



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал
Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси
(Journal of Civil Protection)
Том 5, № 2, 2021

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:

Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор – председатель; Богданова Валентина Владимировна, доктор химических наук, профессор – зам. председателя; Акулов Артем Юрьевич, кандидат технических наук (Россия); Альгин Владимир Борисович, доктор технических наук, профессор; Байков Валентин Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Бирюк Виктор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент; Волянин Ежи, доктор технических наук, профессор (Польша); Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильющонок 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; Ковтун Вадим Анатольевич, доктор технических 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); Лебедин Александр Владимирович, доктор военных наук, профессор; Пастухов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Украина); Порхачев Михаил Юрьевич, кандидат педагогических наук, доцент (Россия); Соколов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор (Россия); Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент; 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.

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.

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: (017) 340-53-93 (главный редактор)
(017) 341-32-99

Сайт Университета гражданской защиты: www.ucsp.by

E-mail редакции: vestnik@ucsp.by

ISSN 2519-237X (print)

ISSN 2708-017X (online)

© Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

Полевода И.И., Нехань Д.С. Огнестойкость центрифугированных железобетонных колонн	139
Лихоманов А.О., Камлюк А.Н. Длина начального участка осесимметричной турбулентной струи, образующейся в пенном розеточном оросителе для автоматических установок пожаротушения	159
Лихоманов А.О., Говор Э.Г., Камлюк А.Н. О взаимосвязях геометрических параметров оросителя, устойчивости и кратности получаемой пены	174
Журов М.М., Миканович Д.С., Рыжков М.Б. Устройство для подачи огнетушащего порошкового состава	186
Пасовец В.Н., Лахвич В.В., Антоненко М.А. Пожары на сельскохозяйственной технике и причины их возникновения	193
Пасовец В.Н., Лахвич В.В., Антоненко М.А., Сидарков В.А. Пути предотвращения пожаров на зерноуборочных комбайнах, возникающих за счет выделения тепла в узлах трения	206

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)

Котов Г.В. Концепция применения водяных завес при ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасных химических веществ	216
--	-----

Гражданская оборона

Бордак С.С., Карпилена Н.В., Субботин М.Н. Теоретические основы организации ликвидации последствий применения противником средств поражения: специальные принципы и терминологический аппарат организации	231
Бордак С.С., Ковтун В.А., Плескачевский Ю.М. Оценка эффективности мероприятий гражданской обороны при подготовке управленческих решений	241

Разное (обзоры)

Ковалева Т.Г., Дементьева Т.Г. Современные технологии иноязычного образования специалистов в сфере безопасности жизнедеятельности	251
Правила предоставления статей	261

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

- Palevoda I.I., Nekhan' D.S.** Fire resistance of spun reinforced concrete columns 139
- Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N.** The breakup length of axisymmetric turbulent jet in the foam deflector type sprinkler for automatic extinguishing systems 159
- Likhomanov A.O., Govor E.G., Kamluk A.N.** On the relationship between the sprinkler geometric parameters, stability and expansion rate of the generated foam 174
- Zhurov M.M., Mikanovich D.S., Ryzhkov M.B.** Extinguishing powder agent feeding device 186
- Pasovets V.N., Lakhvich V.V., Antonenko M.A.** Fires on agricultural machinery and their causes 193
- Pasovets V.N., Lakhvich V.V., Antonenko M.A., Sidarkov V.A.** The ways to prevent combine harvester fires arising from heat release in friction units 206

Safety in emergencies (technical sciences)

- Kotov G.V.** The concept of using water curtains at the elimination of emergency situations with the release of hazardous chemicals 216

Civil defense

- Bordak S.S., Karpilenya N.V., Subbotin M.N.** Theoretical foundations of the organization of elimination of consequences of using means of destruction by the enemy: special principles and terminological apparatus 231
- Bordak S.S., Kovtun V.A., Pleskachevskiy Yu.M.** Evaluation of the effectiveness of civil defense measures in the elaboration of management decisions 241

Miscellaneous (reviews)

- Kovaleva T.G., Dementyeva T.G.** State-of-the-art technologies of foreign language education of specialists in the sphere of life safety 251
- Rules of submitting articles for publication 261

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.139>

УДК 614.841.332:691.328.1::666.97.033.17

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН

Полева И.И., Нехань Д.С.

Цель. На основании экспериментальных и теоретических исследований изучить огнестойкость железобетонных колонн, изготовленных методом центрифугирования.

Методы. Экспериментально-теоретические исследования физико-механических и теплофизических характеристик центрифугированного бетона в нормальных условиях и при высокотемпературном нагреве. Натурные испытания центрифугированных железобетонных колонн под совместной температурно-силовой нагрузкой. Аналитическое решение теплотехнической и статической задач огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн. Компьютерное моделирование на базе платформ Ansys Workbench и ЛИРА-САПР.

Результаты. Выявлено различие физико-механических характеристик центрифугированного бетона в поперечном сечении конструкций заданной толщины в нормальных условиях, а также различие в их относительном изменении при высокотемпературном нагреве. Установлены экспериментальные зависимости коэффициента условий работы центрифугированного бетона при пожаре. Экспериментальным путем установлена схема разрушения центрифугированных железобетонных колонн при пожаре, а также изучено их поведение при пожаре. Выявлена сниженная склонность центрифугированного бетона к хрупкому взрывообразному разрушению при пожаре по отношению к вибрированному бетону. Установлено влияние неоднородности центрифугированного бетона в поперечном сечении изделий, тонкостенности и воздушной полости изделий на их огнестойкость. Разработана методика расчета пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн. Разработан табличный метод оценки пределов огнестойкости серии центрифугированных железобетонных колонн.

Область применения исследований. Результаты исследования могут быть использованы при оценке пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн, а также при разработке изменений в технические нормативные правовые акты в области оценки огнестойкости железобетонных конструкций.

Ключевые слова: центрифугированный бетон, коэффициент условий работы бетона при пожаре, натурные огневые испытания, предел огнестойкости, методика расчета, статический расчет, теплотехнический расчет, хрупкое взрывообразное разрушение бетона.

(Поступила в редакцию 27 апреля 2021 г.)

Введение

Современные тенденции строительства предполагают увеличение высоты возводимых зданий, пролетов, крановых нагрузок, технологического оборудования, что становится невозможным без применения конструкций, обладающих высокой несущей способностью. Одним из путей технического развития в области железобетонных конструкций является применение тонкостенных изделий эффективных форм и сечений, изготавливаемых по прогрессивным технологиям. Так, технология центрифугирования при производстве железобетонных конструкций позволяет не только сократить расходы бетона и стали, но также повысить их несущую способность и обеспечить ряд других преимуществ. На сегодня обоснована экономическая рентабельность применения центрифугированных железобетонных конструкций. Также известно, что снижение затрат на производство строительных конструкций является одним из основных условий роста конкурентоспособности государства. Именно поэтому изготовленные по данной технологии железобетонные конструкции нашли широкое

применение в качестве колонн одно- и многоэтажных зданий гражданского и промышленного назначения в Республике Беларусь и за ее пределами¹ [1].

Одним из основных требований, предъявляемых к зданиям и сооружениям, является обеспечение их пожарной безопасности. Огнестойкость строительных конструкций – одно из ключевых понятий в данной области, способствующее ее обеспечению². Отсутствие обширных исследований в области огнестойкости центрифугированных железобетонных конструкций не позволяет определить рациональную область их применения в строительной индустрии. Существующие методы оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций не могут быть корректно использованы для оценки данного показателя в вышеупомянутых изделиях, что обусловлено появлением в результате центрифугирования неоднородности бетона в поперечном сечении конструкций и наличием определенных конструктивных особенностей (воздушная полость, тонкостенность), влияющих на предельную сопротивляемость конструкций огневому воздействию^{3, 4, 5}. В связи с этим не гарантируются достоверность проводимых расчетов и, соответственно, обеспечение пожарной безопасности еще на этапе проектирования. Поэтому актуальным является проведение комплексных исследований, направленных на изучение огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн, и разработка на основе этого методики расчета пределов огнестойкости данных конструкций. Это позволит повысить пожарную безопасность современных зданий.

Изучению огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн посвящена настоящая работа. Достижение цели работы предполагало решение ряда задач:

Задача 1. Разработать методику и выполнить исследования физико-механических характеристик центрифугированного бетона в нормальных условиях и при высокотемпературном нагреве. На основании данных исследований оценить влияние технологии центрифугирования на изменение основных характеристик бетона в поперечном сечении изделия.

Задача 2. Разработать методику и провести натурные испытания центрифугированных железобетонных колонн под совместной температурно-силовой нагрузкой. На основании данных испытаний изучить их поведение и механизм разрушения при пожаре.

Задача 3. Провести теплотехнический и статический расчеты огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн с учетом экспериментальных исследований, на основе которых оценить влияние структурных и конструктивных особенностей данных конструкций.

Задача 4. Оценить возможность наступления хрупкого взрывообразного разрушения бетона (далее – ХР) в центрифугированных железобетонных конструкциях при пожаре.

Задача 5. Разработать методику расчета пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн, учитывающую влияние конструктивных и структурных особенностей данных конструкций на их огнестойкость. На основании расчета пределов огнестойкости серии центрифугированных железобетонных колонн в соответствии с данной методикой разработать табличный метод оценки пределов огнестойкости данных конструкций.

¹ Euro poles. Spun concrete. Benefits. BUILDINGS&SECURITY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.europoles.com/fileadmin/user_upload/09-downloads/product-information-europoles-columns-benefits-spun-concrete.pdf. – Дата доступа: 10.04.2020.

² Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ: принят 02.07.2013; вступ. в силу 01.08.2010 / постановление Совета Министров Респ. Беларусь. – Минск: Госстандарт, 2015. – 28 с.

³ Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости: ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). – Введ. 01.01.09 (с отменой на территории Респ. Беларусь П1-02 к СНБ 2.02.01-98). – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 135 с.

⁴ Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1992-1-2-2009 (02250). – Введ. 01.01.10. – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 96 с.

⁵ Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности: СП 468.1325800.2019. – Введ. 11.06.20. – М.: Стандартинформ, 2020. – 86 с.

Основная часть

Задача 1. Методика исследований физико-механических характеристик центрифугированного бетона в нормальных условиях и при высокотемпературном нагреве включает:

– изготовление методом центрифугирования бетонной стойки (класс бетона по прочности на сжатие $C^{32/40}$) кольцевого сечения наружным диаметром 950 мм с толщиной стенки 160 мм;

– отбор опытных образцов секторного сечения размерами 100×100×100 мм и 150×150×150 мм (базовый образец для изучения свойств конструкции в целом) из бетонной стойки путем послойного выпиливания в соответствии с ГОСТ 28570-90;

– определение плотности и прочности на сжатие бетонных образцов одной серии, в том числе на базовых образцах, в нормальных условиях;

– нагрев остальных серий образцов со скоростью роста температуры в печи 120–150 °С/ч до температур 200, 400, 600 и 800 °С соответственно, 4-часовая выдержка при заданной температуре и последующее охлаждение со скоростью остывания печи;

– определение плотности, прочности на сжатие образцов, а также количества удаленной воды из их структуры после нагрева.

Полученные данные по оценке структурной неоднородности центрифугированного бетона приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Физико-механические свойства центрифугированного бетона в нормальных условиях [2]

Слой (относительная толщина δ)	Плотность, кг/м ³	Фактический предел прочности на сжатие, МПа
Внутренний (0,3125)	2369 ± 164	33,6 ± 5,0
Средний (0,5)	2522 ± 182	41,3 ± 5,8
Наружный (0,6875)	2560 ± 202	45,1 ± 9,1
Образец в целом (0,5)	2479 ± 136	41,3 ± 5,4

Примечание. Под относительной толщиной понимается отношение расстояния от внутренней поверхности бетонной стойки до рассматриваемой точки к толщине стойки.

Учитывая повышение однородности в поперечном сечении центрифугированных железобетонных конструкций с уменьшением их толщины [2], были получены зависимости плотности центрифугированного бетона ρ_c , его сопротивления сжатию f_c от местоположения в конструкции и ее толщины:

$$\rho_c(\delta, b) = \rho_{c0} \cdot (1,002 - 0,64b + 1,2b\delta); \quad (1)$$

$$f_c(\delta, b) = f_{c0} \cdot (0,975 - 2,36b + 4,6b\delta), \quad (2)$$

где характеристика с индексом 0 соответствует конструкции в целом, b – толщина конструкции, м.

На рисунке 1 сплошными линиями показан характер изменения плотности бетонных образцов при нагреве, а штриховыми – количество удаленной воды из их структуры [2].

Плотность центрифугированного бетона с повышением температуры описывается следующими эмпирическими зависимостями [3]:

$$\text{при } 20\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C: } \rho_c(\theta, \delta, b) = \rho_c(\delta, b) \cdot \left[1 - 0,053 \cdot \frac{\theta - 20}{180} \right] \cdot \left[1 + (\delta - 0,5) \cdot 0,59b \cdot \frac{\theta - 20}{180} \right];$$

$$\text{при } 200\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C: } \rho_c(\theta, \delta, b) = \rho_c(\delta, b) \cdot \left[0,947 - 0,031 \cdot \frac{\theta - 200}{200} \right] \cdot \left[1 + (\delta - 0,5) \cdot \left(0,59 + 0,18 \cdot \frac{\theta - 200}{200} \right) b \right];$$

$$\text{при } 400\text{--}1200 \text{ }^\circ\text{C: } \rho_c(\theta, \delta, b) = \rho_c(\delta, b) \cdot \left[0,916 - 0,036 \cdot \frac{\theta - 400}{800} \right] \cdot [1 + (\delta - 0,5) \cdot 0,77b].$$

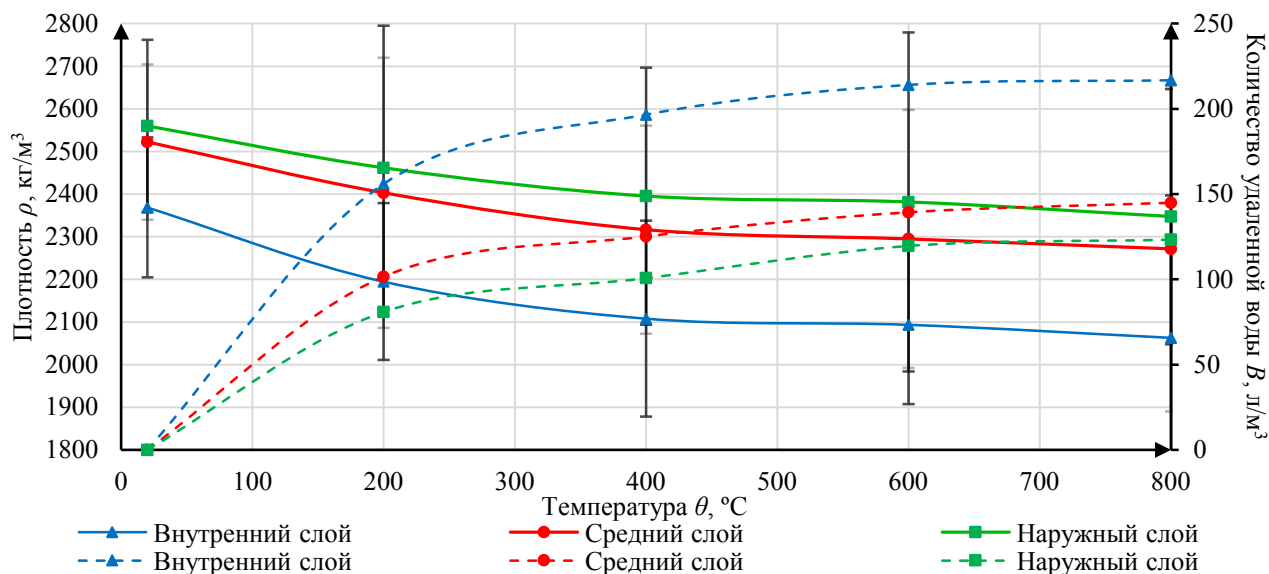


Рисунок 1. – Плотность и количество удаленной воды из структуры образцов центрифугированного бетона с ростом температуры

Стойкость центрифугированного бетона при нагреве, характеризуемая коэффициентом условий работы бетона при пожаре $k_c(\theta)$, изменяется от наружной к внутренней поверхности готового изделия. Более низкая стойкость к температурам до 700 °C характерна для внутренних слоев. Прочность наружного слоя при 800 °C исчерпана (рис. 2). При испытании образцов склонность к ХР не наблюдалась [4].

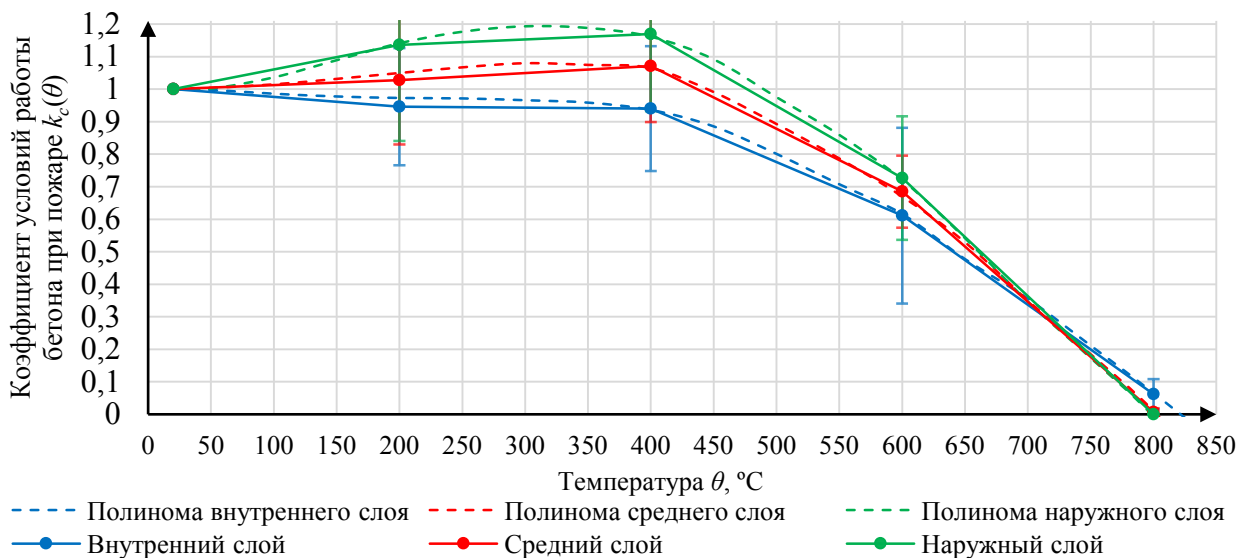


Рисунок 2. – Коэффициент условий работы бетона при пожаре $k_c(\theta)$ для послойно выпиленных образцов из центрифугированной бетонной стойки [4]

Подробное описание характера изменения физико-механических свойств центрифугированного бетона в поперечном сечении конструкции, в том числе при высокотемпературном нагреве, приведено в работах [2; 4].

Обработка экспериментальных данных позволила получить номограмму по определению $k_c(\theta)$ в сечении исследованной центрифугированной бетонной стойки [4], а также с учетом повышения однородности центрифугированного бетона в поперечном сечении изделий при уменьшении их толщины описать $k_c(\theta)$ следующей зависимостью:

$$k_c(\theta) = k_{c0}(\theta)[1 + 6,25b \cdot (\delta - 0,5) \cdot \text{tg } \varphi], \quad (3)$$

где $\text{tg } \varphi = 4,4 \cdot 10^{-12} \theta^4 - 3,8 \cdot 10^{-9} \theta^3 - 5,0 \cdot 10^{-6} \theta^2 + 0,004\theta - 0,079$.

Проведенные теоретические исследования водосодержания центрифугированной бетонной смеси B и влажности центрифугированного бетона W с учетом проведенного эксперимента [2; 3] позволили получить зависимости их изменения в поперечном сечении конструкций:

$$B(\delta, b) = B_0(0,98 + 4,71b - 9,44b\delta), \quad (4)$$

$$W(b, \delta) = W_0(1,0 + 6,1b - 12,3b\delta). \quad (5)$$

Полученные данные используются при решении статической и теплотехнической задач огнестойкости, а также при оценке возможности наступления ХР центрифугированного бетона при пожаре.

Задача 2. Методика натуральных испытаний центрифугированных железобетонных колонн под совместной температурно-силовой нагрузкой учитывает положения ГОСТ 30247.0-94, ГОСТ 30247.1-94 и ГОСТ Р 53309-2009 и предусматривает:

- изготовление двух центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения длиной 3,6 м наружным диаметром 560 мм с толщиной стенки 55 мм (из бетона класса по прочности на сжатие $C^{32}/40$), армированных пространственным каркасом (класс продольных арматурных стержней S500);
- проектирование и возведение экспериментального фрагмента здания размером 9000×3000×2750 мм, выполненного по каркасной конструктивной схеме, который состоит из двух центрифугированных железобетонных колонн и бескапитальной безбалочной монолитной железобетонной плиты перекрытия (далее – плита);
- возведение самонесущих стен из газосиликатных блоков с заданной площадью оконных и дверных проемов по периметру фрагмента;
- определение вида и количества пожарной нагрузки и ее размещение в объеме фрагмента;
- статическое нагружение конструкций фрагмента;
- размещение измерительных устройств и оборудования;
- наблюдение за поведением конструкций фрагмента здания с момента воспламенения пожарной нагрузки до разрушения одной из испытываемых конструкций;
- измерение температуры огневой газовой среды, арматуры, бетона на внутренней поверхности колонн, в том числе в месте узла соединения с плитой, и газовой среды в полости, а также избыточного давления (далее – ИД) в полости;
- фото- и видеofиксацию конструкций в процессе испытаний и после их окончания (рис. 3).



Рисунок 3. – Испытанный фрагмент здания

Подробное описание методики испытаний, а также конструкций фрагмента приводится в работах [5; 6].

Длительность натуральных огневых испытаний центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения под нагрузкой составила 68 мин 15 с. Температурный режим в объеме фрагмента был близок к температурному режиму стандартного пожара (рис. 4). Для

более детальной оценки прогрева каждой из колонн при решении теплотехнической задачи температурные воздействия на них в дальнейшем были разграничены.

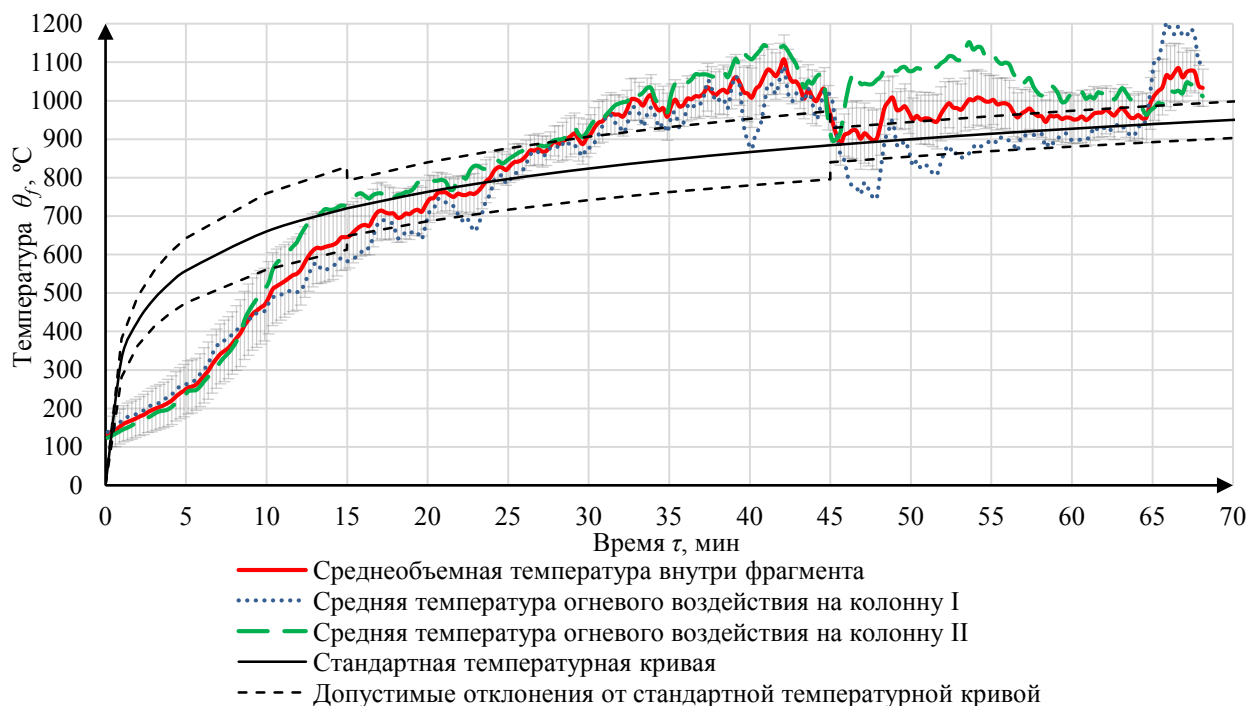
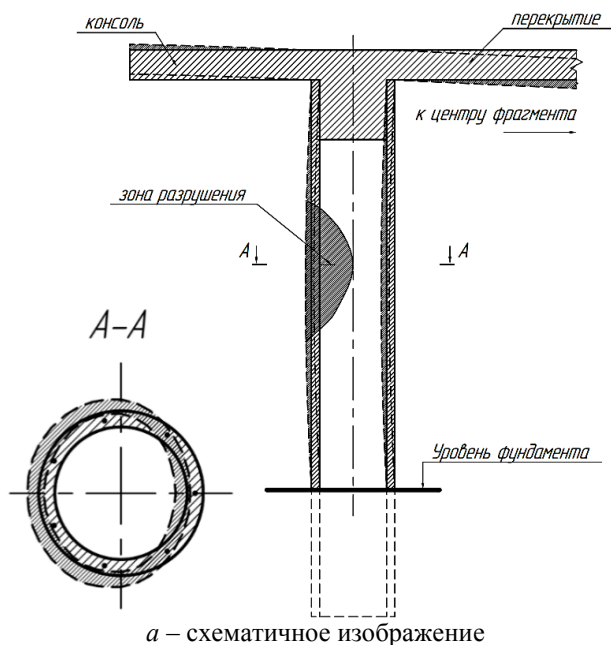


Рисунок 4. – Температура огневой газовой среды в процессе испытаний

Разрушение колонны II произошло в средней трети ее длины. Ему предшествовало образование магистральных спиралевидных трещин, направленных под углом 75–80° к плоскости земли, и нарастание деформаций изгиба (рис. 5). Разрушение колонны II привело к обрушению всего фрагмента.



