодобывающей, нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической промышленности, нефтепродуктообеспечения, подземного хранения газа, магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов и газопроводов, газораспределения и газопотребления¹.

Значительные выбросы антропогенного диоксида углерода в природную среду определяют экологические риски, сопровождающие пожары на буровых установках, нефтеперерабатывающих заводах, резервуарных парках нефтепромыслов, нефтебазах, перекачивающих станциях магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, автомобильных газовых заправках, а также газораспределительных станциях, сетях газораспределения и газопотребления.

Ниже представлена информация о резонансных событиях, произошедших в Российской Федерации и за рубежом, сопровождавшихся крупномасштабными пожарами:

– пожар на скважине в Индии, произошедший в 1960-х гг., значительно осложнившийся тем, что дебит газа, по оценкам специалистов, достигал 30 млн м³/сут. Пожар продолжался в течение нескольких лет, пока не завершился в связи с истощением месторождения [1];

– кратер с горящим природным газом в Каракумах Туркменистана диаметром приблизительно 60 м и глубиной около 20 м. С 1971 г., когда буровая вышка со всем оборудованием обрушилась в подземную каверну, и до настоящего времени природный газ, выходящий из кратера, непрерывно горит днем и ночью²;

– события 1991 г. в Персидском заливе, когда, уходя из Кувейта, военнослужащие Ирака подожгли около 600 нефтяных скважин, пожары которых продолжались почти год³ [2];

– авария в западной части Москвы в мае 2009 г. – факельное горение струи газа (метана) из разрушенного газопровода. Пожар продолжался почти 16 ч, пока газ полностью не выгорел. Высота факела пламени составляла 25–30 м [1];

– пожар в Мексиканском заливе, который был вызван взрывом в 2010 г. на полупогружной нефтяной платформе Deepwater Horizon. Пожарные суда пытались ликвидировать пожар, но безуспешно, столб дыма достигал высоты 3 км. Тушение было завершено только через 36 ч вследствие того, что нефтяная платформа затонула⁴.

Перечисленные примеры подчеркивают актуальность исследований, проводимых в области разработки современных подходов к снижению в атмосфере концентрации углекислого газа, образующегося при пожарах на объектах нефтегазового комплекса.

Основная часть

Анализ пожаров при обращении органического топлива. Авторами проведен анализ аварий, произошедших в 2014–2023 гг. в Российской Федерации на ОПО, связанных с обращением органического топлива. На рисунке 1 представлены сведения об авариях на нефте-, нефтепродукто- и газопроводах в рассматриваемой ретроспективе с указанием их количества и распределением по годам [3].

¹ О промышленной безопасности опасных производственных объектов [Электронный ресурс]: Федеральный закон, 21 июля 1997, № 116-ФЗ // КонсультантПлюс. Россия / ЗАО «КонсультантПлюс». – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/. – Дата доступа: 05.07.2024.

² Писаренко, Д. Что за кратер «Врата ада» хотят потушить в Туркменистане? [Электронный ресурс] / Д. Писаренко // Аргументы и факты. – 2022. – 10 янв. – Режим доступа: https://aif.ru/society/nature/chto_zh_krater_vrata_ada_hotyat_potushit_v_turkmenistane. – Дата доступа: 05.07.2024.

³ «Отступление Хусейна и 600 подожженных нефтяных скважин»: одна из крупнейших техногенных катастроф [Электронный ресурс] // Дзен. – 2024. – 2 июля. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/ZoQUd2HmNwKyTQQ0>. – Дата доступа: 05.07.2024.

⁴ Звонова, О. Авария в Мексиканском заливе: хроника событий и экологические последствия [Электронный ресурс] / О. Звонова // Аргументы и факты. – 2014. – 22 апр. – Режим доступа: https://aif.ru/dontknows/file/avariya_v_meksikanskom_zalive_hronika_sobytyy_i_ekologicheskie_posledstviya. – Дата доступа: 05.07.2024.



Рисунок 1. – Распределение аварий на объектах трубопроводного транспорта органического топлива по годам

В среднем на трубопроводных системах ОПО происходит от 10 до 40 аварий в год. Часть из них характеризуется аварийной разгерметизацией, сопровождаемой разливом жидких нефтяных углеводородов или выбросом газообразных веществ без последующего их воспламенения. В остальных случаях происходит либо пожар, либо взрыв топливно-воздушной смеси (ТВС), которая образована газом или парами жидких нефтяных углеводородов (горючим компонентом) и кислородом воздуха (окислителем).

Обобщенные за 10 лет данные показывают, что аварии на трубопроводных системах ОПО сопровождаются пожарами в 39 % и взрывами ТВС в 11 % случаев (рис. 2).

В результате исследований аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами ОПО Российской Федерации открывается несколько другая статистическая картина. Результаты анализа их последствий за период с 2014 по 2023 г. представлены на рисунке 3.

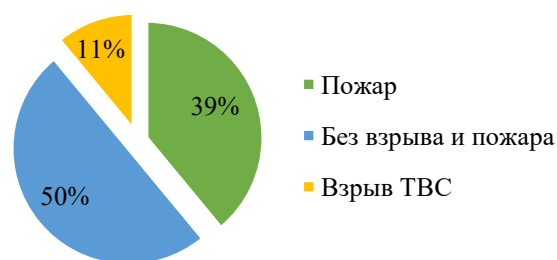


Рисунок 2. – Распределение аварий на объектах трубопроводного транспорта по последствиям

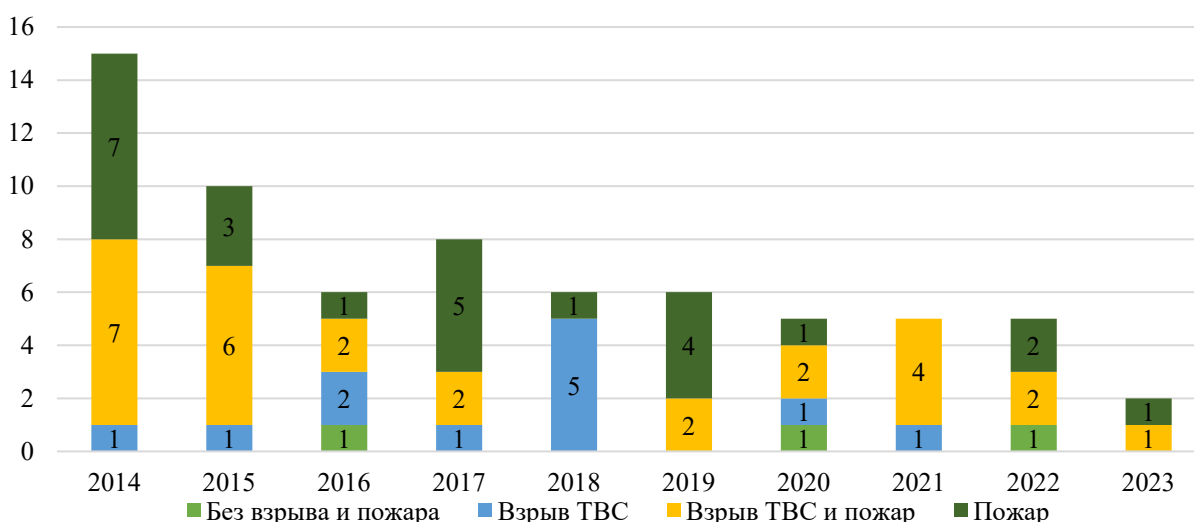


Рисунок 3. – Распределение аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами по годам

Аварии на резервуарах и технологических аппаратах характеризуются значительным количеством сопровождающих их взрывов и пожаров. Это, наиболее вероятно, связано с тем, что выход и образование взрыво- и пожароопасных сред происходит не на открытом пространстве, как в большинстве случаев аварийной разгерметизации магистральных и межпромысловых трубопроводов, а в замкнутом объеме самого объекта, подвергшегося аварии.

Таким образом, пожары на подобных объектах, являющиеся в большинстве случаев последствиями их аварийных разгерметизаций, происходят в 78 % случаев: в 37 % – только пожар, в 41 % – пожар и взрыв ТВС (рис. 4).

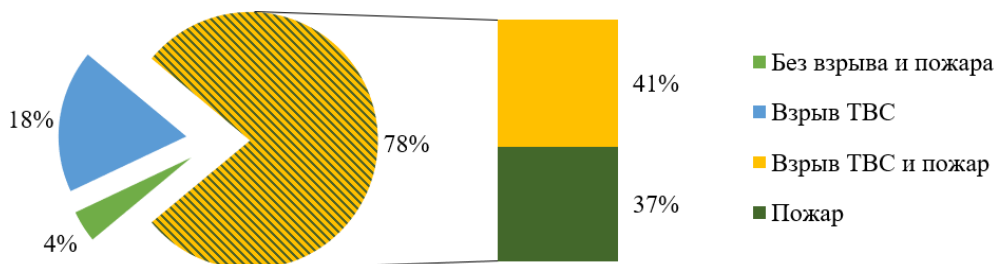


Рисунок 4. – Распределение аварий на резервуарах с нефтью и нефтепродуктами по последствиям

Основная доля промышленной эмиссии углекислого газа (97–99 %) связана со сжиганием различных видов органического топлива [4]. Отдельные авторы исследований по оценке объемов эмиссии парниковых газов предлагают учитывать выбросы по всей технологической цепочке движения топлива от добычи до потребления. В настоящее время множество различных причин, от имеющих техническую природу до милитаризованных террористических атак на объекты нефтегазового комплекса, разрывают описанные технологические цепочки, вызывая аварийное горение газа, нефти и нефтепродуктов.

Негативное воздействие горения органических видов топлива в части формирования существенного вклада в образование диоксида углерода следует рассматривать как опасный фактор пожара непрямого отложенного действия и учитывать как важный источник поступления углекислого газа в атмосферу.

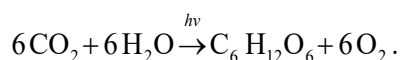
Методология. Пути снижения ущерба, наносимого природной среде при пожарах на ОПО, усматриваются в следующих основных направлениях:

- снижение поступления диоксида углерода путем предупреждения пожаров, а также совершенствование способов их локализации и ликвидации;
- усиление связывания уже имеющегося углекислого газа абсорбцией из атмосферы за счет природного процесса – фотосинтеза.

Лесные экосистемы, включающиеся в процессы фотосинтеза, занимают треть суши нашей планеты. В численном выражении занимаемая ими площадь составляет 38 млн км². На сегодняшний момент человечество полностью уничтожило около 50 % территории лесов, которые ранее существовали на планете. Данные территории заняты антропогенными ландшафтами: пастбищами, пустошами, посевами, поселениями и другими. По оценкам ООН⁵, вследствие деятельности человека ежегодно исчезает 10 млн га лесонасаждений, которые могли бы усваивать углекислый газ и минимизировать тем самым влияние парникового эффекта.

Мерами по снижению ущерба лесным насаждениям можно считать предупреждение лесных пожаров, развитие лесоразведения, а также снижение вырубке лесов. В настоящее время снижение экспорта древесины естественным образом сказалось на уменьшении объемов вырубке леса. Восстановление лесов является одним из методов карбонового земледелия – важного компонента климатически ориентированного сельского хозяйства, направленного на поглощение атмосферного углерода в почве, корнях сельскохозяйственных культур, древесине, а также листьях за счет фотосинтеза.

Брутто-формула химических реакций фотосинтеза имеет следующий вид:



⁵ Медведев, Ю. Почему леса становятся угрозой для климата [Электронный ресурс] / Ю. Медведев // Наука – специальный проект «Российской газеты». – Режим доступа: <https://rg.ru/2023/09/26/teplovoj-shok.html>. – Дата доступа: 23.05.2024.

Механизм фотосинтеза состоит из системы сложных реакций, главную роль в которых играет углекислый газ, свет и вода. В его процессе растения поглощают углекислый газ и выделяют в атмосферу кислород.

Важным показателем является фотосинтетический потенциал растений, отражающий динамику нарастания и функционирования листовой массы, активизирующей фотосинтетическую активность за вегетационный период.

В настоящее время существует острая необходимость для проведения исследований по интенсификации связывания углекислого газа фотосинтезом. Применение различных электрофизических методов воздействия доказало свою эффективность в вопросах положительного влияния на показатели развития растений [5–7]. Результаты ранее проведенных исследований по изучению биометрических и морфофизиологических показателей растений при выращивании с использованием специально подготовленной поливной воды [8–10], подтвердили ускорение их роста, увеличение содержания хлорофилла и продуктивности фотосинтеза.

На базе Санкт-Петербургского технологического института (технического университета) и Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России впервые проведены исследования влияния полива обработанной с применением генератора переменного частотно-модулированного потенциала (далее – ПЧМП) водой на особенности вегетации сельскохозяйственной культуры – овса.

Генератор ПЧМП имеет средства физического воздействия на материал (воду), представляющие собой элементы косвенного или прямого приложения к нему электрического потенциала. В качестве электродов используются медные пластины, дающие возможность подачи электрического потенциала непосредственно на воду или на емкость, в которой она находится [11].

Характеристики генератора ПЧМП следующие: питающее напряжение 220 В, несущая частота 50 Гц, мощность 200 Вт, диапазон изменения частоты от 10 до 1000 Гц. Частотная модуляция генератора ПЧМП описывается по специальной математической зависимости в виде синусоиды.

При электрофизическом воздействии на воду с помощью генератора ПЧМП вследствие трансформации надмолекулярной архитектуры существенно изменяются ее базовые физико-химические свойства: динамическая вязкость, осмотическое давление, поверхностное натяжение, плотность, водородный показатель, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и др. (рис. 5) [8–10]. Изменения перечисленных показателей направлены в сторону увеличения биологической активности воды.

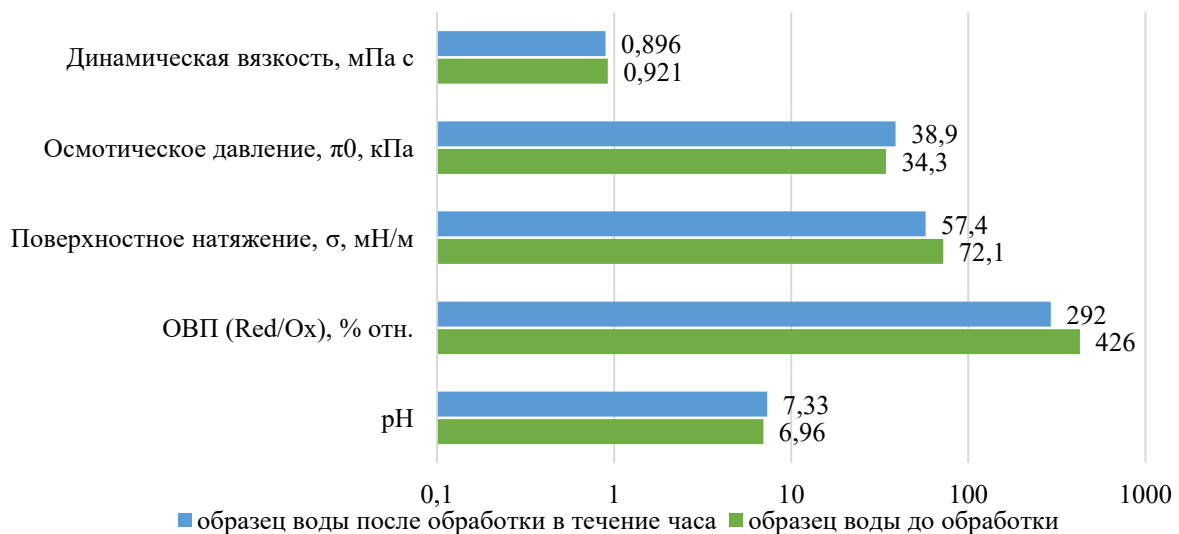


Рисунок 5. – Изменения физико-химических свойств воды до и после ее обработки электрофизическим воздействием

Управление физико-химическими свойствами поливной воды может применяться в целях увеличения поглощения техногенного углекислого газа флорой при фотосинтезе, а также для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур и восстановления лесных экосистем.

При проведении экспериментов по проращиванию, которое осуществлялось в чашках Петри при комнатной температуре (25 ± 2) °С, были использованы семена овса. В чашки были высажены по 15 семян, которые предварительно отбирались из общего числа с целью исключения некачественных зерен.

Полив семян осуществлялся в первой серии образцов – исходной дистиллированной водой, во второй – обработанной дистиллированной водой. Обработку воды с помощью генератора ПЧМП проводили помещением электрода из меди в содержащую ее колбу на 30 мин.

Измерение всхожести семян сельскохозяйственных культур проводилось по ГОСТ 12038-84. Замеры длин ростков и корней проросших семян проводили ежедневно линейкой. На десятый день после начала визуального наблюдения проросшие ростки высаживали в землю (длина корней после пересадки не измерялась).

Результаты. Полученные результаты опытов по исследованию воздействия поливной воды, обработанной с помощью генератора ПЧМП, на всхожесть и вегетацию овса представлены на рисунке 6.

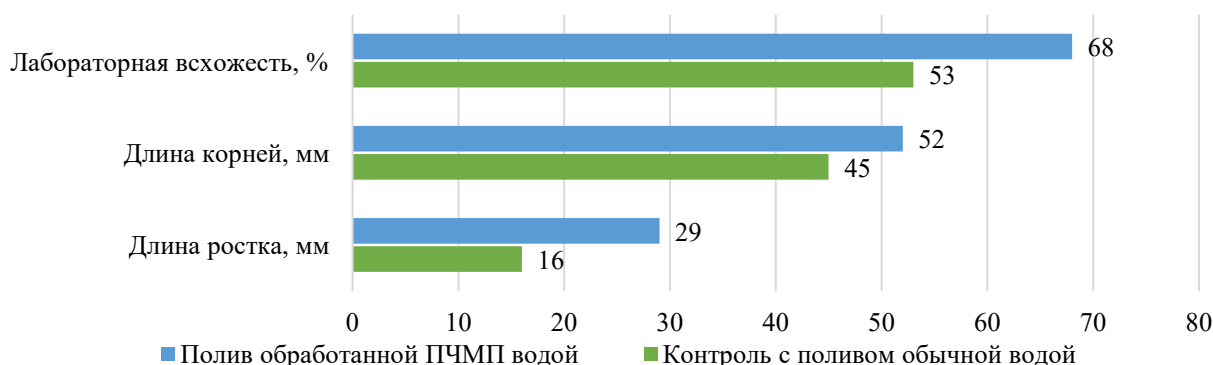


Рисунок 6. – Влияние поливной воды на всхожесть и морфометрические параметры проростков овса

Зафиксировано изменение в сторону увеличения всех трех исследуемых показателей: лабораторной всхожести семян овса, длины корней и ростков растений. Изменение морфометрических параметров проростков овса визуализировано на рисунках 7, 8.



Рисунок 7. – Проросший овес с использованием для полива обработанной ПЧМП (слева) и не обработанной ПЧМП (справа) воды



Рисунок 8. – Овес, выращенный с использованием для полива обработанной ПЧМП (сверху) и не обработанной ПЧМП (снизу) воды

Обсуждение. Анализ полученных данных показал, что в отношении выбранных объектов исследования:

- всхожесть увеличилась на 15 %;
- длина корней увеличилась на 7 мм (на 15,6 %);
- длина ростка увеличилась на 13 мм на (81,3 %).

Рост корневой системы оказывает влияние на порозность почв, в результате чего улучшается снабжение корней воздухом и влагой. За счет увеличения воздействием ПЧМП растворяющей способности обработанной воды и ее взаимодействия с водорастворимыми карбонатами магния и кальция почвы – в зоне корневой системы происходит концентрирование гидрокарбоната иона HCO_3^- и насыщение растений минеральными веществами. Перечисленные физические и химические эффекты являются дополнительными положительными результатами обработки поливной воды электрофизическим воздействием.

Результаты проведенного исследования показывают, что применение ПЧМП в отношении поливной воды значительно изменяет в положительную сторону показатель всхожести семян овса и морфологические признаки растений, таким образом оказывая позитивное влияние на процессы фотосинтеза у сельскохозяйственных растений и, соответственно, на увеличение количества абсорбированного техногенного диоксида углерода из атмосферы.

Сравнение полученных результатов с результатами в других исследованиях. В настоящее время наиболее перспективными в части усиления усваивания CO_2 растениями считаются возможности селекции и генной инженерии, а также потенциал применения разнообразных наноматериалов [12–19]. Тем не менее эти подходы и по сей день сталкиваются с целым рядом проблем, обусловливаемых в первую очередь спецификой их реализации. Некоторые из предлагаемых способов находятся на столь ранней стадии разработки, что вопросы их практического применения откладываются на достаточно значительные сроки.

С учетом вышеизложенного предложенную методику снижения углеродного следа от крупных пожаров, отличающуюся простотой и дешевизной применения, можно рассматривать в качестве приоритетной для рассматриваемых целей и задач.

Заключение

Выявлены особенности протекания аварий, пожаров и взрывов на инфраструктуре объектов нефтегазового комплекса. Сфокусировано внимание на негативном воздействии крупных пожаров в части залповой эмиссии диоксида углерода. Предложено обособить опасные факторы пожара непрямого отложенного действия и отнести к ним аварийную эмиссию CO₂. Разработана и апробирована методика снижения ее опасных последствий, основанная на одном из эффективных путей решения вопросов декарбонизации – вегетации и возделывания культур с использованием методов карбонового земледелия.

Проведенными в работе исследованиями установлено, что полив водой, модифицированной переменным частотно-модулированным потенциалом, положительно воздействует на всхожесть (увеличилась на 15 %) и жизнеспособность проросших семян, а также на развитие зеленой массы овса (длина корней увеличилась на 7 мм или на 15,6 %, длина ростка – на 13 мм или на 81,3 %). Это приводит к увеличению общего фотосинтетического потенциала растений и абсорбции ими диоксида углерода из атмосферы.

Полученные результаты показывают необходимость комплексного подхода к оценке и минимизации негативного воздействия от пожаров на объектах с обращением органических видов топлива, а также открывают широкие перспективы по возможностям снижения их отдельных опасных последствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурагимов, И.М. Пожар газового фонтана на улице Озерной / И.М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 2. – С. 46–53. – EDN: PAELBX.
2. Ивахнюк, С.Г. Каскадность взаимных возникновения и развития чрезвычайных ситуаций – результат научно-технического прогресса / С.Г. Ивахнюк // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 1 (61). – С. 67–77. – EDN: YQSTAM.
3. Уроки, извлеченные из аварий [Электронный ресурс] // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). – Режим доступа: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons>. – Дата доступа: 23.05.2024.
4. Бубнов, В.П. Экологическая оценка воздействия вредных выбросов (сбросов) при сжигании органического и ядерного топлива на окружающую среду / В.П. Бубнов // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2010. – № 4. – С. 70–73. – EDN: ZHJMOR.
5. Комиссаров, Г.Г. Фотосинтез: физико-химический подход / Г.Г. Комиссаров. – М.: Ленанд, 2022. – 224 с.
6. Кокиева, Г.Е. Совершенствование технологии выращивания зеленых культур на рассадно-салатных комплексах зимних теплиц / Г.Е. Кокиева // Столыпинский вестник. – 2022. – Т. 4, № 4. – Статья 59. – EDN: SIZSXE.
7. Ибраимов, Т.К. Влияние активированной электрическим полем воды на показатели развития растений / Т.К. Ибраимов [и др.] // Бюллетень науки и практики. – 2022. – Т. 8, № 5. – С. 67–72. – DOI: 10.33619/2414-2948/78/07. – EDN: FOSOGO.
8. Май, Ч.Б. Влияние переменного электрического поля на физико-химические свойства воды в реакции фотосинтеза: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04 / Ч.Б. Май; Санкт-Петербургский государственный технологический институт. – СПб., 2018. – 21 с.
9. Басова, Е.А. Научные инновации по обеспечению развития отечественного сельскохозяйственного производства / Е.А. Басова, С.Г. Ивахнюк // Импортзамещение, научно-техническая и экономическая безопасность: сб. статей V Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения», Минск, 7–9 декабря 2022 г.; в 3 т. – Минск: БГТУ, 2022. – Т. 3. – С. 120–126. – EDN: XZSOID.
10. Ивахнюк, С.Г. Научно-технические инновации по снижению концентрации техногенного CO₂ в атмосфере за счет повышения его абсорбции / Ивахнюк С.Г., Королева Л.А. // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 2 (62). – С. 69–79. – EDN: ZNMBWG.
11. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. RU 2479005C2 / Г.К. Ивахнюк, В.Н. Матюхин, В.А. Клачков, А.О. Шевченко [и др.]. – Оpubл. 10.04.2013.