б – вид колонны II с торцевой стороны фрагмента (на этапе его возведения и на 67-й мин испытаний)

Рисунок 5. – Механизм разрушения центрифугированной железобетонной колонны при пожаре

Фактический предел огнестойкости испытанных колонн составил не менее R69. В рассматриваемой каркасной конструктивной схеме данные конструкции оказались наиболее слабыми с точки зрения огнестойкости. ХР бетона в колоннах в процессе испытаний не наблюдалось.

Анализ экспериментальных данных показал, что температура арматурных стержней в момент обрушения фрагмента в колоннах I и II составила $(522 \pm 21)^\circ\text{C}$ и $(882 \pm 80)^\circ\text{C}$ соответственно, бетона на их внутренней поверхности $(517 \pm 47)^\circ\text{C}$ и $(848 \pm 224)^\circ\text{C}$. При этом выявлено, что стенки центрифугированных железобетонных колонн со свободной воздушной полостью имеют более высокую скорость прогрева, чем стенки в местах примыкания монолитной железобетонной шпонки (температура бетона на внутренней поверхности колонн в месте узла соединения в окончании испытаний оказалась в среднем на 224 и 314 °C соответственно ниже). Наблюдались стадии роста и стравливания ИД газовой среды в полости данных колонн. Максимальные значения ИД находились в пределах 0,15–0,16 МПа, когда внутренняя поверхность колонн прогрелась до температуры 125–140 °C, а газовая среда в полости – 110–120 °C. Характер прогрева колонн, а также изменения ИД и температуры газовой среды в их полости с течением времени испытаний, описание причин такого поведения представлены в работе [6].

Полученные данные совместно с исследованиями центрифугированного бетона позволили решить теплотехническую и статическую задачи оценки огнестойкости испытанных колонн.

Задача 3. Оценку предела огнестойкости колонн проводили зонным методом и методом изотермы 500 °C.

Для решения теплотехнической задачи была использована система конечно-элементного анализа *Ansys Workbench*. Объект моделирования – центрифугированные железобетонные колонны кольцевого сечения. Моделирование прогрева испытанных колонн осуществляли при теплофизических характеристиках бетона, взятых из ряда известных литературных источников^{6, 7, 8} [7–9], а также полученных в ходе экспериментально-теоретических исследований [3]. Теплофизические характеристики стали во всех случаях взяты из ТКП EN 1993-1-2-2009⁹. Параметры теплообмена между огневой газовой средой и обогреваемой поверхностью колонн приняты в соответствии с источником, из которого взята информация о теплофизических характеристиках бетона. Расчет параметров теплообмена между внутренней поверхностью испытанных колонн и газовой средой в их полости приведен в работе [10]. Поперечное сечение конструкции подвергнуто равномерному тепловому воздействию по внешнему периметру. Расчетная схема нагрева и краевые условия представлены на рисунке 6.

С учетом оптимальных временных трудозатрат и недопущения существенных погрешностей размеры ячейки (*Mesh*) приняты равными для бетона 2,75 мм (1/20 толщины стенки), для арматуры – 1,2 мм (1/10 диаметра).

В ходе решения теплотехнической задачи было выявлено отсутствие влияния газовой среды в полости конструкций кольцевого сечения, обогреваемых равномерно по всему наружному периметру, на температурное поле в них.

Далее производилась оценка влияния структурных и конструктивных особенностей центрифугированных железобетонных конструкций на их прогрев. Оценка влияния неоднородности центрифугированного бетона позволила получить коэффициент ускорения прогрева центрифугированной железобетонной конструкции за счет неоднородности бетона в ее поперечном сечении k_{het} (показывает отношение температуры бетона в неоднородной конструкции к его температуре в однородной) [11]:

$$k_{het} = 0,99 + 0,5b. \quad (6)$$

⁶ См. сноску 2.

⁷ См. сноску 3.

⁸ См. сноску 4.

⁹ Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1993-1-2-2009 (02250). – Введ. 01.01.10. – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 80 с.

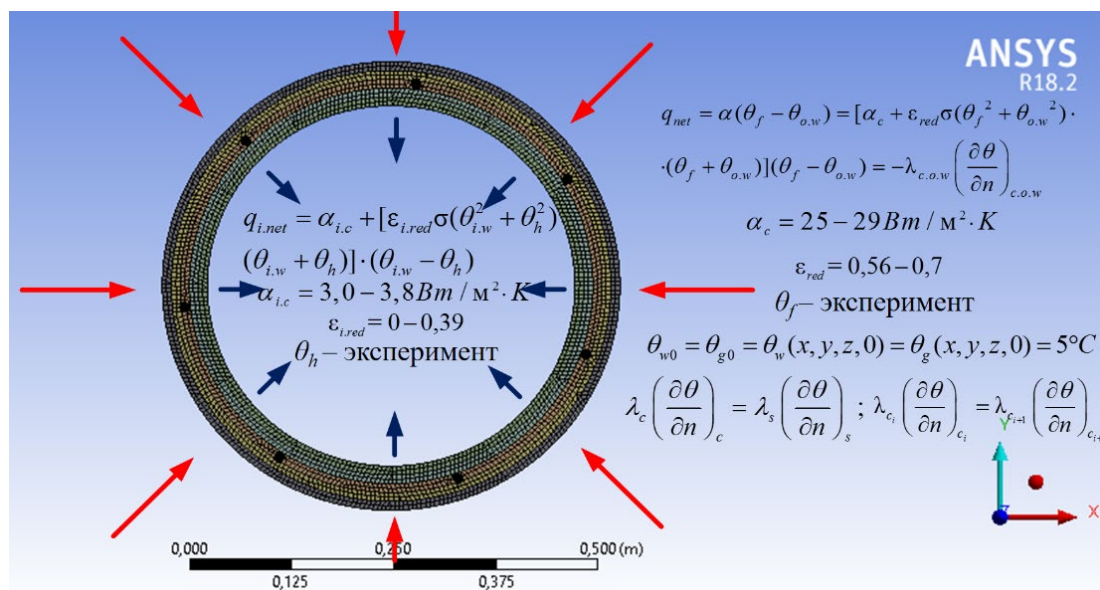


Рисунок 6. – Расчетная модель нагрева центрифугированной железобетонной колонны кольцевого сечения

Оценка влияния тонкостенности центрифугированных железобетонных конструкций на ускорение прогрева их сечения за счет раскрытия трещин в бетоне при пожаре производилась путем анализа экспериментальных температур до и после раскрытия трещин в колонне II. Это позволило установить зависимость коэффициента k_{th} , который учитывает данную составляющую прогрева изучаемых конструкций (равен не менее 1) [11; 12]:

$$k_{th} = 1 + 8,7 \cdot 10^{-3} \cdot (\theta_w - \theta_{cr.c.b}) \leq 1,40, \quad (7)$$

где θ_w – температура материала в сечении конструкции без учета трещинообразования, °C; $\theta_{cr.c.b}$ – температура начала раскрытия трещин, принимаемая равной 550 °C [12].

Моделирование прогрева серий железобетонных колонн кольцевого и круглого сечений заданных диаметров, подвергнутых стандартному огневому воздействию, в разрезе полного факторного эксперимента позволило оценить увеличение температур в сечении полых железобетонных колонн, обогреваемых по всему наружному периметру. Полученный в результате коэффициент k_{hol} , учитывающий данный эффект, адекватно корректирует формулу расчета температур в сечении конструкций круглого сечения из ТКП 45-2.02-110¹⁰ для конструкций кольцевого сечения [13]. Дополнительно коэффициентами k_{het} и k_{th} формула [13] была адаптирована для расчета температур в сечении центрифугированных железобетонных конструкций кольцевого сечения, подвергаемых воздействию стандартного температурного режима по всему наружному периметру [11–13]:

$$\theta_w = (\theta_{w0} + 1200 \cdot (1 - r)^2 \cdot \sqrt{D/(D - 2x)}) \cdot k_{hol} \cdot k_{het} \cdot k_{th}, \quad (8)$$

где D – диаметр конструкции, м; x – расстояние от обогреваемой поверхности до рассматриваемой точки, м; r – относительное расстояние¹¹.

Методика решения теплотехнической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных конструкций сводится к моделированию их прогрева в программном комплексе (далее – ПК) *Ansys Workbench* (при теплофизических характеристиках бетона по ТКП EN 1992-1-2-2009, стали по ТКП EN 1993-1-2-2009, граничных условиях по СН 2.01.03-

¹⁰ См. сноску 3.

¹¹ См. сноску 3.

2019¹²) и корректировке полученного температурного поля коэффициентами k_{het} и k_{th} . В случае воздействия по всему наружному периметру конструкции стандартного температурного режима пожара для решения теплотехнической задачи допускается использование адаптированной для центрифугированных железобетонных колонн формулы (8).

Проведенное моделирование прогрева испытанных колонн с учетом k_{het} и k_{th} при воздействии реальных температур греющей среды, а также расчет по формуле (8) показали приемлемую сходимость полученных температур с экспериментальными (рис. 11).

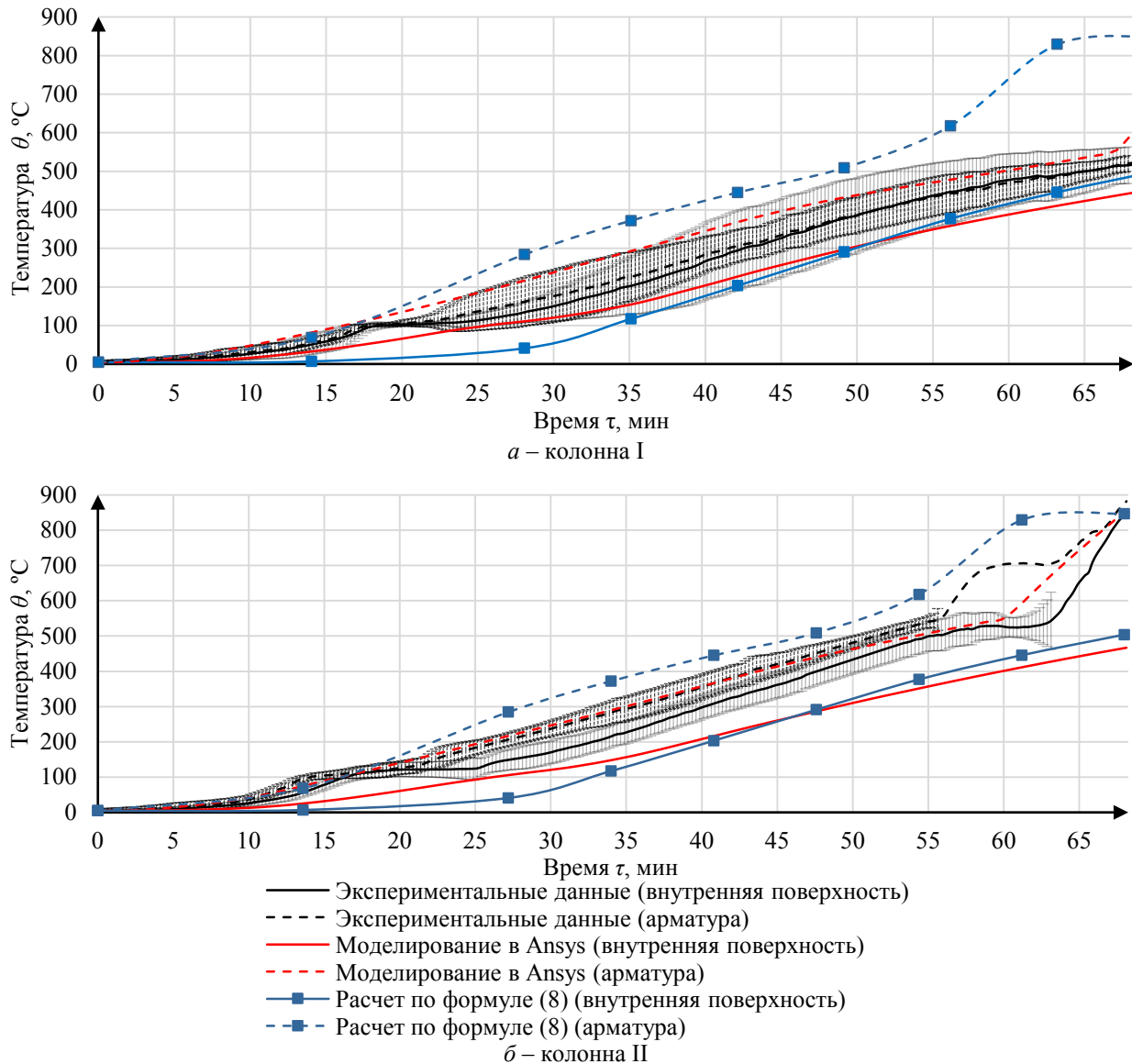


Рисунок 7. – Сопоставление экспериментальных и теоретических температур в сечении испытанных конструкций

Значения температур, полученные в ходе проведения теплотехнического расчета, в дальнейшем используются в статической части, которая решает задачу определения сопротивления колонн и статических усилий в заданный момент времени огневого воздействия.

Продольные усилия и изгибающие моменты от внешнего воздействия в поперечных сечениях колонн в начальных условиях определялись путем проведения статического расчета смоделированной рамы в ПК ЛИРА-САПР 2013 R5 (рис. 8). В модели учитывались фак-

¹² Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: СН 2.01.03–2019. – Введ. 01.01.10 (с отменой ТКП EN 1991-1-2-2009 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 43 с.

тическое расположение статической нагрузки на плите перекрытия, собственный вес элементов и их механические характеристики. При этом значения изгибной жесткости использованы с коэффициентами 0,4 для колонн и 0,3 – для плиты¹³.

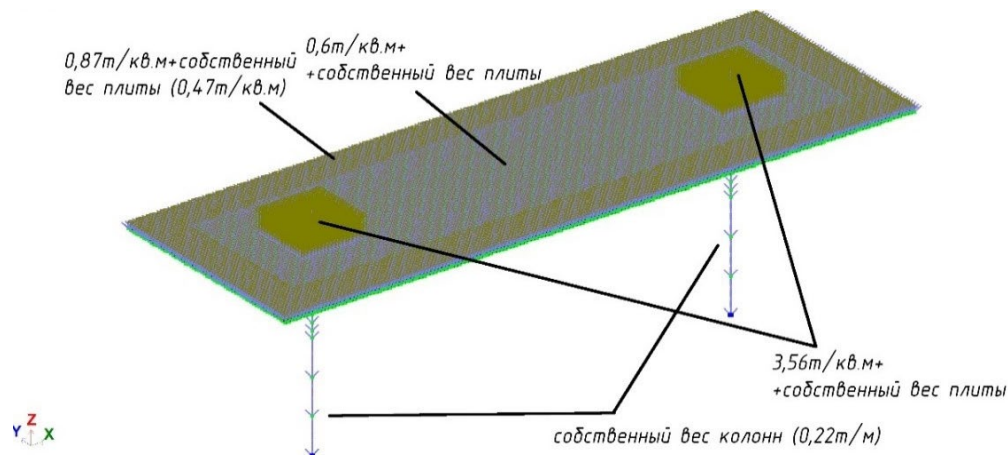


Рисунок 8. – Модель рамы для статического расчета

Продольная сила $N_{Ed,fi}$ в процессе испытаний принята неизменной и равной 183 кН (среднее среди значений во всех сечениях). Суммарный изгибающий момент в заданном сечении колонн $M_{Ed,fi}$ от внешнего воздействия был изменчивым в процессе огневых испытаний (задача 2) и определялся по формуле:

$$M_{Ed,fi} = N_{Ed,fi} (e_c \eta_a + e_0 + e_f + e_t), \quad (9)$$

где e_c – эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести сечения колонн в начальных условиях, м; η_a – коэффициент, учитывающий влияние продольного изгиба колонны на ее несущую способность, м; e_0 – случайный эксцентриситет, принятый равным 0,02 м¹⁴; e_f – эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения колонны, обусловленный ее поворотом вследствие прогиба плиты при пожаре, м; e_t – эксцентриситет от огневого воздействия (температурный), принятый равным 0 при всестороннем обогреве¹⁵ [9].

Поскольку во время испытаний разрушение колонны II началось в пределах средней трети ее длины, значения изгибающего момента и продольного усилия для определения e_c выбраны из сечения в средней трети длины колонны, в котором изгибающий момент максимален.

Так как железобетонная шпонка на протяжении всего времени испытаний являлась составной частью плиты (ее среза не произошло), значения e_f для каждой из опытных колонн определялись из геометрических соображений (рис. 9).

Перемещения плиты f_s и f_{kl}, f_{kll} во время испытаний взяты из работы [14].

При определении несущей способности колонн руководствовались результатами исследований внецентренно сжатых элементов кольцевого сечения [15], которые получили распространение в ТНПА^{16, 17}. Значения механических характеристик бетона и арматуры

¹³ Бетонные и железобетонные конструкции: СП 5.03.01-2020. – Введ. 01.07.03 (с отменой на территории Респ. Беларусь СНиП 2.03.01-84 и СНБ 5.03.01-02). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 244 с.

¹⁴ См. сноску 13.

¹⁵ См. сноску 5.

¹⁶ Руководство по проектированию, изготовлению и применению железобетонных centrifугированных конструкций кольцевого сечения // Науч.-исслед. ин-т бетона и железобетона Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1979. – 144 с.

¹⁷ Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: СП 63.13330.2018 – Введ. 20.06.19. – М.: Минстрой России, 2018. – 150 с.

взяты из ТКП EN 1992-1-1-2009¹⁸ исходя из их класса, а характер изменения механических характеристик с ростом температуры – из ТКП EN 1992-1-2-2009¹⁹. В статической части расчета при использовании зонного метода была учтена неоднородность механических характеристик центрифугированного бетона в поперечном сечении конструкции введением поправочного коэффициента k_{cor} при определении приведенного коэффициента снижения прочности бетона на сжатие k_C :

$$k_C = \frac{1}{n} \left(1 - \frac{0,2}{n} \right) \cdot \sum_{i=1}^n c_i \cdot k_{cor,i} \cdot k_{c,i}(\theta), \quad (10)$$

где n – количество зон; c_i – доля площади i -й зоны от общей площади сечения бетона.

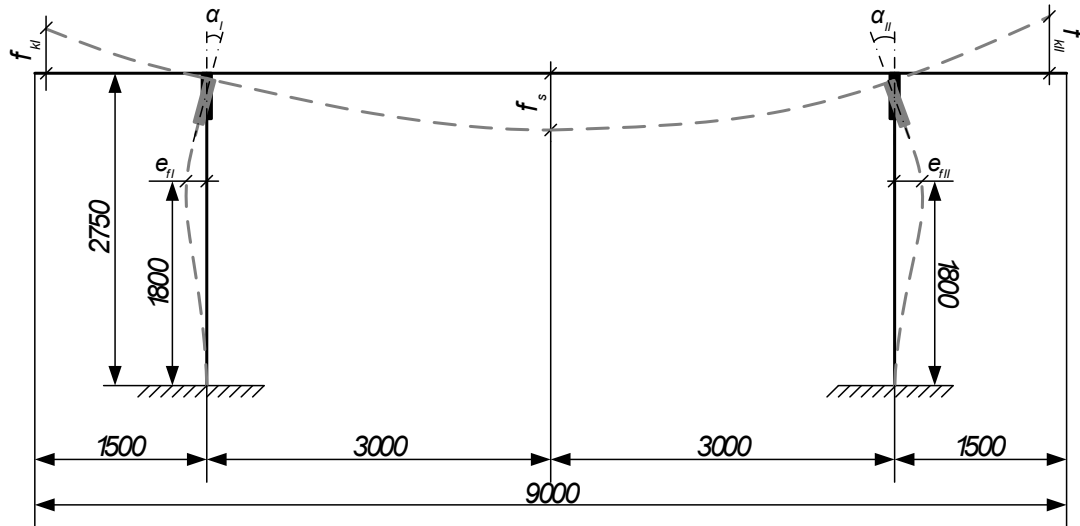


Рисунок 9. – Схема рамы к определению e_f

Коэффициент k_{cor} определяется следующим образом [4]:

$$k_{cor} = k_t \cdot k_p, \quad (11)$$

где k_t – коэффициент, учитывающий различие в $k_c(\theta)$ по сечению конструкции при заданной температуре, определяемый исходя из формулы (3):

$$k_t = 1 + 6,25b \cdot (\delta - 0,5) \cdot \text{tg} \varphi(\theta), \quad (12)$$

k_p – коэффициент, учитывающий различие прочности центрифугированного бетона по сечению конструкции в нормальных условиях, определяемый из формулы (2):

$$k_p = 0,975 - 2,3b + 4,6b\delta. \quad (13)$$

Сопротивление испытанных колонн изгибающему моменту и действующие изгибающие моменты в заданные моменты времени испытаний, рассчитанные с учетом структурных и конструктивных особенностей центрифугированных железобетонных конструкций и без данного учета, представлены на рисунке 10.

Поскольку при проведении натурных испытаний центрифугированных железобетонных колонн под совместной температурно-силовой нагрузкой (задача 2) разрушение колонны II привело к обрушению всего испытываемого фрагмента, анализ результатов расчета проведем на ней (табл. 2).

¹⁸ Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1-2009 (02250). – Введ. 10.12.09. – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 207 с.

¹⁹ См. сноску 4.