12. Krishnan, A. Emerging towards zero carbon footprint via carbon dioxide capturing and sequestration / A. Krishnan, A. Nighojkar, B. Kandasubramanian // *Carbon Capture Science & Technology*. – 2023. – Vol. 9. – Article 100137. – DOI: 10.1016/j.ccst.2023.100137.
13. Onyeaka, H. Minimizing carbon footprint via microalgae as a biological capture / H. Onyeaka, T. Miri, K. Obileke [et al.] // *Carbon Capture Science & Technology*. – 2021. – Vol. 1. – Article 100007. – DOI: 10.1016/j.ccst.2021.100007.
14. Pessarrodona, A. Carbon removal and climate change mitigation by seaweed farming: A state of knowledge review / A. Pessarrodona, J. Howard, E. Pidgeon, T. Wernberg, K. Filbee-Dexter // *Science of the Total Environment*. – 2024. – Vol. 918. – Article 170525. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170525.
15. Singh, S. Carbon farming: a circular framework to augment CO₂ sinks and to combat climate change / S. Singh, B.R. Kiran, S.V. Mohan // *Environmental Science: Advances*. – 2024. – Vol. 3. – P. 522–542. – DOI: 10.1039/d3va00296a.
16. Bose, A. Carbon capture by photosynthesis of plants / A. Bose, R. O’Shea, S. De, J.D. Murphy // *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. – 2023. – DOI: 10.1016/B978-0-323-93940-9.00052-9.
17. Yoshida, H. Light and carbon limited photosynthesis of *Chlorella sorokiniana* / H. Yoshida, S. van Oossanen, M.J. Barbosa, M. Janssen // *Algal Research*. – 2023. – Vol. 69. – Article 102934. – DOI: 10.1016/j.algal.2022.102934.
18. Li, S. How to enhance carbon capture by evolution of microalgal photosynthesis? / S. Li, X. Li, S.-H. Ho // *Separation and Purification Technology*. – 2022. – Vol. 291. – Article 120951. – DOI: 10.1016/j.seppur.2022.120951.
19. Xie, Y. Advancement of renewable energy technologies via artificial and microalgae photosynthesis / Y. Xie, K.S. Khoo, K.W. Chew [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2022. – Vol. 363. – Article 127830. – DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127830.

**Особенности протекания крупных пожаров на объектах нефтегазового комплекса
и методика снижения аварийной эмиссии CO₂**

**Particularities of the occurrence of large fires at oil and gas facilities and methods
of reducing emergency CO₂ emissions**

Басова Екатерина Андреевна

Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический
университет), кафедра инженерной защиты
окружающей среды, аспирант

Адрес: Московский пр-т, 24-26/49 литера А,
190013, Россия, г. Санкт-Петербург

Email: basovakatya09@bk.ru

SPIN-код: 8918-5999

Ekaterina A. Basova

St. Petersburg State Institute of Technology
(Technical University),
Chair of Environmental Engineering,
postgraduate student

Address: Moskovskiy ave., 24-26/49 letter A,
190013, Russia, St. Petersburg

Email: basovakatya09@bk.ru

ORCID: 0009-0001-5096-6562

Ивахнюк Сергей Григорьевич

кандидат технических наук

Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России, Научно-исследовательский
институт перспективных исследований
и инновационных технологий в области
безопасности жизнедеятельности,
заместитель начальника института

Адрес: Московский пр-т, 149,
196105, Россия, г. Санкт-Петербург

Email: sgi78@mail.ru

SPIN-код: 2144-4276

Sergey G. Ivakhnyuk

PhD in Technical Sciences

Saint-Petersburg State Fire Service University
of EMERCOM of Russia,
Research Institute for Advanced Research
and Innovative Technologies in Life Safety,
Deputy Head of the Institute

Address: Moskovskiy ave., 149,
196105, Russia, St. Petersburg

Email: sgi78@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4651-8211

ScopusID: 57442237000

Королева Людмила Анатольевна

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России; кафедра пожарной,
аварийно-спасательной техники
и автомобильного хозяйства; профессор

Адрес: Московский пр-т, 149,
196105, Россия, г. Санкт-Петербург

Email: lyudamil@mail.ru

SPIN-код: 6101-9772

Lyudmila A. Koroleva

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
Saint-Petersburg State Fire Service University
of EMERCOM of Russia; Chair of Fire,
Emergency Rescue Equipment
and Automotive Industry; Professor

Address: Moskovskiy ave., 149,
196105, Russia, St. Petersburg

Email: lyudamil@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5661-5774

ScopusID: 57395471000

Семенов Владимир Всеволодович

доктор технических наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический
университет), кафедра инженерной защиты
окружающей среды, заместитель
заведующего кафедрой

Адрес: Московский пр-т, 24-26/49 литера А,
190013, Россия, г. Санкт-Петербург

Email: semenovv50@yandex.ru

SPIN-код: 4181-4737

Vladimir V. Semenov

Grand PhD in Technical Sciences, Professor

St. Petersburg State Institute of Technology
(Technical University),
Chair of Environmental Engineering,
Deputy Head of the Chair

Address: Moskovskiy ave., 24-26/49 letter A,
190013, Russia, St. Petersburg

Email: semenovv50@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-1545-7607

PARTICULARITIES OF THE OCCURRENCE OF LARGE FIRES AT OIL AND GAS FACILITIES AND METHODS OF REDUCING EMERGENCY CO₂ EMISSIONS

Basova E.A., Ivakhnyuk S.G., Koroleva L.A., Semenov V.V.

Purpose. Research of theoretical and practical issues concerning the increased emission of carbon dioxide into the atmosphere as a result of large fires at economic facilities related to the handling of hydrocarbon fuels, as well as the development and testing of methods to reduce it.

Methods. The facts of large fires at the infrastructure of hazardous production facilities related to the handling of organic fuels, which became sources of significant atmospheric emissions of carbon dioxide, one of the most powerful greenhouse gases in terms of negative impact, were analyzed. The analysis of accidents that occurred in 2014-2023 in the Russian Federation at the facilities of pipeline transportation of organic fuels and tanks with oil and petroleum products was carried out. An innovative methodology for reducing the carbon footprint from large fires was proposed and presented with positive results of application experiments.

Findings. It has been established that the majority of accidents at the research facilities are associated with the occurrence of fires, as well as explosions of fuel-air mixtures accompanied by ignitions of combustibles. It is shown that many different causes, from those of technical nature to militarized terrorist attacks on oil and gas complex facilities, «break» the technological chains of fuel movement from production to consumption, causing accidental burning of gas, oil and oil products. It is proposed to consider the negative impact from emergency fires of organic fuels in terms of formation of a significant contribution to the emission of carbon dioxide as a dangerous factor of indirect delayed action fire. Application of the developed methodology leads to an increase in the total photosynthetic potential of plants and, accordingly, their absorption of carbon dioxide from the atmosphere.

Application field of research. Investigation of the processes of accidents, fires and explosions, development of ways to reduce hazardous effects on the environment, development of methodological foundations and regulations aimed at ensuring fire safety of defense objects.

Keywords: hazardous production facility, large fires, fire safety, dangerous factors of fire, carbon dioxide, carbon footprint, photosynthesis.

(The date of submitting: July 10, 2024)

REFERENCES

1. Abduragimov I.M. Pozhar gazovogo fontana na ulitse Ozernoy [Gas fountain fire on Ozernaya Street]. *Fire and Explosion Safety*, 2012. Vol. 21, No. 2. Pp. 46–53. (rus). EDN: PAELBX.
2. Ivakhnyuk S.G. Kaskadnost' vzaimnykh vozniknoveniya i razvitiya chrezvychaynykh situatsiy – rezul'tat nauchno-tehnicheskogo progressa [Cascading mutual occurrence and development of emergency situations – the result of scientific and technological progress]. *Problems of risk management in the technosphere*, 2022. No. 1 (61). Pp. 67–77. (rus). EDN: YQSTAM.
3. *Uroki, izvlechennye iz avariyy* [Lessons learned from accidents]. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor). Available at: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons> (accessed: May 23, 2024). (rus)
4. Bubnov V.P. Ekologicheskaya otsenka vozdeystviya vrednykh vybrosov (sbrosov) pri szhiganii organicheskogo i yadernogo topliva na okruzhayushchuyu sredu [Ecological assessment of emissions (discharges) effect on environment at burning organic and nuclear fuels]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2010. No. 4. Pp. 70–73. (rus). EDN: ZHJMOR.
5. Komissarov G.G. *Fotosintez: fiziko-khimicheskiiy podkhod* [Photosynthesis: a physico-chemical approach]. Moscow: Lenand, 2022. 224 p. (rus)
6. Kokieva G.E. Sovershenstvovanie tekhnologii vyrashchivaniya zelenykh kul'tur na rassadno-salatnykh kompleksakh zimnikh teplits [Improving the technology of growing green crops for the seedling and salad complex of winter greenhouses]. *Stolypinskiy vestnik*, 2022. Vol. 4, No. 4. Article 59. (rus). EDN: SIZSXE.
7. Ibraimov T.K., Mamatov E.U., Asanova E., Tashpolotov Y.T., Sadykov E. Vliyanie aktivirovannoy elektricheskim polem vody na pokazateli razvitiya rasteniy [Effect of water activated by electric field on plants development indicators]. *Bulletin of Science and Practice*, 2022. Vol. 8, No. 5. Pp. 67–72. (rus). DOI: 10.33619/2414-2948/78/07. EDN: FOSOGO.

8. May Ch.B. *Vliyanie peremennogo elektricheskogo polya na fiziko-khimicheskie svoystva vody v reaktsii fotosinteza* [The influence of an alternating electric field on the physico-chemical properties of water in the photosynthesis reaction]. PhD chem. sci. diss. Synopsis: 02.00.04. St. Petersburg State Institute of Technology. Saint-Petersburg, 2018. 21 p. (rus)
9. Basova E.A., Ivakhnyuk S.G. Nauchnye innovatsii po obespecheniyu razvitiya otechestvennogo sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Scientific innovations to ensure the development of national agricultural production]. *Import substitution, scientific, technical and economic security: proc. of V Intern. scientific-technical conf. «Minsk Scientific readings», Minsk, December 7–9, 2022*; in 3 volumes. Minsk: Belarusian State Technological University, 2022. Vol. 3. Pp. 120–126. (rus). EDN: XZSOID.
10. Ivakhnyuk S.G., Koroleva L.A. Nauchno-tehnicheskie innovatsii po snizheniyu kontsentratsii tekhnogenogo CO₂ v atmosfere za schet povysheniya ego absorptsii [Scientific and technical innovations to reduce the concentration of technogenic CO₂ in the atmosphere by increasing its absorption]. *Problems of risk management in the technosphere*, 2022. No. 2 (62). Pp. 69–79. EDN: ZNMBWG.
11. Ivakhnyuk G.K., Matyukhin V.N., Klachkov V.A., Shevchenko A.O., Knyazev A.S., Ivakhnyuk K.G., Ivanov A.V., Rodionov V.A. *Sposob i ustroystvo upravleniya fiziko-khimicheskimi protsessami v veshchestve i na granitse razdela faz* [Method and device for controlling physico-chemical processes in matter and at the interface of phases]: patent RU 2479005C2. Published April 10, 2013.
12. Krishnan A., Nighoykar A., Kandasubramanian B. Emerging towards zero carbon footprint via carbon dioxide capturing and sequestration. *Carbon Capture Science & Technology*, 2023. Vol. 9. Article 100137. DOI: 10.1016/j.ccst.2023.100137.
13. Onyeaka H., Miri T., Obileke K., Hart A., Anumudu C., Al-Sharify Z.T. Carbon footprint minimization using microalgae as a biological means of capture. *Carbon Capture Science & Technology*, 2021. Vol. 1. Article 100007. DOI: 10.1016/j.ccst.2021.100007.
14. Pessarrodona A., Howard J., Pidgeon E., Wernberg T., Filbee-Dexter K. Carbon removal and climate change mitigation by seaweed farming: A state of knowledge review. *Science of the Total Environment*, 2024. Vol. 918. Article 170525. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170525.
15. Singh S., Kiran B.R., Mohan S.V. Carbon farming: a circular framework to augment CO₂ sinks and to combat climate change. *Environmental Science: Advances*, 2024. Vol. 3. Pp. 522–542. DOI: 10.1039/d3va00296a.
16. Bose A., O'Shea R., De S., Murphy J.D. Carbon capture by photosynthesis of plants. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 2023. DOI: 10.1016/B978-0-323-93940-9.00052-9.
17. Yoshida H., van Oossanen S., Barbosa M.J., Janssen M. Photosynthesis of chlorella sorokiniana, limited by light and carbon. *Algal Research*, 2023. Volume 69. Vol. 69. – Article 102934. – DOI: 10.1016/j.algal.2022.102934.
18. Li S., Li X., Ho S.-H. How to enhance carbon capture by evolution of microalgal photosynthesis? *Separation and Purification Technology*, 2022. Vol. 291. Article 120951. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.120951.
19. Xie Y., Khoo K.S., Chew K.W., Devadas V.V., Phang S.J., Lim H.R., Rajendran S., Show P.L. Advancement of renewable energy technologies via artificial and microalgae photosynthesis. *Bioresour. Technology*, 2022. Vol. 363. Article 127830. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127830.

РАЗВИТИЕ ВЗГЛЯДОВ НА ПРИМЕНЕНИЕ СИЛ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ**Хроколов В.А.**

Цель. Провести анализ развития взглядов на применение сил гражданской обороны в военное время и существующих подходов к обоснованию состава сил, привлекаемых к проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ в составе группировки гражданской обороны.

Методы. Общенаучные методы исследования: анализ и синтез, сравнение и обобщение.

Результаты. Определены основные этапы развития взглядов на применение сил гражданской обороны в военное время.

Область применения исследований. Результаты работы могут быть использованы при подготовке специалистов в сфере предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, в ходе планирования отдельных мероприятий гражданской обороны.

Ключевые слова: гражданская оборона, аварийно-спасательные и другие неотложные работы, средства поражения, пожарная аварийно-спасательная служба.

(Поступила в редакцию 15 июля 2024 г.)

Введение

Анализ действий по разрешению межгосударственных противоречий показывает, что способы и приемы достижения поставленных в политической игре целей постоянно изменяются. В современном мире дипломатические методы все более отходят на второй план, что ведет к все более активному применению силы для разрешения возникающих противоречий. При этом акцент часто делается не на поражении войск противника, а на дестабилизации или разрушении государственной системы в целом. Так, согласно разработанной полковником ВВС США Джоном Уорденом теории «пяти колец», все ключевые элементы государства можно разделить на пять групп: правительство, производство, инфраструктура и коммуникации, население и Вооруженные силы (рис. 1). Для того чтобы заставить противоборствующую сторону сдаться, необходимо найти критический узел из этих элементов и вывести его из строя. Это приведет к дисфункции государственной системы и позволит достичь поставленных целей [1, с. 70].



Рисунок 1. – Модель пяти колец Д. Уордена [1]

Данная модель впервые была опробована в Югославии, где показала свою эффективность. В результате ударов НАТО по территории Югославии большинство ключевых объектов экономики и инфраструктуры были уничтожены или выведены из строя, а само государство в ходе вооруженного противоборства прекратило существование.

В вооруженных конфликтах между Россией и Украиной, Израилем и сектором Газа противоборствующими сторонами также активно поражаются объекты тыла и прежде всего объекты промышленности и инфраструктуры. Так, после ударов Вооруженных Сил России по объектам энергетики на территории Украины по состоянию на начало июня 2024 г.

выведено из строя около 90 % объектов тепловой генерации и около 45 % объектов «Укрgrid-роэнерго», прямой ущерб от их разрушения составил около 8,5 млрд долларов США¹. В ходе боевых действий в секторе Газа Израильской стороной также неоднократно наносились удары не только по военной инфраструктуре группировки «Хамас», но и по объектам гражданского назначения. Это привело к гибели более 39 тыс. и ранению около 91 тыс. человек².

Не вызывает сомнений, что в случае вооруженного противостояния потенциальным противником будут наноситься удары по критически важным объектам нашего государства, в том числе потенциально опасным. Это, в свою очередь, приведет к возникновению различных чрезвычайных ситуаций, травмированию и гибели гражданского населения, что потребует незамедлительного проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (далее – АСДНР), направленных на спасение пострадавших и оказание им помощи.

В Республике Беларусь данная задача возложена на гражданскую оборону (далее – ГО). Для ее решения сформированы соответствующие силы ГО, в состав которых входят службы ГО, в том числе пожарная аварийно-спасательная служба (далее – ПАСС), гражданские формирования ГО, сеть наблюдения и лабораторного контроля. При этом следует отметить, что именно на ПАСС ГО возложены задачи:

- по организации и проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- организации и проведению мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности населенных пунктов и организаций;
- локализации и тушению пожаров³.

Поэтому очевидно, что именно силы ПАСС в составе группировки ГО, привлекаемой к ликвидации последствий применения противником оружия, будут решать задачи по спасению людей, пострадавших в ходе ведения боевых действий.

В то же время необходимо отметить, что данные задачи выполнялись и ранее, поэтому для получения полной картины о трансформации подходов к применению сил ГО в военное время, в том числе сил ПАСС, целесообразно рассмотреть основные этапы формирования и развития взглядов на защиту населения и тыла от опасностей, возникающих в ходе ведения военных действий или вследствие их, а также существующих подходов к определению необходимого состава сил для их проведения.

Основная часть

Изучение исторического опыта показывает, что впервые необходимость защиты тыла возникла в годы Первой мировой войны и была связана с развитием авиации и ее возможностями по поражению объектов тыла. С этого момента на территории бывшего СССР, по сути, начинается отсчет развития взглядов на обеспечение защиты гражданского населения в ходе ведения боевых действий, проведение мероприятий по ликвидации последствий применения противником оружия и выработке подходов к определению необходимого для этого количества сил и средств. Анализ литературных источников по теме рассматриваемого вопроса позволяет выделить девять основных этапов развития взглядов на обеспечение защиты населения от опасностей, возникающих в ходе ведения военных действий или вследствие их.

¹ В каком состоянии находится энергосистема Украины после ракетных ударов [Электронный ресурс] – 2024. – Режим доступа: <https://gmk.center/posts/v-kakom-sostoyanii-nahoditsya-energositema-ukrainy-posle-raketnyh-udarov/>. – Дата доступа: 02.07.2024.

² Стало известно число жертв действий израильских сил в секторе Газа [Электронный ресурс] – 2024. – Режим доступа: <https://lenta.ru/news/2024/08/03/stalo-izvestno-chislo-zhertv-deystviy-izrailskih-sil-v-sektore-gaza/>. – Дата доступа: 03.08.2024.

³ О службах гражданской обороны [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 12 авг. 2008 г., № 1151 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь: pravo.by. – Режим доступа: [https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2008-198/2008-198\(010-016\).pdf&oldDocPage=1](https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2008-198/2008-198(010-016).pdf&oldDocPage=1). – Дата доступа: 24.07.2024.

Первый этап (1918–1931 гг.) характеризуется возрастанием роли авиации в ходе вооруженного противоборства и поражении ей наиболее важных объектов тыла, что, как правило, приводило к их разрушению и гибели гражданского населения. Это послужило толчком к разработке мер по защите гражданского населения от ударов с воздуха и совершенствованию системы противовоздушной обороны (далее – ПВО) того времени. В ходе этой работы Правительством СССР был выработан подход к защите от ударов с воздуха, суть которого заключалась в одновременном использовании мер как активной, так и пассивной противовоздушной обороны. При этом выполнение мероприятий активной ПВО (противовоздушные бои, зенитное прикрытие и др.) возлагалось на личный состав воинских подразделений, а пассивной – на органы местного самоуправления и организации. Как результат, к осуществлению мероприятий пассивной ПВО стали привлекаться силы и средства гражданских организаций и населения.

Основной целью мероприятий пассивной защиты определялась защита населения от ударов с воздуха и обеспечение бесперебойной работы предприятий, транспорта, а также быстрая ликвидация последствий авиационных ударов. Для этого строились убежища, проводились мероприятия светомаскировки, создавались специальные формирования для ликвидации последствий авиаударов. Однако в этот период мероприятия местной противовоздушной обороны (далее – МПВО) выполнялись на территории не всей страны, а только в пределах 500-километровой зоны от линии государственной границы [2, с. 6]. Это было обусловлено радиусом действия авиации того времени.

Таким образом, в ходе первого этапа в стране:

- создана система защиты от ударов с воздуха, в состав которой входили не только силы ПВО Наркомата по военным и морским делам, но и силы местных предприятий и организаций;
- проведено разделение мероприятий ПВО на активные и пассивные. Применение активных средств борьбы осуществлялось силами воинских подразделений, а силами местных органов власти осуществлялись мероприятия пассивной защиты;
- проведено разделение территории страны на угрожаемую зону (500-километровую полосу от линии государственной границы) и тыл;
- положено начало формированию системы мер превентивной защиты от воздушного нападения.

В то же время, несмотря на общегосударственную значимость вопросов защиты тыла от ударов с воздуха, пассивная оборона в этот период в самостоятельную службу выделена не была.

Второй этап (1932–1941 гг.). Активное развитие возможностей боевой авиации по поражению объектов тыла потребовало совершенствования системы защиты тыла от ударов с воздуха. В связи с этим уже 4 октября 1932 г. Советом Народных Комиссаров (далее – СНК) было принято новое Положение о ПВО СССР, согласно которому местная ПВО была выделена в самостоятельную составную часть всей системы ПВО СССР [2, с. 7].

В соответствии с данным Положением основными задачами МПВО определялись:

- предупреждение населения об угрозе нападения с воздуха;
- осуществление маскировки населенных пунктов и объектов народного хозяйства от нападения с воздуха;
- ликвидация последствий ударов с воздуха, в том числе с применением отравляющих веществ;
- оказание помощи пострадавшим;
- борьба с пожарами [2, с. 7].

Важное значение для совершенствования системы МПВО в этот период сыграло принятие 27 августа 1936 г. постановления СНК СССР «Об организации населения для защиты от воздушного нападения на территорию СССР». В соответствии с этим постановлением руководство МПВО возлагалось на председателей местных исполнительных органов власти,

которые по должности становились начальниками МПВО городов (районов), а управление подчиненными силами и средствами они осуществляли через сформированные штабы МПВО. Кроме этого, на базе управлений и отделов городских и районных Советов были созданы службы МПВО: оповещения и связи; убежищ; охраны порядка; транспортная; противопожарная; аварийно-восстановительная; светомаскировки; медико-санитарная; водоснабжения и канализации и др. [3, с. 265]. Работа по формированию служб МПВО и укомплектованию их личным составом в этот период велась по двум направлениям: по линии органов военного управления формировались части МПВО войскового типа, а по линии МПВО создавались невоенизированные формирования.

Проводя аналогию с реалиями нашего времени, нетрудно заметить, что положения, разработанные в ходе второго этапа, нашли отражение в действующей системе ГО Республики Беларусь. Так, председатели областных, городских (районных) исполнительных комитетов в Республике Беларусь по должности являются начальниками ГО соответствующих административно-территориальных единиц, а управление подчиненными силами они осуществляют через специально созданные органы управления – штабы ГО. В составе сил ГО роль военизированных формирований закреплена за пожарной аварийно-спасательной службой, а основу невоенизированных формирований составляют гражданские формирования ГО, создаваемые на предприятиях и организациях.

Таким образом, в ходе второго этапа:

- МПВО была выделена в самостоятельную часть всей системы ПВО страны;
- управление МПВО возлагалось на председателей местных исполнительных Советов депутатов, которые по должности становились начальниками МПВО, управление подчиненными силами они осуществляли через соответствующие штабы, что позволяет говорить о том, что в этот период была сформирована система управления МПВО;
- для решения задач МПВО создавались подразделения как войскового типа, так и невоенизированные формирования различного предназначения.
- в угрожаемой полосе была выстроена достаточно четкая система защиты от ударов с воздуха, что дало возможность сосредоточить силы МПВО на наиболее важных направлениях.

Таким образом, в рассматриваемый период была проведена значительная работа по усилению системы МПВО, что позволило рассматривать ее как важный элемент в системе оборонительных мероприятий страны.

Третий этап (1941–1945 гг.) показал, что проведенные в 1930-е гг. мероприятия по укреплению МПВО оказались достаточно результативными. Это позволило значительно снизить эффективность ударов немецкой авиации по объектам тыла. Силами МПВО в годы Великой Отечественной войны были ликвидированы последствия более 30 тыс. налетов вражеской авиации, предотвращено свыше 32 тыс. серьезных аварий на объектах народного хозяйства, ликвидировано около 90 тыс. загораний и пожаров, обезврежено более 430 тыс. авиабомб [2, с. 9]. Кроме этого, в ряде случаев личный состав МПВО принимал участие в отражении атак сухопутных сил противника.

Однако в этот период был выявлен и ряд серьезных просчетов в деятельности МПВО. Так, массированные налеты авиации показали недостаточность фонда защитных сооружений, что привело к увеличению числа погибших и пострадавших граждан. Помимо этого, были недостаточно проработаны вопросы оповещения населения о воздушной опасности и подготовки личного состава МПВО к ликвидации последствий авиаударов [4, с. 51].

Для устранения выявленных недостатков были приняты решительные меры. Прежде всего произведена корректировка нормативной базы, регламентирующей деятельность МПВО, проведены мероприятия по реорганизации и укреплению основных служб МПВО, а также по созданию городских аварийно-спасательных отрядов в населенных пунктах, объявленных на военном положении. В результате к концу первого периода войны численность

только аварийно-восстановительной службы МПВО была доведена до полумиллиона человек [4, с. 53].

В целом опыт Великой Отечественной войны показал, что:

1. Основные усилия МПВО в этот период сосредоточивались на решении таких задач, как защита населения и важных экономических объектов от ударов с воздуха и ликвидация их последствий.

2. Подразделения МПВО должны быть способны проводить работы длительное время с использованием только своих сил и средств.

3. Наиболее эффективной силой для ведения АСДНР в очагах поражения являются военизированные части и подразделения МПВО. Однако только их силами снизить эффективность авиационных ударов и ликвидировать их последствия не представляется возможным. Поэтому требуется заблаговременная подготовка к выполнению задач в военное время всех составных элементов МПВО, а военизированные формирования должны составлять ядро этих сил.

4. Большую роль в защите населения от ударов с воздуха играет заблаговременное выполнение комплекса инженерно-технических мероприятий, направленных на снижение эффективности авиационных ударов.

Четвертый этап (1945–1961 гг.) характеризуется нарастанием напряженности в отношениях между США и СССР. В ходе этого противостояния в США разрабатывались военные планы, в которых предусматривалось проведение «стратегических операций военно-воздушных сил США против ключевых центров СССР», в том числе с применением атомного оружия. Так, в соответствии с планом «Дропшот» начало войны с СССР предусматривалось с нанесения массированных ударов стратегической авиации по крупным административным и промышленным центрам, районам сосредоточения войск. При этом только в течение первых 30 суток планировалось сбросить 300 атомных и 250 тыс. обычных бомб, а уже в начале 1950-х гг. в соответствии с доктриной «Первого удара» уже в первые два часа предусматривалось сбросить 750 атомных бомб [4, с. 109, 114].

В связи с этим основная деятельность МПВО была направлена на совершенствование мер защиты от оружия массового поражения. В этот период разрабатывается новое «Положение о МПВО СССР» и ряд других нормативных актов, направленных на совершенствование системы защиты населения и территорий от новых военных угроз. В результате проведенной работы были уточнены цели, задачи и место МПВО в системе общегосударственных оборонительных мероприятий, определены основные мероприятия, проводимые силами МПВО (организация оповещения об опасности нападения с воздуха; ликвидация последствий нападения с воздуха; обеспечение населения убежищами и укрытиями; химическая защита; медико-санитарные, инженерно-технические мероприятия по защите населения и производственного персонала; создание условий для управления МПВО; повышение надежности работы объектов народного хозяйства; подготовка населения к ведению МПВО, охрана правопорядка, государственного и личного имущества при нападении с воздуха и др. [3, с. 268–269]).

Кроме этого, были выработаны новые меры, которые ранее в нормативных правовых актах закреплены не были. Например, в нормативных актах было закреплено положение о создании мобилизационных резервов для развертывания МПВО и ликвидации последствий воздушных ударов. Это положение актуально для сил ГО и в настоящее время, но в отличие от рассматриваемого периода сейчас предусматривается возможность использования государственных материальных резервов для ликвидации чрезвычайных ситуаций и в мирное время.

Еще одной новацией стало утверждение порядка введения «Угрожаемого периода», причем обязанности по его введению возлагались на Главное управление МПВО МВД СССР по согласованию с Генеральным штабом Советской Армии [4]. В настоящее время данная функция с органов управления ГО снята.

Заметим, что наряду с подготовкой МПВО к обеспечению защиты населения и объектов тыла в военное время, в послевоенные годы личный состав МПВО активно привлекался к восстановлению разрушенных городов и обеспечению первоочередными средствами жизнеобеспечения населения, пострадавшего в ходе войны. Данный опыт используется и сейчас: в мирное время при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций эта задача возлагается на государственную систему предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а в военное время – на ГО.

Отметим, что в период четвертого этапа основные усилия государственной политики в развитии системы МПВО были направлены:

- на создание общегосударственной системы защитных мероприятий МПВО;
- повышение эффективности действий сил МПВО по ликвидации последствий воздушных ударов противника по объектам тыла, в том числе с применением оружия массового поражения;
- организацию мероприятий по защите населения с учетом высокой вероятности применения оружия массового поражения;
- повышение роли превентивных защитных мероприятий.

Пятый этап (1961–1972 гг.). Бурное развитие средств доставки боеприпасов на большую глубину, испытания межконтинентальных баллистических ракет, изменения в военных доктринах ведущих государств мира в конце 1950-х начале 1960-х гг. привели к тому, что вопросы защиты тыла вышли на стратегический уровень. Это вызвало необходимость коренного изменения подходов к обеспечению защиты населения и объектов тыла на всей территории страны. Как результат, в 1961 г. на базе МПВО создается абсолютно новая общегосударственная система – Гражданская оборона СССР. Ее главной задачей стала защита населения от оружия массового поражения на территории всей страны. Другой – максимальное ослабление воздействия средств поражения при нанесении ударов по городам, промышленным предприятиям и другим важным объектам. Для этого предусматривалось проведение комплекса мероприятий:

- по защите населения от воздушных и других ударов. Для этого планировалось проведение массовых эвакуационных мероприятий из городов, вероятных целей поражения, строительство защитных сооружений для персонала предприятий, продолжающих работу в военное время;

- снижению эффективности ударов противника по промышленным и другим важным объектам тыла. Для этого планировалось проведение комплекса инженерно-технических мероприятий, направленных на повышение устойчивости работы предприятий в военное время;

- повышению эффективности спасательных и других неотложных работ в очагах поражения. Для этого создавались массовые аварийно-спасательные формирования и осуществлялась их подготовка к выполнению задач по назначению.

Анализируя изменения в подходах к защите населения и объектов тыла в этот период, следует заметить, что основные усилия органов управления ГО сосредоточивались на подготовке к действиям в военное время, а решению задач по защите населения в мирное время большого значения не придавалось.

Таким образом, в ходе пятого этапа:

- основные усилия ГО были направлены на подготовку к действиям в военное время;
- за базовый сценарий будущей войны принималась модель с применением оружия массового поражения;
- проведение спасательных и других неотложных работ в очагах поражения возлагалось на аварийно-спасательные формирования ГО;
- в основу защитных мероприятий был положен подход, предусматривающий проведение массовой эвакуации населения из городов и укрытие в защитных сооружениях персонала предприятий, продолжающих работу в военное время.

В ходе **шестого этапа (1972–1986 гг.)** в системе ГО произошел ряд серьезных изменений. Так, в начале 1970-х гг. ГО передается в состав Министерства обороны СССР, в марте 1976 г. утверждается новое Положение о гражданской обороне СССР, в котором определялось, что ГО является составной частью общегосударственных оборонных мероприятий, направленных на защиту населения от оружия массового поражения и других средств нападения противника [4, с. 153]. В связи с этим впервые в нормативных правовых актах предписывалось мероприятия ГО согласовывать с иными мероприятиями, выполняемыми в интересах обороны государства. Заметим, что данный подход реализован и в современных условиях. Так, в Законе⁴ определено, что ГО является составной частью оборонных мероприятий Республики Беларусь по подготовке к защите и защите населения, материальных и историко-культурных ценностей от опасностей, возникающих в ходе ведения военных действий или вследствие их, а подготовка гражданской обороны является составной частью подготовки государства к обороне.

В целом стратегия ведения ГО, выработанная ранее, в этот период кардинальных изменений не претерпела. Предусматривалось лишь проведение более масштабного комплекса мероприятий на объектах и в населенных пунктах, которые могли подвергнуться ударам противника. Условно эти мероприятия можно свести в три большие группы:

1) мероприятия по защите населения. Они были направлены на совершенствование способов защиты населения от средств поражения того времени;

2) мероприятия, направленные на повышение устойчивости функционирования объектов экономики и систем жизнеобеспечения, а также максимально возможное снижение эффективности ударов противника по ним;

3) мероприятия по подготовке личного состава ГО к ликвидации последствий применения противником оружия и проведение АСДНР [4, с. 152].

Кроме этого, проведен ряд изменений в структуре ГО. Это позволило уточнить структуру штабов ГО территориального уровня, в министерствах и ведомствах создать штатные подразделения ГО (отделы, секторы), а также создать четыре общегосударственные службы ГО (медицинскую, охраны и общественного правопорядка, защиты животных и растений и противопожарную, преемником которой в настоящее время является пожарная аварийно-спасательная служба ГО, создаваемая на базе органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям). При этом в республиках СССР уже создавалось 14–16 служб ГО в зависимости от местных условий [4, с. 155].

Основными силами ГО в этот период были воинские части ГО и невоенизированные формирования ГО. Стоит отметить, что изначально невоенизированные формирования предполагалось использовать только в военное время, однако с принятием в марте 1976 г. Положения о гражданской обороне СССР на законодательном уровне было закреплено решение об использовании невоенизированных формирований для проведения АСДНР и ликвидации чрезвычайных ситуаций в мирное время.

В итоге основным результатом работы по совершенствованию и развитию взглядов на применение сил ГО в этот период стала разработка целостной комплексной системы взглядов на защиту населения страны от оружия массового поражения, повышение устойчивости работы объектов экономики в военное время и эффективности применения сил ГО, а в первую очередь аварийно-спасательных формирований.

Седьмой этап (1986–1991 гг.). Опыт ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС потребовал по-новому взглянуть на применение сил ГО, прежде всего в мирное время. В результате в июле 1987 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР принимают постановление

⁴ О гражданской обороне [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 27 нояб. 2006 г., № 183-3 // Информационно-поисковая система Эталон-online. – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=Н10600183>. – Дата доступа: 30.07.2024.

№ 886-213 «О мерах по коренной перестройке системы гражданской обороны» [3, с. 273]. Этим постановлением на ГО был возложен ряд дополнительных функций:

- подготовка населения к действиям в ЧС, осуществление мероприятий, направленных на его защиту от последствий стихийных бедствий, крупных аварий и катастроф;
- организация и управление проведением аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- организация жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях;
- проведение единой политики в области создания технических средств для оснащения аварийно-спасательных подразделений;
- организация перемещения в заданные районы воинских частей, привлекаемых к спасательным работам [4, с. 213].

В целом в ходе седьмого этапа была проведена большая работа, направленная на совершенствование подходов к применению сил ГО для ликвидации ЧС в мирное время. В результате к концу данного периода значительная часть ГО, в том числе невоенизированных формирований, содержалась в готовности к действиям по ликвидации ЧС в мирное время. Это кардинальным образом отличалось от ранее существовавших взглядов на применение сил ГО, где основная часть сил готовилась к действиям по решению задач военного времени. При этом только часть из них содержалась в состоянии повышенной готовности для ликвидации последствий ударов в ходе внезапного нападения противника.

Восьмой этап (1991–1999 гг.) характеризуется выстраиванием в Республике Беларусь собственной системы ГО. Для этого в государстве был принят ряд основополагающих документов, определяющих порядок функционирования ГО. Так, 20 сентября 1991 г. Верховным Советом Республики Беларусь принято постановление «О переподчинении системы гражданской обороны Республики Беларусь»⁵, в результате органы управления, штабы и воинские части Гражданской обороны Союза ССР, дислоцировавшиеся на территории Республики Беларусь были переподчинены Совету Министров Республики Беларусь. Совет Министров Республики Беларусь 26 мая 1992 г. принял постановление № 311, которым утвердил Положение о ГО Республики Беларусь, численность штабов ГО областей, городов, категорированных по ГО, и районов Минска. Кроме этого, в Законе⁶ закреплено положение о том, что ГО является составной частью оборонных мероприятий Республики Беларусь.

В 1994 г. ГО была выведена из состава Вооруженных Сил и переподчинена Министерству внутренних дел. С вхождением ГО в состав МВД упраздняется штаб ГО Республики Беларусь, а его функции передаются Главному управлению Командующего внутренними войсками. Кроме этого, аварийно-спасательные батальоны ГО преобразуются в инженерно-технические роты в составе милицейских батальонов, что привело к сокращению сил и средств ГО.

Таким образом в этот период наблюдается снижение роли ГО в системе обеспечения безопасности государства и, как следствие, происходит постепенная деградация существовавшей ранее системы ГО, в том числе подразделений, предназначенных для проведения аварийно-спасательных работ.

Девятый этап (1999 г. – н.в.) характеризуется очередной перестройкой системы ГО, направленной на поиск адекватных способов реагирования на современные вызовы и угрозы, а также выводом ГО из состава МВД и передачей полномочий по ее управлению вновь созданному Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

⁵ О переподчинении системы гражданской обороны [Электронный ресурс]: постановление Верховного Совета Респ. Беларусь, 20 сент. 1991 г., № 1092-XI // Информационно-поисковая система Эталон-online. – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=V29101092>. – Дата доступа: 20.03.2024.

⁶ Об обороне [Электронный ресурс]: Закон Республики Беларусь, от 3 нояб. 1992 г. № 1902-XII // Информационно-поисковая система Эталон-online. – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=v19201902>. – Дата доступа: 12.07.2024.

Первым шагом в этом направлении стал Указ Президента Республики Беларусь от 19 января 1999 г. № 35 «Об утверждении Положения о Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»⁷. В соответствии с данным документом на Министерство наряду с задачами по предупреждению и ликвидации ЧС в мирное время были возложены задачи по управлению гражданской обороной. В последующем, 27 ноября 2006 г. принят Закон Республики Беларусь № 183-З «О гражданской обороне»⁸, 31 января 2008 г. – постановление Совета Министров Республики Беларусь № 135 «Об утверждении Положения о порядке создания штабов гражданской обороны»⁹, 19 марта 2008 г. – постановление Совета Министров Республики Беларусь № 413 «Об утверждении Положения о порядке создания и деятельности гражданских формирований гражданской обороны»¹⁰, 12 августа 2008 г. – постановление Совета Министров Республики Беларусь № 1151 «О службах гражданской обороны»¹¹, 9 декабря 2013 г. Советом Министров Республики Беларусь принято постановление № 1051 «Об утверждении основных направлений реализации государственной политики в области гражданской обороны»¹², 20 марта 2018 г. приказом Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь № 103 утверждается Положение о республиканской пожарной аварийно-спасательной службе гражданской обороны¹³.

В результате проведенной работы по уточнению и изменению нормативной правовой базы в сфере ГО в Законе¹⁴ закреплено положение о том, что ГО является составной частью оборонных мероприятий Республики Беларусь по подготовке к защите и по защите населения, материальных и историко-культурных ценностей на территории Республики Беларусь от опасностей, возникающих (возникших) при ведении военных действий или вследствие этих действий. Там же определены задачи ГО, в том числе проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Выстраивая систему ГО, руководство нашей страны учло опыт ГО СССР, это позволило сформировать стройную систему управления, выработать подходы к повышению устойчивости функционирования объектов экономики и применению сил ГО как в условиях военного, так и мирного времени.

Сегодня мероприятия ГО, проводимые в нашей стране, условно можно разделить на три большие группы:

1) мероприятия, направленные на подготовку населения действиям в случае возникновения чрезвычайных ситуаций мирного и военного времени;

⁷ • Об утверждении Положения о Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 19 янв. 1999 г., № 35 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь: pravo.by. – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=p39900035>. – Дата доступа: 23.07.2024.

• О Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 14 нояб. 2023 г., № 405 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь: pravo.by. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32200405>. – Дата доступа: 23.07.2024.

⁸ См. сноску 4.

⁹ Об утверждении Положения о порядке создания штабов гражданской обороны [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 31 янв. 2008 г., № 135 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь: pravo.by. – Режим доступа: [https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2008-31/2008-31\(006-041\).pdf&oldDocPage=15](https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2008-31/2008-31(006-041).pdf&oldDocPage=15). Дата доступа: 14.07.2024.

¹⁰ Об утверждении положения о порядке создания и деятельности гражданских формирований гражданской обороны [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 19 марта 2008 г., № 413 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь: pravo.by. – Режим доступа: [https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2008-69/2008-69\(036-065\).pdf&oldDocPage=20](https://pravo.by/document/?guid=2012&oldDoc=2008-69/2008-69(036-065).pdf&oldDocPage=20). – Дата доступа: 12.07.2024.

¹¹ См. сноску 3.

¹² Об утверждении основных направлений реализации государственной политики в области гражданской обороны [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 9 дек. 2013 г., № 1051 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь: pravo.by. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21301051>. – Дата доступа: 22.07.2024.

¹³ Об утверждении Положения о республиканской пожарной аварийно-спасательной службе гражданской обороны: приказ Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 20 март. 2018 г., № 103.

¹⁴ См. сноску 4.

2) мероприятия, направленные на повышение устойчивости функционирования объектов экономики, систем жизнеобеспечения и других важных объектов;

3) повышение эффективности действий сил ГО при ликвидации ЧС в различных условиях обстановки.

Для выполнения задач ГО в настоящее время в Республике Беларусь сформированы соответствующие силы, в состав которых входят службы ГО (в соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь¹⁵ в стране создано 12 республиканских служб ГО), гражданские формирования ГО и сеть наблюдения и лабораторного контроля. При этом воинских частей ГО, как это было в период существования СССР, в составе ГО Республики Беларусь нет, однако можно отметить, что их правопреемником, по сути, стали подразделения пожарной аварийно-спасательной службы ГО, которые и будут составлять ядро сил в группировке ГО, привлекаемой к проведению АСДНР в военное время.

Отметим, что в настоящее время процесс формирования современного облика системы ГО, в том числе облика пожарной аварийно-спасательной службы, еще не завершен. Поскольку, наряду с выстраиванием общей системы ГО, отдельные вопросы применения сил ГО до конца не решены. Например, не решен вопрос определения рационального состава сил в группировке ГО, привлекаемой к ликвидации последствий применения противником оружия, в том числе состава сил ПАСС ГО в данной группировке. Об этом свидетельствуют работы ученых в области ГО и отсутствие нормативно закреплённых методик по определению состава сил ПАСС в группировке ГО, привлекаемой к ликвидации последствий применения противником оружия.

Анализ открытых научных исследований по вопросам ГО показал, что изучением вопросов прогнозирования обстановки в результате поражения объектов тыла и необходимого количества сил ГО для ликвидации последствий применения противником оружия занимался достаточно широкий круг исследователей и ученых. Наиболее известными представителями являются российские ученые Ю.Л. Воробьев, М.И. Фалеев, В.П. Малышев, Э.Я. Богатырев, В.М. Кондратьев-Фирсов и др.

В целом анализ научных работ и публикаций по данному вопросу позволил выявить ряд основных направлений, по которым проводились исследования: совершенствование способов защиты населения и территорий от опасных факторов, возникающих в ходе ведения боевых действий; прогнозирование возможной обстановки в результате нанесения противником ударов по объектам тыла; обоснование состава сил и средств для ликвидации последствий применения противником оружия.

Так, в работе «Современные войны и гражданская оборона» [5] автор отмечает, что в современных военных конфликтах основной упор необходимо делать на защиту от высокоточного оружия, поскольку именно оно будет основным средством поражения. Рассматривая вопросы совершенствования ГО в Российской Федерации, он отмечает, что основным направлением развития в XXI в. будет интеграция системы ГО и государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в единое целое. При этом одним из ключевых шагов будет создание государственной спасательной службы на базе войск ГО МЧС России. В то же время следует отметить, что в работе автор лишь констатирует данный факт, а конкретных подходов к определению задач и требуемого состава сил для их выполнения не рассматривает.

В работе «Перспективы развития гражданской обороны на современном этапе» [6] авторы исследуют основные направления дальнейшего развития ГО, включая вопросы совершенствования структуры и состава сил ГО. При этом ими рассматриваются требования, предъявляемые к структуре, составу, оснащению и уровню подготовки сил ГО, вместе с тем авторы не касаются вопросов определения количественного и качественного состава сил ГО, распределения видов и объемов АСДНР между составными элементами группировки ГО.

¹⁵ См. сноску 3.

В публикации «Зависимость состава, размещения и возможностей сил РСЧС и МЧС России от географического фактора» [7] авторы рассматривают влияние географического фактора на дислокацию подразделений, время их прибытия к месту чрезвычайной ситуации. В то же время в работе не рассматриваются вопросы зависимости численности подразделений и требуемого количества личного состава на территории административно-территориальной единицы от прогнозируемого объема АСДНР и сроков его выполнения.