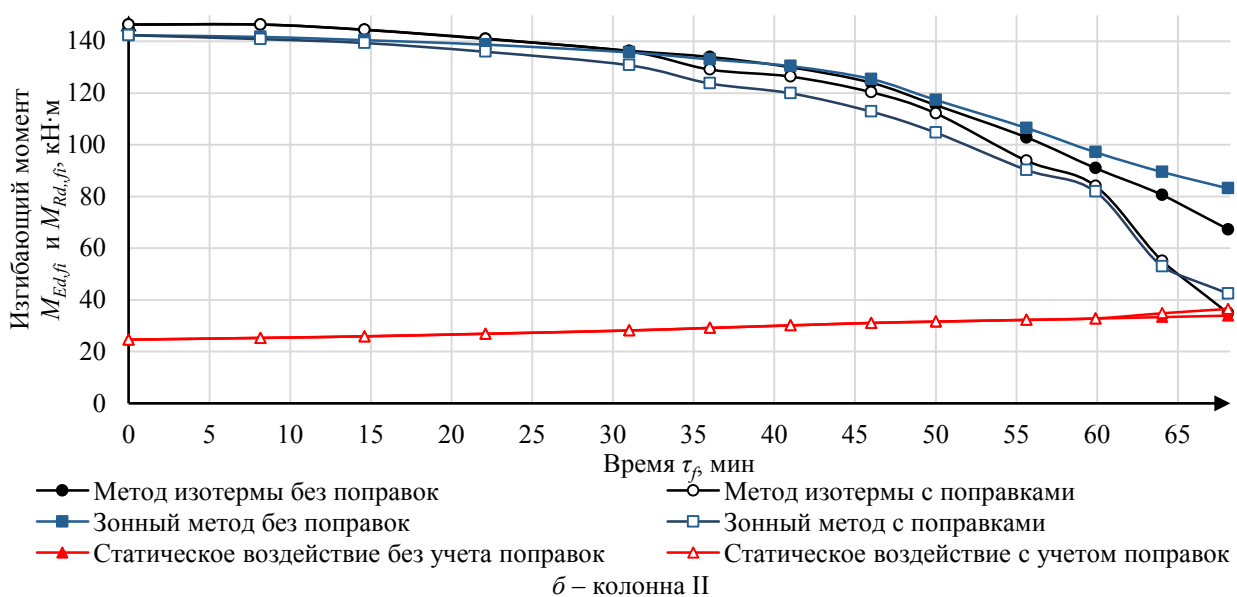
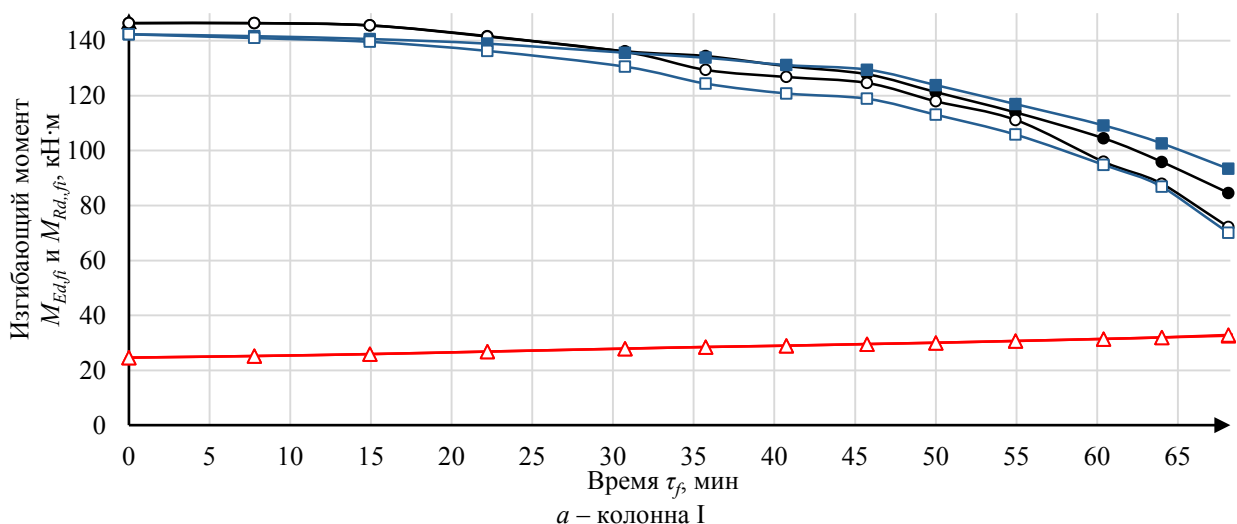


Рисунок 10. – Сопротивление центрифугированных железобетонных колонн и действующие изгибающие моменты на них во время огневых испытаний

Таблица 2. – Результаты расчетов предела огнестойкости испытанных центрифугированных железобетонных колонн

Метод расчета	Предел огнестойкости, мин		Отклонение результатов расчета от эксперимента, %
	Расчет	Эксперимент	
Зонный метод с поправками	70,1	68,25 ^{-0,002} _{-0,005}	2,7
Зонный метод без поправок	78,3		14,7
Метод изотермы с поправками	67,8		-0,7
Метод изотермы без поправок	97,4		42,7

Примечание. Знак «-» указывает на отклонение в меньшую сторону от экспериментального значения, отсутствие знака – в большую.

Расчет предела огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн традиционными методами не обеспечивает соответствующей безопасности при пожаре (табл. 2). Вместе с тем расчетное значение предела огнестойкости, полученное зонным методом с учетом конструктивных и структурных особенностей центрифугированных железобетонных конструкций, больше экспериментального всего на 2,7 %, а предел огнестойкости, рассчитанный методом изотермы с учетом поправок в теплотехнической части, вовсе оказался

ниже экспериментального на 0,7 %. Различие связано с пренебрежением температурным эксцентриситетом в формуле (9) и изгибающими моментами в сечении колонн, возникающими вследствие температурного расширения плиты.

Задача 4. Во время огневых испытаний (задача 2) доля пара, образующегося из физически и химически связанной воды в бетоне при нагреве конструкций, попадала во внутреннюю замкнутую полость колонн. Нагрев колонн и паровоздушной смеси (далее – ПВС) в их полости сопровождался ростом ИД в ней [6]. ИД ПВС в полости колонн по сравнению с приведенным сопротивлением бетона растяжению пренебрежимо мало, и оно не привело к преждевременной потере колоннами своей несущей способности при пожаре. В связи с этим в расчетах огнестойкости данное явление допустимо не учитывать.

В процессе анализа экспериментальных данных были выявлены причины отсутствия ХР бетона в центрифугированных железобетонных колоннах кольцевого сечения при проведении огневых испытаний:

- повышение газопроницаемости бетона при нагреве колонн (в нормальных условиях она составляет 0,8 МПа) (способствуют температурные деформации и трещинообразование в колоннах);

- наличие негерметичности в области сопряжения смежных конструкций (вследствие их деформирования);

- большая площадь поверхности (помимо внешней поверхности имеется внутренняя) по сравнению с конструкциями сплошного сечения (происходит усиленная фильтрация образующегося пара, что приводит к более интенсивному снижению давления в порах и капиллярах бетона);

- более эффективное перераспределение усилий в конструкциях кольцевого сечения (не образуются чрезмерно прогретые зоны подобно углам конструкций прямоугольного сечения);

- неоднородная структура бетона в поперечном сечении колонн (увеличение прочности бетона и снижение водосодержания от внутренней поверхности к периферии).

На основании экспериментальных исследований неоднородности центрифугированного бетона (задача 1) и теоретических исследований ряда характеристик, входящих в критерий ХР бетона по В.В. Жукову^{20, 21}, была получена зависимость поправочного коэффициента T_{sc} для оценки данного критерия в центрифугированных железобетонных конструкциях различной толщины:

$$T_{sc} \approx \frac{(0,975 + 2,24b - 2,3m)^{0,3} \cdot (1 - 6,2b + 6,15m)}{(1,002 + 0,56b - 0,6m)^{0,13} \cdot (0,98 - 4,73b + 4,72m)}, \quad (14)$$

где m – толщина защитного слоя бетона, м.

Определенные по формуле (14) значения T_{sc} для серии центрифугированных железобетонных колонн оказались меньше 1 (табл. 3), что свидетельствует о сниженной склонности центрифугированного бетона к ХР при пожаре по отношению к вибрированному бетону.

Таблица 3. – Значения коэффициента T_{sc}

Толщина конструкции b , мм	50		60		80		100		120	
Толщина защитного слоя бетона m , мм	10	20	10	25	12	34	12	44	14	53
Коэффициент T_{sc}	0,97	0,98	0,95	0,97	0,91	0,95	0,84	0,93	0,75	0,91

Примечание. Промежуточные значения T_{sc} определяются линейной интерполяцией.

Задача 5. Решение задач 1–3 позволило разработать методику расчета пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн (рис. 17), которая учитывает:

²⁰ См. сноску 4.

²¹ См. сноску 5.

- неоднородность характеристик центрифугированного бетона в поперечном сечении изделий, способствующую более скорому прогреву сечения [11] и снижению механических показателей бетона [4];
- наличие воздушной полости в изделиях, которая позволяет практически всему количеству теплоты, получаемой конструкцией при пожаре, аккумулироваться в сплошной части структуры конструкции [13];
- тонкостенность изделия, способствующая более раннему наступлению трещинообразования в конструкции и вследствие этого усиливающемуся прогреву [6].

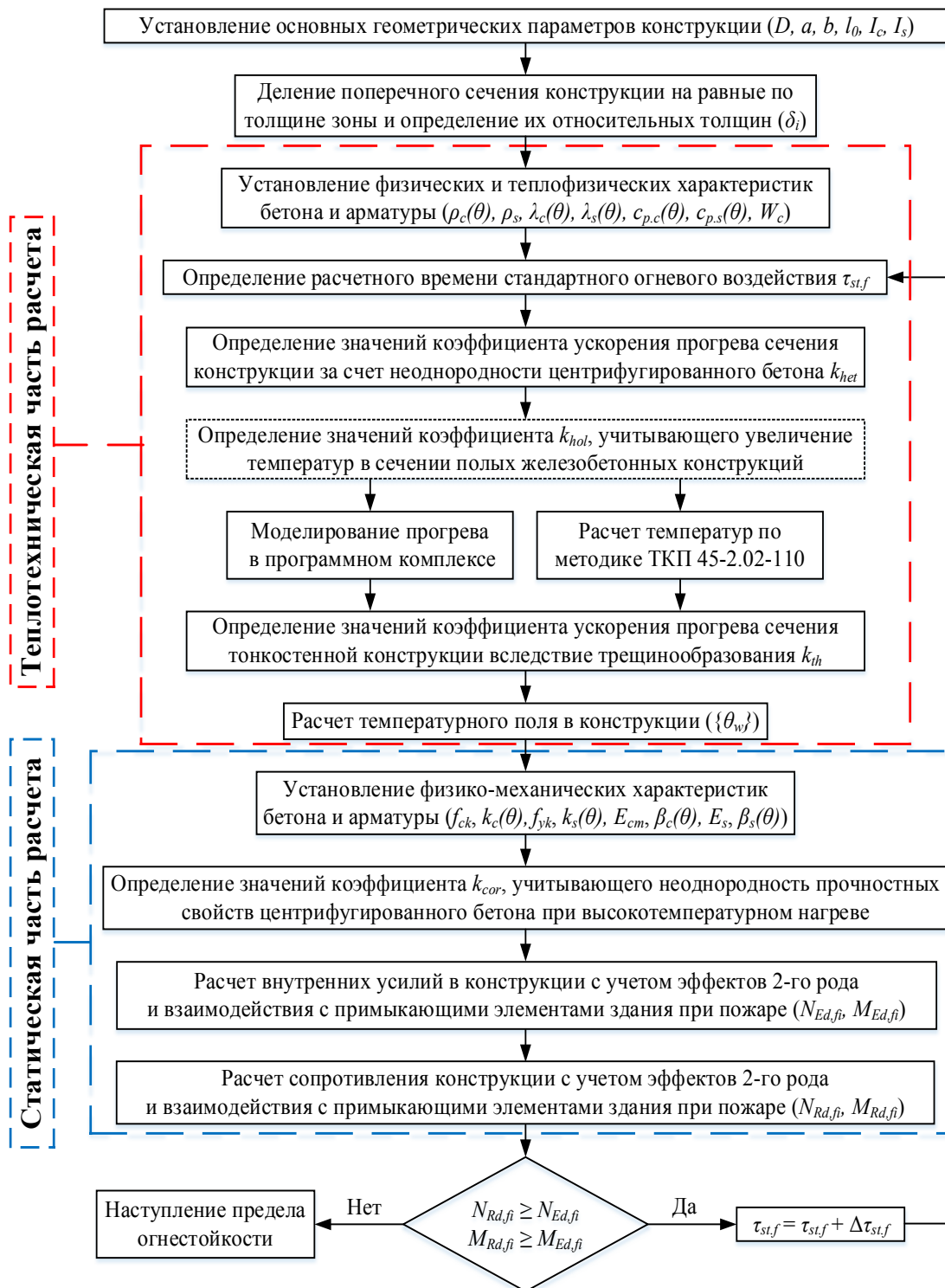


Рисунок 11. – Методика расчета пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн

При оценке пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн в соответствии с разработанной методикой используется зонный метод или метод изотермы 500 °С.

Проведенный с использованием зонного метода расчет пределов огнестойкости серии колонн²² (коэффициент условий закрепления конструкции не более 0,7) при различном коэффициенте использования их несущей способности η позволил свести полученные результаты в таблицу 4.

Таблица 4. – Предел огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн

Диаметр D , мм	Толщина b , мм	Коэффициент использования несущей способности η																																																					
		0,15						0,3						0,5						0,7																																			
		Расстояние до оси арматуры c , мм																																																					
		20-21*						25-27*						30						35						40						45						50						55						60					
300	50	R45						R45						R45						R30						R45																													
	60	R60						R60						R60						R45						R45																													
400	50	R45						R45						R45						R30						R45																													
	60	R60						R60						R60						R45						R45																													
	70	R90						R60						R60						R60						R60																													
500	50	R45						R45						R45						R30						R45																													
	60	R60						R60						R60						R45						R45																													
	70	R90						R60						R45						R60						R60																													
600	60	R60						R60						R45						R45						R45																													
	70	R90						R60						R60						R60						R60																													
	80	R120						R90						R90						R90						R90																													
	100	R120						R120						R90						R90						R90																													
700	60	R60						R60						R45						R45						R45																													
	70	R90						R60						R60						R60						R60																													
	80	R120						R90						R90						R90						R90																													
	100	R120						R120						R90						R90						R90																													
800	60	R60						R60						R60						R45						R45																													
	70	R90						R60						R60						R60						R60																													
	80	R120						R90						R90						R90						R90																													
	90	R150						R120						R120						R120						R120																													
	120	R180						R150						R150						R150						R150																													
1000	80	R90						R60						R60						R60						R60																													
	90	R120						R90						R90						R90						R90																													
	100	R150						R120						R120						R120						R120																													
	120	R180						R150						R150						R150						R150																													

Примечание. * – обеспечивается выполнением требований^{23, 24}.

²² См. сноску 16.

²³ См. сноску 13.

²⁴ См. сноску 16.

По таблице 4 без проведения расчета можно оценить предел огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн, а также установить параметры данных изделий, позволяющие обеспечить требуемый предел огнестойкости (табличный метод).

Заключение

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработана методика и выполнены исследования физико-механических свойств центрифугированного бетона в нормальных условиях и при высокотемпературном нагреве. Произведена оценка неоднородности физико-механических свойств центрифугированного бетона по сечению готового изделия в заводских условиях с учетом его толщины. Выявлено различие в относительном изменении физико-механических характеристик бетона при нагреве в зависимости от его расположения в поперечном сечении конструкции.

2. Установлены экспериментальные зависимости коэффициента условий работы центрифугированного бетона при пожаре. Стойкость центрифугированного бетона при нагреве изменяется от наружной к внутренней поверхности готового изделия. Более низкая стойкость к температурам до 700 °С характерна для внутренних слоев. При более высоких температурах они более стойки из-за меньшего содержания в своей структуре крупного заполнителя. Исчерпание прочности центрифугированного бетона на сжатие в периферийных слоях происходит при температуре, не превышающей 800 °С.

3. Разработана методика и проведены натурные испытания центрифугированных железобетонных колонн под совместной температурно-силовой нагрузкой (в составе фрагмента здания, выполненного по каркасной конструктивной схеме). Экспериментально установлена схема разрушения внецентренно-сжатых центрифугированных железобетонных колонн при пожаре, а также изучено их поведение при пожаре. Получены экспериментальные данные по прогреву центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения, подверженных огневому воздействию (близкому к стандартному) по всему наружному периметру, а именно: зависимости температур арматуры и бетона на внутренней поверхности конструкций от времени. Выявлено, что стенки колонн в месте узлового соединения с плитой перекрытия (примыкание монолитной железобетонной шпонки) имеют более низкую скорость прогрева. При этом зафиксированы экспериментальные значения температуры и избыточного давления газовой среды в полости данных колонн в процессе огневого воздействия.

4. Выявлена экспериментально и подтверждена теоретически сниженная склонность центрифугированного бетона к хрупкому взрывообразному разрушению при пожаре по отношению к вибрированному бетону. Усовершенствована для центрифугированных железобетонных конструкций методика оценки возможности наступления хрупкого взрывообразного разрушения бетона при пожаре, предложенная В.В. Жуковым.

5. Решены теплотехническая и статическая задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн, в том числе с применением метода конечных элементов в программно-вычислительных комплексах Ansys Workbench и ЛИРА-САПР. Установлены влияние неоднородности центрифугированного бетона в поперечном сечении изделий на их прогрев и снижение механических показателей бетона, а также влияние воздушной полости и тонкостенности изделий на их прогрев и несущую способность. Выявлено, что зонный метод и метод изотермы 500 °С, учитывающие особенности данных конструкций, допустимо применять при оценке их огнестойкости, а игнорирование указанных особенностей небезопасно с точки зрения обеспечения пожарной безопасности.

6. Разработана методика расчета пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн, которая учитывает структурные и конструктивные особенности данных изделий путем использования соответствующих поправочных коэффициентов. Разработан табличный метод определения пределов огнестойкости серии центрифугированных железобетонных колонн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шагая в ногу со временем / В.Г. Казачек [и др.] // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. – 2014. – № 16. – С. 111–113.
2. Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона / И.И. Полевода [и др.] // Наука и техника. – 2019. – Т. 18, № 4. – С. 319–329. DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-4-319-329.
3. Нехань, Д.С. Физические и теплофизические характеристики центрифугированного бетона в тонкостенных конструкциях / Д.С. Нехань // Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 2 дек. 2020 г. / ФГБОУ ВО «Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т». – Уфа, 2020. – С. 25–27.
4. Полевода, И.И. Поведение центрифугированного бетона при пожаре / И.И. Полевода, Д.С. Нехань, Д.С. Батан // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 455–469. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.455.
5. Исследования температуры газовой среды при проведении натуральных огневых испытаний строительных конструкций / Д.С. Нехань [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 130–141. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.130.
6. Полевода, И.И. Результаты натуральных огневых испытаний центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения / И.И. Полевода, Д.С. Нехань // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 142–159. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142.
7. Огнестойкость зданий / В.П. Бушев [и др.]; под общ. ред. В.А. Пчелинцева. – М.: Стройиздат, 1970. – 262 с.
8. Милованов, А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с.
9. Яковлев, А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А.И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
10. Полевода, И.И. Определение параметров теплообмена между внутренней поверхностью железобетонных колонн кольцевого сечения и газовой средой в их полости для решения теплотехнической задачи огнестойкости / И.И. Полевода, Д.С. Нехань // Пожарная и аварийная безопасность: сб. материалов XV Междунар. науч.-практ. конф., посв. 30-й годовщине МЧС России, Иваново, 17–18 нояб. 2020 г. / ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – Иваново, 2020. – С. 349–352.
11. Полевода, И.И. Решение теплотехнической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн / И.И. Полевода, Д.С. Нехань // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30, № 2. – С. 49–70. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.49-70.
12. Нехань, Д.С. Огнестойкость сжато-изгибаемых центрифугированных железобетонных конструкций / Д.С. Нехань, И.И. Полевода // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Минск, 7–8 апр. 2021 г. / Ун-т гражданской защиты МЧС Беларуси. – Минск, 2021. – С. 211–213.
13. Нехань, Д.С. Расчет температурного поля в сечении полых железобетонных колонн, обогреваемых по всему наружному периметру / Д.С. Нехань // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: сб. материалов Всероссийской науч.-практ. конф., посв. 30-летию МЧС России, Урал, 14–16 дек. 2020 г. / ФГБОУ ВО Уральский ин-т ГПС МЧС России. – Екатеринбург, 2021. – С. 122–127.
14. Результаты натуральных огневых испытаний железобетонного монолитного перекрытия в составе экспериментального фрагмента каркасного здания / В.А. Кудряшов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 49–66. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49.
15. Баташев, В.М. Прочность, трещиностойкость и деформации железобетонных элементов с многорядным армированием. – Киев: Будівельник, 1978. – 120 с.
16. Нехань, Д.С. Вплив надлишкового тиску газового середовища в порожнини центрифугованих залізобетонних конструкцій на їх несучу здатність при пожежі / Д.С. Нехань, І.І. Полевода // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали XII Міжнар. науково-практ. конф., Черкаси, 8–9 кві. 2021 г. / Черкаський ін-т пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного ун-ту цивільного захисту України: редкол. – Черкаси, 2021. – С. 201–203.

Огнестойкость центрифугированных железобетонных колонн
Fire resistance of spun reinforced concrete columns

Полевода Иван Иванович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»,
начальник университета
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: ip@ucp.by
ORCID: 0000-0003-2469-3553

Ivan I. Palevoda

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Head of University
Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: ip@ucp.by
ORCID: 0000-0003-2469-3553

Нехань Денис Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
безопасности, преподаватель
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: denis_nechany@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7838-4663

Denis S. Nekhan'

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Safety, Lecturer
Address: ul. Mashinostroiteley, 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: denis_nechany@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7838-4663

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.139>

FIRE RESISTANCE OF SPUN REINFORCED CONCRETE COLUMNS

Palevoda I.I., Nekhan' D.S.

Purpose. On the basis of experimental and theoretical studies to study the fire resistance of reinforced concrete columns made by spinning.

Methods. Experimental and theoretical studies of physical, mechanical and thermophysical characteristics of spun concrete under normal conditions and at high temperature heating. Full-scale test of spun reinforced concrete columns under joint temperature and static loads. Analytical solution of thermal and static problem of fire resistance of spun reinforced concrete columns. Simulating based on Ansys Workbench and LIRA-SAPR platforms.

Findings. The difference in the physical and mechanical characteristics of spun concrete in the cross-section of structures of a given thickness under normal conditions, as well as the difference in their relative change during high-temperature heating are revealed. Experimental dependences of working factor conditions of spun concrete at a fire have been established. A reduced tendency of spun concrete to brittle explosive destruction at a fire was revealed in relation to vibrated concrete. The influence of the heterogeneity of centrifuged concrete in the cross-section of the products, the thinness of the walls and the air cavity of the products on their fire resistance has been established. The destruction mechanism of spun reinforced concrete columns in case of fire has been established experimentally, and their behavior in case of fire has been studied. A reduced tendency of spun concrete to explosive destruction at a fire was revealed in relation to vibrated concrete. A method for calculating fire resistance limits of spun reinforced concrete columns has been developed. A tabular method for estimating the fire resistance of a series of spun reinforced concrete columns has been developed.

Application field of research. The results of the study can be used for the estimation of fire resistance limits of spun concrete columns, as well as for the development of amendments to technological regulations in the field of estimation of fire resistance of spun concrete structures.

Keywords: spun concrete, coefficient of concrete working conditions in case of a fire, full-scale fire tests, fire resistance limit, calculation method, static calculation, heat engineering calculation, brittle explosive destruction of concrete.

(The date of submitting: April 27, 2021)

REFERENCES

1. Kazachek V.G., Lazovskij D.N., Rak N.A., Tur V.V. Shagaya v nogu so vremenem [Keeping pace with the times]. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014. No. 16. Pp. 111–113. (rus)
2. Palevoda I.I., Zhamoydik S.M., Nekhan' D.S., Batan D.S. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv tsentrifugirovannogo betona [Study of Physical and Mechanical Properties of Centrifuged Concrete]. *Science and Technique*, 2019. Vol. 18, No. 4. Pp. 319–329. (rus). DOI: 10.21122/2227-1031-2019-18-4-319-329.
3. Nekhan' D.S. Fizicheskie i teplofizicheskie kharakteristiki tsentrifugirovannogo betona v tonkostennykh konstruktsiyakh [Physical and thermal characteristics of spun concrete in thin-walled structures]. *Proc. III Intern. scientific-practical conf. «Aktual'nye problemy i tendentsii razvitiya tekhnosfernoy bezopasnosti v neftegazovoy otrasli», Ufa, December 2, 2020.* Ufa State Petroleum Technical University. Ufa, 2020. Pp. 25–27. (rus)
4. Palevoda I.I., Nekhan' D.S., Batan D.S. Povedenie tsentrifugirovannogo betona pri pozhare [Behavior of Centrifuged Concrete in Case of Fire]. *Journal of Civil Protection*. 2018. Vol. 2, No. 4. Pp. 455–469. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.455.
5. Palevoda I.I., Nekhan' D.S., Batan D.S. Issledovaniya temperatury gazovoy sredy pri provedenii naturnykh ognevykh ispytaniy stroitel'nykh konstruktsiy [Temperature studies of the gaseous medium during full-scale fire tests of building constructions]. *Journal of Civil Protection*. 2020. Vol. 4, No. 2. Pp. 130–141. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.130.
6. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. Rezul'taty naturnykh ognevykh ispytaniy tsentrifugirovannykh zhelezobetonnnykh kolonn kol'tseвого secheniya [Results of full-scale fire test of spun reinforced concrete columns of annular section]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4. No. 2. Pp. 142–159. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142.