В работе «Обоснование необходимости мобилизационных резервов на мирное и военное время, оптимизация сроков выдвижения резервов на большие расстояния с использованием железнодорожного транспорта» [8] автор раскрывает проблемные вопросы подготовки мобилизационных ресурсов для комплектования и восполнения потерь спасательных сил в ходе выполнения задач ГО в вооруженных конфликтах и при ликвидации крупномасштабных ЧС в мирное время. При этом мобилизационную потребность предлагается определять на основе расчетных показателей потерь спасателей в ходе вооруженного конфликта. Однако при определении мобилизационной потребности не рассматриваются вопросы состава сил МЧС в группировке ГО, привлекаемой к ведению АСДНР в военное время, а следовательно, не рассматриваются вопросы обоснования требуемого количества сил спасательных формирований в ее составе.

В публикации «Оценка военной опасности для организации и ведения гражданской обороны» [9] авторы предлагают подход к прогнозированию обстановки при поражении объектов тыла обычными средствами поражения. Применение данного подхода позволяет спрогнозировать возможную обстановку на территории объекта поражения и за его пределами, однако вопросы определения необходимого состава сил для проведения АСДНР авторы в работе не рассматривают.

В публикации «Методические основы оперативного планирования гражданской обороны в условиях современного военного конфликта» [10] авторы предлагают научный подход к прогнозированию обстановки, объемов АСДНР, а также к определению ущерба при воздействии обычными средствами поражения на объекты тыла. При этом подходы к определению требуемого состава сил для ликвидации последствий применения противником оружия не предлагают.

В работе «Комплексная методика прогнозирования обстановки, объемов аварийно-спасательных и других неотложных работ при воздействии на объекты экономики обычными средствами поражения» предлагается методический аппарат для формирования системы исходных данных в ходе планирования мероприятий ГО при разрушении объекта обычными средствами поражения [11]. Он включает четыре частные методики, позволяющие спрогнозировать обстановку при поражении объекта обычными средствами поражения и определить объем АСДНР, который потребуется выполнить силами ГО при ликвидации последствий нанесения ударов по объектам тыла. В то же время в комплексной методике не рассматриваются вопросы определения необходимого состава сил ГО, в том числе сил ПАСС ГО, для ведения АСДНР в очаге поражения.

В работе «Вероятностный подход к определению численности группировки сил гражданской обороны для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ в условиях современных войн» авторы предлагают математический аппарат для обоснования группировки сил ГО, основанный на использовании вероятностного подхода при прогнозировании обстановки и обосновании численности группировки сил ГО для ликвидации последствий ударов по объектам тыла [12]. При этом предложенный подход не позволяет распределить прогнозируемые объемы АСДНР между составными элементами группировки ГО, привлекаемой к ведению АСДНР, следовательно, не позволяет определить их количественный и качественный состав.

Еще один подход к обоснованию состава сил ГО для ликвидации последствий применения противником оружия предложен в публикации «Комплексная методика обоснования

рационального состава группировки сил и средств, привлекаемой для ликвидации чрезвычайных ситуаций в военное время» [13]. Авторами предлагается комплексная методика обоснования рациональной группировки сил и средств для ликвидации чрезвычайных ситуаций в военное время на объектах хранения взрывчатых веществ. Для этого необходимо решить следующие задачи: определить объем предстоящих АСДНР в зоне ЧС; рассчитать требуемый состав сил для выполнения прогнозируемого объема работ; выбрать рациональный вариант распределения спасательных формирований по объектам ведения работ с учетом мест их дислокации и состояния дорожной сети. Как результат, предложенная методика позволяет определить только общее количество сил и средств для ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах хранения взрывчатых веществ, но не позволяет распределить объемы АСДНР между силами ГО, входящими в группировку, привлекаемую для ликвидации чрезвычайных ситуаций. Следовательно, применение данной методики не даст возможности обосновать необходимое количество сил ПАСС в группировке ГО, привлекаемой к ликвидации последствий применения противником оружия.

В статье «Расчет потребности сил и средств гражданской обороны для ликвидации последствий прогнозируемых чрезвычайных ситуаций, возникающих (возникших) в зонах разрушений» [14] автор рассматривает порядок применения гражданских формирований ГО для проведения АСДНР в очагах разрушений. Однако подходов к распределению объемов АСДНР между силами ГО, входящими в группировку, привлекаемую к проведению АСДНР в очагах разрушений, автор не предлагает.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ развития взглядов на применение сил ГО для обеспечения защиты населения и объектов тыла от опасностей, возникающих в ходе ведения военных действий или вследствие их, а также применяемых подходов к формированию состава сил для проведения АСДНР позволил сделать ряд выводов:

1. В эволюции системы защиты населения от опасностей военного времени можно выделить девять основных этапов, в течение которых система защиты гражданского населения от опасных факторов, возникающих в ходе ведения военных действий или вследствие их, трансформировалась из составной части противовоздушной обороны в самостоятельное направление – гражданскую оборону, ставшую составной частью оборонных мероприятий Республики Беларусь.

2. В настоящее время, несмотря на выстроенную в целом систему ГО Республики Беларусь, отдельные вопросы остаются до конца неразрешенными, в том числе и связанные с определением состава сил ПАСС в группировке ГО, привлекаемой к ликвидации последствий применения противником оружия.

3. Результаты исследований российских и белорусских ученых создают в целом необходимую для функционирования ГО научно-методическую базу, но вместе с тем недостаточную для определения состава сил ПАСС в группировке ГО, привлекаемой к ликвидации последствий применения противником оружия. Поэтому разработка методики, позволяющей определить состав сил ПАСС в группировке ГО, привлекаемой к ликвидации последствий применения противником оружия, является актуальной научной задачей, решение которой позволит повысить эффективность применения сил ГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савин, Л.В. Новые способы ведения войны: как Америка строит империю / Л.В. Савин. – М.: Питер, 2016. – 349 с. – ISBN: 978-5-496-01980-4.
2. Гражданская оборона: учеб. пособие / А.П. Зайцев [и др.]; под ред. А.Т. Алтунина. – М.: Воениздат, 1982. – 192 с.
3. Современные войны и гражданская оборона: монография / В.А. Акимов [и др.]; под общ. ред. С.К. Шойгу. – М.: ИПП «КУНА», 2008. – 296 с. – EDN: VHGYV.

4. От МПВО к гражданской защите (исторический очерк) / В.А. Владимиров [и др.]; под ред. С.К. Шойгу. – М.: УРСС, 1998. – 336 с. – EDN: VDJOON.
5. Воробьев, Ю.Л. Современные войны и гражданская оборона / Ю.Л. Воробьев // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – Т. 2, № 1 (2). – С. 791–810. – EDN: OWFYSL.
6. Полевой, В.Г. Перспективы развития гражданской обороны на современном этапе / В.Г. Полевой, А.И. Кузьмин, С.С. Гагулькин // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2017. – № 3 (34). – С. 16–24. – EDN: ZFLSIR.
7. Пчелкин, В.И. Зависимость состава, размещения и возможностей спасательных сил РСЧС и МЧС России от географического фактора / В.И. Пчелкин, Р.Л. Галиуллина, А.А. Ефимова // Технологии гражданской безопасности. – 2015. – Т. 12, № 3 (45). – С. 22–25. – EDN: UJLGBH.
8. Богатырев, Э.Я. Обоснование необходимых мобилизационных резервов на мирное и военное время, оптимизация сроков выдвижения резервов на большое расстояние с использованием железнодорожного транспорта / Э.Я. Богатырев // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2016. – Т. 6, № 2 (11). – С. 42–52. – EDN: WYPGQB.
9. Малышев, В.П. Оценка военной опасности для организации и ведения гражданской обороны / В.П. Малышев, Э.Я. Богатырев // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – Т. 4, № 1 (6). – С. 643–659. – EDN: SCHGVP.
10. Кондратьев-Фирсов, В.М. Методические основы оперативного планирования гражданской обороны в условиях современного военного конфликта / В.М. Кондратьев-Фирсов [и др.] // Технологии гражданской безопасности. – 2012. – Т. 9, № 2 (32). – С. 92–97. – EDN: OYDSVJ.
11. Кондратьев-Фирсов, В.М. Комплексная методика прогнозирования обстановки, объемов аварийно-спасательных и других неотложных работ при воздействии на объекты экономики обычными современными средствами поражения / В.М. Кондратьев-Фирсов [и др.] // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – Т. 2, № 2 (3). – С. 49–55. – EDN: QAYCHP.
12. Быков, А.А. Вероятностный подход к определению численности группировки сил гражданской обороны для выполнения аварийно-спасательных и других неотложных работ в условиях современных войн / А.А. Быков [и др.] // Технологии гражданской безопасности. – 2012. – Т. 9, № 4 (34). – С. 34–39. – EDN: PXLKIH.
13. Пархомчик, Э.А. Комплексная методика обоснования рациональной группировки сил и средств, привлекаемой для ликвидации чрезвычайной ситуации в военное время / Э.А. Пархомчик, А.И. Пономарев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 2 (41). – С. 61–68. – EDN: СУРАОТ.
14. Гайшун, В.П. Расчет потребности сил и средств гражданской обороны для ликвидации последствий прогнозируемых чрезвычайных ситуаций, возникающих (возникших) в зонах разрушений / В.П. Гайшун // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 2 (24). – С. 98–104. – EDN: WEZNRD.

Развитие взглядов на применение сил гражданской обороны
Development of views on the use of civil defense forces

Хроколов Виталий Александрович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра управления
защитой от чрезвычайных ситуаций,
начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь

Email: Xrvavit2604@gmail.com

SPIN-код: 8926-3945

Vitaliy A. Khrokolov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Emergency Management,
Head of the Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus

Email: Xrvavit2604@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6577-4061

DEVELOPMENT OF OPINIONS ABOUT THE USE OF CIVIL DEFENSE FORCES**Khrokolov V.A.**

Purpose. To analyze the development of opinions about the use of civil defense forces in wartime and the existing approaches to the justification of the composition of forces involved in rescue and other emergency operations as part of the civil defense groups.

Methods. General scientific methods of research: analysis and synthesis, comparison and generalization.

Findings. The main stages of development of opinions about the use of civil defense forces in wartime are determined.

Application field of research. The results of the work can be used in the training of specialists in the field of prevention and elimination of emergency situations as well as in the course of planning of individual measures of civil defense.

Keywords: civil defense, emergency rescue and other urgent works, means of destruction, fire emergency rescue service.

(The date of submitting: July 15, 2024)

REFERENCES

1. Savin L.V. *Novye sposoby vedeniya voyny: kak Amerika stroit imperiyu [New ways of war: how America is building an empire]*. Moscow: Piter, 2016. – 349 p. (rus). – ISBN: 978-5-496-01980-4.
2. *Grazhdanskaya oborona [Civil Defence]*: tutorial. Ed. by A.T. Altunin. Moscow: Voenizdat, 1982. 192 p. (rus).
3. Akimov V.A., Bogatyrev E.Ya., Vladimirov V.A., Vorob'ev Yu.L., Dolgin N.N., Ggyaznov S.N. et al. *Sovremennye voyny i grazhdanskaya oborona [Modern wars and civil defense]*: monograph. Ed. by S.K. Shoygu. Moscow: KUNA, 2008. 296 p. (rus). EDN: VHGYV.
4. Vladimirov V.A., Levin S.F., Medvedev V.A., Vorob'ev Yu.L., Makeev V.A., Overchuk A.M. et al. *Ot MPVO k grazhdanskoy zashchite (istoricheskiy ocherk) [From local air defence to civil defense (historical essay)]*. Ed. by S.K. Shoygu. Moscow: URSS, 1998. 336 p. (rus). EDN: VDJOON.
5. Vorob'ev, Yu.L. *Sovremennye voyny i grazhdanskaya oborona [Modern wars and civil defense] Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*, 2012. Vol. 2, No. 1 (2). Pp. 791–810. (rus). EDN: OWFYSL.
6. Polevoy V.G., Kuz'min A.I., Gagul'kin C.S. *Perspektivy razvitiya grazhdanskoy oborony na sovremen- nom etape [Prospects of development of civil defense at the present stage]. Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2017. No. 3 (34). Pp. 16–24. (rus). EDN: ZFLSIR.
7. Pchelkin V.I., Galiullina R.L., Efimova A.A. *Zavisimost' sostava, razmeshcheniya i vozmozhnostey spatel'nykh sil RSChS i MChS Rossii ot geograficheskogo faktora [The dependence of the composition, location and capacity of the rescue forces of the unified state system of prevention and liquidation of emergency situations and the Russian Ministry of Emergency Situations of the geographical factor]. Civil Security Technology*, 2015. Vol. 12, No. 3 (45). Pp. 22–25. (rus). EDN: UJLGBH.
8. Bogatyrev E.Ya. *Obosnovanie neobkhodimyykh mobilizatsionnykh rezervov na mirnoe i voennoe vremya, optimizatsiya srokov vydvizheniya rezervov na bol'shoe rasstoyanie s ispol'zovaniem zheleznodorozhnogo transporta [Justification of the necessary mobilisation of reserves for peacetime and war-time, optimisation of the timeframes for advancing reserves over a long distance using railway transport]. Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*, 2016. Vol. 6, No. 2 (11). Pp. 42–52. (rus). EDN: WYPGQB.
9. Malyshev V.P., Bogatyrev E.Ya. *Otsenka voennoy opasnosti dlya organizatsii i vedeniya grazhdanskoy oborony [Military hazard assessment for the organisation and conduct of civil defense]. Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*, 2014. Vol. 4, No. 1 (6). Pp. 643–659. (rus). EDN: SCHGVP.
10. Kondrat'ev-Firsov V.M., Malyshev V.P., Turko S.I., Shevchenko A.V. *Metodicheskie osnovy operativnogo planirovaniya grazhdanskoy oborony v usloviyakh sovremennogo voennogo konflikta [Methodological framework for operational planning of civil defense in the modern military conflict]. Civil Security Technology*, 2012. Vol. 9, No. 2 (32). Pp. 92–97. (rus). EDN: OYDSVJ.

11. Kondrat'ev-Firsov V.M., Malyshev V.P., Turko S.I., Shevchenko A.V. Kompleksnaya metodika prognozirovaniya obstanovki, ob"emov avariyno-spasatel'nykh i drugikh neotlozhnykh rabot pri vozdeystvii na ob"ekty ekonomiki obychnymi sovremennymi sredstvami porazheniya [Integrated methodology for predicting the situation, the volume of rescue and other emergency works in case of impact on economic objects by conventional modern means of destruction]. *Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*, 2012. Vol. 2, No. 2 (3). Pp. 49–55. (rus). EDN: QAYCHP.
12. Bykov A.A., Kondrat'ev-Firsov V.M., Turko S.I., Shevchenko A.V. Veroyatnostnyy podkhod k opredeleniyu chislennosti gruppirovki sil grazhdanskoy oborony dlya vypolneniya avariyno-spasatel'nykh i drugikh neotlozhnykh rabot v usloviyakh sovremennykh voyn [Likelihood approach to determination of number of group of forces of civil defense for performance of rescue and other urgent works in the conditions of modern wars]. *Civil Security Technology*, 2012. Vol. 9, No. 4 (34). Pp. 34–39. (rus). EDN: PXLKIH.
13. Parkhomchik E.A., Ponomarev A.I. Kompleksnaya metodika obosnovaniya ratsional'noy gruppirovki sil i sredstv, privlekaemoy dlya likvidatsii chrezvychaynoy situatsii v voennoe vremya [Integrated methodology for justification of rational grouping of forces and means attracted to eliminate emergency in military time]. *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2019. No. 2 (41). Pp. 61–68. (rus). EDN: CYPAOT.
14. Gayshun V.P. Raschet potrebnosti sil i sredstv grazhdanskoy oborony dlya likvidatsii posledstviy prognoziruemykh chrezvychaynykh situatsiy, vznikayushchikh (voznikshikh) v zonakh razrusheniy [Calculation of the necessity of forces and means of civil defence for elimination of the consequences of emergency situations occurring (occurred) in zones of destruction]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 2 (24). Pp. 98–104. (rus). EDN: WEZNRD.

ДЕТСКО-РОДИТЕЛЬСКИЕ ОТНОШЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЕТЕЙ О БЕЗОПАСНОСТИ В ЦИФРОВОМ МИРЕ

Шейнов В.П., Карпиевич В.А.

Цель. Выявить взаимосвязи между детско-родительскими отношениями и формированием представления детей о безопасности в цифровом мире.

Методы. В исследовании использовались: короткая версия опросника зависимости от смартфона САС-16 (автор В.П. Шейнов), опросник зависимости от социальных сетей ЗСС-15 (авторы В.П. Шейнов, А.С. Девицын), разработанный авторами опросник изучения детско-родительских отношений, анкета представлений о психологической безопасности Н.Е. Харламенковой. Для получения результатов использовались количественный и качественный методы исследования. Основой эмпирического исследования послужили результаты тестирования 1323 респондентов.

Результаты. Показано, что плохие отношения детей с родителями имеют связь с развитием зависимости от смартфонов и социальных сетей. Это негативно сказывается на формировании представлений о безопасности в детском возрасте. Зависимость детей от смартфона имеет связь с плохим отношением с отцами. Для представителей поколения Z выявлена положительная связь между зависимостью от смартфона и тем, как часто их ругали в детстве. Выявлено, что зависимость от социальных сетей напрямую связана с плохим взаимоотношением женщин всех возрастов со своими матерями. Для поколения X и Z установлена отрицательная взаимосвязь между зависимостью от социальных сетей и хорошими отношениями с их отцами. У молодых людей такие понятия, как «родители» и «отношения с родителями» не ассоциируются с понятием «безопасность».

Область применения исследований. Результаты исследования могут быть использованы специалистами, занимающимися формированием культуры безопасности жизнедеятельности, а также педагогами в разъяснительной работе с родителями по профилактике возникновения зависимости от смартфонов и от социальных сетей, а также по гармонизации детско-родительских взаимоотношений. Этому может способствовать проведение семейных праздников и других мероприятий, направленных на формирование позитивных семейных отношений и на обучение детей цифровой грамотности.

Ключевые слова: безопасность детей, детско-родительские отношения, зависимость от смартфона, зависимость от социальных сетей, поколение.

(Поступила в редакцию 12 июня 2024 г.)

Введение

Вопросы, связанные с представлениями о безопасности, формируются в детском возрасте. Значительная роль в этом процессе принадлежит родителям. При этом важна роль как родителей в целом, так и отца и матери в отдельности. Доброжелательная атмосфера в семье, хорошие взаимоотношения с каждым из родителей позволяют наилучшим образом сформировать общее представление о безопасности. А это весьма актуально в современном цифровом мире, поскольку и взрослые, и дети в наше время сталкиваются с негативными явлениями в новой реальности. В свою очередь, негативные взаимоотношения в семье и с каждым из родителей могут усилить опасные тенденции. В последнее время исследователи отмечают и среди детей, и среди взрослых нарастание такой отрицательной тенденции, как проблемное использование смартфонов и социальных сетей. Это, в свою очередь, может оказывать отрицательное воздействие на состояние безопасности жизнедеятельности.

Цифровизация кардинально изменила жизнь детей в современном мире. Теперь многое в их повседневности происходит вне поля зрения родителей, в их цифровом пространстве. Если раньше родители знали об опасностях, подстерегающих детей, поскольку сталкивались с ними в своем детстве и имели личный опыт в борьбе с этими угрозами, то сейчас

дети остаются один на один с опасностями без должного родительского контроля, поддержки и помощи.

К проблемам цифрового пространства следует отнести участие в опасной и преступной деятельности, вербовку в культы и террористические организации, мошенничество, порнографию, проституцию, киберзапугивание и т.д. Кибербуллинг – это мощная атака, осуществляемая через смартфоны и социальные сети [1, с. 521].

Проблема возникает, когда подростки и молодежь, вместо непосредственного общения «глаза – в глаза» отдают предпочтение общению в социальных сетях. Опасность усиливается, когда у пользователей возникает зависимость от смартфонов, социальных сетей и видеоигр. Существующие исследования выявили, что зависимость от смартфона положительно коррелирует с одиночеством, но в то же время – отрицательно с самоконтролем, саморегуляцией, настойчивостью, здоровьем и привычкой к чтению [2, с. 171].

Родители играют важную роль в жизни детей. Во многом они ответственны за психоэмоциональное состояние своих детей. При этом детям всех без исключения возрастов необходимо внимание со стороны родителей и взаимодействие с ними. Стоит отметить, что особенно это актуально для подросткового возраста, когда потребность в таких взаимоотношениях возрастает. Когда в реальной жизни подростки не могут удовлетворять свои социально-психологические потребности, то они уходят в социальные сети, просматривают видеоролики, погружаются в компьютерные игры, т.е. уходят в виртуальный мир Интернета. Избыточное общение с помощью смартфона приводит к снижению эмпатии в межличностных отношениях [1, с. 120]. Это оказывает влияние и на взаимоотношения между детьми и их родителями.

Часто родители не только не могут помочь детям избавиться от цифровых зависимостей, но и способствуют собственной увлеченностью смартфонами и социальными сетями формированию данных зависимостей у своих детей. Это происходит из-за того, что родители дают детям смартфон, чтобы выиграть время для себя. Также следует учесть и тот факт, что ребенок подвергается давлению сверстников, и, чтобы не выпасть из круга общения и подтвердить свою «крутость», требует от родителей более сложные и дорогие девайсы. Это способствует все большему погружению в цифровую среду и формированию зависимости от нее.

Основная часть

Взаимосвязь зависимости от смартфона и отношений с родителями. Многочисленные зарубежные исследования выявили наличие связи зависимостей от смартфона с отношениями детей с родителями.

Показано, что негативные отношения с родителями могут усилить у детей зависимость от смартфона [3; 4]. Этому также способствует плохое воспитание и проблемы в семейных отношениях, т.к. отрицательные отношения с родителями могут вызывать у подростков чувство неприятия в реальном мире, что повышает фактор риска зависимости от смартфона [5–7]. На зависимость от смартфона могут повлиять и семейные дисфункции [7].

Исследования индонезийских школьников, проведенные М.Х. Супрарто, С. Сетяши и И.Б. Сяпутра, показали, что различия в отношениях отца и ребенка и матери и ребенка по-разному оказывают влияние на возникновение зависимости от смартфона. Установлено, что отношения отца и ребенка играют бóльшую роль, чем отношения матери и ребенка в предупреждении возникновения зависимости от смартфона. Отцы, как правило, меньше озабочены контролем поведения подростков, чем матери. Следовательно, отцы оказывают меньшее влияние на личность и жизнь подростков в отношении самоконтроля и зависимости от смартфонов. Но в тех семьях, где были негативные отношения между подростками и отцами, выявлено, что отношения между отцами и детьми отрицательно связаны с зависимостью от смартфона [8, р. 173]. В этом исследовании также отмечено, что матери контролируют поведение подростков больше, чем отцы. И эти отношения в значительной степени влияли на

возникновении зависимости от смартфона. В целом результаты показали, что теплые отношения с отцами и матерями могут повысить самоконтроль и, следовательно, позволяют контролировать использование смартфонов [8, p. 193].

Выявлено, что отношения детей с их матерями и отцами оказывают влияние на зависимость от смартфона с возрастом по-разному. Хорошие отношения с матерями могут существенно снизить риск зависимости от смартфона, но в большей степени это свойственно учащимся начальной школы и младшим подросткам. Для подростков и старшеклассников защитным фактором выступали только хорошие отношения с отцом [9].

Другие исследования показали, что если между родителями и детьми имелись хорошие отношения, то наблюдалась меньшая степень зависимости от смартфона [10–12]. В то же время не только пренебрежение со стороны родителей положительно коррелирует у подростков с зависимостью от смартфонов, на это влияют и плохие отношения с друзьями [13].

В исследовании Л.К. Викорд и К. Квайзер-Поль изучаются психопатологические симптомы и черты личности «Большой пятерки» как предикторы «проблемного использования смартфона» в разных группах поколений. Разбивка респондентов на группы по поколениям позволила детальнее проанализировать, как проблемное использование смартфонов изменяется с возрастом. Авторы выделили такие группы, как цифровые иммигранты и цифровые аборигены (понятия были введены в научный оборот М. Пренски) [14]. Также в группе цифровых аборигенов были выделены 2 подгруппы – поколения Y и Z. В ходе анализа были выявлены различия между цифровыми иммигрантами и цифровыми аборигенами в проявлении проблемного использования смартфона, а также *нейротизма, добросовестности, депрессии, тревоги и компульсивности*. Авторы выявили, что в разных поколениях различные факторы оказывают влияние на формирование и поддержание проблемного использования смартфона [15].

Взаимосвязь зависимости от социальных сетей и отношений с родителями. Анализ публикаций зарубежных исследователей показывает, что существует связь между зависимостью пользователей от социальных сетей и качеством их отношений с родителями.

Так, существует положительная связь между проблемным использованием социальных сетей и Интернета и снижением привязанности детей к своим родителям. При этом по мере возрастания проблемного использования социальных сетей происходит еще большее снижение привязанности. Поэтому проблемное использование социальных сетей и Интернета часто заменяют отсутствующую привязанность в отношениях с другими людьми (семья и друзья) и компенсирует это отсутствие [16].

Возрастание зависимости от социальных сетей может привести к усилению конфликтности и снижает удовлетворенность отношениями с родителями [17].

Также зависимость подростка от социальных сетей может привести к усилению дистресса в семье. Исследования показывают, что это приводит к возрастанию конфликтных взаимоотношений подростка с матерью из-за школы, особенно по мере попыток родителей усилить контроль [18].

Н. Альбелади выявлена значимая отрицательная связь между чрезмерным использованием социальных сетей и некоторыми компонентами семейных отношений (сплоченностью и выразительностью). Данные показывают, что более низкий уровень семейной экспрессивности и более высокий уровень семейных конфликтов были связаны с зависимостью от социальных сетей [19].

Ежедневное использование социальных сетей более 2 ч было связано с большей вероятностью негативных отношений между матерью и дочерью, отцом и дочерью, отцом и сыном. В отношениях между матерью и сыном эта связь была незначимой. Это свидетельствует, что интенсивное использование социальных сетей связано с негативными отношениями между родителями и детьми [20].

Выявлена связь между стилем воспитания отцов и зависимостью подростков от социальных сетей. Позитивные отношения с родителями являются для подростков защитными

факторами возникновения зависимости от социальных сетей, а также предупреждают возможность возникновения синдрома упущенной возможности. Наибольшую роль в этом играет высокий уровень поддержки и контроля со стороны отца [21].

Б. Мартинез-Феррер с коллегами выявила, что высокий уровень конфликтности между детьми и родителями связан с высоким уровнем зависимости от социальных сетей, алекситимией и склонностью к нарушению социальных норм. При этом девочки имели по всем перечисленным связям более высокие показатели, чем мальчики. В то же время у подростков из семей с позитивным стилем взаимоотношений выявлены самые низкие показатели негативных связей [22].

Исследования показывают, что негативные отношения между родителями и детьми, демонстрирующие между ними слабую привязанность, с большей вероятностью делают подростков зависимыми от смартфона. В свою очередь, хорошие отношения между родителями и детьми полезны для подростков, поскольку снижают склонность к использованию социальных сетей [23]. А индифферентное отношение родителей к детям приводит к возникновению положительной связи с поведением подростков и проблемным использованием ими социальных сетей [24].

Цель данного исследования – выявить взаимосвязи между детско-родительскими отношениями и формированием представления детей о безопасности в цифровом мире.

Выборка и методы исследования. Участники исследования и сбор данных. В онлайн-опросе приняло участие 1323 респондента в возрасте от 17 до 62 лет, в том числе 958 испытуемых 17–24 лет, 198 респондентов 25–36 лет, 86 испытуемых 37–48 лет и 81 респондент 49–62 лет. Среди них женщины составили 50,7 %, мужчины – 49,3 % (исследования 1 и 2).

Методы. Уровень зависимости от смартфона изучался с помощью короткой версии опросника САС-16 зависимости от смартфона [25], исследование зависимости от социальных сетей осуществлялось с помощью опросника ЗСС-15 [26].

Для изучения детско-родительских отношений предлагалось ответить на следующие вопросы:

– Как часто Вас в детстве хвалили/ругали? Возможные ответы 1 – часто, 2 – иногда, 3 – никогда.

– Ваши отношения с отцом и с матерью. Возможные ответы 1 – плохие, 2 – хорошие, 3 – отличные.

В исследовании 3 приняли участие 293 молодых мужчин и 311 женщин в возрасте от 18 до 31 года.

Для исследования представлений о психологической безопасности использовалась анкета, разработанная под руководством профессора Института психологии РАН Н.Е. Харламенковой [27].

Анкета представляет собой 60 понятий-дескрипторов, которые могут ассоциироваться у опрашиваемых с безопасностью. Например, такие как «здоровье», «контроль ситуации», «надежность», «уверенность в себе», «мир в стране», «равновесие, стабильность», «отсутствие тревоги, страха», «поддержка отца», «поддержка матери», «родители», «воспоминание о детстве», «мудрость», «радость», «избегание опасных ситуаций» и др. Респондентам предлагалось оценить степень соответствия каждого дескриптора их представлению о психологической безопасности по шкале от +2 – абсолютно соответствует до –2 – совершенно не соответствует.

Статистический анализ проводился с помощью пакета SPSS-22. Уровень статистической значимости составил $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. С помощью критерия Колмогорова – Смирнова было установлено, что распределения всех изучаемых выборок значительно отличаются от нормального. Поэтому для анализа ответов респондентов использована непараметрическая ранговая корреляция Кендалла.

Исследование 1. Анализ данных, полученных с помощью корреляции Кендалла, выявил связи между показателями отношений респондентов с их родителями (табл. 1).

Таблица 1. – Корреляции Кендалла зависимости от смартфона с показателями отношения с родителями

Выборка	Корреляции	Отношения с отцом	Отношения с матерью	Родители часто хвалили	Родители часто ругали
Женская N = 672	τ	-0,048	-0,022	0,016	0,067*
	ρ	0,226	0,547	0,806	0,031
Мужская N = 651	τ	-0,069*	-0,096**	0,017	0,053
	ρ	0,019	0,002	0,448	0,336
Общая N = 1323	τ	-0,080**	-0,054*	0,021	0,045*
	ρ	0,000	0,015	0,656	0,046

Примечание: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

Данные таблицы 1 показывают, что между проблемным использованием смартфона и тем, как часто респондента ругали в детстве, существует положительная связь. То есть проблемы в отношениях между детьми и родителями, приводящие к ситуации, когда последние ругали своих детей, способствуют возникновению у тех зависимости от смартфона. Больше всего это обнаружено у девушек и женщин. При этом у респондентов не была выявлена никакая связь между зависимостью от смартфона и тем, как часто их в детстве хвалили. Таким образом, негативные взаимодействия детей с их родителями побуждают их «уходить» в смартфоны (и через них – в Интернет). А это приводит к возрастанию угроз, с которыми они сталкиваются в цифровом мире, и снижает безопасность детей.

В ходе исследования в общей выборке было выявлено, что зависимость от смартфонов отрицательно коррелирует с хорошими отношениями с отцом и матерью. Отсюда следует вывод, что плохие отношения в детстве с родителями могут способствовать в дальнейшем нарастанию зависимости от смартфона. Особенно это выражено у мужчин. У женщин такая связь не обнаружена. Это может свидетельствовать о том, что мальчики более чувствительны в отношениях с родителями. Эти результаты в полной мере соответствуют данным, полученным рядом зарубежных исследователей [4–9; 13].

Не менее интересные результаты были получены при разбивке испытуемых на возрастные группы, что позволило детальнее исследовать связи зависимости от смартфона с показателями отношений с родителями. В данном исследовании использованы два разных подхода к возрастной периодизации респондентов.

Первый подход основан на предложенной российским исследователем Б.Н. Рыжовым периодизации возрастного развития. Автор выделяет так называемые эры жизни – становления, расцвета, сохранения и возврата, в свою очередь, разбитые еще на две эпохи. Основанием для такого деления послужили полученные в ходе исследования значения индексов доминирующих видов мотивации. Было установлено, что они с возрастом изменяются. Для анализа полученных результатов в нашем исследовании были использованы следующие возрастные группы: юность – 17–24 года, молодость – 25–36 лет, взрослость – 37–48 лет и средний возраст – 49–62 года [28]. Выявленные Б.Н. Рыжовым доминирующие виды мотивации более точно соответствуют распределению возрастных категорий, особенно в отношении 37–48 лет. Эта возрастная группа включает в себя как часть поколения X, так и Y. Также для сравнения был использован второй подход, который базируется на теории поколений X, Y, Z. В данном исследовании анализировались 3 группы: поколение Z – 24–17 лет, поколение Y – 42–25 года и поколение X – 62–43 года [29]. Нижняя граница возраста опрашиваемых составила 17 лет.

Результаты анализа связей зависимости от смартфона с детско-родительскими отношениями представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Корреляции Кендалла зависимости от смартфона с показателями отношений с родителями в возрастном аспекте

Выборки		Отношения с отцом	Отношения с матерью	Родители часто хвалили	Родители часто ругали
Выборки по возрасту	17–24	-0,078**	-0,062*	0,053	0,074**
	25–36	-0,080*	-0,117*	0,086	0,009
	37–48	-0,226**	-0,119*	0,064	0,012
	49–60	-0,130*	-0,052	0,112	0,085
Поколения	Z	-0,078**	-0,062*	-0,053	0,074**
	Y	-0,099*	-0,125*	-0,058	-0,042
	X	-0,199**	-0,056	-0,084	0,045
Общая		-0,080**	-0,054*	0,011	0,045*

Примечание: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$.

Как видно из таблицы 2, плохие взаимоотношения с отцом способствуют возникновению зависимости от смартфона. И это выявлено для всех возрастных категорий. При этом с возрастом такая связь нарастает. Похожие результаты выявлены практически во всех группах в отношениях респондентов с матерью, кроме самой взрослой женской группы, где связь не коррелирует. Это является существенным результатом, т.к. подтверждает, насколько сильно влияют родители на дальнейшее поведение своих детей.

Результаты таблицы 2 свидетельствуют, что в общей выборке существует положительная корреляция между тем, что родители часто ругали респондентов в детстве, и зависимостью от смартфона. Но среди возрастных категорий эта связь значима только для поколения Z (17–24 лет). Это также подтверждает, что выявленные на больших возрастных отрезках связи могут быть статистически незначимыми для небольших возрастных групп.

Таким образом, полученные нами результаты показывают, что позитивные отношения между родителями и детьми (часто хвалили) никоим образом не связаны с проблемным использованием смартфона. Это отмечается во всех группах и в общей выборке.

Исследование 2. На данном этапе осуществлялся анализ связей между зависимостью от социальных сетей и взаимоотношениями с родителями. Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Корреляции Кендалла зависимости от социальных сетей с показателями отношений с родителями

Выборка	Корреляции	Отношения с отцом	Отношения с матерью	Родители часто хвалили	Родители часто ругали
Женская $N = 672$	τ	-0,010	-0,073*	0,046	0,044
	p	0,882	0,022	0,198	0,222
Мужская $N = 651$	τ	0,036	0,008	0,042	0,018
	p	0,781	0,952	0,592	0,853
Общая $N = 1323$	τ	-0,052	0,023	0,047	0,025
	p	0,186	0,566	0,104	0,505

Примечание: * – $p \leq 0,05$.

Полученные в ходе исследования данные не выявили наличия статистически значимых связей между зависимостью от социальных сетей и отношениями респондентов с их родителями (табл. 3). Обнаружена только одна связь в женской выборке (отрицательная) с взаимоотношениями с их матерями. Это указывает на то, что негативное взаимодействие между дочками и матерями способствует возникновению у женщин проблемного использования социальных сетей.

По природе девочки чувствуют себя ближе к матери, чем к отцу, именно поэтому для них важны отношения с матерью. Неудивительно, что одной из самых обсуждаемых тем на женских форумах являются отношения с матерью: как с собственной, так и с матерью мужа (на первом месте тема – мужчины). А негативный опыт взаимоотношений с матерями можно выделить в качестве одной из главных причин «зависания» женщин в социальных сетях.

Данные таблицы 4 указывают на то, что зависимость от социальных сетей не связана ни с положительными, ни с негативными взаимоотношениями респондентов в детстве. Здесь отсутствуют статистически значимые связи, за исключением возрастной категории 37–48 лет.

Таблица 4. – Корреляции Кендалла зависимости от социальных сетей с показателями отношений с родителями в возрастном аспекте

Выборки		Отношения с отцом	Отношения с матерью	Родители часто хвалили	Родители часто ругали
Выборки по возрасту	17–24	-0,058*	-0,031	0,033	-0,064
	25–36	0,019	-0,032	0,064	-0,012
	37–48	-0,213*	-0,136	0,202*	-0,061
	49–60	-0,126	0,054	-0,064	-0,096
Поколения	Z	-0,058*	-0,031	0,033	-0,064
	Y	-0,034	-0,046	0,065	-0,011
	X	-0,167*	-0,008	0,067	-0,097
Общая		-0,042	0,010	-0,046	-0,017

Примечание: * – $p \leq 0,05$.

Полученные результаты указывают на наличие отрицательной связи между зависимостью от социальных сетей и отношениями с отцом. Она значима для поколения Z и X. Также это свойственно и для возрастных категорий 17–24 и 37–48 лет (табл. 4).

Полученные результаты подтверждают сделанный ранее вывод, что между дочерьми и их матерями существует более тесная связь. Это также может свидетельствовать и о более длительном влиянии матерей на дочерей. Эта связь со временем так быстро не ослабевает, как это проявляется в ситуации с отцами.

Полученные данные подтверждают, что в целом существует связь между зависимостью от социальных сетей и негативными отношениями с родителями, что соответствует результатам зарубежных исследований [16; 18; 24]. Однако полученные нами результаты уточняют эти взаимосвязи с точки зрения возраста.

Исследование 3. В то же время проведенное нами исследование 3 (с целью выявления у юношей и девушек наиболее частых ассоциаций со словом «безопасность») показало, что отношения с родителями не относятся к таковым. В верхний квартиль наибольших предпочтений попали большей частью те ассоциации с безопасностью, которые относятся к личностным качествам: «контроль ситуации», «надежность», «уверенность в себе», «самосохранение», а также ориентированные на внешние факторы: «уверенность в окружении», «поддержка, помощь», «владение информацией» [30, с. 463]. Такие дескрипторы, как «поддержка матери», «поддержка отца», «родители», «воспоминание о детстве» оказались внизу рангов предпочтения (табл. 5).

Таблица 5. – Предпочтения в выборе дескрипторов, баллы

Дескрипторы	Мужчины	Девушки
Поддержка матери	264	370
Поддержка отца	299	294
Родители	295	361
Воспоминание о детстве	79	131
Медиана	320,5	366,5

Данные таблицы 5 показывают, что такие дескрипторы, как «поддержка отца», «родители» и «воспоминание о детстве» в ранге предпочтений находятся ниже медианы, т.е. они не попали даже в первую тридчатку дескрипторов из 60. Только у девушек «поддержка матери» оказалась выше медианы.

Результаты проведенных нами трех исследований выявили определенные закономерности. Зависимость от смартфона имеет отрицательную связь с отношениями с родителями, а также положительную с тем, что детей часто ругали. В свою очередь, для молодых людей взаимоотношения с родителями не ассоциируются с безопасностью. Поэтому работа по формированию культуры безопасности должна быть направлена в первую очередь на работу

с родителями, т.к. именно они несут главную ответственность за безопасность своих детей. Доброжелательное отношение родителей к детям должно стать одним из важнейших предикторов безопасности. В связи с этим необходимо проводить мероприятия по профилактике проблемного использования смартфонов. В некоторой степени это относится к проблемному использованию социальных сетей. Важную роль может оказать организация и проведение семейных праздников, в которых активное участие примут не только дети, но и оба родителя (или лица, их заменяющие). В рамках таких мероприятий в доступной детям соответствующего возраста форме, а также их родителям следует разъяснить, какую опасность таит в себе проблемное использование смартфонов и социальных сетей. Педагогам и специалистам соответствующих структур важно разработать комплекс мероприятий по овладению цифровой грамотностью.

Заключение

Роль родителей в формировании безопасного поведения ребенка огромна, поэтому отношения, которые складываются между родителями и детьми, крайне важны и в долгосрочном плане. Роль родителей также велика и в формировании навыков правильного поведения в опасной ситуации. Здесь важны доверительные отношения между родителями и детьми как в детстве, юности, так и во взрослой жизни.

Результаты исследования указывают на возможность возникновения зависимости от смартфонов из-за плохих отношений с родителями. Особенно это наблюдается у мальчиков/мужчин.

Зависимость от смартфона тесно связана с плохими отношениями с отцами, и эта связь усиливается с возрастом. Аналогичная ассоциация возникала и в отношениях с матерью (до 49 лет, после чего ассоциация ослабла).

Для представителей поколения Z было установлено наличие положительной корреляции между зависимостью от смартфонов и тем, как часто пользователей ругали в детстве. Для остальных возрастных категорий эти связи не значимы, хотя в общей выборке сохраняется значимая положительная связь. Также во всех возрастных группах не была выявлена связь между зависимостью от смартфона и частотой позитивной оценки респондентов (как часто хвалили в детстве).

Исследование выявило в общей женской выборке наличие отрицательной корреляции между зависимостью от социальных сетей и отношениями со своими матерями. Результаты показывают, что плохие отношения между дочерьми и матерями ведут к усилению зависимости от социальных сетей.

Отрицательная связь между зависимостью от социальных сетей и отношениями с отцами выявлена у поколений X и Z. В то же время практически не выявлена связь между зависимостью от социальных сетей и тем, как часто пользователей в детстве хвалили и (или) ругали. Это показательно для представителей обоих полов и типично для всех возрастов, за исключением группы 37–48 лет, где обнаружена положительная связь с тем, что их в детстве хвалили.

В целом результаты проведенного исследования соответствуют некоторым исследованиям зарубежных авторов. В частности, взаимоотношения в семье между родителями и детьми могут повлиять на возникновение зависимостей от смартфона и социальных сетей, а также стать фактором, снижающим данную зависимость. На возникновение зависимостей от смартфона и социальных сетей отношения между детьми и отцами влияют не таким образом, как отношения между матерями и детьми.

Увеличение зависимости от смартфонов и социальных сетей и связь этих показателей с отношениями с родителями в детстве закономерно связаны с тем, что у молодых людей такие понятия, как «родители» и «отношения с родителями» не ассоциируются с понятием «безопасность».

Работникам, занимающимся формированием культуры безопасности жизнедеятельности, необходимо учитывать в организации и проведении соответствующих мероприятий выявленные в настоящем исследовании негативные тенденции. Рекомендуется при работе с родителями обращать их внимание на необходимость уделять больше внимания детям, не поощрять их чрезмерное увлечение смартфонами и социальными сетями, больше совместно проводить со своими детьми досуг, оказывать всестороннюю поддержку в сложных жизненных ситуациях. Также следует обращать внимание на то, что отцы могут играть важную роль в снижении зависимостей от смартфона и социальных сетей, если они будут создавать благоприятную атмосферу в семье. Все это может способствовать формированию культуры безопасного поведения в цифровой среде, а следовательно, и повышать общий уровень безопасности детей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейнов, В.П. Связи зависимости от смартфона с состояниями и свойствами личности / В.П. Шейнов // Журнал Белорусского государственного университета. Социология. – 2020. – № 4. – С. 120–127. – DOI: 10.33581/2521-6821-2020-4-120-127. – EDN: UDLLVC.
2. Шейнов, В.П. Личностные свойства и состояние здоровья у страдающих зависимостью от смартфона / В.П. Шейнов, А.С. Девицын // Институт психологии Российской академии наук. Социальная и экономическая психология. – 2021. – Т. 6, № 1 (21). – С. 171–191. – DOI: 10.38098/ipran.sep.2021.21.1.007. – EDN: VWBFNO.
3. Cheng, Y.-C. The relationship between smartphone addiction, parent–child relationship, loneliness and self-efficacy among senior high school students in Taiwan / Y.-C. Cheng, T.-A. Yang, J.-C. Lee // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, No. 16. – Article 9475. – DOI: 10.3390/su13169475.
4. Wang, Z. Influence of parental neglect on cyberbullying perpetration: Moderated mediation model of smartphone addiction and self-regulation / Z. Wang, S. Jiang // Health & Social Care in the Community. – 2022. – Vol. 30, No. 6. – P. 2372–2382. DOI: 10.1111/hsc.13787.
5. Hawi, N.S. Relationships among smartphone addiction, anxiety, and family relations / N.S. Hawi, M. Samaha // Behaviour & Information Technology. – 2017. – Vol. 36, No. 10. – P. 1046–1052. DOI: 10.1080/0144929x.2017.1336254.
6. Gong, J. How parental smartphone addiction affects adolescent smartphone addiction: The effect of the parent-child relationship and parental bonding / J. Gong, Y. Zhou, Y. Wang [et al.] // Journal of Affective Disorders. – 2022. – Vol. 307. – P. 271–277. – DOI: 10.1016/j.jad.2022.04.014.
7. Kim, H.-J. Relationship among family environment, self-control, friendship quality, and adolescents' smartphone addiction in South Korea: Findings from nationwide data / H.-J. Kim, J.-Y. Min, K.-B. Min [et al.] // PLOS ONE. – 2018. – Vol. 13, No. 2. – Article 0190896. – DOI: 10.1371/journal.pone.0190896.
8. Suprpto, M.H. Parent-child relationship and smartphone addiction: The role of self-control and fear of missing out as mediators / M.H. Suprpto, S. Setiasih, I.B. Siaputra // Journal of Educational, Health, and Community Psychology. – 2024. – Vol. 13, No. 1. – P. 170–200. – DOI: 10.12928/jehcp.v13i1.28244.
9. Song, I. The effects of adolescents' relationships with parents and school/institute teachers as protective factors on smartphone addiction: Comparative analysis of elementary, middle, and high school levels in South Korea / I. Song // Asian Journal for Public Opinion Research. – 2021. – Vol. 9, No. 2. – P. 106–141. – DOI: 10.15206/ajpor.2021.9.2.106.
10. Gao, Q. Parent–child relationship and smartphone use disorder among Chinese adolescents: The mediating role of quality of life and the moderating role of educational level / Q. Gao, R. Sun, E. Fu [et al.] // Addictive Behaviors. – 2020. – Vol. 101. – Article 106065. – DOI: 10.1016/j.addbeh.2019.106065.
11. Sun, R. Parent–child relationships and mobile phone addiction tendency among Chinese adolescents: The mediating role of psychological needs satisfaction and the moderating role of peer relationships / R. Sun, Q. Gao, Y. Xiang [et al.] // Children and Youth Services Review. – 2020. – Vol. 116. – Article 105113. – DOI: 10.1016/j.chilyouth.2020.105113.
12. Çiçek, I. Parental attitudes and socio-demographic factors as predictors of smartphone addiction in university students / I. Çiçek, S. Tanriverdi, M.E. Şanlı [et al.] // International Journal of Psychology and Educational Studies. – 2021. – Vol. 8, No. 2. – P. 158–169. – DOI: 10.52380/ijpes.2021.8.2.430.
13. Kwak, J.Y. Effect of parental neglect on smartphone addiction in adolescents in South Korea / J.Y. Kwak., J.Y. Kim, Y.W. Yoon // Child Abuse & Neglect. – 2018. – Vol. 77. – P. 75–84. – DOI: 10.1016/j.chiabu.2017.12.008.