7. Bushev V.P., Pchelintsev V.A., Fedorenko V.S., Yakovlev A.I. *Ognestoykost' zdaniy* [Fire resistance of buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1970. 262 p. (rus)
8. Milovanov A.F. *Stoykost' zhelezobetonnykh konstruksiy pri pozhare* [Resistance of reinforced concrete structures in case of fire]. Moscow: Stroyizdat, 1998. 304 p. (rus)
9. Yakovlev A.I. *Raschet ognestoykosti stroitel'nykh konstruksiy* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 143 p. (rus)
10. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. *Opredelenie parametrov teploobmena mezhdu vnutrenney poverkhnost'yu zhelezobetonnykh kolonn kol'tseвого secheniya i gazovoy sredoy v ikh polosti dlya resheniya teplotekhnicheskoy zadachi ognestoykosti* [Determination of heat transfer parameters between the inner surface of annular-section columns and gaseous medium in their hollow for solving the thermal problem of fire resistance]. *Proc. XV Intern. scientific-practical conf. «Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'»*, Ivanovo, November 17–18, 2020. Ivanovo Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia. Ivanovo, 2020. Pp. 349–352. (rus)
11. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. *Resheniye teplotekhnicheskoy zadachi ognestoykosti tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn* [A solution to the thermal problem of fire resistance of spun reinforced concrete columns]. *Fire and Explosion Safety*, 2021. Vol. 30. No. 2. Pp. 49–70. (rus). DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.49-70.
12. Nekhan' D.S., Palevoda I.I. *Ognestoykost' szhato-izgibaemykh tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh konstruksiy* [Fire resistance of compressed-bend spun reinforced concrete structures]. *Proc. XV Intern. scientific-practical conf. «Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy»*, Minsk, April 7–8, 2021. University of Civil Protection of the MES of the Republic of Belarus. Minsk, 2021. Pp. 211–213. (rus)
13. Nekhan' D.S. *Raschet temperaturnogo polya v sechenii polykh zhelezobetonnykh kolonn, obogrevaemykh po vsemu naruzhnomu perimetru* [Calculation of the temperature of hollow reinforced concrete columns heated along the entire outer perimeter]. *Proc. All-Russian scientific-practical conf. «Aktual'nye problemy i innovatsii v obespechenii bezopasnosti»*, Ural, December 14–16, 2020. Ural Institute of State Fire Service EMERCOM of Russia. Ekaterinburg, 2021. Pp. 122–127. (rus)
14. Kudryashov V.A., Zhamoydik S.M., Kurachenko I.Yu., Nguyen T.K. *Rezultaty naturnykh ognevnykh ispytaniy zhelezobetonno monolitnogo perekrytiya v sostave eksperimental'nogo fragmenta karkasnogo zdaniya* [Results of full-scale fire tests of the monolithic reinforced concrete slab as part of a fragment of a frame building]. *Journal of Civil Protection*. 2021. Vol. 5, No. 1. Pp. 49–66. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49.
15. Batashev V.M. *Prochnost', treshchinostoykost' i deformatsii zhelezobetonnykh elementov s mnogorядnym armirovaniem* [Strength, crack resistance and deformation of reinforced concrete elements with multi-row reinforcement]. Kiev: Budivel'nik, 1978. 120 p. (rus)
16. Nekhan' D.S., Palevoda I.I. *Vpliv nadlishkovogo tisku gazovogo seredovishcha v porozhnini tsentrifugovannykh zalizobetonnykh konstruksiy na ikh nesuchu zdatsnist' pri pozhezhi* [Influence of excess pressure of gaseous medium in cavities of centrifuged reinforced concrete structures on their bearing capacity in case of fire]. *Proc. XII Intern. scientific-practical conf. «Teoriya i praktika gasinnya pozhezh ta likvidatsii nadzvichaynikh situatsiy»*, Cherkasy, April 8–9, 2021. Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine. Cherkasy, 2021. Pp. 201–203. (ukr)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.159>

УДК 614.844.5:614.844.2

ДЛИНА НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ТУРБУЛЕНТНОЙ СТРУИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ В ПЕННОМ РОЗЕТОЧНОМ ОРОСИТЕЛЕ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Лихоманов А.О., Камлюк А.Н.

Цель. Выполнить анализ теоретических подходов к описанию структуры осесимметричных турбулентных струй, а также к расчету их начального участка в режиме распыливания. Теоретически рассчитать длину дужек пенного розеточного оросителя (т.е. расстояние от выходного отверстия оросителя до его розетки), при которой происходит наиболее интенсивное пенообразование, и сопоставить полученный результат с экспериментальными данными.

Методы. В ходе работы использовался ряд теоретических методов исследования (анализ, синтез, сравнение) для изучения подходов к описанию и расчету осесимметричных турбулентных струй, а также для сопоставления теоретически рассчитанных данных по длине дужек пенного розеточного оросителя с результатами эксперимента.

Результаты. Сформулирована гипотеза об оптимальной длине дужек L пенного розеточного оросителя с целью обеспечения наиболее интенсивного пенообразования в нем: оптимальная длина дужек должна равняться длине начального участка струи, образующейся на выходе из штуцера оросителя L_n , т.е. $L = L_n$. Рассчитаны нижний и верхний пределы диапазона значений длины начального участка струи воды, образующейся на выходе из штуцера розеточного оросителя определенной геометрии: $117 \leq L_n \leq 201$ мм.

При экспериментальном определении кратности пены (характеризует интенсивность пенообразования), генерируемой розеточным оросителем, для которого выполнялся теоретический расчет, оптимальное по данной характеристике пены значение длины дужек оказалось равным $L = 114 \pm 4$ мм, что согласуется с теорией с поправкой на более низкий коэффициент поверхностного натяжения пенообразующего раствора по сравнению с обычной водой. Кроме того, предложено выражение для расчета длины начального участка струи для рассматриваемого штуцера пенного розеточного оросителя, которое в первом приближении может быть применено для оценки значения L_n при использовании разных марок и типов пенообразователей, а также при распыливании в газе с иной плотностью.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего изучения процесса пенообразования в розеточных оросителях для автоматических установок пожаротушения с целью повышения их огнетушащей эффективности. Предложенное выражение для расчета длины начального участка образующейся на выходе из пенного розеточного оросителя струи может быть применено для оценки значения данного параметра при использовании разных марок и типов пенообразователей, а также при распыливании в газе с иной плотностью.

Ключевые слова: распыливание, начальный участок струи, автоматическая установка пожаротушения, ороситель, пена, кратность пены, геометрические параметры оросителя, длина дужек оросителя.

(Поступила в редакцию 27 апреля 2021 г.)

Введение

Динамика осесимметричной турбулентной струи является классической задачей гидродинамики, в связи с чем ее решению посвящено множество научных работ. В таких струях любые параметры среды (скорость, температура, давление, плотность) могут испытывать хаотические колебания, т.е. изменяются от точки к точке и во времени случайным образом.

На распад турбулентной струи на более мелкие структуры оказывает влияние масса факторов, в частности кавитация и турбулентность, обуславливаемые скоростью потока, особенностями конструкции и шероховатостью поверхности насадка [1; 2], физическое

и термодинамическое состояния жидкости и окружающей среды, а вне проточного тракта дополнительно происходит аэродинамическое взаимодействие (силы взаимодействия вещества струи со средой, в которой оно распространяется) [3–7].

При подаче жидкости через отверстие некоторого диаметра в открытое пространство образовавшаяся струя находится в непосредственном взаимодействии с окружающей средой (например, каким-либо газом с плотностью ρ_g), при этом в результате взаимного действия сил инерции, поверхностного натяжения, вязкого трения и аэродинамических сил совершается работа по образованию дополнительной поверхности – на внешней продольной границе струи возникают возмущения (волны), при увеличении амплитуды колебаний которых до определенного критического значения нарушается целостность струи и происходит ее постепенное дробление с образованием мелких структур (лигаментов) и капель [7–10].

Происходит это по следующей причине: при возникновении некоторого сколь угодно малого возмущения на поверхности струи давление окружающей среды, согласно уравнению Бернулли, будет понижено над гребнем волны и повышено у ее подошвы за счет разницы скоростей среды в данных областях [9]. Вследствие понижения давления над гребнем волны ее амплитуда растет, что в конечном счете и приводит к отрыву капли с поверхности струи при превышении аэродинамических сил над силой поверхностного натяжения жидкости [5; 10].

Процесс распада струи, не только турбулентной, может протекать в нескольких режимах, которые отражают различия в его динамике при изменении рабочих параметров (например, давления) [11]. Данное деление основано на некотором главенствующем эффекте или силе, которая оказывает наибольшее влияние на распад струи в том или ином режиме. Как упоминалось ранее, основными силами, участвующими в распаде струи, являются силы инерции, поверхностного натяжения, вязкого трения и аэродинамические силы.

Таким образом, выделено четыре главных режима распада струи, которым соответствуют определенные комбинации указанных сил: режим распада Рэлея, первый аэродинамический режим, второй аэродинамический режим и режим распыливания [11]. Для оценки соотношения между силами используются характеристические числа Рейнольдса Re (отношение сил инерции к силам вязкого трения), Онезорге Oh (отношение сил вязкого трения к силам поверхностного натяжения и инерции) и Вебера We (отношение сил инерции к поверхностному натяжению) [12]:

$$Re = \frac{uD_h}{\nu}; \quad Oh = \frac{\eta}{\sqrt{\sigma\rho D_h}}; \quad We = \frac{\rho D_h u^2}{\sigma}, \quad (1)$$

где u – характерная скорость, м/с; D_h – гидравлический диаметр, м; ν – кинематическая вязкость, м²/с; η – динамическая вязкость среды, Па·с; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; ρ – плотность, кг/м³.

Для определения режима распада струи, как правило, используют специальные диаграммы (рис. 1), предварительно определив характеристические числа Re , Oh и We для рассматриваемого случая [12–15]. Пунктирные линии на представленных диаграммах являются не строгими границами, а некоторыми переходными областями между двумя соседними режимами.

В режиме распада Рэлея (рис. 1а) доминирующей является сила поверхностного натяжения, в то время как влияние сил инерции, вязкого трения и аэродинамических сил на распад струи практически сводится к нулю [10; 16]. Небольшие волнения в потоке жидкости и действие силы поверхностного натяжения влекут возникновение осесимметричных колебаний в струе, что в итоге приводит к ее распаду. Как правило, средний диаметр образующихся капель в данном режиме распада приблизительно равен двум гидравлическим диаметрам выходного отверстия насадка [16]. В первом аэродинамическом режиме (рис. 1б) с увеличением скорости струи повышается и влияние аэродинамических сил. Амплитуда

и частота колебаний в струе возрастает, и ее разрушение происходит раньше по сравнению с режимом распада Рэлея [10]. Диаметр образующихся при распаде капель в среднем равен гидравлическому диаметру отверстия насадка [16]. При дальнейшем повышении скорости струи все большее влияние на ее распад оказывают силы инерции, вязкого трения и аэродинамические силы, которые приводят к возникновению поперечных волн в струе и образованию капель в том числе на боковой поверхности на относительно малом расстоянии от выходного отверстия насадка [10]. Данный эффект наблюдается во втором аэродинамическом режиме и режиме распыливания (рис. 1*в* и 1*г*). Диаметр образующихся в данных режимах распада струи капель существенно меньше гидравлического диаметра отверстия насадка [16].

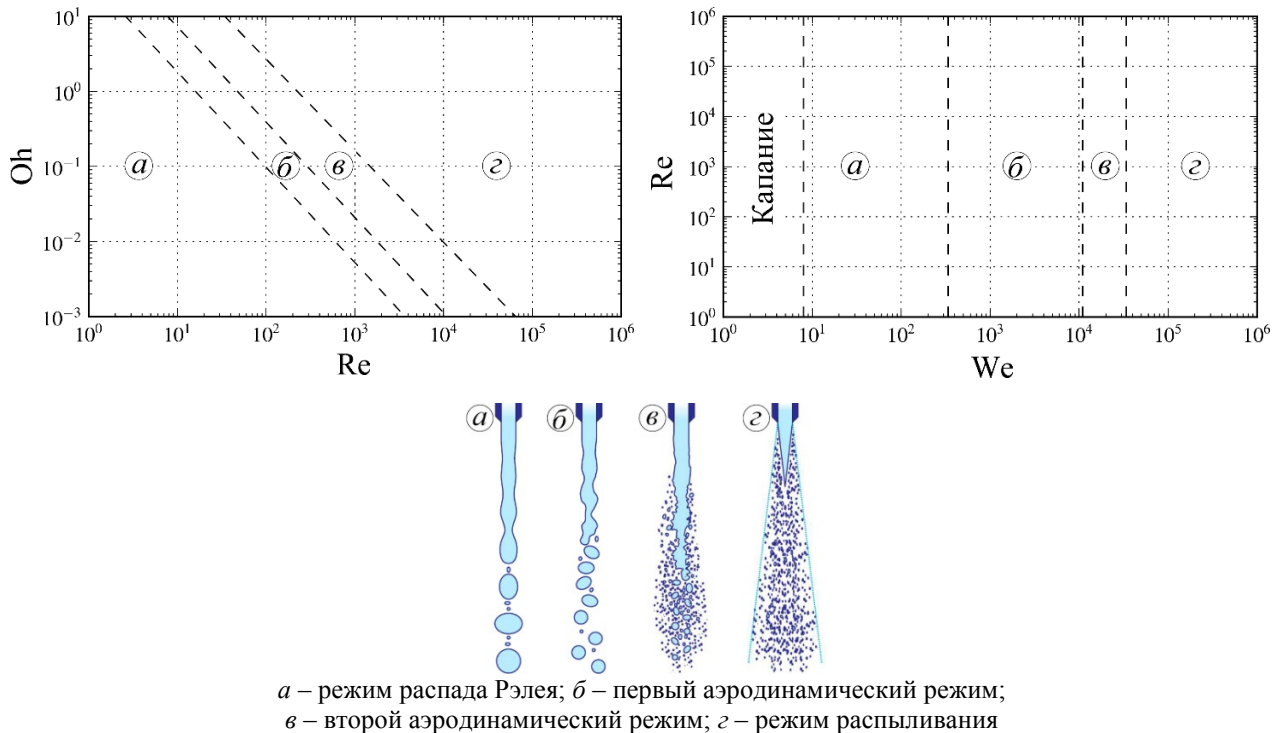
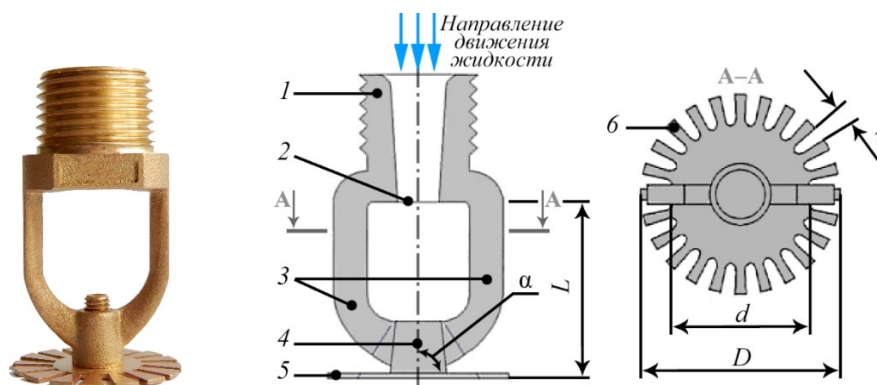


Рисунок 1. – Диаграммы режимов распада струи и ее схематичный вид

В данной работе внимание будет уделено динамике и характеристикам струй, образующихся в пенных розеточных оросителях для автоматических установок пожаротушения (рис. 2). Скорость турбулентных струй на выходе из таких оросителей достаточно высока (более 10 м/с), в связи с чем наблюдается второй аэродинамический режим распада либо режим распыливания. Распространение струи происходит, как правило, в покоящемся газе при нормальных условиях. Такие струи наиболее изучены и их принято называть затопленными [17].

Принципиальная схема затопленной турбулентной струи представлена на рисунке 3 [18–21]. Различают начальный участок струи, состоящий из ядра с постоянным значением продольной скорости u_0 (равна скорости струи в начальном сечении на срезе сопла) и пограничного слоя, в котором продольная скорость меняется от значения u_0 до нуля на внешней границе струи [20]. Пограничный слой, как уже было сказано ранее, возникает главным образом в результате действия аэродинамических сил и представляет собой область конечной толщины с непрерывным распределением скорости, температуры и концентрации вещества. Утолщение пограничного слоя, состоящего из увлеченных частиц окружающей среды и заторможенных частиц струи, приводит, во-первых, к увеличению поперечного сечения, а во-вторых, к утончению ядра струи [21]. Между начальным и основным участками струи находится переходный участок, длина которого, как правило, принимается равной нулю и указывается лишь переходное сечение струи. За переходным участком (сечением) струйное течение приобретает характер течения жидкости из источника бесконечно малой

толщины – это основной участок струи. «Размывание» струи по мере удаления от выходного отверстия насадка выражается не только в увеличении поперечного сечения, но и в непрерывной деформации скоростного профиля. Теория и многочисленные опыты разных авторов свидетельствуют о том, что чем дальше от начала струи выбрано сечение, тем «ниже» и «шире» профиль скорости [21], что и показано на принципиальной схеме на рисунке 3. При этом, как было сказано ранее, в ядре струи продольная скорость сохраняется практически постоянной и равной начальной, а за пределами начального участка начинает постепенно падать.



1 – штуцер; 2 – выходное отверстие; 3 – дужки; 4 – винт; 5 – розетка; 6 – лопасть;
 L – длина дужек; α – угол конусности лопастей; τ – угловой шаг лопастей;
 d – внутренний диаметр розетки; D – внешний диаметр розетки

Рисунок 2. – Пенный розеточный ороситель и его геометрические параметры

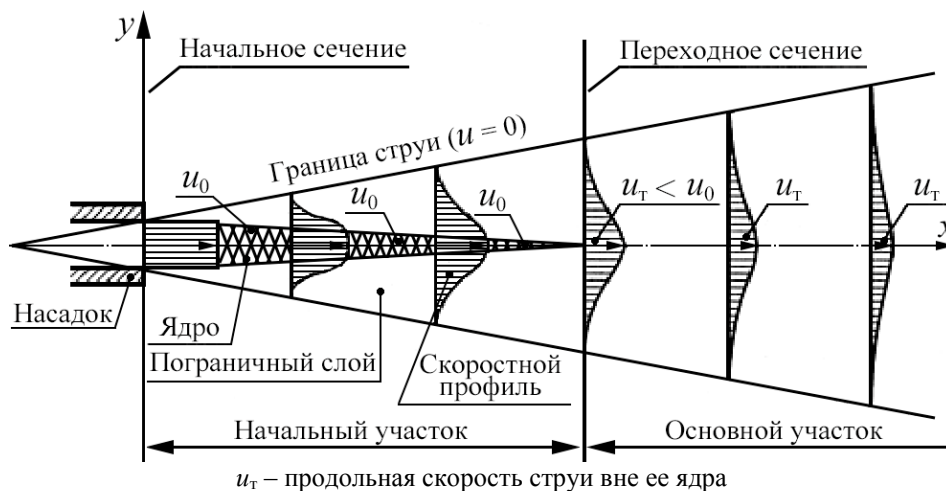


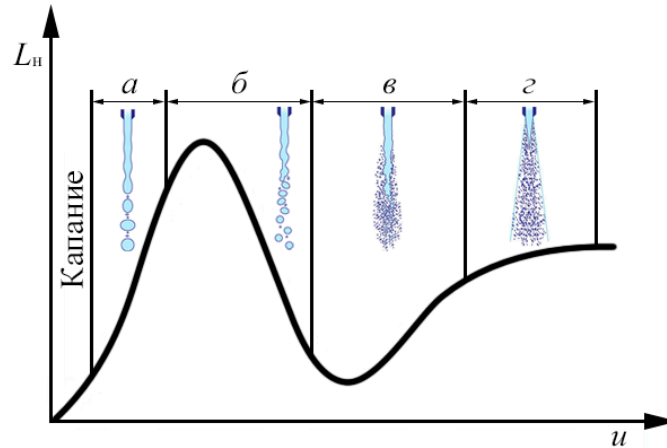
Рисунок 3. – Принципиальная схема затопленной турбулентной струи

Длина начального участка зависит от скорости струи и, соответственно, от режима ее распада. На рисунке 4 представлена так называемая кривая распада, или кривая устойчивости струи, – схематическая зависимость длины начального участка L_n от скорости струи u [22]. Точные размеры участка струи, в том числе начального, определяются согласно регрессионным уравнениям для каждого конкретного случая в зависимости от геометрии насадка, физико-химических свойств веществ в струе и окружающей среде, режима распада струи и пр. [12].

В результате анализа имеющихся теоретических и практических данных в отношении распада турбулентной струи выдвинута следующая гипотеза. Для усиления эффекта пенообразования в пенном розеточном оросителе (рис. 2) длину его дужек следует подбирать таким образом, чтобы:

– скорость струи жидкости (пенообразующего раствора) до удара о розетку была наибольшей с целью сохранения силы гидродинамического воздействия на розетку оросителя и, соответственно, интенсивности механической дезинтеграции потока на ней;

– времени взаимодействия с окружающим газом было достаточно для дробления струи на капли, что важно для процесса пенообразования, т.к. при ударе капель о розетку пенные пленки образуются сразу, а вот сплошной струе необходимо сначала распасться на лигаменты, далее на капли и уже затем образуется пена.



а – режим распада Рэлея; *б* – первый аэродинамический режим;
в – второй аэродинамический режим; *г* – режим распыливания

Рисунок 4. – Схематичное изображение зависимости длины начального участка струи от ее скорости [22]

Вышеописанным требованиям соответствует переходное сечение, расположенное в конце начального участка струи (рис. 3). Исходя из данных соображений необходимо расположить розетку оросителя сразу на конце начального участка длиной L_n (рис. 5), определив таким образом оптимальную длину дужек оросителя $L = L_n$ (рис. 2).

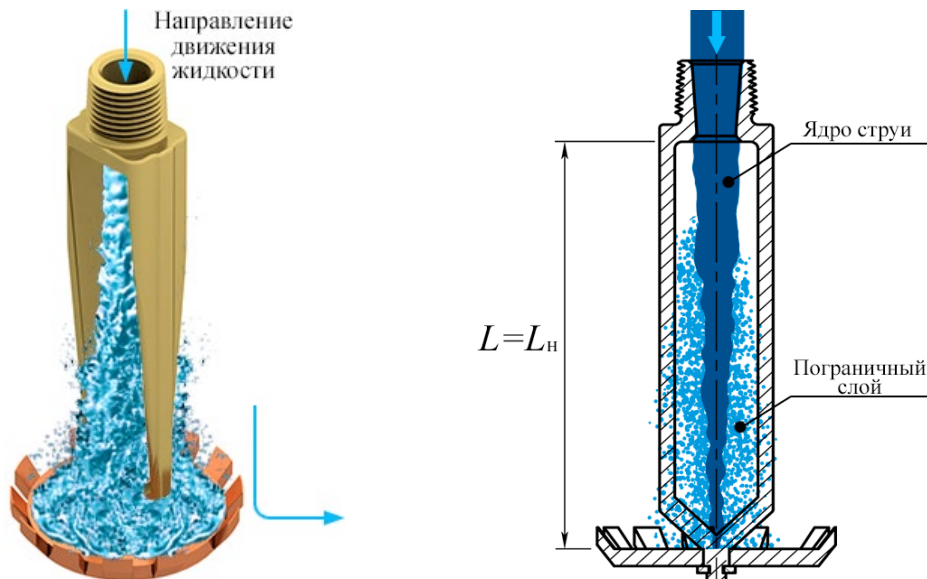


Рисунок 5. – Иллюстрация гипотезы об оптимальной длине дужек пенного розеточного оросителя

Основная часть

Для выполнения теоретических расчетов параметров струи, образующейся на выходе из пенного розеточного оросителя, необходимо точно определить, в каком режиме происходит ее распад. Для рассмотрения выбран штуцер оросителя (является частным случаем насадка)

с проточным трактом, имеющим геометрические параметры согласно рисунку 6. Коэффициент производительности оросителя с данным штуцером равен $K_p = 0,37 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{МПа}^{1/2})$. Выполним расчет характеристических чисел Re , Oh и We по формулам (1) для предложенного случая ($D_h = 0,01 \text{ м}$; $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $p = 0,10 \text{ МПа}$; $\eta = 8,90 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\sigma = 0,03 \text{ Н}/\text{м}$; $\rho = 1012,00 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\rho_g = 1,275 \text{ кг}/\text{м}^3$):

$$Re = \frac{uD_h}{\nu} = 147\,525, \quad (2)$$

где

$$u = \frac{Q}{S_0} = \frac{K_p \sqrt{p}}{S_0} = 14,9 \text{ м}/\text{с}, \quad (3)$$

D_h – гидравлический диаметр штуцера оросителя, равный диаметру его выходного отверстия, т.к. имеет форму круга, м; Q – расход жидкости, л/с; S_0 – площадь поперечного сечения выходного отверстия штуцера оросителя, м^2 ;

$$Oh = \frac{\eta}{\sqrt{\sigma \rho D_h}} = 1,62 \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

$$We = \frac{\rho D_h u^2}{\sigma} = 74\,891. \quad (5)$$

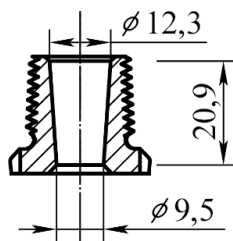


Рисунок 6. – Геометрические параметры рассматриваемого штуцера оросителя (размеры в мм)

Исходя из полученных значений характеристических чисел Рейнольдса, Онезорге и Вебера можно сделать вывод, что распад струи при заданных условиях согласно диаграммам на рисунке 1 происходит в режиме распыливания.

Длину ядра струи в режиме распыливания (рис. 5) можно определить исходя из времени, требующегося для достижения ею переходного сечения (рис. 3) [9]. В связи с тем что в режиме распыливания аэродинамические силы оказывают наибольшее влияние на распад струи, для удобства струю следует считать покоящейся, а газ движущимся в положительном направлении оси y (рис. 3) со скоростью u_g . Известно, что чем выше скорость струи, тем короче волны на ее поверхности, приводящие к ее разрушению. В случае относительно коротких волн, свойственных режиму распыливания, для упрощения расчетов примем, что образующиеся при распаде струи капли имеют одинаковый диаметр d_{drop} , по порядку величины определяемый по формуле [9]:

$$d_{\text{drop}} \sim \frac{1}{k_{\text{max}}} \sim \frac{\sigma}{\rho_g u_g^2}, \quad (6)$$

где k_{max} – критическое волновое число, при котором происходит отрыв капель с поверхности струи; ρ_g – плотность окружающего струю газа.

Энергия E , передаваемая газом жидкости в струе, расходуется на образование теплоты и новой поверхности, поэтому для вычисления времени, требующегося для достижения

струей переходного сечения, можно воспользоваться законом сохранения энергии. Энергия, передаваемая поверхности жидкости газом за время t , равна [9]:

$$E = \rho_g (u_g - u_\omega)^2 \omega k A_0^2 S t, \quad (7)$$

где u_ω – скорость распространения волн с циклической частотой колебаний ω ; k – волновое число; A_0 – амплитуда волны; S – площадь поверхности струи; $(u_g - u_\omega)$ – относительная скорость газа.

В выражении (7) скорость u_ω

$$u_\omega = \frac{\omega}{k}.$$

Энергия, затрачиваемая на образование капель, определяется следующим образом [9]:

$$E_\sigma = \sigma 4\pi d_{\text{drop}}^2 N = \sigma 4\pi d_{\text{drop}}^2 \frac{V}{\frac{4\pi}{3} d_{\text{drop}}^3} \approx \sigma \frac{V}{d_{\text{drop}}}, \quad (8)$$

где N – количество капель; V – объем жидкости.

Энергия, затрачиваемая на образование теплоты, может быть записана как [9]

$$E_v = \rho v \omega^2 k A_0^2 S t. \quad (9)$$

Баланс энергии с учетом неравенства

$$u_g \gg u_\omega$$

дает

$$\sigma \frac{V}{d_{\text{drop}}} + \rho v \omega^2 k A_0^2 S t \approx \rho_g u_g^2 \omega k A_0^2 S t. \quad (10)$$

Из выражения (10) следует

$$t = \frac{\sigma V}{d_{\text{drop}} S A_0^2 k (-\rho v \omega^2 + \rho_g u_g^2 \omega)}. \quad (11)$$

Так как в режиме распыливания справедливо неравенство [9]

$$\rho_g u_g^2 \omega \gg \rho v \omega^2,$$

при критических значениях частоты колебаний

$$\omega_{\text{max}} = 0,4 \frac{u_g^3}{\sigma} \sqrt{\frac{\rho_g^3}{\rho}} \quad (12)$$

и волнового числа

$$k_{\text{max}} = \frac{2\rho_g u_g^2}{3\sigma} \quad (13)$$

выражение (11) преобразуется следующим образом [9]:

$$t \approx \frac{\sigma}{d_{\text{drop}} A_0^2 \rho_g u_g^2} \frac{1}{\omega_{\text{max}} k_{\text{max}}} \frac{V}{S} \approx \frac{\sigma}{d_{\text{drop}} A_0^2 \rho_g u_g^2} \frac{1}{\omega_{\text{max}} k_{\text{max}}} 0,5 D_h \approx \sqrt{\frac{\rho}{\rho_g}} \frac{0,5 D_h}{u_g}. \quad (14)$$

С учетом того что скорость ядра струи не успевает измениться до переходного сечения (рис. 3), длина начального участка может быть выражена следующим образом [9]:

$$L_n \approx tu_r \approx 0,5D_h \sqrt{\rho/\rho_g}. \quad (15)$$

Таким образом, длина начального участка струи не зависит от скорости струи в режиме распыливания [9]. Следует отметить, что в ходе вычислений не учитывается сужение ядра струи, т.е. уменьшение его диаметра, а также снижение скорости струи в ядре, которое, как показывает практика, не столь существенное по сравнению со степенью падения скорости после начального участка струи, но все-таки имеет место. В связи с этим выражение (15) может использоваться для определения длины начального участка струи лишь по порядку величины. Для более точного расчета необходимо вводить дополнительный коэффициент, зависящий от геометрии распыляющего устройства.

Например, в работе [7] авторы выполняли моделирование распада осесимметричной струи в режиме распыливания в программном комплексе FlowVision с использованием модели VOF (от англ. Volume of Fluid). Начальные и граничные условия модели задавались в полном соответствии с условиями реального эксперимента, описанного в работе [16]. В данной работе бензин ($\rho = 780 \text{ кг/м}^3$) распыляли в среду с различной плотностью вещества $\rho_g = 1,17; 6,60 \text{ кг/м}^3$. В качестве распыляющего устройства использовалась форсунка с гидравлическим диаметром $D = 46 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Результаты моделирования оказались успешными и соответствовали результатам эксперимента. В данном случае наибольший интерес представляет результат моделирования в отношении длины начального участка струи. Авторами [7] сделан вывод, что результат по длине начального участка L_n хорошо согласуется с вышеописанной теорией согласно [9] и в общем виде выражается следующим образом:

$$L_n = CD_h \sqrt{\rho/\rho_g}, \quad (16)$$

где C – эмпирический коэффициент, зависящий от геометрии распыляющего устройства и режима распада струи. Например, в работах [7; 16] в случае распыливания топлива в среду как с близкой к воздуху при нормальной температуре плотностью $\rho_g = 1,17 \text{ кг/м}^3$, так и с плотностью $\rho_g = 6,60 \text{ кг/м}^3$ (рис. 7) данный коэффициент оказался равен $C = 1,50$.

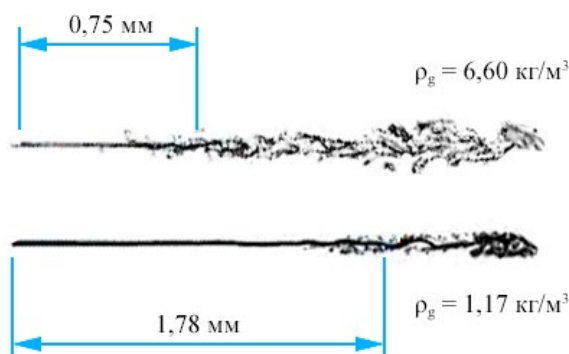


Рисунок 7. – Внешний вид струй согласно экспериментам [15]

Согласно выражению (16) для неизменной геометрии распыляющего устройства и режима распада струи длина начального участка струи зависит от отношения плотностей жидкости и газа, что соответствует экспериментальным данным [16] и теории [9].

В то же время автор работ [12; 23; 24] выполнил детальный обзор и анализ экспериментальных исследований, проведенных с 1955 г. по настоящее время и посвященных изучению распада струй (режимов, участков, траекторий и др.) применительно к решению проблем пожаротушения. Так, в работе [12] на основе проведенного анализа установлено выражение для определения длины начального участка струи для режима распыливания:

$$L_n = 5,31Tu_0^{-0,568}D_h(\rho/\rho_g)^{0,335}, \quad (17)$$

где Tu_0 – параметр интенсивности турбулентности, зависящий от геометрии распыляющего устройства и шероховатости поверхности его проточного тракта и выражаемый в процентах.

Из выражения (17) видно, что для начального участка струи в режиме распыливания снова наблюдается зависимость его длины от отношения плотностей жидкости и газа, что было показано ранее в работах [7; 9; 16]. Первый член выражения (17) по своей сути аналогичен коэффициенту C в выражении (16), т.к. является некоторой эмпирической константой, характеризующей турбулентность потока, обусловленную геометрией распыляющего устройства и шероховатостью поверхности его проточного тракта. В результате обобщения объемного массива экспериментальных данных определен диапазон изменения параметра Tu_0 в случае использования воды в качестве распыляемой жидкости для широкого ряда пожарных насадков с различными геометрическими параметрами и шероховатостью поверхности проточного тракта, в том числе схожих со штуцерами розеточных оросителей [12]:

$$4,9 \% \leq Tu_0 \leq 12,7 \%. \quad (18)$$

Таким образом, согласно выражению (18) в режиме распыливания турбулентность, обусловленная параметрами насадка, вносит вклад в распад струи, как правило, в размере от 4,9 до 12,7 %. Учитывая данный факт, можно рассчитать диапазон изменения длины начального участка струи $L_{n2} \leq L_n \leq L_{n1}$ для рассматриваемого в данной работе штуцера пенного розеточного оросителя (рис. 6) при нижнем и верхнем предельных значениях параметра Tu_0 :

$$L_{n1} = 2,153D_h(\rho/\rho_g)^{0,335} \approx 0,201 \text{ м}; \quad L_{n2} = 1,254D_h(\rho/\rho_g)^{0,335} \approx 0,117 \text{ м}. \quad (19)$$

Аналогично с помощью выражения (15) можно определить ориентировочное значение длины начального участка согласно теории [9]: $L_n = 0,141 \text{ м}$.

Примечательно, что рассчитанное по выражению (15) значение длины начального участка струи попадает в диапазон значений данного параметра, определенный в (19) согласно [12]. Таким образом, исходя из проведенных расчетов оптимальная длина дужек розеточного оросителя L (рис. 2) с высокой долей вероятности находится в диапазоне $117 \leq L \leq 201 \text{ мм}$ в случае использования воды в качестве распыляемой жидкости.

Ранее в работах [25; 26] авторами выполнен ряд экспериментальных исследований с целью изучения влияния геометрических параметров дужек и розетки оросителя (рис. 2) на одну из главных качественных характеристик пены с позиции эффективности пожаротушения – кратность K (отношение объема пены к объему пенообразующего раствора, из которого она получена). На основе полученных экспериментальных данных с помощью программного обеспечения STATISTICA получено уравнение регрессии для прогнозирования кратности пены в зависимости от основных геометрических параметров оросителя со штуцером согласно рисунку 6 при ранее рассмотренных условиях ($D_h = 0,01 \text{ м}$; $v = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $p = 0,10 \text{ МПа}$; $\eta = 8,90 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\sigma = 0,03 \text{ Н/м}$; $\rho = 1012,00 \text{ кг/м}^3$, $\rho_g = 1,275 \text{ кг/м}^3$):

$$K = 8,5894 + 0,0206L - 0,0003L^2 - 0,0354K_s + 0,0002K_s^2 - 0,0124D - 0,0001D^2 + 0,0626\alpha - 0,0009\alpha^2 + 0,0004LK_s + 0,0002LD. \quad (21)$$

Воспользовавшись выражением (21), с помощью модуля STATISTICA «Профили желательности» выполнен подбор оптимальных значений геометрических параметров дужек и розетки оросителя для генерирования пены с наибольшим значением кратности $K_{\text{теор}} = 11,7 \pm 0,4$ (рис. 8). Оптимальное значение длины дужек оказалось равным $L = 114 \pm 4 \text{ мм}$. Ороситель с оптимальными значениями геометрических параметров затем был испытан в лаборатории, где получен положительный результат $K_{\text{эксп}} = 11,4 \pm 0,2$, хорошо согласующийся с прогнозом по выражению (21).

Таким образом, как видно из рисунка 8, наиболее интенсивное пенообразование в розеточном оросителе происходит при длине дужек $L = 114 \pm 4$ мм. Данное значение находится на нижней границе ранее теоретически определенного диапазона $117 \leq L \leq 201$ мм и согласно выражению (17) соответствует значению параметра $Tu_0 = 13,4$ %, что свидетельствует о высокой турбулентности потока.

Это, вероятно, связано с особенностью распыляемой жидкости (пенообразующего раствора), коэффициент поверхностного натяжения которой ниже по сравнению с водой за счет наличия в составе пенообразователя поверхностно-активных веществ. Жидкости в струе сложнее сопротивляться аэродинамическим силам, по причине чего ее поверхность подвергается более интенсивному волнообразованию и дроблению на капли, соответственно, сокращается и длина начального участка струи.

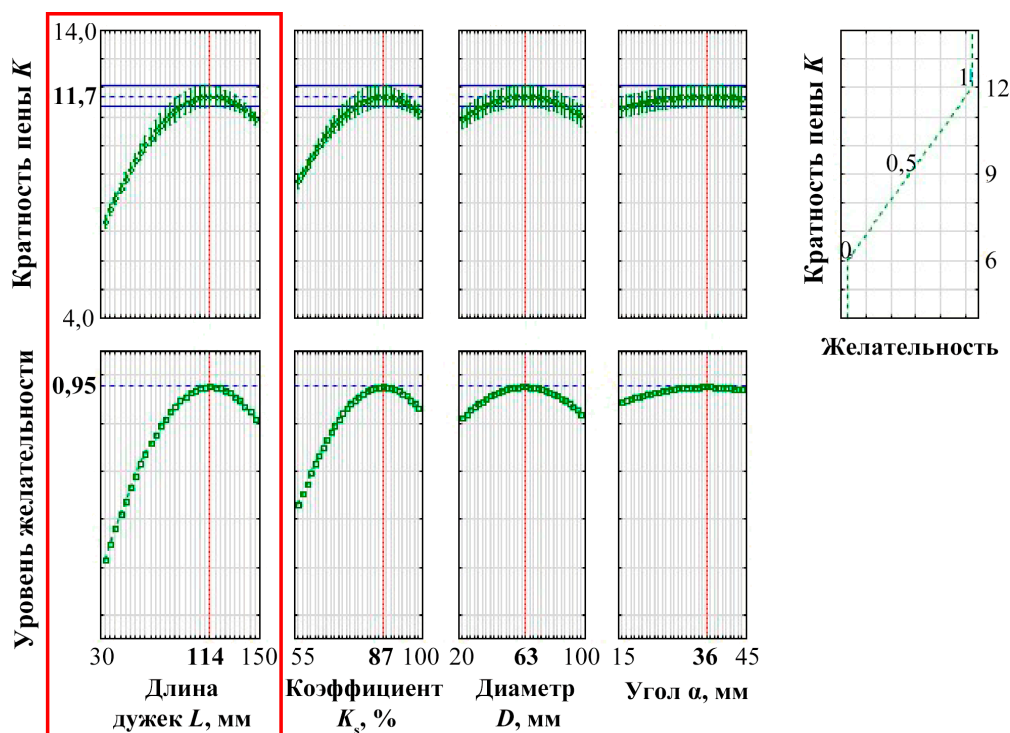


Рисунок 8. – Профиль желательности с оптимальными по кратности пены значениями геометрических параметров дужек и розетки оросителя

Тем не менее следует отметить, что полученный экспериментальный результат хорошо согласуется с известной теорией динамики осесимметричных турбулентных струй с поправкой на особенности физико-химических свойств распыляемого в пенных розеточных оросителях вещества. Более того, воспользовавшись выражением (16), можно получить значение эмпирического коэффициента C и выражение для расчета длины начального участка струи для рассматриваемого штуцера (рис. 6), которое в первом приближении может быть использовано для оценки значения L_n при применении разных марок и типов пенообразователей, а также при распыливании в газе с иной плотностью:

$$L_n = 0,41D_h\sqrt{\rho/\rho_g}. \quad (22)$$

Заключение

Выполнен анализ и сопоставлены теоретические подходы к описанию структуры и расчету начального участка осесимметричных турбулентных струй в режиме распыливания. В итоге выдвинута гипотеза об оптимальной длине дужек L пенного розеточного оросителя с целью обеспечения наиболее интенсивного пенообразования в нем: оптимальная

длина дужек должна равняться длине начального участка образующейся на выходе из штуцера оросителя струи L_n , т.е. $L = L_n$. Базируясь на теории динамики осесимметричных турбулентных струй, рассчитаны нижний и верхний пределы диапазона значений длины начального участка струи воды, образующейся на выходе из штуцера розеточного оросителя определенной геометрии (рис. 6): $117 \leq L_n \leq 201$ мм.

При экспериментальном определении кратности пены (отношение объема пены к объему пенообразующего раствора, из которого она получена), генерируемой данным розеточным оросителем, оптимальное по данной характеристике пены значение длины дужек, т.е. расстояние от выходного отверстия оросителя до его розетки, оказалось равным $L = 114 \pm 4$ мм, что согласуется с проведенными теоретическими расчетами с поправкой на более низкий (приблизительно вдвое) коэффициент поверхностного натяжения пенообразующего раствора по сравнению с обычной водой. Кроме того, предложено выражение (22) для расчета длины начального участка струи для рассматриваемого штуцера пенного розеточного оросителя (рис. 6), которое в первом приближении может быть применено для оценки значения L_n при использовании разных марок и типов пенообразователей, а также при распыливании в газе с иной плотностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Portillo, J.E. Measurements of axial instability waves in the near exit region of a high speed liquid jet / J.E. Portillo, S.H. Collicott, G.A. Blaisdell // *Physics of Fluids*. – 2011. – Vol. 23, No. 12. – P. 124105-1–124105-13. DOI: 10.1063/1.3671733.
2. Gong, Ch. The effect of nozzle configuration on the evolution of jet surface structure / Ch. Gong, M. Ou, W. Jia // *Results in Physics*. – 2019. – Vol. 15. – P. 102572-1–102572-11. DOI: 10.1016/j.rinp.2019.102572.
3. Eggers, J. *Physics of liquid jets* / J. Eggers, E. Villermaux // *Reports on Progress in Physics*. – 2008. – Vol. 71, No. 3. – P. 036601-1–036601-79. DOI: 10.1088/0034-4885/71/3/036601.
4. Shinjo, J. Simulation of liquid jet primary breakup: Dynamics of ligament and droplet formation / J. Shinjo, A. Umemura // *International Journal of Multiphase Flow*. – 2010. – Vol. 36, Iss. 7. – P. 513–532. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2010.03.008.
5. Shinjo, J. Surface instability and primary atomization characteristics of straight liquid jet sprays / J. Shinjo, A. Umemura // *International Journal of Multiphase Flow*. – 2011. – Vol. 37, Iss. 10. – P. 1294–1304. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2011.08.002.
6. Yoon, S.S. A fully non-linear model for atomization of high-speed jets / S.S. Yoon, S.D. Heister // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. – 2004. – Vol. 28, Iss. 4. – P. 345–357. DOI: 10.1016/S0955-7997(03)00083-3.
7. Акимов, В.С. Моделирование распада струй, формируемых форсунками с использованием ПК FLOWVISION / В.С. Акимов, Г.Ю. Бартенев // *Инженерные системы – 2015: труды междунар. форума, Москва, 6–7 апр. 2015 г.* – М.: МАКС Пресс, 2015. – С. 243–249.
8. Tafreshi, H.V. The effects of nozzle geometry on waterjet breakup at high Reynolds numbers / H.V. Tafreshi, B. Pourdeyhimi // *Experiments in Fluids*. – 2003. – Vol. 35, No. 4. – P. 364–371. DOI: 10.1007/s00348-003-0685-y.
9. Левич, В.Г. *Физико-химическая гидродинамика* / В.Г. Левич. – 3-е изд., испр. и доп. – М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2016. – 708 с.
10. Jie, H. Investigation on surface wave characteristic of water jet / H. Jie [et al.] // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2019. – Vol. 2019. – P. 4047956-1–4047956-10. DOI: 10.1155/2019/4047956.
11. Lin, S.P. Drop and spray formation from a liquid jet / S.P. Lin, R.D. Reitz // *Annual Review of Fluid Mechanics*. – 1998. – Vol. 30. – P. 85–105. DOI: 10.1146/annurev.fluid.30.1.85.
12. Trettel, B. Reevaluating the jet breakup regime diagram / B. Trettel // *Atomization and Sprays*. – 2020. – Vol. 30, No. 7. – P. 517–556. DOI: 10.1615/AtomizSpr.2020033171.
13. Liu, H.M. *Science and Engineering of Droplets: Fundamentals and Applications* / H.M. Liu. – Norwich, NY: William Andrew Publishing, 2000. – 539 p.
14. Ohnesorge, W.V. Die Bildung von Tropfen an Düsen und die Auflösung flüssiger Strahlen / W.V. Ohnesorge // *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*. – 1936. – Vol. 16, No. 6. – P. 355–358. DOI: 10.1002/zamm.19360160611.

15. Reitz, R.D. Atomization and other Breakup Regimes of a liquid jet: Ph.D. Thesis / R.D. Reitz. – Princeton Univ., NJ, 1978. – 331 p.
16. Schmid, A.M. Experimental characterization of the two phase flow of a modern, piezo activated hollow cone injector: Ph.D. Thesis / A.M. Schmid. – ETH Zurich, 2012. – 166 p. DOI: 10.3929/ethz-a-009765879.
17. Воробьев, С.В. Определение скорости и концентрации частиц твердой фазы в турбулентной струе газа, погруженной в псевдооживленный слой / С.В. Воробьев, И.В. Постникова, В.Н. Блиничев // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2019. – Т. LXII, № 3–4. – С. 31–39.
18. Leu, M.C. Mathematical modeling and experimental verification of stationary waterjet cleaning process / M.C. Leu [et al.] // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 1998. – Vol. 120, No. 3. – P. 571–579. DOI: 10.1115/1.2830161.
19. Liu, X. Experimental study on jet flow characteristics of fire water monitor / X. Liu [et al.] // The Journal of Engineering. – 2019. – Iss. 13. – P. 150–154. DOI: 10.1049/joe.2018.8950.
20. Виноградов, А.Г. Расчет параметров противопожарных струй распыленной воды / А.Г. Виноградов, О.М. Яхно // Прикладна гідромеханіка. – 2015. – Т. 17, № 4. – С. 3–13.
21. Абрамович, Г.Н. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович // Репринтное воспроизведение издания 1960 г. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 720 с.
22. Pavlovic, Z. Numerical investigation of the liquid core length in sprays with fully turbulent boundary condition / Z. Pavlovic [et al.] // ILASS – Europe 2014, 26th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Bremen, Germany, Sep. 8–10, 2014 / Institute for Liquid Atomization and Spray Systems. – Bremen, 2014. – 11 p.
23. Trettel, B. Conditional damped random surface velocity model of turbulent jet breakup / B. Trettel // Atomization and Sprays. – 2020. – Vol. 30, Iss. 8. – P. 575–606. DOI: 10.1615/AtomizSpr.2020033172.
24. Trettel, B. Modeling the breakup and trajectory of water jets with application to fire suppression: Ph.D. Thesis / B. Trettel. – University of Texas at Austin, 2020.
25. Kamluk, A.N. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry / A.N. Kamluk, A.O. Likhomanov // Fire Safety Journal. – 2019. – Vol. 109. – P. 102862-1–102862-8. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
26. Kamluk, A.N. Field testing and extinguishing efficiency comparison of the optimized for higher expansion rates deflector type sprinkler with other foam and foam-water sprinklers / A.N. Kamluk, A.O. Likhomanov, A.V. Grachulin // Fire Safety Journal. – 2020. – Vol. 116. – P. 103177-1–103177-10. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103177.