14. Prensky, M. Digital natives, digital immigrants. Part 1 / M. Prensky // *On the Horizon*. – 2001. – Vol. 9, No. 5. – P. 1–6. – DOI: 10.1108/10748120110424816.
15. Wickord, L.C. Psychopathological symptoms and personality traits as predictors of problematic smartphone use in different age groups / L.C. Wickord, C. Quaiser-Pohl // *Behavioral Sciences*. – 2022. – Vol. 12, No. 2. – Article 20. – DOI: 10.3390/bs12020020.
16. D’Arienzo, M.C. Addiction to social media and attachment styles: a systematic literature review / M.C. D’Arienzo, V. Boursier, M.D. Griffiths // *International Journal of Mental Health and Addiction*. – 2019. – Vol. 17. – P. 1094–1118. DOI: 10.1007/s11469-019-00082-5.
17. White-Gosselin, C.-É. Associations between young adults’ social media addiction, relationship quality with parents, and internalizing problems: A path analysis model / C.-É. White-Gosselin, F. Poulin // *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*. – 2022. – Vol. 56(1). – P. 61–69. – DOI: 10.1037/cbs0000326.
18. Bilgin, M. Social media addiction in adolescents and parent-adolescent relationship / M. Bilgin, İ. Şahin, A. Togay // *Education and Science*. – 2020. – Vol. 45, No. 202. – P. 263–281. – DOI: 10.15390/EB.2020.8202.
19. Albeladi, N. The role of parental mediation in the relationship between Adolescents’ use of social media and family relationships in Saudi Arabia / N. Albeladi, E. Palmer // *Journal of Information Technology Management*. – 2020. – Vol. 12, No. 2. – P. 163–183. – DOI: 10.22059/jitm.2020.75799.
20. Sampasa-Kanyinga, H. Social media use and parent-child relationship: A cross-sectional study of adolescents / H. Sampasa-Kanyinga, G.G. Goldfield, M. Kingsbury [et al.] // *Journal of Community Psychology*. – 2020. – Vol. 48, No. 3. – P. 793–803. – DOI: 10.1002/jcop.22293.
21. Bloemen, N. Social media and fear of missing out in adolescents: The role of family characteristics / N. Bloemen, D. De Coninck // *Social Media+ Society*. – 2020. – Vol. 6, No. 4. – Article 2056305120965517. DOI: 10.1177/2056305120965517.
22. Martínez-Ferrer, B. Child-to-parent violence and parenting styles: Its relations to problematic use of social networking sites, alexithymia, and attitude towards institutional authority in adolescence / B. Martínez-Ferrer [et al.] // *Psychosocial Intervention*. – 2018. – Vol. 27, No. 3. – P. 163–171. – DOI: 10.5093/pi2018a24.
23. Yue, Y. The interconnections among the intensity of social network use, anxiety, smartphone addiction and the parent-child relationship of adolescents: A moderated mediation effect / Y. Yue, Z. Aibao, T. TingHao // *Acta Psychologica*. – 2022. – Vol. 231. – Article 103796. – DOI: 10.1016/j.actpsy.2022.103796.
24. Bashir, R. A quantitative correlational study of parental neglect, conduct problems and social media addiction among adolescents / R. Bashir [et al.] // *Palarch’s Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology*. – 2021. – Vol. 18, No.7. – P. 2600–2609. – Url: <https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/8552>.
25. Шейнов, В.П. Короткая версия опросника «Шкала зависимости от смартфона» / В.П. Шейнов // *Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда*. – 2021. – Т. 6, № 1. – С. 97–115. – DOI: 10.38098/ipran.orwp.2021.18.1.005. – EDN: NXXRXQ.
26. Шейнов, В.П. Разработка надежного и валидного опросника зависимости от социальных сетей / В.П. Шейнов, А.С. Девицын // *Системная психология и социология*. – 2021. – № 2 (38). – С. 41–55. – DOI: 10.25688/2223-6872.2021.38.2.04. – EDN: HWKGVМ.
27. Харламенкова, Н.Е. Представление о психологической безопасности: возрастной и личностный компоненты / Н.Е. Харламенкова // *Современная личность: Психологические исследования* / Отв. ред. М.И. Воловикова, Н.Е. Харламенкова. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2012. – С. 141–160. – EDN: RELDQD.
28. Рыжов, Б.Н. Системная периодизация развития / Б.Н. Рыжов // *Системная психология и социология*. – 2012. – № 5. – С. 5–24. – EDN: PABYSB.
29. Никиточкина, Ю.В. Особенности управления человеческим капиталом корпорации в контексте теории поколений / Ю.В. Никиточкина // *Terra Economicus*. – 2021. – Т. 19, № 1. – С. 138–151. – DOI: 10.18522/2073-6606-2021-19-1-138-151. – EDN: HOCOWS.
30. Голякова, И.В. Половозрастные различия в представлениях о психологической безопасности / И.В. Голякова, В.А. Карпиевич // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2022. – Т. 6, № 4. – С. 460–471. – DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.460. – EDN: GRLDMG.

**Детско-родительские отношения и формирование представления детей
о безопасности в цифровом мире**

**Children-parent relations and formation of children's views
about safety in the digital world**

Шейнов Виктор Павлович

доктор социологических наук, профессор

Государственное учреждение образования
«Республиканский институт высшей школы»,
кафедра психологии и педагогического
мастерства, профессор

Адрес: ул. Московская, 15,
220007, г. Минск, Беларусь

Email: sheinov1@mail.ru

SPIN-код: 7605-9100

Viktor P. Sheinov

Grand PhD in Sociological Sciences, Professor

National Institute for Higher Education,
Chair of Psychology and Pedagogical
Excellence, Professor

Address: Moskovskaya str., 15,
220007, Minsk, Belarus

Email: sheinov1@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2191-646X

Карпиевич Виктор Александрович

кандидат исторических наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский
государственный технологический
университет», кафедра философии и права,
доцент

Адрес: ул. Свердлова, 13а,
220006, г. Минск, Беларусь

Email: karpievich68@yandex.by

SPIN-код: 9276-3330

Viktor A. Karpievich

PhD in Historical Sciences, Associate Professor

Belarusian State Technological University,
Chair of Philosophy and Law,
Associate Professor

Address: Sverdlova str., 13a,
220006, Minsk, Belarus

Email: karpievich68@yandex.by

ORCID: 0000-0002-6198-618X

CHILDREN-PARENT RELATIONS AND FORMATION OF CHILDREN'S VIEWS ABOUT SAFETY IN THE DIGITAL WORLD

Sheinov V.P., Karpievich V.A.

Purpose. To identify the relationship between parent-child relationships and the formation of children's ideas about safety in the digital world.

Methods. Short version of the smartphone addiction questionnaire SAS-16 (by V.P. Sheinov), social network addiction questionnaire ZSS-15 (by V.P. Sheinov, A.S. Devitsyn), a questionnaire for studying child-parent relationships developed by the authors of the article, questionnaire of ideas about psychological safety by N.E. Kharlamenkova have been used. To obtain the results, quantitative and qualitative research methods were used. The basis of the empirical study were the results of testing of 1323 respondents.

Findings. It is shown that poor relationships between children and parents are associated with the development of addiction to smartphones and social networks, and this negatively affects the formation of ideas about safety in childhood. Children's smartphone addiction is linked to poor relationships with their fathers. For members of Generation Z, a positive relationship was found between smartphone addiction and how often they were scolded as children. It has been revealed that addiction to social networks is directly related to the poor relationship that women of all ages have with their mothers. For Generations X and Z, a negative relationship has been established between social media addiction and positive relationships with their fathers. Young people do not associate such concepts as “parents” and “relationships with parents” with the concept of safety.

Application field of research. The results of the study can be used by specialists involved in the development of a culture of life safety, as well as by teachers in explanatory work with parents on the prevention of addiction to smartphones and social networks and on the harmonization of parent-child relationships. This can be facilitated by holding family holidays and other events aimed at creating positive family relationships, as well as teaching children digital literacy.

Keywords: child safety, parent-child relationships, smartphone addiction, social network addiction, generation.

(The date of submitting: June 12, 2024)

REFERENCES

1. Sheinov V.P. Svyazi zavisimosti ot smartfona s sostoyaniyami i svoystvami lichnosti [Relationship of smartphone dependence with personal states and properties]. *Journal of the Belarusian State University. Sociology*, 2020. Vol. 4. Pp. 120–127. (rus). DOI: 10.33581/2521-6821-2020-4-120-127. EDN: UDLLVC.
2. Sheinov V.P., Devitsyn A.S. Lichnostnye svoystva i sostoyanie zdorov'ya u stradayushchikh zavisimost'yu ot smartfona [Personal properties and health state of victims of dependence on the smartphone]. *Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Social and Economic Psychology*, 2021. Vol. 6, No. 1 (21). Pp. 171–191. (rus). DOI: 10.38098/ipran.sep.2021.21.1.007. EDN: VWBFNO.
3. Cheng Y.-C., Yang T.-A., Lee J.-C. The relationship between smartphone addiction, parent-child relationship, loneliness and self-efficacy among senior high school students in Taiwan. *Sustainability*, 2021. Vol. 13, No. 16. Article 9475. DOI: 10.3390/su13169475.
4. Wang Z., Jiang S. Influence of parental neglect on cyberbullying perpetration: Moderated mediation model of smartphone addiction and self-regulation. *Health & Social Care in the Community*, 2022. Vol. 30, No. 6. Pp. 2372–2382. DOI: 10.1111/hsc.13787.
5. Hawi N.S., Samaha M. Relationships among smartphone addiction, anxiety, and family relations. *Behaviour & Information Technology*, 2017. Vol. 36. No. 10. Pp. 1046–1052. DOI: 10.1080/0144929x.2017.1336254.
6. Gong J., Zhou Y., Wang Y., Liang Z., Hao J., Su L., Wang T., Du X., Zhou Y., Wang Y. How parental smartphone addiction affects adolescent smartphone addiction: The effect of the parent-child relationship and parental bonding. *Journal of Affective Disorders*, 2022. Vol. 307. Pp. 271–277. DOI: 10.1016/j.jad.2022.04.014.

7. Kim H.-J., Min J.-Y., Min K.-B., Lee T.-J., Yoo S. Relationship among family environment, self-control, friendship quality, and adolescents' smartphone addiction in South Korea: Findings from nationwide data. *PLOS ONE*, 2018. Vol. 13, No. 2. Article 0190896. DOI: 10.1371/journal.pone.0190896.
8. Suprpto M.H., Setiasih S., Siaputra I.B. Parent-child relationship and smartphone addiction: The role of self-control and fear of missing out as mediators. *Journal of Educational, Health, and Community Psychology*, 2024. Vol. 13, No. 1. Pp. 170–200. DOI: 10.12928/jehcp.v13i1.28244.
9. Song I. The effects of adolescents' relationships with parents and school/institute teachers as protective factors on smartphone addiction: Comparative analysis of elementary, middle, and high school levels in South Korea. *Asian Journal for Public Opinion Research*, 2021. Vol. 9, No. 2. Pp. 106–141. DOI: 10.15206/ajpor.2021.9.2.106.
10. Gao Q., Sun R., Fu E., Jia G., Xiang Y. Parent-child relationship and smartphone use disorder among Chinese adolescents: The mediating role of quality of life and the moderating role of educational level. *Addictive Behaviors*, 2020. Vol. 101. Article 106065. DOI: 10.1016/j.addbeh.2019.106065.
11. Sun R., Gao Q., Xiang Y., Chen T., Liu T., Chen Q. Parent-child relationships and mobile phone addiction tendency among Chinese adolescents: The mediating role of psychological needs satisfaction and the moderating role of peer relationships. *Children and Youth Services Review*, 2020. Vol. 116. Article 105113. DOI: 10.1016/j.chilyouth.2020.105113.
12. Çiçek I., Tanriverdi S., Şanlı M.E., Buluş M. Parental attitudes and socio-demographic factors as predictors of smartphone addiction in university students. *International Journal of Psychology and Educational Studies*, 2021. Vol. 8, No. 2. Pp. 158–169. DOI: 10.52380/ijpes.2021.8.2.430.
13. Kwak J.Y., Kim J.Y., Yoon Y.W. Effect of parental neglect on smartphone addiction in adolescents in South Korea. *Child Abuse & Neglect*, 2018. Vol. 77. Pp. 75–84. DOI: 10.1016/j.chiabu.2017.12.008.
14. Prensky M. Digital natives, digital immigrants. Part 1. *On the Horizon*, 2001. Vol. 9, No. 5. Pp. 1–6. DOI: 10.1108/10748120110424816.
15. Wickord L.C., Quaiser-Pohl C. Psychopathological symptoms and personality traits as predictors of problematic smartphone use in different age groups. *Behavioral Sciences*, 2022. Vol. 12, No. 2. Article 20. DOI: 10.3390/bs12020020.
16. D'Arienzo M.C., Boursier V., Griffiths M.D. Addiction to social media and attachment styles: a systematic literature review. *International Journal of Mental Health and Addiction*, 2019. Vol. 17. Pp. 1094–1118. DOI: 10.1007/s11469-019-00082-5.
17. White-Gosselin C.-É, Poulin F. Associations between young adults' social media addiction, relationship quality with parents, and internalizing problems: A path analysis model. *Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement*, 2022. Vol. 56(1). Pp. 61–69. DOI: 10.1037/cbs0000326.
18. Bilgin M., Şahin İ., Togay A. Social media addiction in adolescents and parent-adolescent relationship. *Education and Science*, 2020. Vol. 45, No. 202. Pp. 263–281. DOI: 10.15390/EB.2020.8202.
19. Albeladi N., Palmer E. The role of parental mediation in the relationship between Adolescents' use of social media and family relationships in Saudi Arabia. *Journal of Information Technology Management*, 2020. Vol. 12, No. 2. Pp. 163–183. DOI: 10.22059/jitm.2020.75799.
20. Sampasa-Kanyinga H., Goldfield G.G., Kingsbury M., Clayborne Z., Colman I. Social media use and parent-child relationship: A cross-sectional study of adolescents. *Journal of Community Psychology*, 2020. Vol. 48, No. 3. Pp. 793–803. DOI: 10.1002/jcop.22293.
21. Bloemen N., De Coninck D. Social media and fear of missing out in adolescents: The role of family characteristics. *Social Media+ Society*, 2020. Vol. 6, No. 4. Article 2056305120965517. DOI: 10.1177/2056305120965517.
22. Martínez-Ferrer B., Romero-Abrio A., Moreno-Ruiz D., Musitu G. Child-to-parent violence and parenting styles: Its relations to problematic use of social networking sites, alexithymia, and attitude towards institutional authority in adolescence. *Psychosocial Intervention*, 2018. Vol. 27, No. 3. Pp. 163–171. DOI: 10.5093/pi2018a24.
23. Yue Y., Aibao Z., TingHao T. The interconnections among the intensity of social network use, anxiety, smartphone addiction and the parent-child relationship of adolescents: A moderated mediation effect. *Acta Psychologica*, 2022. Vol. 231. Article 103796. DOI: 10.1016/j.actpsy.2022.103796.
24. Bashir R., Kazmi F., Khan S., Shams S. A quantitative correlational study of parental neglect, conduct problems and social media addiction among adolescents. *Palarch's journal of archaeology of Egypt /*

- Egyptology*, 2021. Vol. 18, No. 7. Pp. 2600–2609. Url: <https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/8552>.
25. Sheinov V.P. Korotkaya versiya oprosnika «Shkala zavisimosti ot smartfona» [Short version of the questionnaire «Scale of dependence on the smartphone»]. [*Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Organizational Psychology and Labor Psychology*, 2021. Vol. 6, No. 1. Pp. 97–115. (rus). DOI: 10.38098/ipran.opwp.2021.18.1.005. EDN: NXKRXQ.
 26. Sheinov V.P., Devitsyn A.S. Razrabotka nadezhnogo i validnogo oprosnika zavisimosti ot sotsial'nykh setey [The development of a reliable and valid social media dependence questionnaire]. *Systems Psychology and Sociology*, 2021. Vol. 2. Pp. 41–55. (rus). DOI: 10.25688/2223-6872.2021.38.2.04. EDN: HWKGVM.
 27. Kharlamenkova N.E. Predstavlenie o psikhologicheskoy bezopasnosti: vozrastnoy i lichnostnyy komponenty [The concept of psychological safety: age and personality components]. In book: *Sovremennaya lichnost': Psikhologicheskie issledovaniya* [Modern Personality: Psychological Research]. Ed. by Volovikova M.I., Kharlamenkova N.E. Moscow: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, 2012. Pp. 141–160. (rus). EDN: RELDQD.
 28. Ryzhov B.N. Sistemnaya periodizatsiya razvitiya [Systemic periodization of the development]. *Systems psychology and sociology*, 2012. No. 5. Pp. 5–24. (rus). EDN: PABYSB.
 29. Nikitochkina Yu.V. Osobennosti upravleniya chelovecheskim kapitalom korporatsii v kontekste teorii pokoleniy [Corporate human capital management in the context of generational theory]. *Terra Economicus*, 2021. Vol. 19, No. 1. Pp. 138–151. (rus). DOI: 10.18522/2073-6606-2021-19-1-138-151. EDN: HOCOWS.
 30. Golyakova I.V., Karpievich V.A. Polovozrastnye razlichiya v predstavleniyakh o psikhologicheskoy bezopasnosti [Gender and age differences in representations about psychological safety]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol. 6, No. 4. Pp. 460–471. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.460. EDN: GRLDMG.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Кудряшов В.А., Панасик А.С., Коба С.С.

Цель. Провести ретроспективный анализ норм противопожарного проектирования систем общеобменной вентиляции, а также методов испытаний воздухопроводов на огнестойкость; определить значимость понятия огнестойкости в системе обеспечения пожарной безопасности систем общеобменной вентиляции.

Методы. Ретроспективный анализ проведен на основании опубликованных нормативных документов и стандартов за последние 100 лет. Сопоставлены зарубежные и отечественные стандарты испытаний огнестойкости систем общеобменной вентиляции.

Результаты. Пожары, связанные с системами общеобменной вентиляции, являются достаточно редкими событиями, несущими в себе серьезные потенциальные последствия, и уровень этих последствий не может быть отнесен к пренебрежительным. В большинстве случаев мероприятия по исключению указанных последствий могут быть предусмотрены и стандартизированы, однако редкий характер указанных событий и сложность систем общеобменной вентиляции обусловили достаточно долгий и сложный период становления системы противопожарного нормирования в области вентиляционных систем. Огнестойкость воздухопроводов общеобменной вентиляции наряду с устройством противопожарных клапанов является одним из ключевых аспектов ограничения распространения пожара за пределы обслуживаемого помещения.

Результаты исследований позволили авторам подготовить предложения в изменение № 3 к СТБ 11.03.01-2009 (май 2024 г.), в котором предусмотрена возможность проведения испытаний и критерии оценки/распространения результатов на вентиляционные системы со стороной воздуховода более 1600 мм. Доработка существующего метода испытаний воздухопроводов позволила сформулировать правила экстраполяции (распространения) результатов испытаний на воздухопроводы аналогичной испытанной конструкции с длиной стороны от 1000 до 1600 мм.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть внедрены в систему противопожарного нормирования и стандартизации в части, касающейся требований пожарной безопасности к системам общеобменной вентиляции, методов испытаний воздухопроводов на огнестойкость и распространения результатов испытаний.

Ключевые слова: нормирование, пожарная безопасность, системы общеобменной вентиляции, огнестойкость, воздухопроводы, испытание.

(Поступила в редакцию 12 июля 2024 г.)

Введение

Проблема модернизации строительства во все времена являлась актуальной задачей: строительство должно осуществляться в кратчайшие сроки, качественно и с наименьшими затратами. Это идеальное условие, к которому стремится строительство любого объекта в современных реалиях, однако такой баланс достичь достаточно сложно. Ускоренное развитие технологий и стремительная модернизация систем жизнеобеспечения вследствие целого ряда причин, среди которых присутствуют как технологические риски, так и человеческий фактор, нередко приводят к пожарам. Так, современное строительство невозможно представить без систем вентиляции, задачей которых является регулирование воздухообмена в помещениях для удаления избытка теплоты, влаги и вредных веществ с целью обеспечения благоприятного микроклимата и чистоты воздуха¹. При этом мероприятия по устройству систем вентиляции несут серьезнейшие риски с точки зрения обеспечения необходимого

¹ Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Термины и определения: ГОСТ 22270-2018. – Взамен ГОСТ 22270-76; введ. 01.11.18. – М.: Стандартинформ, 2018. – 19 с.

уровня пожарной безопасности, и разработка таких сложных систем требует серьезного внимания.

Актуальность проблемы обеспечения пожарной безопасности систем вентиляции обусловлена несколькими факторами. Во-первых, вентиляционная система может стать непосредственным путем распространения пожара, в том числе через места пересечения противопожарных преград. Во-вторых, в некоторых случаях от работы вентиляционных систем – систем подпора и удаления воздуха – напрямую зависит пожарная безопасность здания [1]. Понимание связанных с вентиляционными системами опасностей позволяет сформулировать пути их решения, в том числе экспериментальные методы оценки.

Основная часть

Назначение и устройство вентиляционных систем. Системы вентиляции, как правило, включают сети воздуховодов, воздухораспределителей, вентиляционных установок и других устройств, обеспечивающих проектный режим эксплуатации системы в целом.

Воздуховод – это трубопровод (короб, канал), предназначенный для циркуляции воздуха в здании [2]. Система таких каналов обеспечивает передачу очищенного, подогретого или охлажденного воздуха от вентиляционных систем, систем кондиционирования или отопления по всему зданию. Воздуховоды могут быть изготовлены из различных материалов, таких как металл, винилпласт, стекловолокно, асбестоцемент и других материалов (в том числе их комбинаций), в зависимости от проектного назначения разработанных систем и требований нормативных правовых актов. При этом воздуховоды могут быть выполнены в виде самостоятельных инженерных вентиляционных систем либо являться частью строительных конструкций.

В зависимости от направления подачи воздуха вентиляционные системы подразделяют на приточные, вытяжные или приточно-вытяжные [2]. По способу организации воздухообмена системы могут быть местными, общеобменными, аварийными и противодымными [3]. Кроме вышеперечисленных случаев применяют также системы воздушного отопления и кондиционирования воздуха, а также пневмотранспорт [4].

Задача местной приточной вентиляции состоит в подаче подготовленного (очищенного, подогретого и т.п.) воздуха в определенные места либо в помещение в целом. Местная вытяжная вентиляция или местные отсосы (аспирация), наоборот, выполняют функцию улавливания загрязняющих веществ в местах их возникновения. Этот метод обеспечивает удаление загрязненного воздуха либо непосредственно у источника (станок, агрегат, установка и т.п.), либо также в целом из помещения, здания [5].

Совокупность приточной и вытяжной вентиляции образует общеобменную систему вентиляции здания [2]. В дополнение к общеобменной системе вентиляции могут применяться также аварийная и (или) противодымная система вентиляции.