Длина начального участка осесимметричной турбулентной струи, образующейся в пенном розеточном оросителе для автоматических установок пожаротушения

The breakup length of axisymmetric turbulent jet in the foam deflector type sprinkler for automatic extinguishing systems

Лихоманов Алексей Олегович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра автоматических систем безопасности, преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: alexlikh20@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9374-1486

Aleksey O. Likhomanov

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Automatic Safety Systems, Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
e-mail: alexlikh20@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9374-1486

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
e-mail: kan@ucp.by
ORCID: 0000-0002-9347-0778

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
e-mail: kan@ucp.by
ORCID: 0000-0002-9347-0778

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.159>

THE BREAKUP LENGTH OF AXISYMMETRIC TURBULENT JET IN THE FOAM DEFLECTOR TYPE SPRINKLER FOR AUTOMATIC EXTINGUISHING SYSTEMS

Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N.

Purpose. To analyze the theoretical approaches to the description of the structure of axisymmetric turbulent jets, as well as to the calculation of their breakup length in the atomization regime. To theoretically calculate the frame arms length of the foam deflector type sprinkler (i.e., the distance from the outlet of the sprinkler to its deflector), where the most intense foaming occurs and compare the obtained results with experimental data.

Methods. A number of theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison) to analyze approaches to the description and calculation of axisymmetric turbulent jets, as well as to compare the theoretically calculated the optimal frame arms length of the foam deflector type sprinkler with the experimental data were used.

Findings. A hypothesis is formulated about the optimal frame arms length L of the foam deflector type sprinkler in order to ensure the most intense foaming in it: the optimal length should be equal to the breakup length L_n of the jet formed at the outlet of the sprinkler nozzle, i.e. $L = L_n$. The lower and upper limits of the range of values of the breakup length of the water jet formed at the outlet of the sprinkler nozzle of a certain geometry were calculated: $117 \leq L_n \leq 201$ mm.

In the result of the experimental determination of the expansion rate of the foam (characterizes the intensity of foaming) generated by the deflector type sprinkler, for which a theoretical calculation was performed, the optimal value for this foam characteristic was found to be $L = 114 \pm 4$ mm. The obtained experimental result is consistent with the theory corrected for a lower surface tension coefficient foaming solution compared to water. In addition, an expression for calculating the breakup length of the jet for the considered foam deflector type sprinkler was proposed. In a first approximation, it can be used to estimate the value of L_n when using different brands and types of foaming agents, as well as when spraying in gas with a different density.

Application field of research. The results can be used to further studying the process of foaming in deflector type sprinklers for automatic extinguishing systems in order to increase their fire extinguishing efficiency. The proposed expression for calculating the breakup length of jet formed at the outlet of the foam deflector type sprinkler can be used to estimate the value of this parameter when using different brands and types of foaming agents, as well as when spraying in gas with a different density.

Keywords: atomization, spray breakup length, automatic extinguishing system, sprinkler, foam, foam expansion rate, geometric parameters of sprinkler, frame arms length.

(The date of submitting: April 27, 2021)

REFERENCES

1. Portillo J.E., Collicott S.H., Blaisdell G.A. Measurements of axial instability waves in the near exit region of a high speed liquid jet. *Physics of Fluids*, 2011. Vol. 23, No. 12. Pp. 124105-1–124105-13. DOI: 10.1063/1.3671733.
2. Gong Ch., Ou M., Jia W. The effect of nozzle configuration on the evolution of jet surface structure. *Results in Physics*, 2019. Vol. 15. Pp. 102572-1–102572-11. DOI: 10.1016/j.rinp.2019.102572.
3. Eggers J., Villermaux E. Physics of liquid jets. *Reports on Progress in Physics*, 2008. Vol. 71, No. 3. Pp. 036601-1–036601-79. DOI: 10.1088/0034-4885/71/3/036601.
4. Shinjo J., Umemura A. Simulation of liquid jet primary breakup: Dynamics of ligament and droplet formation. *International Journal of Multiphase Flow*, 2010. Vol. 36, Iss. 7. Pp. 513–532. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2010.03.008.
5. Shinjo J., Umemura A. Surface instability and primary atomization characteristics of straight liquid jet sprays. *International Journal of Multiphase Flow*, 2011. Vol. 37, Iss. 10. Pp. 1294–1304. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2011.08.002.
6. Yoon S.S., Heister S.D. A fully non-linear model for atomization of high-speed jets. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2004. Vol. 28, Iss. 4. Pp. 345–357. DOI: 10.1016/S0955-7997(03)00083-3.
7. Akimov V.S., Bartenev G.Yu. Modelirovanie raspada struy, formiruemykh forsunkami s ispol'zovaniem PK FLOWVISION [Simulation of the disintegration of jets formed by nozzles using the software

- FLOWVISION]. *Proc. of the International Forum «Inzhenernye sistemy – 2015», Moscow, Apr. 6–7, 2015*. Moscow: MAKS Press, 2015. Pp. 243–249. (rus)
8. Tafreshi H.V., Pourdeyhimi B. The effects of nozzle geometry on waterjet breakup at high Reynolds numbers. *Experiments in Fluids*, 2003. Vol. 35, No. 4. Pp. 364–371. DOI: 10.1007/s00348-003-0685-y.
 9. Levich V.G. *Fiziko-khimicheskaya gidrodinamika* [Physicochemical hydrodynamics]. 3rd ed., revised. Moscow; Izhevsk: Institute of Computer Science, 2016. 708 p. (rus)
 10. Jie H. [et al.]. Investigation on surface wave characteristic of water jet. *Mathematical Problems in Engineering*, 2019. Vol. 2019. Pp. 4047956-1–4047956-10. DOI: 10.1155/2019/4047956.
 11. Lin S.P., Reitz R.D. Drop and spray formation from a liquid jet. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 1998. Vol. 30. Pp. 85–105. DOI: 10.1146/annurev.fluid.30.1.85.
 12. Trettel B. Reevaluating the jet breakup regime diagram. *Atomization and Sprays*, 2020. Vol. 30, No. 7. Pp. 517–556. DOI: 10.1615/AtomizSpr.2020033171.
 13. Liu H.M. *Science and Engineering of Droplets: Fundamentals and Applications*. Norwich, NY: William Andrew Publishing, 2000. 539 p.
 14. Ohnesorge W.V. Die Bildung von Tropfen an Düsen und die Auflösung flüssiger Strahlen [The formation of drops on nozzles and the dissolution of liquid jets]. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 1936. Vol. 16, No. 6. Pp. 355–358. (deu). DOI: 10.1002/zamm.19360160611.
 15. Reitz R.D. *Atomization and other Breakup Regimes of a liquid jet*. Ph.D. Thesis. Princeton Univ., NJ, 1978. 331 p.
 16. Schmid A.M. *Experimental characterization of the two phase flow of a modern, piezo activated hollow cone injector*. Ph.D. Thesis. ETH Zurich, 2012. 166 p. DOI: 10.3929/ethz-a-009765879.
 17. Vorob'ev S.V., Postnikova I.V., Blinichev V.N. Opredelenie skorosti i kontsentratsii chastits tverdogo fazy v turbulentnoy strue gaza, pogruzhennoy v psevdoozhizhenny sloy [Determination of the velocity and concentration of solid phase particles in a turbulent gas jet immersed in a fluidized bed]. *Russian Journal of General Chemistry*, 2019. Vol. LXII, No. 3–4. Pp. 31–39. (rus)
 18. Leu M.C. [et al.]. Mathematical modeling and experimental verification of stationary waterjet cleaning process. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 1998. Vol. 120, No. 3. Pp. 571–579. DOI: 10.1115/1.2830161.
 19. Liu X. [et al.]. Experimental study on jet flow characteristics of fire water monitor. *The Journal of Engineering*, 2019. Iss. 13. Pp. 150–154. DOI: 10.1049/joe.2018.8950.
 20. Vinogradov A.G., Yakhno O.M. Raschet parametrov protivopozharnykh struy raspylennoy vody [Calculation of parameters of fire-prevention jets of sprayed water]. *Journal «Applied Hydromechanics»*, 2015. Vol. 17, No. 4. Pp. 3–13. (rus)
 21. Abramovich G.N. *Teoriya turbulentnykh struy* [The theory of turbulent jets]. Reprint reproduction of the 1960 edition. Moscow: EKOLIT, 2011. 720 p. (rus)
 22. Pavlovic Z. [et al.]. Numerical investigation of the liquid core length in sprays with fully turbulent boundary condition. *Proc. ILASS – Europe 2014, 26th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Bremen, Germany, Sep. 8–10, 2014*. Institute for Liquid Atomization and Spray Systems. Bremen, 2014. 11 p.
 23. Trettel B. Conditional damped random surface velocity model of turbulent jet breakup. *Atomization and Sprays*, 2020. Vol. 30, Iss. 8. Pp. 575–606. DOI: 10.1615/AtomizSpr.2020033172.
 24. Trettel B. *Modeling the breakup and trajectory of water jets with application to fire suppression*. Ph.D. Thesis. University of Texas at Austin, 2020.
 25. Kamluk A.N., Likhomanov A.O. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry. *Fire Safety Journal*, 2019. Vol. 109. Pp. 102862-1–102862-8. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
 26. Kamluk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. Field testing and extinguishing efficiency comparison of the optimized for higher expansion rates deflector type sprinkler with other foam and foam-water sprinklers. *Fire Safety Journal*, 2020. Vol. 116. Pp. 103177-1–103177-10. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103177.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.174>

УДК 614.844.5:614.844.2

О ВЗАИМОСВЯЗЯХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРОСИТЕЛЯ, УСТОЙЧИВОСТИ И КРАТНОСТИ ПОЛУЧАЕМОЙ ПЕНЫ

Лихоманов А.О., Говор Э.Г., Камлюк А.Н.

Цель. Проанализировать влияние геометрических параметров розеточного оросителя на кратность и устойчивость получаемой воздушно-механической пены. Исследовать взаимосвязь между кратностью и устойчивостью пены низкой кратности, генерируемой в розеточных оросителях, при использовании пенообразователей общего назначения и пенообразователей-смачивателей.

Методы. Общие научные методы исследования (анализ, синтез, систематизация). Исследование взаимосвязи между кратностью и устойчивостью пены выполнялось при проведении экспериментов, а для математического описания установленной зависимости применены методы регрессионного и статистического анализов.

Результаты. Установлены геометрические параметры дужек и розетки оросителя, значения которых влияют на кратность и устойчивость получаемой пены, а также проанализированы оптимальные по кратности и устойчивости пены значения данных параметров. Получено выражение для определения коэффициента рабочей поверхности розетки оросителя, имеющей конусообразную форму. Установлено, что ранее выявленный линейный характер зависимости устойчивости пены от ее кратности для пенообразователя ПО-6РЗ (6 %) характерен и для других пенообразователей: пенообразователя общего назначения Синтек-6НС (6 %) и пенообразователя-смачивателя ОПС-0,4 (1 %).

Область применения исследований. Выражение для определения коэффициента рабочей поверхности розетки K_s может широко использоваться при разработке новых розеточных оросителей для автоматических установок пожаротушения, а также для модернизации их конструкции. Кроме того, с помощью полученного выражения зависимости устойчивости пены от ее кратности и эмпирических коэффициентов пропорциональности данной зависимости для пенообразователей ОПС-0,4 (1 %) и Синтек-6НС (6 %) можно рассчитать значение устойчивости пены, зная ее кратность, или значение кратности, зная устойчивость.

Ключевые слова: автоматическая установка пожаротушения, ороситель, пена, кратность пены, устойчивость пены, геометрические параметры оросителя, коэффициент рабочей поверхности розетки оросителя.

(Поступила в редакцию 26 апреля 2021 г.)

Введение

Автоматические установки пожаротушения являются одним из наиболее эффективных элементов системы противопожарной защиты зданий и сооружений [1]. Такие установки позволяют на начальной стадии пожара без участия человека определить факт возникновения горения и произвести его локализацию и дальнейшую ликвидацию. Важным этапом при проектировании данных систем является выбор типа огнетушащего вещества в зависимости от вида пожарной нагрузки, находящейся на защищаемой площади. Наиболее широко применяемыми огнетушащими веществами являются вода и воздушно-механическая пена [2]. Важными качественными характеристиками воздушно-механической пены, с позиции эффективности пожаротушения, считаются устойчивость C и кратность K . Под кратностью пены понимается величина, равная отношению объема пены к объему раствора пенообразователя, содержащегося в ней [3]. Для тушения пожаров в зданиях и сооружениях химических, нефтехимических, нефтегазовых и металлургических предприятий, на объектах энергетической промышленности и других наиболее часто применяют воздушно-механическую пену низкой кратности ($3 < K < 20$) [3]. Под устойчивостью пены C понимается время, в течение которого пена способна сохранять свои исходные свойства. Устойчивость пены

позволяет судить о необходимом количестве пены для эффективного пожаротушения, а также о возможности повторного возгорания очага пожара. Чем выше устойчивость пены при заданном значении кратности, тем меньшее количество раствора пенообразователя будет израсходовано для ликвидации горения и тем меньше вероятность повторного возгорания.

В большинстве случаев для генерирования пены низкой кратности применяют оросители розеточного типа. Это обусловлено простотой их конструкции, что удешевляет процесс производства, монтажа и обслуживания по сравнению с иными видами оросителей и пеногенераторов. Однако кратность пены, генерируемой при использовании серийно выпускаемых розеточных оросителей, не превышает 8, чего бывает недостаточно для обеспечения пожарной безопасности [1]. Повысить кратность и устойчивость генерируемой розеточным оросителем пены можно путем изменения геометрических параметров его основных элементов (дужек и розетки) [4; 5].

В связи с тем что процесс генерирования пены не поддается моделированию ввиду достаточной сложности протекающих при этом физико-химических, физико-технических и других процессов, исследовать влияние геометрических параметров розеточных оросителей на качественные характеристики пены можно исключительно экспериментальным путем [6]. Так, на основании полученных экспериментальных значений была построена математическая модель, описывающая изменение кратности пены в зависимости от геометрических параметров оросителя (длины дужек, внешнего диаметра, угла конусности лопастей и коэффициента рабочей поверхности розетки), что позволило получить оптимальные значения данных параметров с точки зрения повышения кратности получаемой пены [7].

В качестве одного из основных геометрических параметров оросителя был введен коэффициент рабочей поверхности розетки K_s , значение которого зависит от нескольких геометрических параметров (внутреннего диаметра и суммарного угла лопастей розетки) [8]. При этом в указанной работе [8] представлена формула для определения коэффициента K_s , которая позволяет рассчитывать данный коэффициент для розеточных оросителей с плоской розеткой (когда угол конусности лопастей розетки $\alpha = 90^\circ$), однако в случае конусообразных розеток ($\alpha \neq 90^\circ$) методика по определению коэффициента K_s не была описана. По этой причине целесообразно получить выражение для определения коэффициента K_s для оросителей с конусообразной розеткой, а также проанализировать влияние геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены.

Кроме того, на кратность и устойчивость пены влияет тип используемого пенообразователя. В работах [8; 9] впервые установлена зависимость устойчивости пены от ее кратности. При этом все эксперименты проводились с одним пенообразователем общего назначения марки ПО-6РЗ (6 %), что не позволяет распространить полученную зависимость для случаев, когда применяются другие пенообразователи.

Таким образом, данная работа направлена на изучение влияния геометрических параметров дужек и розетки оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены, а также на исследование зависимости указанных характеристик друг от друга при использовании нескольких типов пенообразователей.

Основная часть

Определение коэффициента рабочей поверхности розетки оросителя K_s . Розеточные оросители от разных производителей могут существенно отличаться размерами и формой, однако каждый из них всегда имеет в конструкции неотъемлемые элементы в виде штуцера, дужек и розетки (рис. 1). Штуцер влияет на параметры выходящей струи, дужки и розетка – на процесс дезинтеграции данной струи и образование пены. Дужки и розетку оросителя можно охарактеризовать следующим набором параметров: длина дужек L , угол лопасти розетки τ и их количество n ($n\tau = \sum\tau$ – суммарный угол в градусах), внутренний d и внешний D диаметры розетки и угол конусности лопастей розетки α (рис. 1а). Как видно

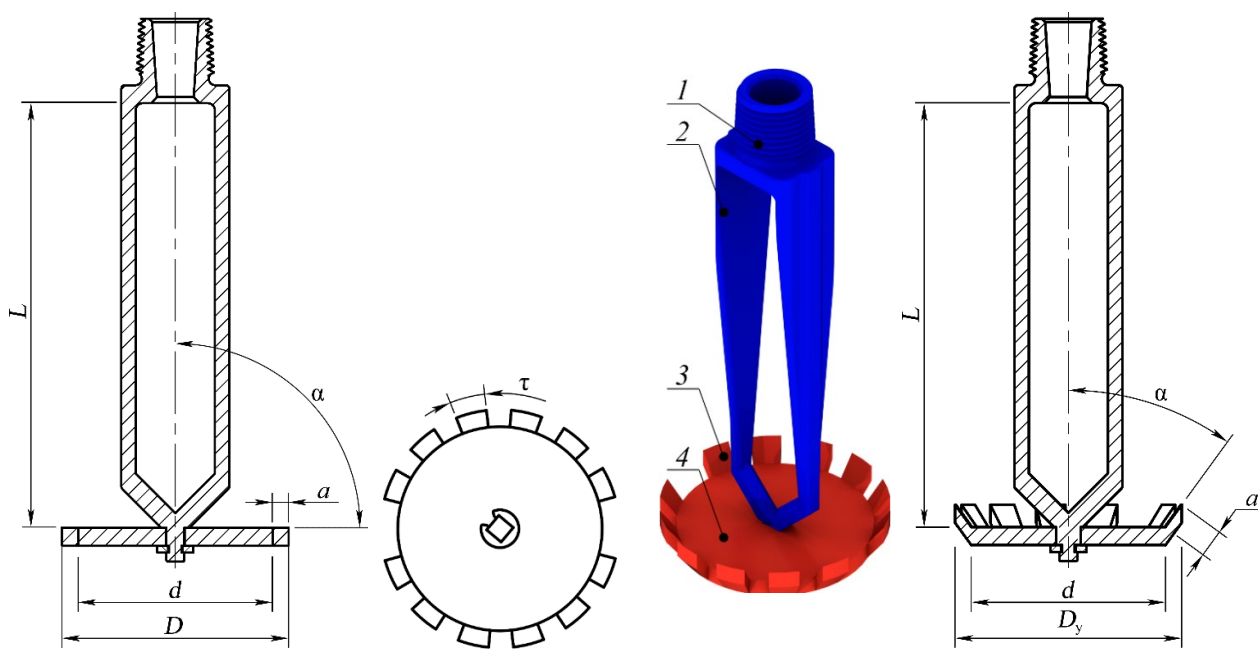
из рисунка 1, внешний диаметр плоской розетки D можно выразить через внутренний диаметр розетки d и длины двух ее лопастей a , расположенных друг напротив друга, т.е.:

$$D = d + 2a. \quad (1)$$

Диаметр D конусообразной розетки определяется (для готового оросителя) либо задается (для разрабатываемого оросителя) аналогично случаю с плоской розеткой по формуле (1). В связи с тем что лопасти оросителя имеют форму сектора круга, при изменении угла их конусности α в конусообразной розетке угол лопасти τ постепенно уменьшается при $\alpha \rightarrow 0$ либо $\alpha \rightarrow 180^\circ$. Поэтому при определении формы конусообразной розетки дополнительно следует учитывать диаметр ее проекции на горизонтальную плоскость D_y (рис. 1б), который выражается через основные параметры оросителя следующим образом:

$$D_y = d + 2a \sin \alpha = d + (D - d) \sin \alpha. \quad (2)$$

Очевидно, что для плоских розеток справедливо тождество $D_y = D$.



a – с плоской розеткой

б – с конусообразной розеткой

1 – штуцер; 2 – дужки; 3 – лопасть розетки; 4 – розетка; D – внешний диаметр розетки; D_y – проекция внешнего диаметра розетки на горизонтальную плоскость; a – длина лопасти розетки; d – внутренний диаметр розетки; τ – угол лопасти розетки; α – угол конусности лопастей розетки; L – длина дужек

Рисунок 1. – Конструктивные элементы и геометрические параметры элементов розеточного оросителя

В работах [8; 10] при исследовании влияния геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены установлено, что ключевым является соотношение площади поверхности розетки $S_{\text{зап}}$, взаимодействующей с потоком жидкости в процессе разбрызгивания, и площади мнимой окружности $S_{\text{полн}}$, которая представляет собой совокупность площадей $S_{\text{зап}}$ и $S_{\text{незап}}$ (площадь пустых промежутков между лопастями розетки). Для выражения данного соотношения введен коэффициент рабочей поверхности розетки K_s , который изменяется путем варьирования внутренним диаметром розетки d (рис. 2а) либо суммой углов лопастей розетки $\sum \tau$ (рис. 2б).

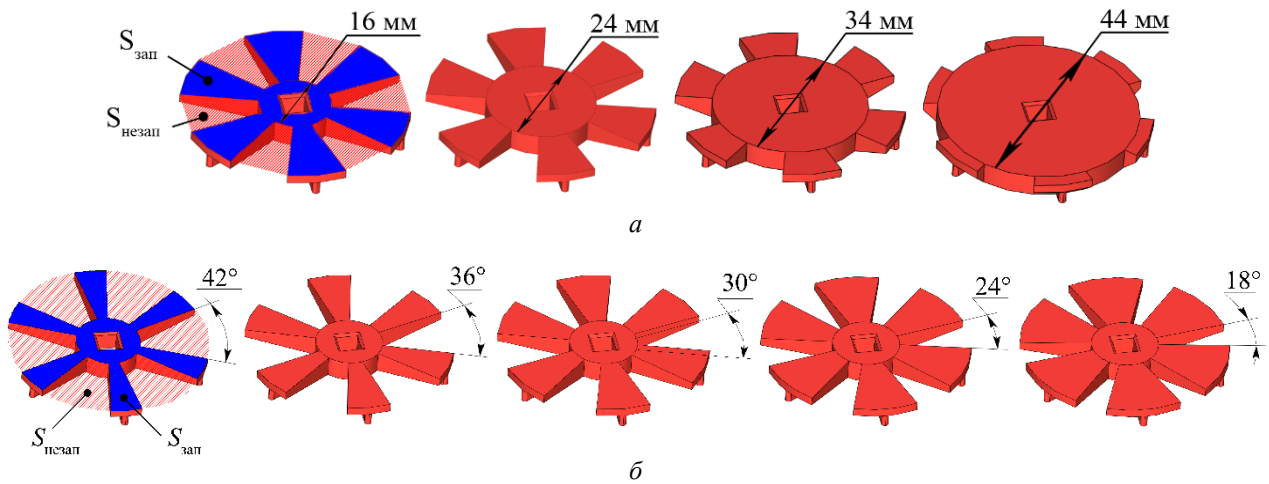


Рисунок 2. – Внешний вид розеток с различными значениями внутреннего диаметра и угла лопасти

Для расчета коэффициента K_s оросителя с плоской розеткой можно использовать следующее выражение:

$$K_s = \frac{360^\circ d^2 + (D^2 - d^2) \sum \tau}{360^\circ D^2} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Выражение (3) не подходит для определения коэффициента K_s конусообразных розеток, т.к. $S_{\text{полн}}$ в данном случае будет площадью не окружности (как в случае с плоской розеткой), а боковой поверхности усеченного конуса (рис. 3).

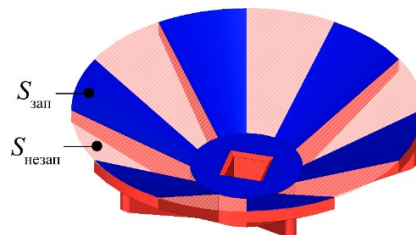


Рисунок 3. – Внешний вид конусообразной розетки оросителя

Для оросителя с конусообразной розеткой получена следующая зависимость коэффициента K_s от основных геометрических параметров розетки:

$$K_s = \frac{360d^2 \sin \alpha + (D_y^2 - d^2) \sum \tau}{360(d^2 \sin \alpha + D_y^2 - d^2)} \cdot 100 \% = \frac{360d^2 \sin \alpha + ([d + (D - d) \sin \alpha]^2 - d^2) \sum \tau}{360(d^2 \sin \alpha + [d + (D - d) \sin \alpha]^2 - d^2)} \cdot 100 \% \quad (4)$$

Выражение (4) справедливо и для оросителей с плоской розеткой (при $\alpha = 90^\circ$ выражения (3) и (4) идентичны).