Аварийная вентиляция предназначена для устранения взрывоопасных газов и паров, токсичных веществ, пылей, взвесей, которые могут поступать в существенных объемах в случае аварийной ситуации². Такие системы предусматривают, например, в условиях отказа или неправильной работы технологического оборудования, сбое и возникновении аварийной ситуации при выполнении техпроцесса. Для функционирования аварийной вентиляции, как правило, могут использоваться и основные системы общеобменной вентиляции, но с включением дополнительных резервных вентиляторов и работой перекрывных (запорных) систем, обеспечивающих повышенный расход удаляемых воздуха/газов/паров/пылей/взвесей. В случаях, если использование основных систем по техническим причинам нецелесообразно или невозможно, системы аварийной вентиляции проектируют самостоятельными [6].

² Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 4.02.03-2019. – Введ. 16.12.19. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

Системы противодымной вентиляции предназначены для защиты объемов помещений и зданий от опасных факторов пожара, прежде всего от дыма³, а в некоторых случаях – для осуществления регулируемого газообмена внутреннего объема здания при пожаре с целью обеспечения нормируемого времени эвакуации и благоприятных условий для локализации и ликвидации пожара. Такие системы проектируют отдельно от систем общеобменной вентиляции и предусматривают их работу исключительно при возникновении пожара, с соответствующей защитой таких систем от высоких температур.

Настоящая статья посвящена преимущественно проблемам пожарной опасности/безопасности систем общеобменной вентиляции, их ретроспективному анализу и возможным путям решения.

Пожарная опасность вентиляционных систем общеобменной вентиляции. Системы общеобменной вентиляции, являясь сетью коммуникаций, объединяющих объемы помещений, несут риск распространения продуктов сгорания и даже переноса процесса горения в другие помещения. Это обусловлено прежде всего тем, что воздуховоды общеобменной вентиляции объединяют в единый объем совокупность помещений и выполнены, как правило, из тонкостенной листовой стали и разрушаются (разгерметизируются в результате деформаций) в течение первых 15 мин развитого пожара [4].

Проведенный анализ показал, что описанные выше риски находят свое подтверждение в случаях реальных пожаров⁴. Например, на пожаре в гостинице в 1980 г. (Лас-Вегас, США) из-за неисправных противопожарных клапанов токсичные продукты сгорания циркулировали по системе общеобменной вентиляции, способствуя их распространению по всему зданию. Это привело к быстрому распространению пожара и гибели 85 человек. На пожаре в терминале аэропорта в 1996 г. (Дюссельдорф, Германия) система общеобменной вентиляции стала причиной гибели 17 человек.

Отдельно следует отметить риск переноса горения и даже взрыва по системам вентиляции. К таким случаям относят прежде всего пожары в вентиляционных системах, связанных с функционированием технологических процессов, в результате которых возможны лакокрасочные или жировые отложения⁵. Такие отложения, накапливаясь в результате работы систем вентиляции, могут способствовать распространению пожара, а также при определенных условиях могут служить самостоятельным источником возгорания (например, в случае теплового самовозгорания). К таким случаям следует отнести пожар в 2004 г. в супермаркете Ycuá Bolaños (Асунсьон, Парагвай), жертвами которого стали 374 человека, начавшийся в кухонной системе вентиляции. Аналогичные пожары встречаются повсеместно и по настоящий день.

³ Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции: СН 2.02.07-2020. – Введ. 12.11.20. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 16 с.

⁴ Масштабный пожар в отеле «MGM Grand Hotel and Casino» в Лас-Вегасе: 85 погибших (в том числе 7 сотрудников), 650 пострадавших, в том числе 14 пожарных [Электронный ресурс] // Портал про пожарную безопасность PRO ПБ. – 1980. – 21 нояб. – Режим доступа: <https://propb.ru/calendar/pozhar-v-otele-mgm-grand-hotel-and-casino-v-las-vegase/#:~:text=Из-за%20неисправных%20дымовых%20клапанов,отеля%2C%20ускоряя%20распространение%20ядовитых%20газов.> – Дата доступа: 01.04.2024.

• Пожар в аэропорту Дюссельдорфа в Германии: 17 погибших, 88 пострадавших [Электронный ресурс] // ВикибриФ. – 1996. – 11 апр. – Режим доступа: https://ru.wikibrief.org/wiki/Düsseldorf_Airport_fire. – Дата доступа: 01.04.2024.

⁵ Ycuá Bolaños supermarket fire [Electronic resource] // Wikipedia. – 2004. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Ycu%C3%A1_Bola%C3%B1os_supermarket_fire. – Date of access: 01.05.2024.

• Пожар в «Макдональдс» в Москве: эвакуировано 27 человек [Электронный ресурс] // lenta.ru. – 2009. – 19 мая. – Режим доступа: <https://lenta.ru/news/2009/05/19/fire/>. – Дата доступа: 01.05.2024.

• Пожар торгового дома ЦУМ в Москве: эвакуировано около тысячи человек [Электронный ресурс] // RBK.RU. – 2016. – 23 нояб. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/society/23/11/2016/583570f39a7947266bed53eb>. – Дата доступа: 01.05.2024.

• Пожары в Тюменской области: пострадавших нет [Электронный ресурс] // Вслух.ru. – 2019. – 18 июля. – Режим доступа: https://vsluh.ru/novosti/obshchestvo/zhir-v-ventilyatsii-stal-prichinoj-pyati-pozharov_329571/. – Дата доступа: 01.05.2024.

В 2023 г. как минимум 5 пожаров⁶, произошедших на территории Республики Беларусь и Российской Федерации, так или иначе были связаны с работой систем вентиляции. К одному из таких примеров можно отнести инцидент, произошедший 11 ноября 2023 г. на производственном участке в здании цеха по производству плит МДФ ОАО «Витебскдрев», который произошел со взрывом пылевоздушной смеси, затронувший систему технологического пневмотранспорта. В результате данного инцидента погиб 1 человек, повреждены бункер формировочной машины на участке приготовления древесно-волоконного ковра и 216 м² обшивки фасада здания.

Проведенный анализ свидетельствует, что пожары, связанные с системами общеобменной вентиляции, являются достаточно редкими событиями, несущими серьезные потенциальные последствия, и уровень этих последствий не может быть отнесен к пренебрежительным. В большинстве случаев мероприятия по исключению указанных рисков могут быть предусмотрены и стандартизированы, однако редкий характер указанных событий и сложность систем общеобменной вентиляции обусловили достаточно долгий и сложный период их становления в истории противопожарного нормирования.

Этапы становления требований пожарной безопасности при проектировании систем вентиляции. Становление проблемы и пути ее решения наиболее полно можно отследить по развитию соответствующих нормативных документов, история которых насчитывает уже более 100 лет [5]. Примечательно, что требования пожарной безопасности всегда являлись ключевой частью нормативных документов для проектирования систем общеобменной вентиляции.

В довоенное время не было принято разделять нормативные документы на отдельные издания, как это принято сейчас. Поэтому общесоюзные противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий 1939 г.⁷ помимо других частей включали раздел «Нормы устройства вентиляционных установок». Значительную часть указанного раздела занимали требования пожарной безопасности: было принято категорирование допустимых решений вентиляционных установок в зависимости от пожарной опасности перемещаемой среды, были установлены правила пересечения противопожарных преград (в то время – «брандмауеров») и перекрытий, – в том числе в виде устройства управляемых с обеих сторон преграды противопожарных клапанов (в то время именуемых огнезадерживающими заслонками), а также способы крепления и область применения стораемых воздуховодов. Для воздуховодов, обслуживающих взрывоопасные помещения, не допускалась транзитная прокладка, за исключением их герметичного исполнения (на сварке или пайке). В местах прохода воздуховодов через стены и перекрытия нормировалась их плотная заделка. Совмещенные вертикальные воздушные коллекторы не допускались. Требования к огнезащите воздуховодов на то время отсутствовали, и общая пожарно-техническая классификация материалов и конструкций также была далека от современной: все материалы и конструкции подразделялись на огнестойкие, полугогнестойкие, полустораемые и стораемые

⁶ • Пожар на территории предприятия «ИНКО-ФУД» в Бресте [Электронный ресурс] // БрестСИТИ. Новости. – 2023. – 23 окт. – Режим доступа: <https://brestcity.com/blog/pozhar-inko-fud>. – Дата доступа: 01.04.2023.

• В Нижневартовске загорелся колбасный цех [Электронный ресурс] // Новости. NV86.ru. – 2023. – 21 дек. – Режим доступа: <https://nv86.ru/news/incidents/1660458/>. – Дата доступа: 01.04.2023.

• Пожарные раскрыли причину пожара в «Монблане» [Электронный ресурс] // Чита онлайн. Новости – 2023. – 24 мая. – Режим доступа: <https://www.chita.ru/text/society/2023/05/24/72331532/>. – Дата доступа: 01.04.2023.

• Огонь прошел по вентиляции: Стали известны подробности пожара в многоквартирном доме в Светлом [Электронный ресурс] // Новости Орска – БезФормата – 2023. – 29 май. – Режим доступа: <https://orsk.bezformata.com/listnews/pozhara-v-mnogokvartirnom-dome-v-svetlom/117697974/>. – Дата доступа: 01.04.2024.

• В торговом центре в Екатеринбурге случился пожар [Электронный ресурс] // Екатеринбург онлайн. Происшествия. – 2024. – 8 янв. – Режим доступа: <https://www.e1.ru/text/incidents/2024/01/08/73098650/>. – Дата доступа: 01.04.2024.

⁷ Общесоюзные противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий: ОСТ 90015-39. – Введ. 23.04.39. – М.: Госстройиздат, 1939. – 45 с.

(сталь относилась к полужестким материалам), понятие «предел огнестойкости» еще не было принято, хотя понятие «категории пожарной опасности производства» в целом соответствовало современному понятию. Согласно существовавшему нормированию венткамеры предполагалось выносить за пределы обслуживаемых помещений, выделяя огнестойкими или полужесткими ограждениями.

Строительные нормы 1951⁸ и 1954⁹ гг. во многом повторяли положения 1939 г., однако в указанных документах категоричность воздухопроводов, требования к выделению венткамер и правила транзитной прокладки были исключены, в местах пропуска воздухопроводов через противопожарные преграды появилось требование о применении негорючих материалов. Нормы допускали случаи объединения воздухопроводов для различных помещений, при условии их выполнения из негорючих материалов, при этом для категорий А, Б, В перед входом в объединенный коллектор приточной вентиляции требовалось наличие огнезадерживающих перекрытий устройств. Впервые в пожарно-технической классификации появилось понятие «предел огнестойкости», измеряемый во времени и определяемый путем испытаний, однако указанная классификация распространялась только на строительные конструкции, а не на системы воздухопроводов.

В 1962 г. глава СНиП «Отопление и вентиляция»¹⁰ была выведена в отдельное издание, значительным образом переработанное и расширенное, – впервые были сформулированы требования к аварийной вентиляции. В указанной главе предусматривался отдельный раздел – «Пожарная профилактика», который снова предусматривал выделение венткамер ограждающими конструкциями из негорючих или трудногорючих материалов (но не огнестойких). Требования к объединенным коллекторам были сохранены, при этом впервые появилось требование об альтернативе огнезадерживающим устройствам при пересечении перекрытий (только для вертикальных воздухопроводов) – возможность применения воздухопроводов с пределом огнестойкости, соответствующим пределу огнестойкости пересекаемого перекрытия (при этом воздухопровод не должен был иметь в пределах защищенного участка отверстий для забора или выпуска воздуха). Огнезадерживающие устройства предполагалось предусматривать по обе стороны противопожарной преграды с автоматическим или ручным управлением. В местах прохода трубопроводов должна была быть предусмотрена тщательная и прочная заделка (наглухо) строительным раствором. К этому времени для строительных конструкций впервые были сформулированы требования к предельным состояниям по огнестойкости (целостность, теплоизолирующая способность, несущая способность).

В СНиП 1975 г.¹¹ был исключен раздел «Пожарная профилактика», а требования пожарной безопасности были распределены по основным подразделам. Впервые появилось требование об отключении общеобменной вентиляции в случае возникновения пожара, но с сохранением подачи воздуха в тамбур-шлюзы (регламентировалось не избыточное давление, а нормативный расход приточного воздуха не менее 250 м³/ч, обеспечивающий давление до 5 кг на двери). Уточнены требования по объединению систем вентиляции для различных помещений, при этом было исключено требование об установке в коллекторах огнезадерживающих устройств, но введено требование об установке в таких коллекторах обратных клапанов. Впервые появилось требование к огнестойкости горизонтальных воздухопроводов (при пересечении противопожарных преград), при этом максимальное значение предела

⁸ Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест: НСП 102-51. – Введ. 27.05.53. – М.: Госиздательство лит. по строит. и архитектуре, 1953. – 49 с.

⁹ Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест: Н 102-54. – Введ. 01.01.55. – Киров: Госкомитет Совмина СССР по делам строительства, 1955. – 62 с.

¹⁰ Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования. Строительные нормы и правила: СНиП II-Г.7-62. – Введ. 28.05.63. – М.: Госстрой СССР, 1964. – 57 с.

¹¹ Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования. Строительные нормы и правила: СНиП II-33-75. – Введ. 01.07.76. – М.: Госстрой СССР, 1976. – 109 с.

огнестойкости было ограничено значением 0,5 ч, возвращено понятие транзитных воздухопроводов, требования к их огнестойкости не превышали 0,5 ч. Однако способы подтверждения огнестойкости установлены еще не были. В качестве альтернативы было введено понятие «огнестойкая гильза», представляющая по сути конструктивную огнезащиту по всей длине воздуховода. Впервые были введены конкретные перечни материалов для изготовления воздухопроводов, а также типовые размеры поперечного сечения воздухопроводов с указанием требуемой толщины металла. В отличие от норм предыдущих лет впервые был введен запрет на пересечение воздухопроводами противопожарных стен, а также перечень помещений, не допускающих транзитную прокладку воздухопроводов. Требование к ограждениям венткамер было уточнено путем присвоения венткамерам категорий обслуживаемого помещения, а соответственно, и выделения их (впервые) противопожарными преградами и установкой противопожарных клапанов в ограждениях.

В СНиП 1985 г.¹² было откорректировано давление воздуха в тамбурах-шлюзах – не более 50 Па (не менее 20 Па). Впервые появился раздел аварийной противодымной вентиляции, в том числе приточной противодымной вентиляции. Введена классификация воздухопроводов по плотности (плотные, нормальные) – с нормированием потерь на подсосы для развернутой площади воздухопроводов, с использованием только плотных воздухопроводов в случае требований огнестойкости. Впервые введена классификация огнезадерживающих клапанов в зависимости от предела огнестойкости пересекаемой преграды (1 / 2,5 ч; 0,5 / 0,75 ч; 0,25 / 0,25 ч), а также возможность их устраивать даже в отверстиях между помещениями для перетекания воздуха. Принято, что системы воздухопроводов для тамбуров-шлюзов, а также транзитные воздухопроводы систем местных отсосов взрывоопасных смесей должны проектироваться с пределом огнестойкости 0,5 ч. Уточнено, что огнестойкость может быть обеспечена путем размещения воздуховода в «шахте, кожухе или гильзе из негорючих материалов с пределом огнестойкости 0,5 ч» (сохранено до настоящего времени). Впервые появилось условие, при котором допускалась прокладка транзитного участка воздуховода с ненормируемым пределом огнестойкости при условии установки огнезадерживающего клапана в каждой противопожарной преграде с пределом огнестойкости 0,75 ч и более (для отдельных типов помещений).

В СНиП 1991 г.¹³ в очередной раз было откорректировано давление воздуха в тамбурах-шлюзах – 20 Па (с разностью по отношению к примыкающему помещению не более 50 Па). Нормы допускали ограниченное объединение в единой системе вентиляции, обслуживание ограниченных площадей разнофункциональных помещений при условии установки огнезадерживающих клапанов. Впервые было введено требование огнезащиты воздуховода от противопожарной преграды до огнезадерживающего клапана. Введена многовариантная таблица пределов огнестойкости транзитных воздухопроводов в зависимости от типа обслуживаемого помещения. Предел огнестойкости транзитного воздуховода мог не нормироваться при условии обслуживании помещений категорий Г и Д, при прокладке воздухопроводов через такие же помещения, а также при обслуживании коридоров, административно-бытовых, общественных и жилых помещений, при прокладке в пределах обслуживаемого этажа через помещения такого же назначения [7].

В 2003 г. советские нормы и правила были заменены национальным документом – СНБ 4.02.01-03¹⁴. В национальном документе в целом были сохранены противопожарные требования к системам общеобменной вентиляции, при этом были внесены некоторые терминологические уточнения: исключено понятие огнестойкого воздуховода со ссылкой на

¹² Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 2.04.05-86. – Введ. 01.01.88. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 64 с.

¹³ Отопление, вентиляция и кондиционирование. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.05-91. – Введ. 01.01.92. – М.: Госстрой СССР, 1992. – 63 с.

¹⁴ Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Строительные нормы Беларуси: СНБ 4.02.01*-03. – Введ. 30.12.03. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

термин СТБ 11.0.03-95¹⁵ («огнестойкий воздуховод» – воздуховод с нормируемым пределом огнестойкости), а также исключено требование плотного класса воздуховода для огнестойкости (при этом «плотные» воздуховоды – в современных требованиях класса герметичности В по СТБ 2522-2018¹⁶ – все равно требуются для транзитных воздуховодов), «огнезадерживающие клапаны» были переименованы в «противопожарные клапаны». Введено допущение, согласно которому допускается проектировать транзитные воздуховоды из негорючих материалов с ненормируемым пределом огнестойкости, предусматривая установку противопожарных клапанов при пересечении воздуховодами перекрытия с нормируемым пределом огнестойкости REI 15 и более или каждой противопожарной преграды с нормируемым пределом огнестойкости REI 45 и более.

В настоящее время требования к проектированию систем вентиляции изложены в аутентичном СН 4.02.03-2019¹⁷. В документе полностью исключено использование в качестве изделий и материалов для воздуховодов гипсовых вентиляционных блоков, асбестоцементных труб и коробов, бумаги и картона с соответствующими покрытиями и пропиткой. Введено требование об устройстве противопожарных клапанов в местах пересечения воздуховодом-коллектором междуэтажных перекрытий, при этом клапаны допускается не устанавливать при условии огнезащиты рассматриваемых воздуховодов. Допущено не предусматривать противопожарные клапаны на воздуховодах, пересекающих ограждающие конструкции помещения для размещения вентиляционного оборудования, если воздуховоды подсоединяются к данному оборудованию. Дополнено, что участки воздуховодов с нормируемым пределом огнестойкости должны быть выполнены из негорючих материалов.

На сегодня в нормах пожаробезопасного проектирования систем общеобменной вентиляции сложились следующие подходы:

- разделение систем вентиляции для помещений с различной пожарной опасностью и ограничением площади/количества этажей обслуживаемых помещений;
- использование негорючих воздуховодов для вентиляции, обслуживающей взрывоопасные и пожароопасные помещения, а также для транзитных воздуховодов;
- отделение венткамер, обслуживающих взрывоопасные и пожароопасные помещения, от остального объема здания противопожарными преградами;
- использование противопожарных клапанов в местах пересечения противопожарных преград в сочетании / либо путем огнезащиты воздуховодов с заданными пределами огнестойкости;
- использование огнестойких воздуховодов с заданными пределами огнестойкости в местах транзитной прокладки.

Этапы становления методов испытаний на огнестойкость воздуховодов систем вентиляции. Как было отмечено раньше, пределы огнестойкости воздуховодов, выполненных из тонкостенных стальных листов, как правило, недостаточны для соответствия предъявляемым требованиям по огнестойкости. При этом достаточно часто именно от огнестойкости воздуховодов общеобменной вентиляции зависит успех мероприятий пожарной безопасности. Это приводит к необходимости использования средств и способов дополнительной огнезащиты, а также ее подтверждения результатами натурных испытаний.

Длительное время пределы огнестойкости воздуховодов и средств их огнезащиты не подтверждались экспериментально, а фактически назначались на основании свойств строительных материалов, изученных при проведении отдельных испытаний. Кроме того, как было отмечено выше, наибольшее внимание на первых этапах нормирования пожарной

¹⁵ Система стандартов пожарной безопасности. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения: СТБ 11.0.03-95. – Введ. 16.04.95. – Минск: Госстандарт, 1995. – 6 с.

¹⁶ Вентиляция в зданиях. Система воздуховодов. Прочность и герметичность воздуховодов из тонколистового металла круглого поперечного сечения: СТБ 2522-2018. – Введ. 01.12.18. – 17 с.

¹⁷ Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 4.02.03-2019. – Введ. 08.09.20. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

безопасности воздуховодов систем вентиляции уделялось местам пересечения ими противопожарных преград.

Исходя из этого первые рекомендации в части огнестойких воздуховодов преимущественно касались способов обеспечения огнестойкости. Так, в пособии к СНиП II-33-75¹⁸, в котором были использованы результаты научно-исследовательских работ ВНИИПО МВД СССР и ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, впервые было введено понятие «гильза», – огнестойкая оболочка из несгораемых материалов, в которой располагался воздуховод, – в случае предъявления к нему требований по огнестойкости. В качестве гильзы могли выступать трубы, блоки, плиты из несгораемых материалов, силикатный кирпич, минеральная вата, покрытая стеклотканью и другие подобные материалы. Было акцентировано внимание на недопущении использования асбестоцементных материалов для изготовления огнестойких воздуховодов.

Однако непосредственно методики испытаний воздуховодов в период существования Советского Союза так и не были стандартизированы. Об этом свидетельствуют рекомендации, изложенные в пособии 6.91 к СНиП 2.04.05-91¹⁹, для изготовления огнестойких воздуховодов без проведения специальных испытаний. Для систем дымоудаления рекомендовалось использование компенсаторов линейного расширения воздуховодов. Для повышения огнестойкости воздуховодов слой из негорючих или трудногорючих матов и плит минеральной ваты рекомендовалось покрывать стальными листами вместо стеклоткани, образуя замкнутый контур изоляции.

На международном уровне методика испытаний огнестойкости воздуховодов также введена относительно недавно. Первый стандарт ISO 6944 Fire resistance tests – Ventilation ducts²⁰ был издан лишь в декабре 1985 г. В нем впервые были отражены условия, порядок подготовки и способ проведения испытаний, а также критерии эффективности оценки огнестойкости воздуховодов. На его основании в 1987 г. введен в действие Британский стандарт BS 476-23: 1987²¹ с аналогичным подходом к определению огнестойкости вентиляционных каналов.

Типовая схема испытаний горизонтальных воздуховодов в испытательной печи представлена на рисунке 1. Указанная схема практически в неизменном виде сохранена и в современной редакции ISO 6944-2008^{22, 23}. Суть огневых испытаний состоит в следующем: огневым испытаниям подвергают воздуховоды как закрытые (в нашей терминологии – транзитные), так и открытые (обслуживающие помещение с потенциальным пожаром). При этом методика не распространяется на воздуховоды, оборудованные противопожарными клапанами. Для закрытых (транзитных) воздуховодов обязательным условием является включение ответвления к горизонтальному участку воздуховода, а также их испытание при разрежении 300 Па, а также упор (защемление) тупикового торца воздуховода в стенку печи. Более того, испытаниям подвергается стандартный типоразмер воздуховода 1000×500 мм прямоугольный либо диаметром 800 мм – круглый. Для открытых воздуховодов регламентируется скорость перемещения воздуха ($3 \pm 0,45$ м/с), не требуется ответвление, стандартные размеры –

¹⁸ См. сноску 11.

¹⁹ Отопление, вентиляция и кондиционирование. Строительные нормы и правила: СНиП 2.04.05-91. – Введ. 01.01.92. – М.: Госстрой СССР, 1992. – 63 с.

²⁰ Fire resistance tests – Ventilation ducts. International standard: ISO 6944-1985. – First edition 15.12.1985, Switzerland: International organization for Standardization, 1985. – 21 p.

²¹ Fire tests on building materials and structures – Part 24: Method for determination of the fire resistance of ventilation ducts. British Standard: BS 476-24: 1987. – First edition 29.05.1987, Chiswick High Road London: British Standards Institution, 1987. – 23 p.

²² Fire containment – Elements of building construction – Part 1: Ventilation ducts. International standard: ISO 6944-2008. – First published 04.2008, Switzerland: International organization for Standardization, 2008. – 40 p.

²³ В ходе подготовки рукописи настоящей статьи в июне 2024 г. была подготовлена новая редакция стандарта ISO 6944-2024, включающая незначительные технические уточнения методики.

методы испытаний огнестойкости воздуховодов приточно-вытяжных систем общеобменной, аварийной противодымной вентиляции, систем местных отсосов, систем кондиционирования воздуха. Во многом методика испытаний была принята подобной международному стандарту ISO 6944²⁶, при этом было решено отказаться от испытаний открытых воздуховодов (ввиду недопущения таковых при проектировании пожарной безопасности), а для закрытых (транзитных) воздуховодов – отказаться от стандартного типоразмера. Однако по какой-то причине испытательное давление 300 Па для закрытых воздуховодов было принято, несмотря на явное противоречие с существующими нормами проектирования. Более того, предполагалось испытание не только на разрежение, но и на нагнетание (по ISO 6944 это не требуется), а превышение расхода удаляемого воздуха было определено для каждого 1 м² поперечного сечения воздуховода, но не внутренней поверхности воздуховода – в размере 0,15 м³/с.

В Республике Беларусь первые методы испытаний были введены в 2001 г. с введением в действие НПБ 18-2000²⁷. Нормативный документ во многом был аутентичным и повторял содержание НПБ 239-97.

Сущность метода, сохранившаяся до настоящего времени, заключалась в определении времени, по истечении которого наступает одно из предельных состояний (потеря теплоизолирующей способности и потеря целостности) конструкции воздуховода при наружном его обогреве в испытательной печи. Отечественные стандарты незначительно отличались от зарубежных размерами испытательных огневых печей и образцов, способами крепления конструкций и методикой применения результатов испытаний, которые, начиная с НПБ 18-2000²⁸ и до настоящего времени, привязаны к достаточно спорной величине – гидравлическому диаметру испытанного воздуховода, хотя это понятие подразумевает под собой меру эффективности пропускания потока воздуха (воздушной среды) и не в полной мере может быть применено к тупиковым участкам воздуховодов [8].

В 2009 г. НПБ 18-2000 был заменен СТБ 11.03.01-2009²⁹, в котором было введено третье предельное состояние – потеря несущей способности, под которым понималось разрушение конструкции воздуховода до такой степени, что нормальная работа вентиляционной системы не обеспечивалась. Однако в 2013 г. критерий несущей способности R (потеря несущей способности) был исключен с введением изменения № 2, и вместе с тем введено нормирование огнестойкости элементов подвесок и креплений воздуховодов, предусмотренных конструкторской документацией разработчика. Позже, в 2016 г., стандарт дополнен методикой испытания по определению огнестойкости воздуховодов систем вытяжной противодымной вентиляции.

До недавнего времени методика огневых испытаний, описанных в СТБ 11.03.01-2009, имела некоторые ограничения по применению полученных результатов: величина гидравлического диаметра не должна была отличаться более чем на 50 % от испытанного воздуховода, при этом размер поперечного сечения ограничивался величиной 1000 мм. Хотя в это же время нормативные правовые акты отечественных и зарубежных стран, определяющие порядок проведения испытаний на огнестойкость, допускают применение результатов испытаний к воздуховодам размерами сечения свыше 1000 мм.

Так, в Российском ГОСТ Р 53299-2019³⁰ результаты испытаний воздуховода допускается распространять на воздуховоды аналогичной конструкции прямоугольного или круглого

²⁶ См. сноску 22.

²⁷ Воздуховоды. Метод испытания на огнестойкость. Нормы пожарной безопасности: НПБ 18-2000. – Введ. 01.01.01. – Минск: НИИ ПБ МЧС Республики Беларусь, 2001. – 13 с.

²⁸ См. сноску 27.

²⁹ Система стандартов пожарной безопасности. Воздуховоды. Метод испытания на огнестойкость. Государственный стандарт Республики Беларусь: СТБ 11.03.01-2009. – Введ. 01.12.16. – Минск: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, 2016. – 13 с.

³⁰ Воздуховоды. Метод испытаний на огнестойкость. Национальный стандарт Российской Федерации: ГОСТ Р 53299-2019. – Введ. 01.09.20. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 15 с.

сечения испытанному образцу, если величина их гидравлического диаметра не превышает значения диаметра испытанного воздуховода более чем на 50 %, а внутренние размеры их поперечного сечения (диаметр или длина большей стороны) составляют не более 1500 мм.

В Британском стандарте BS EN 1366-1: 2014³¹ и международном стандарте ISO 6944-1: 2015³² экстраполяция результатов испытаний допускается на воздуховоды размерами поперечного сечения до 1250 мм прямоугольного сечения и до 1000 мм круглого сечения при размерах испытываемых образцов 1000×500 (250) мм и 800 (630) мм соответственно. Более того, в 2011 г. был подготовлен специальный стандарт по расширению области применения результатов испытаний воздуховодов и их элементов – EN 15882-1:2011 Extended application of results from fire resistance tests for service installations Part 1: Ducts – учитывающий более десятка параметров, влияющих на огнестойкость воздуховодов с точки зрения распространения результатов испытаний, и допускающий процедуру распространения результатов для воздуховодов с шириной поперечного сечения не более 2500 мм и высотой – не более 1250 мм.

Исходя из необходимости совершенствования существующих методов проведения испытаний и возрастающей актуальности технических решений устройства огнестойких систем вентиляции со стороны воздуховода более 1000 мм на территории Республики Беларусь с участием авторов настоящей статьи было разработано и введено изменение № 3 к СТБ 11.03.01-2009³³ (май 2024 г.), в котором предусмотрена возможность проведения испытаний и критерии оценки/распространения результатов на вентиляционные системы со стороны воздуховода более 1600 мм. При этом механизмы оценки результатов огневых испытаний со стороны воздуховода до 1000 мм остались неизменными.

Доработка существующего метода позволила сформулировать правила экстраполяции (распространения) результатов испытаний на воздуховоды аналогичной испытанной конструкции с длиной стороны от 1000 до 1600 мм. Результаты испытаний воздуховодов с размерами поперечного сечения от 1000 до 1600 мм включительно (для которых при испытаниях не регламентируется соотношение сторон) допускается распространять на воздуховоды аналогичной конструкции, размером, не превышающим размеры испытанного воздуховода, при этом соотношение размера поперечного сечения к испытанному должно быть не менее 0,5. Результаты испытаний воздуховодов с размерами поперечного сечения выше 1600 мм допускается распространять на воздуховоды аналогичной конструкции, размером, не превышающим размеры испытанного воздуховода более чем на 2 %. Величины максимального зазора вокруг воздуховода и минимальной толщины узла уплотнения проходки воздуховода через ограждающую конструкцию не должны быть превышены по сравнению с испытанными.

Заключение

1. Пожары, связанные с системами общеобменной вентиляции, являются достаточно редкими событиями, несущими серьезные потенциальные последствия, и уровень этих последствий не может быть отнесен к пренебрежительным. В большинстве случаев мероприятия по исключению указанных рисков могут быть предусмотрены и стандартизированы, однако редкий характер указанных событий и сложность систем общеобменной вентиляции обусловили достаточно долгий и сложный период их становления в истории противопожарного нормирования.

2. В настоящее время в нормах пожаробезопасного проектирования систем общеобменной вентиляции сложились следующие подходы:

³¹ Fire resistance tests for service installations. Ventilation ducts. Part 1: Ventilation ducts. BSI Standards Publication: BS EN 1366-1: 2014. – Was approved by CEN on 13.06.2014, Brussels, 2014. – 50 p.

³² Fire containment – Elements of building construction – Part 1: Ventilation ducts. International standard: ISO 6944-1: 2015. – 32 p.

³³ См. сноску 29.

- разделение систем вентиляции для помещений с различной пожарной опасностью и ограничением площади обслуживаемых помещений;
- использование негорючих воздуховодов для вентиляции, обслуживающей взрывоопасные и пожароопасные помещения;
- отделение венткамер, обслуживающих взрывоопасные и пожароопасные помещения, от остального объема здания противопожарными преградами;
- использование противопожарных клапанов в местах пересечения противопожарных преград в сочетании / либо путем огнезащиты воздуховодов с заданными пределом огнестойкости;
- использование огнестойких воздуховодов с заданными пределом огнестойкости в местах транзитной прокладки.

3. Сущность современной методики испытаний воздуховодов СТБ 11.03.01-2009 во многом перекликается с международным стандартом ISO 6944³⁴, при этом методика предусматривает испытания только закрытых (транзитных) воздуховодов без единого стандартного типоразмера, что вызывает определенные сложности при распространении результатов испытаний.

4. Результаты исследований позволили авторам подготовить предложения в изменение № 3 к СТБ 11.03.01-2009 (май 2024 г.), в котором предусмотрена возможность проведения испытаний и критерии оценки/распространения результатов на вентиляционные системы со стороной воздуховода более 1600 мм. Доработка существующего метода позволила сформулировать правила экстраполяции (распространения) результатов испытаний на воздуховоды аналогичной испытанной конструкции с длиной стороны от 1000 до 1600 мм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ) в рамках проекта Ф23В-013 «Анализ композитных строительных конструкций в условиях высокой температуры с использованием методов компьютерного моделирования» (государственная регистрация № 20230543).

ЛИТЕРАТУРА

1. Молчанов, Б.С. Проектирование промышленной вентиляции: пособие для проектировщиков / Б.С. Молчанов. – Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1970. – 228 с.
2. Наумов, В.Д. Большой строительный терминологический словарь-справочник: официальные и неофициальные термины и определения в строительстве, архитектуре, градостроительстве и строительной технике / В.Д. Наумов [и др.]; под ред. Ю.В. Феофилова. – Минск: Минсктипроект, 2008. – 812 с.
3. Грушевский, Б.В. Пожарная профилактика в строительстве: учебник для курсантов и слушателей пожар.-техн. училищ / Б.В. Грушевский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1989. – 366 с.
4. Захарченко, И.Р. Пожарная опасность вентиляционных систем / И.Р. Захарченко // Наука, техника и образование. – 2019. – № 8 (61). – С. 38–41. – DOI: 10.24411/2312-8267-2019-10803. – EDN: QLULAN.
5. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. – СПб.: Авок Северо-Запад, 2005. – 399 с.
6. Богословский, В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 / В.Н. Богословский [и др.]; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
7. Стомахина, Г.И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: справочное пособие / Г.И. Стомахина [и др.]. – М.: Изд-во «Пантори», 2003. – 275 с.
8. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция: учеб. для вузов: в 2 ч. Ч. 2. Вентиляция / В.Н. Богословский [и др.]. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 160–164.

³⁴ См. сноску 22.

**Развитие методов обеспечения пожарной безопасности систем
общеобменной вентиляции**

Development of methods of ensuring fire safety of general ventilation systems

Кудряшов Вадим Александрович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
пожарной безопасности, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, Беларусь, г. Минск

Email: vatkud@gmail.com

SPIN-код: 1417-4096

Vadim A. Kudryashov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Safety, Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Belarus, Minsk

Email: vatkud@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4889-1060

Панасик Александр Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет подготовки
руководящих кадров, магистрант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, Беларусь, г. Минск

Email: pasik182@rambler.ru

Aleksandr S. Panasik

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Administration Training Faculty,
graduate student

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Belarus, Minsk

Email: pasik182@rambler.ru

Коба Станислав Сергеевич

Учреждение «Научно-исследовательский
институт пожарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций» Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики
Беларусь, отдел полигонных испытаний,
главный специалист

Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, Минск, Беларусь

Email: kobastanislav31@gmail.com

Stanislav S. Koba

Institution «Scientific and Research Institute
of Fire Safety and Emergency Situations»
of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus,
Field Testing Department,
Chief Specialist

Address: Soltysa str., 183a,
220046, Minsk, Belarus

Email: kobastanislav31@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0236-9349

DEVELOPMENT OF METHODS OF ENSURING FIRE SAFETY OF GENERAL VENTILATION SYSTEMS

Kudryashov V.A., Panasik A.S., Koba S.S.

Purpose. To conduct a retrospective analysis of fire safety design regulations for general ventilation systems, as well as fire resistance testing methods for ductwork; to determine the significance of the concept of fire resistance within the fire safety framework for general ventilation systems.

Methods. The retrospective analysis was conducted based on regulatory documents and standards published for the past 100 years. International and domestic fire resistance testing standards for general ventilation systems were compared.

Findings. Fires associated with general ventilation systems are quite rare events that carry serious potential consequences, and the level of these consequences cannot be classified as negligible. In most cases, measures to eliminate these consequences can be provided for and standardized, however, the rare nature of these events and the complexity of general ventilation systems led to a rather long and difficult period of formation of the fire safety regulation system in the field of ventilation systems. Fire resistance of general ventilation ductwork, along with the installation of fire dampers, is one of the key aspects of limiting the spread of fire outside the service area.

The results of the research allowed the authors to prepare proposals for Amendment No. 3 to State Standards of the Republic of Belarus 11.03.01-2009 (May 2024), which provides for the possibility of conducting tests and criteria for assessing/extending the results to ventilation systems with an air duct side longer than 1600 mm. Refinement of the existing test method for air ducts made it possible to formulate rules for extrapolation (distribution) of test results for air ducts of a similar tested design with a side length from 1000 to 1600 mm.

Application field of research. The obtained results can be implemented in the system of fire safety regulation and standardization, in terms of concerning fire safety requirements for general ventilation systems, testing methods for ductwork for fire resistance and dissemination of test results.

Keywords: regulation, fire safety, general ventilation systems, fire resistance, ductwork, testing.

(The date of submitting: July 12, 2024)

REFERENCES

1. Molchanov B.S. *Proektirovanie promyshlennoy ventilyatsii [Industrial ventilation design]: a guide for designers.* Leningrad: Stroyizdat, 1970. 228 p. (rus)
2. Naumov V.D., Alyavdina T.I., Bedula N.V., Zholud' A.S., Zholud' T.V., Poslova T.G., Feofilova Yu.Yu., Frolova T.S. *Bol'shoy stroitel'nyy terminologicheskiy slovar'-spravochnik: ofitsial'nye i neofitsial'nye terminy i opredeleniya v stroitel'stve, arkhitekture, gradostroitel'stve i stroitel'noy tekhnike [Large Construction Terminology Dictionary: official and unofficial terms and definitions in construction, architecture, urban planning and construction technology].* Minsk: Minsktipproekt, 2008. 812 p. (rus)
3. Grushevskiy B.V., Kotov N.L., Sidoruk V.I. et al. *Pozharnaya profilaktika v stroitel'stve [Fire prevention in construction]: textbook for cadets and students of fire technical schools.* Moscow: Stroyizdat, 1989. 366 p. (rus)
4. Zakharchenko V.V. *Pozharnaya opasnost' ventilyatsionnykh system [Fire hazard of ventilation systems]. Science, Technology and Education, 2019. No. 8 (61). Pp. 38–41. (rus). DOI: 10.24411/2312-8267-2019-10803. EDN: QLULAN.*
5. Stefanov E.V. *Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukh [Ventilation and air conditioning].* Saint-Petersburg: Avok Severo-Zapad, 2005. 399 p. (rus)
6. Bogoslovskiy V.N., Pirumov A.I., Posokhin V.N. et al. *Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroystva [Internal sanitary engineering devices]: in 3 parts. Part 3. Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukh [Ventilation and air conditioning]. Book 1.* Moscow: Stroyizdat, 1992. 319 p. (rus)
7. Stomakhina G.I., Bobrovitskiy I.I., Malyavina E.G., Plotnikova L.V. *Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukh: Zhilye zdaniya so vstroenno-pristroennymi pomescheniyami obshchestvennogo naznacheniya i stoyankami avtomobiley. Kottedzhi [Heating, ventilation and air conditioning: Residential buildings with built-in and attached public premises and parking lots. Cottages]: reference manual.* Moscow: Pantori, 2003. 275 p. (rus)
8. Bogoslovskiy V.N., Novozhilov V.I., Simakov B.D., Titov V.P. *Otoplenie i ventilyatsiya [Heating and ventilation]: textbook for universities: in 2 parts. Part 2: Ventilyatsiya [Ventilation].* Moscow: Stroyizdat, 1976. Pp. 160–164. (rus)

**ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
статей для публикации в научном журнале
«Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси»**

1. Направляемые в Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси статьи должны представлять результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, краткие сообщения, комментарии к нормативным техническим документам, справочные материалы и т.п.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.). В этот объем входят таблицы, фотографии, графики, рисунки и список литературы.

3. Статья предоставляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала: <https://journals.ucp.by>.

4. Электронная версия статьи, подготовленная в текстовом редакторе Microsoft Word, предоставляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес: vestnik@ucp.by. Рисунки прилагаются дополнительно как отдельные файлы графического формата.

5. Материал статьи излагается в следующем порядке:

1) информация об авторах (на отдельном листе): фамилия, имя, отчество – полностью, ученая степень, ученое звание, место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны), должность, рабочий телефон, email (обязательно), имеющиеся персональные идентификационные номера в наукометрических базах (при этом обязательным является указание SPIN-кода РИНЦ, идентификатора ORCID). Если авторов несколько, указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;

2) номер УДК (универсальная десятичная классификация);

3) название статьи;

4) аннотация (не менее 200 и не более 300 слов) является основным источником информации о статье, может публиковаться самостоятельно в реферативных журналах и информационных системах в отрыве от основного текста и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Аннотация должна раскрывать: *цель* (определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования); *методы* (излагаются подходы, методы и технологии исследования); *результаты* (приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна); *область применения исследований* (описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость);

5) ключевые слова и словосочетания статьи (не более 12 слов);

6) дата поступления статьи (месяц и год);

7) введение; основная часть статьи; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

8) указание на источник финансирования (если статья подготовлена в рамках выполнения гранта научных исследований);

9) список цитированной литературы. Для каждого источника указывается (при наличии) его DOI. Эксперты международных наукометрических баз данных негативно воспринимают включение в список цитированной литературы источников локального характера (постановлений, законов, инструкций, неопубликованных отчетов, диссертаций, авторефератов и т.п.), электронных материалов и ресурсов сети Интернет. Поэтому ссылки на такие источники рекомендуем оформлять в виде постраничных сносок со сквозной нумерацией.

На отдельной странице на английском языке приводятся следующие сведения: информация об авторах; название статьи; аннотация, обязательно включающая следующие пункты: purpose, methods, findings, application field of research; ключевые слова и словосочетания; транслитерация на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы.

Для русскоязычных источников в транслитерации на латинице приводятся фамилия, имя, отчество авторов, названия статей, журналов (если нет англоязычного названия), материалов конференций, издательств и на английском языке – названия публикаций и выходные сведения (город, том и номер издания, страницы). Для транслитерации на латиницу следует применять систему транслитерации BGN, при этом можно использовать интернет-ресурсы, например сайт: <http://translit.net>.

Основные требования к оформлению статей, предоставляемых в научный журнал, и пример оформления статьи размещены на сайте издания: <https://journals.ucp.by>.

6. Содержание разделов статьи, таблицы, рисунки, цитированная литература должны отвечать требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 7.1-2003 и Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением ВАК Беларуси от 28 февраля 2014 г. № 3.

7. Редакция оставляет за собой право на изменения, не искажающие основного содержания статьи. Рукописи отклоненных статей авторам не возвращаются.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

Факультет заочного обучения

Проводит:

Подготовку по специальностям:

6-05-1033-01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» с присвоением квалификации «Инженер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Форма обучения – заочная. Полный срок обучения – 5 лет, сокращенный – 3 года.

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

Факультет безопасности жизнедеятельности

Проводит:

Переподготовку лиц с высшим образованием по специальностям:

9-09-1033-02 «Инжиниринг безопасности объектов строительства» с присвоением квалификации «Инженер». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

9-09-1033-03 «Промышленная безопасность» с присвоением квалификации «Инженер». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

По окончании обучения выдается диплом государственного образца о переподготовке на уровне высшего образования.

Повышение квалификации для руководящих работников и специалистов, имеющих высшее или среднее специальное образование, по образовательным программам:

- «Экспертная деятельность» (в пожарной безопасности);
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь»;
- «Промышленная безопасность»;
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности предприятий химической промышленности, хранения и переработки зерна, аммиачных и хлораторных установок»;
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности при обращении пиротехнических изделий»;
- «Безопасность горных работ»;
- «Экспертная деятельность в промышленной безопасности»;
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения в медицинских целях);
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения, в целях отличных от медицинских);
- «Основы обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (для лиц, участвующих в обеспечении ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации объектов использования атомной энергии);
- «Экспертиза безопасности в области использования атомной энергии (для работников, оказывающих услуги по проведению экспертизы безопасности в области использования атомной энергии)»;
- «Проектирование пунктов хранения радиоактивных отходов» для работников, оказывающих услуги в сфере проектирования;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Охрана труда»;
- «Защита от чрезвычайных ситуаций».

Обучающие курсы для лиц, имеющих профессионально-техническое и общее среднее образование, по образовательным программам:

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)»;
- «Защита от чрезвычайных ситуаций».

Семинары по образовательным программам:

- «Оказание первой помощи пострадавшим в ЧС»;
- «Расчет предела огнестойкости (железобетонных, металлических, деревянных, каменных строительных конструкций)»;
- «Расчет времени эвакуации людей при пожаре»;
- «Расчет температурного режима пожара в помещении»;
- «Расчет величины противопожарных разрывов между зданиями, сооружениями и наружными установками»;
- «Расчет площади легкобросываемых конструкций»;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Порядок проектирования пассивной противопожарной защиты зданий различного назначения»;
- «Оптимизация затрат на обеспечение требований пожарной безопасности на основании расчетных методов»;
- «Охрана труда в организациях непромышленной сферы».

Подготовку лиц к поступлению в учреждения образования Республики Беларусь по учебным предметам: математика, физика, русский язык, русский язык как иностранный, белорусский язык, английский язык, немецкий язык, французский язык, история, обществоведение, химия (очная/дистанционная форма обучения).

Обучение проводит профессорско-преподавательский состав университета и ведущие специалисты Республики Беларусь в области пожарной и промышленной безопасности.

Наш адрес: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25,
ФЗО: тел/факс +37517 340-71-89,
ФБЖ: тел. +37517 340-69-55, факс +37517 340-35-58, email: fpirk@ucp.by.

Дополнительная информация размещена на сайте университета: <http://ucp.by>
в разделе «Повышение квалификации»

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 8, № 3, 2024

Подписано в печать 20.08.2024.
Формат 60×84 ¹/₈.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 15,93. Уч.-изд. л. 10,61.
Тираж 35 экз. Заказ 063-2024.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/259 от 14.10.2016.
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.