Влияние геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены. Экспериментально доказано, что изменение количества лопастей розетки n при неизменной сумме углов лопастей $\sum \tau$, а также изменение значений параметров d и $\sum \tau$ при неизменном K_s не оказывает влияния на качественные характеристики получаемой пены [8; 10]. В связи с этим при проведении анализа влияния геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость пены целесообразно вместо параметров n , τ и d использовать коэффициент K_s , что снизит количество комбинаций геометрических параметров оросителя, влияющих на указанные характеристики пены. Таким образом установлено,

что розеточный ороситель для автоматических установок пенного пожаротушения имеет четыре геометрических параметра, значение которых оказывает влияние на кратность и устойчивость получаемой воздушно-механической пены: длина дужек L , коэффициент рабочей поверхности розетки оросителя K_s , внешний диаметр розетки D и угол конусности лопастей розетки α .

Также в работе [10] исследовано влияние геометрических параметров на кратность получаемой пены, а также определены оптимальные значения данных параметров с точки зрения повышения кратности пены: $L = 114$ мм, $K_s = 87\%$, $D = 63$ мм, $\alpha = 36^\circ$.

Следует отметить, что при заданных значениях параметров D и α каждому значению K_s соответствует множество вариаций значений $\sum\tau$ и d . При создании конструкции розеточного оросителя, задавшись некоторыми необходимыми разработчику значениями внешнего диаметра розетки D , угла конусности лопастей розетки α и коэффициента K_s , полученными, например, по математической модели для прогнозирования кратности пены в зависимости от геометрических параметров розеточного оросителя [11], подобрать подходящие значения $\sum\tau$ и d можно с помощью номограмм, которые строятся с использованием выражения (4). Например, на рисунке 4 представлена номограмма для определения значений $\sum\tau$ и d при полученных оптимальных параметрах ($K_s = 87\%$, $D = 63$ мм, $\alpha = 36^\circ$), а также для нескольких других значений K_s при неизменных D и α . Аналогичные номограммы могут быть построены для оросителей с любыми геометрическими параметрами.

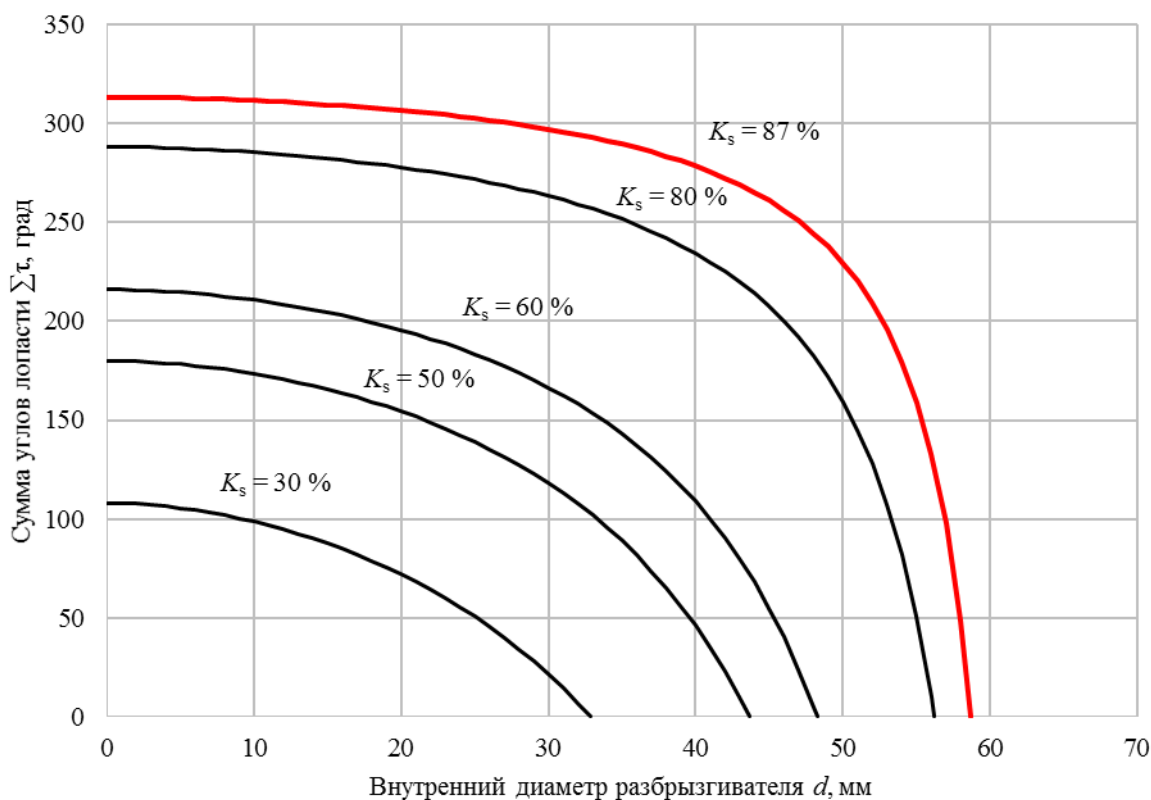


Рисунок 4. – Номограмма для определения значений $\sum\tau$ и d для различных значений коэффициента K_s

Влияние типа пенообразователя на зависимость устойчивости пены от ее кратности. При определении оптимальных значений геометрических параметров оросителя с точки зрения улучшения кратности K и устойчивости C получаемой пены выявлена закономерность – полученные экспериментальные зависимости кратности и устойчивости пены от геометрических параметров розеточного оросителя имеют схожий вид и пропорциональны друг другу [9; 10]. В результате анализа полученных экспериментальных значений кратности и соответствующих им значений устойчивости установлен линейный характер зависимости данных характеристик, которая выражается следующим образом [9; 10]:

$$C = \gamma K, \quad (5)$$

где γ – эмпирический коэффициент, зависящий от типа и физико-химических свойств пенообразователя, с.

Следовательно, при исследовании влияния геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены можно ограничиваться изучением только кратности пены, а устойчивость рассчитывать с помощью выражения (5) при известном коэффициенте γ . В связи с этим целесообразно проведение экспериментов с целью определения зависимости устойчивости получаемой пены от ее кратности.

Для пенообразователя общего назначения ПО-6РЗ (6 %) при условии, что устойчивость пены определяется как время разрушения 25 % ее объема, коэффициент γ оказался равен 13,84 с [9]. Данный пенообразователь является синтетическим и не содержит фторированных поверхностно-активных веществ (тип S¹).

Для подтверждения справедливости выражения (5) для пенообразователей типа S были запланированы дополнительные исследования с использованием другого пенообразователя того же типа: Синтек-6НС с рабочей концентрацией в водном растворе 6 %. Также целесообразно проверить справедливость выражения (5) и для других типов пенообразователей. Так, для проведения эксперимента был выбран синтетический пенообразователь, не содержащий фторированных поверхностно-активных веществ и использующийся в качестве смачивателя (тип WA²): ОПС-0,4 с рабочей концентрацией в водном растворе 1 %. Так как точный химический состав пенообразователя является коммерческой тайной производителя, более подробное изучение влияния физико-химических свойств определенных пенообразователей на значение эмпирического коэффициента γ не проводилось.

Экспериментальные исследования кратности и устойчивости пены проводились на установке, схема которой представлена на рисунке 5. Раствор подавался из емкости 1 с помощью насоса 2 по трубопроводу 3 к оросителю 7, где генерировалась пена и попадала в емкость 8. Давление перед оросителем определялось по манометру 6 и устанавливалось на уровне 0,1 МПа. Опыт прекращался при заполнении емкости 8 на 100 %. Далее с помощью весов 9 определялась масса пены в емкости 8, после чего рассчитывалась ее кратность по формуле:

$$K = V\rho / (m_2 - m_1), \quad (6)$$

где V – объем емкости 8 (0,05 м³); ρ – плотность раствора пенообразователя (Синтек-6НС – 1002 кг/м³, ОПС-0,4 – 1001 кг/м³); m_1 – масса емкости 8 (12 кг); m_2 – масса емкости 8 с пеной, кг.

Для определения устойчивости пены открывался кран 4 на емкости 8 и замерялось время разрушения 25 % объема пены по мерной шкале емкости 8. Эксперименты проводились при нормальных условиях окружающей среды.

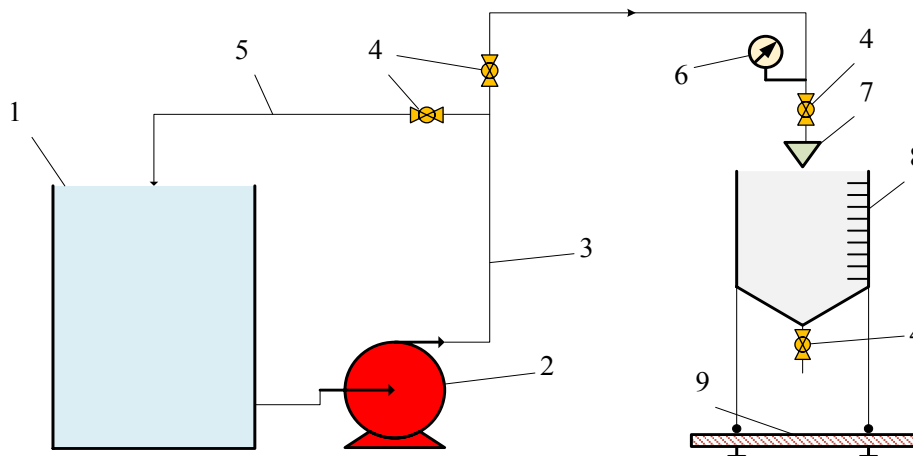
Определение качественных характеристик пены осуществлялось для различных конфигураций сборно-разборного оросителя [12], имеющих различные геометрические параметры основных элементов (дужек и розетки). Для более точного изучения зависимости устойчивости от кратности получаемой пены было необходимо получить значения кратности пены, наиболее отличающиеся друг от друга. Исходя из этого на основании ранее полученных значений кратности [4–6] были выбраны 13 соответствующих конфигураций сборно-разборного оросителя. Применялись комбинации следующих основных геометрических параметров: длина дужек L (30, 50 и 150 мм), коэффициент рабочей поверхности розетки K_s (54,6; 61,0; 81,7 и 84,4 %), внешний диаметр розетки D (30, 50 и 63 мм) и угол конусности

¹ Система стандартов пожарной безопасности. Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016 (ГОСТ Р 50588-2012). – Взамен СТБ ГОСТ Р 50588-99; введ. 12.08.16. – Минск: Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации», 2016. – 43 с.

² См. сноску 1.

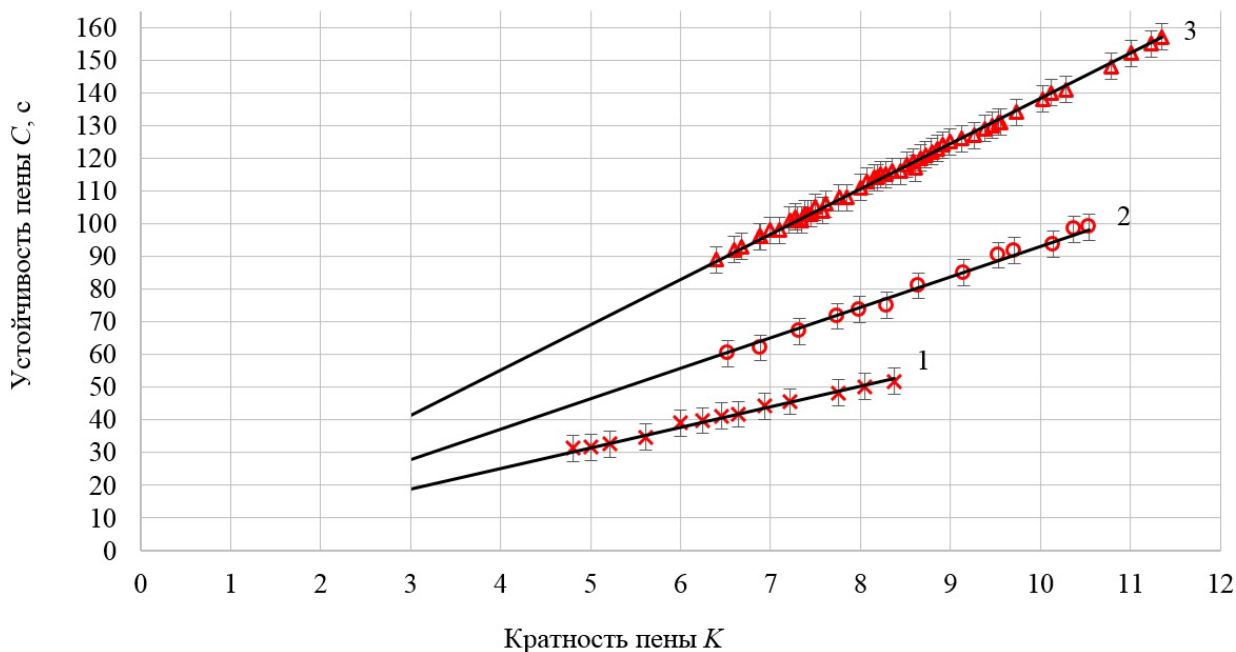
розетки α (45, 65, 75, 90 и 120°). За результат эксперимента принималось среднеарифметическое пяти параллельных измерений. Расхождение между результатами наиболее отличающихся измерений с доверительной вероятностью 0,95 было не более 10 % среднего значения.

Экспериментальные зависимости качественных характеристик пены друг от друга с применением различных марок пенообразователей приведены на рисунке 6.



1 – емкость для приготовления раствора пенообразователя; 2 – насос; 3 – основной трубопровод; 4 – кран; 5 – обводной трубопровод; 6 – манометр; 7 – сборно-разборный ороситель; 8 – емкость для сбора пены; 9 – электронные весы

Рисунок 5. – Схема экспериментальной установки



1 – ОПС-0,4 (1 %); 2 – Синтек-6НС (6 %); 3 – ПО-6РЗ (6 %) согласно [9]

Рисунок 6. – Зависимость устойчивости пены от ее кратности для различных марок пенообразователей

Из рисунка 6 видно, что зависимость C от K имеет линейный вид для всех исследуемых пенообразователей, при этом формулам линий тренда (прямые линии) соответствуют коэффициенты детерминации $R^2 \geq 0,99$, что свидетельствует о высокой степени соответствия экспериментальным значениям. Эмпирический коэффициент γ для исследованных пенообразователей равен: для ОПС-0,4 (1 %) – 6,30 с; для Синтек-6НС (6 %) – 9,31 с.

Заключение

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований получено выражение (4) для определения коэффициента площади рабочей поверхности розетки K_s для оросителей с конусообразной розеткой. Установлены геометрические параметры, значения которых влияют на кратность и устойчивость получаемой пены, а также проанализированы оптимальные значения данных параметров с точки зрения повышения кратности и устойчивости пены. При разработке конструкции новых розеточных оросителей для подбора значения $\sum \tau$ и d в рамках обеспечения заданного коэффициента K_s предложено использование номограмм, которые строятся с использованием выражения (4).

Установлено, что ранее выявленный линейный характер зависимости устойчивости пены C от ее кратности K (выражение (5)) для пенообразователя ПО-6РЗ (6 %) характерен и для другого пенообразователя типа S – Синтек-6НС (6 %), при коэффициенте пропорциональности $\gamma = 9,31$ с. Также данная зависимость наблюдается и при использовании пенообразователя типа WA ОПС-0,4 (1 %) при коэффициенте $\gamma = 6,30$ с. При исследовании влияния коэффициента площади рабочей поверхности розетки K_s на качественные характеристики получаемой пены полученные коэффициенты пропорциональности γ позволяют ограничиться экспериментальным определением только одной качественной характеристики пены, определив вторую с помощью выражения (5).

Актуально проведение дополнительных экспериментальных исследований с целью определения коэффициентов пропорциональности для более широкого ряда пенообразователей типа S и WA, а также для проверки линейного характера зависимости устойчивости от кратности получаемой пены при использовании других типов пенообразователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahrens, M. U.S. Experience with sprinklers: report / M. Ahrens. – Quincy: NFPA Research, 2017. – 35 p.
2. Романцов, И.И. Эффективность использования жидкофазных огнетушащих составов на объектах энергетики / И.И. Романцов, Е.И. Чалдаева // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции, 2–4 декабря 2015 г., Томск: в 2 т. – Томск: СКАН, 2015. – Т. 2. – С. 160–164.
3. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с.
4. Камлюк, А.Н. Экспериментальные исследования влияния конструктивных элементов оросителей на кратность воздушно-механической пены / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 167–177. DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.167.
5. Лихоманов, А.О. Обоснование применения розеточных оросителей, изготавливаемых при помощи аддитивных технологий, в экспериментальных исследованиях качественных характеристик воздушно-механической пены низкой кратности / А.О. Лихоманов, Э.Г. Говор, А.Н. Камлюк // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 25–39. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.25.
6. Камлюк, А.Н. Экспериментальное определение рациональных геометрических параметров держателя и разбрызгивателя оросителя по кратности и устойчивости пены / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 60–68. DOI: 10.29235/1561-8358-2019-64-1-60-68.
7. Лихоманов, А.О. Математическая модель прогнозирования кратности пены в зависимости от геометрических параметров розеточных оросителей / А.О. Лихоманов, А.Н. Камлюк // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2019. – Т. 41, № 2. – С. 27–38.
8. Камлюк, А.Н. Инновационные подходы при оптимизации конструкции пенных пожарных оросителей с помощью аддитивных технологий / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов // Новости науки и технологий. – 2018. – № 3. – С. 53–59.
9. Лихоманов, А.О. Экспериментальное определение эффективности тушения пожара класса В пеной низкой кратности, генерируемой розеточными оросителями / А.О. Лихоманов, А.Н. Камлюк,

- А.В. Грачулин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 251–264. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.4-3.251.
10. Kamluk, A.N. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry / A.N. Kamluk, A.O. Likhomanov // *Fire Safety Journal*. – 2019. – Vol. 109. – P. 102862-1–102862-8. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
 11. Kamluk, A.N. Field testing and extinguishing efficiency comparison of the optimized for higher expansion rates deflector type sprinkler with other foam and foam-water sprinklers / A.N. Kamluk, A.O. Likhomanov, A.V. Grachulin // *Fire Safety Journal*. – 2020. – Vol. 116. – P. 103177-1–103177-10. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103177
 12. Сборно-разборный дренчерный ороситель: полез. модель ВУ 11801 / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин, А.О. Лихоманов, Э.Г. Говор. – Оpubл. 30.10.2018.

**О взаимосвязях геометрических параметров оросителя,
устойчивости и кратности получаемой пены**
**On the relationship between the sprinkler geometric parameters,
stability and expansion rate of the generated foam**

Лихоманов Алексей Олегович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности,
преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: alexlikh20@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9374-1486

Aleksey O. Likhomanov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic Safety Systems,
Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: alexlikh20@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9374-1486

Говор Эдуард Геннадьевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», отдел научной
и инновационной деятельности,
научный сотрудник

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: govor-098@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4040-3264

Eduard G. Govor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Department of Scientific and Innovation Activity,
Researcher

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: govor-098@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4040-3264

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
e-mail: kan@ucp.by
ORCID: 0000-0002-9347-0778

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
e-mail: kan@ucp.by
ORCID: 0000-0002-9347-0778

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.174>

ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE SPRINKLER GEOMETRIC PARAMETERS, STABILITY AND EXPANSION RATE OF THE GENERATED FOAM

Likhomanov A.O., Govor E.G., Kamlyuk A.N.

Purpose. To analyze the influence of geometric parameters of the deflector type sprinkler on the expansion rate and stability of generated air-mechanical foam and to study the relationship between the expansion rate and the stability of low expansion foam generated in deflector type sprinklers for synthetic general-purpose foaming agents and wetting agents.

Methods. Theoretical research methods (analysis, synthesis and systematization) were used. To study the relationship between the expansion rate and the stability of low expansion foam the experiments were carried out, and the methods of regression and statistical analyzes for the mathematical description of the established relationship were used.

Findings. The geometric parameters of the frame arms and deflector of the sprinkler that affect the expansion rate and stability of generated foam were defined. The optimal values of these geometric parameters to obtain foam with increased expansion rate and stability were analyzed. The expression for determining the working surface coefficient K_s of the cone-shape deflector of the sprinkler was obtained. It was found that the previously revealed linear nature of the dependence of foam stability on foam expansion rate for the PO-6RZ (6 %) foaming agent is also typical for other foaming agents, in particular for the synthetic general-purpose foaming agent Sintek-6NS (6 %) and the wetting agent OPS-0.4 (1 %).

Application field of research. The expression for determining the working surface coefficient K_s of the cone-shape deflector of the sprinkler can be widely used in the development of new deflector type sprinklers for automatic extinguishing systems, as well as for the modernization of their design. In addition, the obtained expression for the dependence of foam stability on its expansion rate can be used to calculate the unknown value of these qualitative characteristics of foam, knowing the value of one of them (for the synthetic general-purpose foaming agent Sintek-6NS (6 %) and the wetting agent OPS-0.4 (1 %)).

Keywords: automatic extinguishing system, sprinkler, foam, foam expansion rate, foam stability, geometric parameters of sprinkler, deflector working surface coefficient of sprinkler.

(The date of submitting: April 26, 2021)

REFERENCES

1. Ahrens M. U.S. *Experience with sprinklers*. Quincy: NFPA Research, 2017. 35 p.
2. Romantsov I.I., Chaldaeve E.I. Effektivnost' ispol'zovaniya zhidkofaznykh ognetushashchikh sostavov na ob'ektakh energetiki [Efficiency of using liquid-phase fire-extinguishing compositions at power engineering facilities]. *Proc. XXI All-Russian scientific-technical conf. «Energy: efficiency, reliability, safety»*, Tomsk, December 2–4, 2015. Tomsk: SKAN, 2015. Vol. 2. Pp. 160–164. (rus)
3. 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)
4. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya konstruktivnykh elementov orositeley na kratnost' vozdušno-mekhanicheskoy peny [Experimental investigations of the influence of the structural elements of sprinklers on the expansion rate of air-mechanical foam]. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 2. Pp. 167–177. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.167.
5. Likhomanov A.O., Govor E.G., Kamlyuk A.N. Obosnovanie primeneniya rozetochnykh orositeley, izgotavlivaemykh pri pomoshchi additivnykh tekhnologiy, v eksperimental'nykh issledovaniyakh kachestvennykh kharakteristik vozdušno-mekhanicheskoy peny nizkoy kratnosti [The substantiation of the application of deflector sprinklers manufactured by additive technologies in experimental studies of qualitative characteristics of the low-expansion air-mechanical foam]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 25–39. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.25.
6. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Eksperimental'noe opredelenie ratsional'nykh geometricheskikh parametrov derzhatelya i razbryzgivatelya orositeley po kratnosti i ustoychivosti peny [Experimental determination of the rational geometrical parameters of the sprinkler frame arms and deflector on the expansion rate and stability of foam]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2019. Vol. 64, No. 1. Pp. 60–68. (rus). DOI: 10.29235/1561-8358-2019-64-1-60-68.

7. Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N. Matematicheskaya model' prognozirovaniya kratnosti peny v zavisimosti ot geometricheskikh parametrov rozetochnykh orositeley [Mathematical model for predicting foam expansion rate depending on the geometrical parameters of deflector type sprinkler]. *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2019. Vol. 41, No. 2. Pp. 27–38. (rus)
8. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Innovatsionnye podkhody pri optimizatsii konstruktsii pennykh pozharnykh orositeley s pomoshch'yu additivnykh tekhnologiy [Innovative way to optimize the design of foam fire sprinklers with the help of additive technologies]. *News of Science and Technologies*, 2018. Vol. 46, No. 3. Pp. 53–59. (rus)
9. Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. Eksperimental'noe opredelenie effektivnosti tusheniya pozhara klassa B peny nizkoy kratnosti, generiruemoy rozetochnymi orositelyami [Experimental determination of the Class B fire extinguishing efficiency using low-expansion foam generated by deflector type sprinklers]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 3. Pp. 251–264. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.4-3.251.
10. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry. *Fire Safety Journal*, 2019. Vol. 109. Pp. 102862-1–102862-8. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
11. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. Field testing and extinguishing efficiency comparison of the optimized for higher expansion rates deflector type sprinkler with other foam and foam-water sprinklers. *Fire Safety Journal*, 2020. Vol. 116. Pp. 103177-1–103177-10. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103177.
12. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V., Likhomanov A.O., Govor E.G. *Sborno-razbornyy drenchernyy orositel'* [Collapsible deluge sprinkler]: utility model BY 11801. Published October 30, 2018. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.186>

УДК 614.845.1

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДАЧИ ОГNETУШАЩЕГО ПОРОШКОВОГО СОСТАВА

Журов М.М., Миканович Д.С., Рыжков М.Б.

Цель. Усовершенствовать устройство подачи огнетушащих порошковых составов, исследовать параметры подачи огнетушащего порошка предлагаемым устройством.

Методы. Экспериментальное определение дальности струи огнетушащего порошка и рабочего давления в баллоне огнетушителя. Теоретические расчеты текучести огнетушащего порошкового состава в зависимости от рабочего давления в баллоне огнетушителя.

Результаты. Исследованы параметры рабочего давления и текучести огнетушащего порошка на протяжении времени использования всего заряда огнетушителя. Установлены средние значения текучести огнетушащего порошка и рабочего давления в баллоне порошкового огнетушителя, применяемого в МЧС, а также с модернизированной конструкцией. По результатам исследований установлено, что модернизированная конструкция огнетушителя обеспечивает увеличение дальности подачи и текучести порошка. Практически доказана эффективность предлагаемой конструкции порошкового огнетушителя.

Область применения исследований. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации конструкции порошкового огнетушителя.

Ключевые слова: порошковый огнетушитель, модернизированная конструкция, текучесть, дальность струи, дальность подачи, рабочее давление.

(Поступила в редакцию 26 января 2021 г.)

Введение

Огнетушитель – переносное или передвижное устройство для тушения очагов пожара за счет выпуска запасенного огнетушащего вещества¹. Переносной огнетушитель обычно представляет собой цилиндрический баллон с запорно-пусковым устройством, манометром, соплом и ручкой. При введении огнетушителя в действие из его сопла под высоким давлением начинает выходить вещество, способное потушить огонь. В работе [1] отмечено, что в жилых домах при тушении небольших очагов горения в распределительных щитах или в местах прохождения электрической проводки порошковый огнетушитель является очень эффективным средством тушения пожара. По этой же причине огнетушитель эффективен и при тушении пожаров на автомобильном транспорте, где горение в большинстве случаев начинается с моторного отсека из-за короткого замыкания электрической проводки.

В настоящее время в подразделениях Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (далее – МЧС) в комплектацию пожарных автоцистерн, автомобилей быстрого реагирования и аварийно-спасательных автомобилей входят два порошковых огнетушителя с массой заряда 10 кг (далее – ОП-10). После применения указанных огнетушителей требуется проводить их техническое обслуживание и перезарядку.

Основная часть

Перезарядка и техническое обслуживание порошковых огнетушителей в подразделениях МЧС требует значительных временных и трудовых затрат. Кроме того, баллон огнетушителя под давлением является дополнительным источником опасности.

Для решения этих проблем и улучшения параметров подачи огнетушащего порошка предлагается в качестве движущей силы огнетушащего порошка использовать воздух из

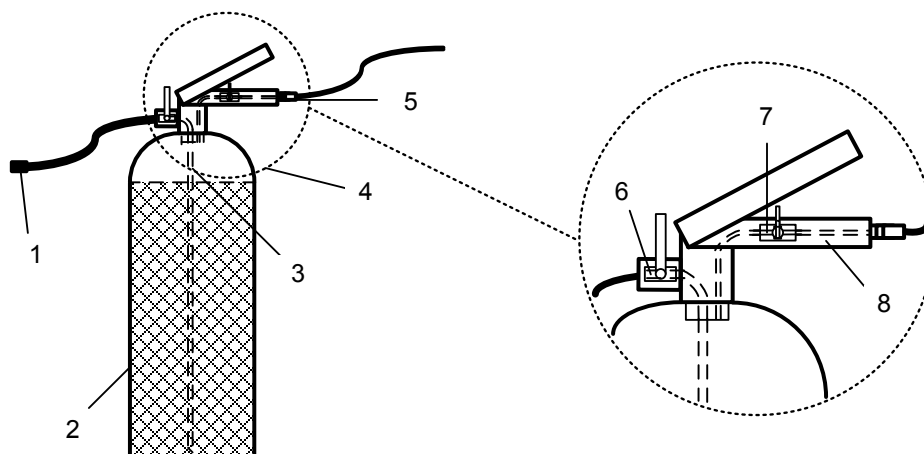
¹ Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника. Термины и определения: ГОСТ 12.2.047-86. – Введ. 30.06.86 (взамен ГОСТ 12.2.047-80). – М.: ИПК «Издательство стандартов», 1986. – 19 с.

устройства сжатого воздуха или газа. Подразделения МЧС в качестве такого устройства могут применять аппарат для сжатого воздуха (далее – АСВ). Нормируемые характеристики² работы применяемых в МЧС порошковых огнетушителей ОП-10 представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Нормируемые характеристики работы порошкового огнетушителя ОП-10

Масса ОТВ, кг	Продолжительность подачи ОТВ, с	Длина струи ОТВ, м
10	не менее 15	не менее 4

Длина струи определяется как расстояние по горизонтали от среза насадка огнетушителя до дальней границы распространения основной массы огнетушащего вещества³. При этом длину струи порошка фиксируют за время работы, соответствующее 1/3 продолжительности подачи огнетушащего порошка. Экспериментально установлено, что для применяемого в МЧС ОП-10 после 1/3 продолжительности подачи огнетушащего порошка длина струи снижается более чем в два раза. Следовательно, прерывание и возобновление подачи огнетушащего порошка в процессе тушения значительно снижают эффективность применения данного ОП-10. Использование в качестве движущей силы порошка давления воздуха из АСВ, вторичное давление на выходе которого составляет от 7,5 до 9,5 атм (0,76–0,96 МПа), позволяет значительно повысить эффективность тушения, в том числе после прерывания подачи порошка. Для реализации этого предлагается модернизированная конструкция устройства, позволяющего подавать огнетушащий порошок от АСВ (рис. 1).



1 – шланг с насадкой-распылителем; 2 – баллон для хранения огнетушащего вещества; 3 – сифонная трубка; 4 – запорно-пусковое устройство; 5 – быстросъемное соединение; 6 – кран для прекращения подачи огнетушащего состава; 7 – пневмокран; 8 – ручка для переноски с подвижным рычагом

Рисунок 1. – Модернизированная конструкция устройства

Модернизированная конструкция устройства состоит из баллона для хранения огнетушащего вещества 2, шланга с насадкой-распылителем 1, сифонной трубки 3, запорно-пускового устройства 4 и быстросъемного соединения 5. Запорно-пусковое устройство 4 состоит из крана для прекращения подачи огнетушащего состава 6, пневмокрана 7 и ручки для переноски огнетушителя с подвижным рычагом 8, опирающимся на толкатель пневмокрана 7. Переносная установка приводится в действие от АСВ, воздухоподающий шланг которого присоединяется через быстросъемное соединение 5. Пневмокран 7 может быть с обратным клапаном с целью исключения возможности поступления огнетушащего порошка в воздухоподающий шланг.

² Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная техника. Огнетушители переносные. Общие технические условия: СТБ 11.13.04-2009. – Введ. 01.09.09 (с отменой на территории РБ НПБ 1-2005). – М.: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2009. – 46 с.

³ См. сноску 1.

Результаты исследований также показали, что за первые 3 с давление в применяемом в МЧС порошковом огнетушителе ОП-10 падает более чем в два раза и составляет не более 7 атм (рис. 2).

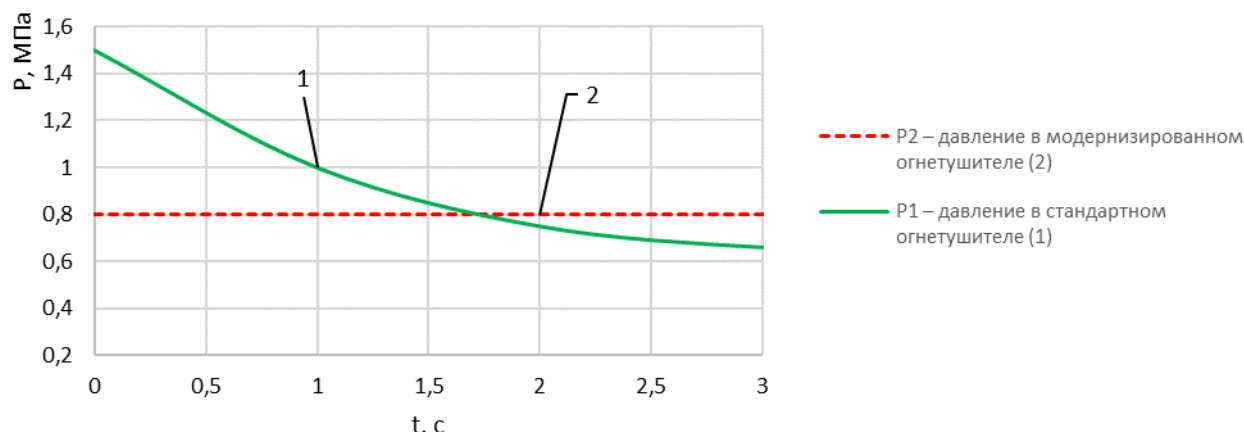


Рисунок 2. – Зависимость изменения рабочего давления в течение первых 3 с применения огнетушителя

Как видно из рисунка 2, эффективность работы модернизированного огнетушителя по параметру рабочего давления после второй секунды выше применяемого в МЧС ОП-10. В модернизированном огнетушителе, который работает от АСВ, рабочее давление в огнетушителе сохраняется на протяжении использования всего запаса огнетушащего порошка и составляет не менее 7,5 атм (рис. 3).

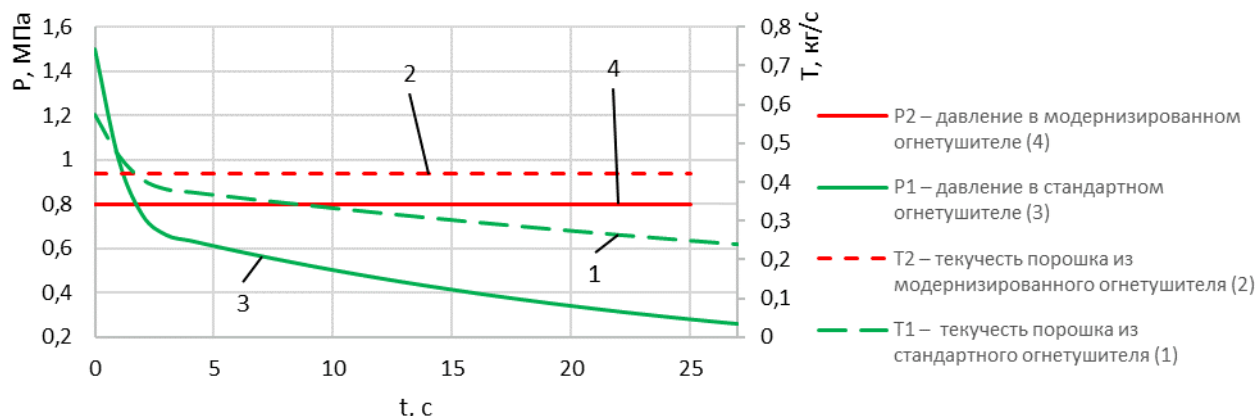


Рисунок 3. – Зависимости изменения рабочего давления и текучести порошка за время использования всего заряда огнетушителя

Кроме того, от рабочего давления в баллоне зависит и дальность струи порошка. Согласно действующим нормативным документам⁴ для огнетушителя ОП-10 минимальная дальность струи порошка составляет 4 м. Методика определения дальности порошковой струи основана на определении расстояния по горизонтали от насадка огнетушителя до дальней границы распространения основной массы порошка за время равное $1/3$ продолжительности подачи огнетушащего порошка. Для применяемого в МЧС ОП-10 оно составило 9 с. Поэтому сравнительную оценку дальности порошковой струи из применяемого в МЧС и из модернизированного ОП-10 проводили за первые 9 с (рис. 4).

⁴ См. сноску 2.

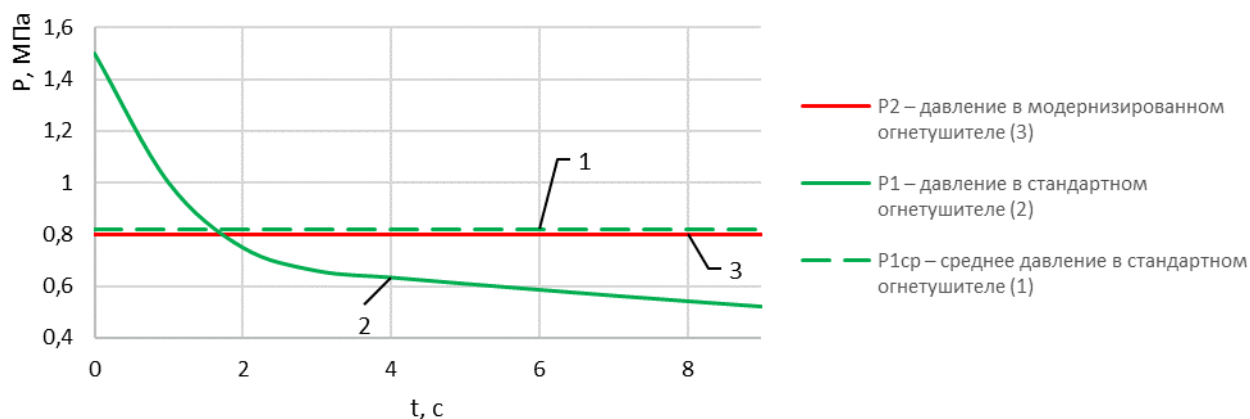


Рисунок 4. – Значения рабочих давлений в применяемом в МЧС и модернизированном огнетушителях в течение первых 9 с применения

За первые 9 с значение среднего давления в применяемом в МЧС и модернизированном порошковом огнетушителе примерно равны и составляют 0,82 и 0,8 МПа соответственно. При этом за время использования всего заряда огнетушащего порошка значение среднего рабочего давления в модернизированном огнетушителе больше на 0,28 МПа (рис. 3). На основании этого можно сделать вывод об увеличении рабочего давления в модернизированном ОП-10 по сравнению со средним значением рабочего давления в применяемом в МЧС на 48 %.

В свою очередь, от рабочего давления в баллоне огнетушителя зависит текучесть огнетушащего порошка, снижение которой приводит к снижению интенсивности его подачи. При этом для успешного тушения пожара интенсивность подачи огнетушащего порошка должна быть не меньше требуемой [2]. Для сравнительной оценки эффективности работы огнетушителей по параметру текучести порошка за время использования всего огнетушащего заряда нами получены их средние значения. На основании проведенных исследований (рис. 3) установлено, что средние значения текучести огнетушащего порошка из огнетушителя, применяемого в МЧС, и из огнетушителя с модернизированной конструкцией составляют 0,33 кг/с и 0,42 кг/с соответственно.

На основании этого можно сделать вывод об улучшении текучести огнетушащего порошка из модернизированного огнетушителя ОП-10 на 27 % при уменьшении времени работы модернизированного огнетушителя ОП-10 по сравнению с применяемым в МЧС на 2 с (на 8 %). Это объясняется возможностью более полного заполнения объема баллона огнетушителя порошком, т.к. в нем в отличие от применяемого в МЧС закачного порошкового огнетушителя требуется меньший объем под сжатый газ. Предлагаемая модернизированная конструкция порошкового огнетушителя, работающего от АСВ (рис. 1), содержит более простое запорно-пусковое устройство. Оно представляет собой рукоятку с быстросъемным соединением без манометра. Манометр для контроля давления в баллоне модернизированного огнетушителя не требуется, т.к. АСВ оснащен собственным манометром. По его показаниям можно судить о наличии вторичного давления воздуха, подаваемого в баллон огнетушителя с целью вытеснения огнетушащего порошка.

Заключение

Разработана модернизированная конструкция порошкового огнетушителя, которая позволяет использовать весь объем баллона огнетушителя для заполнения огнетушащим порошковым составом, исключив при этом необходимость наличия свободного объема баллона для закачки газа. Получены зависимости текучести огнетушащего порошка и рабочего давления в баллоне, применяемом в МЧС, и модернизированного огнетушителя от времени истечения заряда. Установлено, что средние значения текучести огнетушащего порошка из

применяемого в МЧС и модернизированного огнетушителя составляют 0,33 и 0,42 кг/с соответственно, а рабочего давления в баллоне – 0,52 и 0,8 МПа соответственно.

Таким образом, в модернизированном огнетушителе по сравнению с применяемым в МЧС среднее рабочее давление в баллоне увеличивается на 48 %, а средняя текучесть порошка увеличивается на 27 %. Проведенные натурные испытания показали, что модернизированная конструкция огнетушителя позволяет эффективнее проводить тушение, поскольку увеличивает рабочее давление и соответственно дальность подачи порошка на протяжении использования всего огнетушащего заряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Венескари, Т. Перспективы оснащения порошковыми огнетушителями и оборудованием для их перезарядки пожарно-спасательные подразделения МЧС России / Т. Венескари, С.В. Ильницкий // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. – 2017. – № 2. – С. 27–33.
2. Журов, М.М. Исследование параметров подачи огнетушащего порошкового состава огнетушителем / М.М. Журов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020 – Т. 4, № 2. – С. 186–193. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.186.

Устройство для подачи огнетушащего порошкового состава

Extinguishing powder agent feeding device

Журов Марк Михайлович

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра процессов
горения и взрыва, доцент

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

e-mail: Zhurmark@mail.ru.

ORCID: 0000-0001-5228-7371

Mark M. Zhurov

PhD in Technical Sciences

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Combustion and Explosion Processes,
Associate Professor

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

e-mail: Zhurmark@mail.ru.

ORCID: 0000-0001-5228-7371

Миканович Дмитрий Станиславович

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра управления
защитой от чрезвычайных ситуаций, доцент

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

e-mail: dmikanovich@list.ru

ORCID: 0000-0002-3560-1741

Dmitry S. Mikanovich

PhD in Technical Sciences

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Emergency Management,
Associate Professor

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

e-mail: dmikanovich@list.ru

ORCID: 0000-0002-3560-1741

Рыжков Михаил Борисович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», курсант

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

e-mail: Miha123123123miha@mail.ru

Mikhail B. Ryzhkov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
cadet

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

e-mail: Miha123123123miha@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.186>

EXTINGUISHING POWDER AGENT FEEDING DEVICE

Zhurov M.M., Mikanovich D.S., Ryzhkov M.B.

Purpose. To improve the device for supplying fire extinguishing powder compositions, to investigate the parameters of supplying fire extinguishing powder by means of the proposed device.

Methods. Experimental determination of the range of fire extinguishing powder jet and working pressure in the fire extinguisher cylinder. Theoretical calculations of the fluidity of fire extinguishing powder composition depending on working pressure in the fire extinguisher cylinder.

Findings. For parallel radiating and receiving surfaces, located arbitrarily relative to each other, the analytical expression is obtained that allows determining the configuration factor of an element of receiving surface by emitting surface which have the shape of an arbitrary convex polygon.

Application field of research. Determination of the fire breaks between buildings, taking into account the individual characteristics of the objects calculated – gabled roof made of combustible materials.

Keywords: fire-break, flame's geometrical parameters, configuration factor, combustible roofing materials.

(The date of submitting: January 26, 2021)

REFERENCES

1. Veneskari T., Il'nitskiy S.V. Perspektivy osnashcheniya poroshkovymi ognetyshitel'yami i oborudovaniem dlya ikh perezaryadki pozharno-spatatel'nye podrazdeleniya MChS Rossii [Prospects for equipping fire-fighting and rescue units of the Russian Emergencies Ministry with powder fire extinguishers and equipment for their recharging]. *Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti*, 2017. No. 2. Pp. 27–33. (rus)
2. Zhurov M.M., Bobrusheva S.N., Lakhvich V.V., Ryzhkov M.B. Issledovanie parametrov podachi ognetyshashchego poroshkovogo sostava [Investigation of parameters of fire extinguishing powder supply]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 2. Pp. 186–193. (rus). DOI: [10.33408/2519-237X.2020.4-2.186](https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-2.186).

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.193>

УДК 614.841.2.001.5

ПОЖАРЫ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Пасовец В.Н., Лахвич В.В., Антоненко М.А.

Цель. Анализ причин возникновения пожаров на сельскохозяйственной технике агропромышленного комплекса Республики Беларусь.

Методы. Проведение теоретического анализа причин возникновения пожаров на сельскохозяйственной технике, осмотр места пожара с применением современных методов и технических средств.

Результаты. В работе представлены причины возникновения пожаров на тракторах и комбайнах различного назначения. Показано, что данные причины связаны с нарушением правил эксплуатации, конструктивными недостатками машин и механизмов, разрушением узлов и деталей, нарушением технологических процессов, неосторожным обращением с огнем, поджогами, проявлением сил природы, нарушением противопожарных требований, правил хранения и транспортирования веществ и материалов.

Нередко причиной пожаров на сельскохозяйственной технике является скопление горючего материала в точках с высокими температурами, расположенных рядом с двигателем. Более детальное изучение технических причин пожаров позволило установить, что наиболее часто к пожарам приводят неисправности в системах питания, смазки и выпуска отработавших газов двигателей внутреннего сгорания и электрооборудования сельхозтехники.

Область применения исследований. Представленные результаты могут быть использованы в сфере обеспечения пожарной безопасности предприятий агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: трактор, комбайн, причина пожара, нарушение правил эксплуатации, разрушение узлов и деталей, технологический регламент, неосторожное обращение с огнем, конструктивные недостатки, транспортировка веществ и материалов.

(Поступила в редакцию 11 января 2021 г.)

Введение

Значительный ущерб предприятиям агропромышленного комплекса Республики Беларусь наносят пожары, возникающие при эксплуатации сельскохозяйственной техники. При этом происходит утрата дорогостоящих машин и оборудования, образуются потери урожая, связанные как с уничтожением возделываемых сельскохозяйственных культур, например, выгоранием хлебных массивов, так и со снижением урожайности из-за продления сроков уборки.

В почвенно-климатических зонах Беларуси уборка урожая осуществляется в летне-осенний период, сочетающий пожароопасные условия в виде жаркой и засушливой погоды с легко воспламеняющимся урожаем. А с учетом существующих тенденций изменения климата следует ожидать повышения среднегодовых температур и рост рисков возникновения пожаров в данный период [1].

На сегодня сельскохозяйственное машиностроение развивается по пути увеличения производительности посредством повышения энергонасыщенности тракторов и комбайнов различного назначения. При этом повышение энергонасыщенности обеспечивается за счет увеличения мощности их силовых агрегатов [2]. Однако применение сельскохозяйственных машин с более высокой производительностью также создает дополнительную опасность возгорания. В настоящее время серийно выпускаемые комбайны не комплектуются пожарными извещателями или системами пожаротушения и, как следствие, обнаружение пожара осуществляется органами чувств человека, а средствами тушения являются огнетушитель, вода, земля.

Пожарная опасность, возникающая в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники, обусловлена наличием большого количества горючих материалов, используемых в различных системах двигателя, зубчатых и фрикционных передач, гидравлического оборудования. При этом пожарная нагрузка зерноуборочного комбайна в среднем составляет $2 \cdot 10^4$ МДж/м² [3]¹, а его стоимость равна 100 000–200 000 долл. США для отечественных образцов техники и 300 000–500 000 долл. США для импортных. Современные зерноуборочные комбайны являются конструктивно сложными и высокопроизводительными машинами, обладающими пропускной способностью 6–20 кг/с, что обуславливает их дороговизну.

При этом несмотря на важность последствий пожаров в сельском хозяйстве исследований причин их возникновения на сельскохозяйственной технике практически нет. До сих пор наиболее крупные исследования по данной теме были проведены в США [4; 5]. В данных работах авторы исследовали более 4000 пожаров на комбайнах и тракторах. Исследование 1170 фермерских хозяйств Австралии показало, что на 25 % эксплуатируемой техники происходило возгорание [6].

В Беларуси проблемы возникновения пожаров на мобильной сельскохозяйственной технике рассмотрены в работах [7–9]. Однако опубликованные работы содержат разрозненные данные и не дают представления о пожарах на сельскохозяйственной технике и причинах их возникновения. Таким образом, цель работы состояла в установлении причин возникновения пожаров на сельскохозяйственной технике агропромышленного комплекса Республики Беларусь.

Основная часть

1. Оценка машинно-тракторного парка Республики Беларусь

Уровень развития производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в Республике Беларусь позволяет гарантировать физическую доступность для населения продуктов питания в энергетической оценке 3400 ккал на одного человека в сутки. При этом в среднем один человек в год потребляет 89 кг мяса и мясопродуктов, 255 кг – молока и молочных продуктов, 145 кг – овощей и продуктов их переработки, 75 кг фруктов, ягод и продуктов их переработки, 289 шт. яиц². Поэтому в Беларуси большое внимание уделяется совершенствованию средств производства сельхозпродукции – сельскохозяйственной технике, а также внедрению ее новых образцов в хозяйствах страны.

Согласно статистическим данным, в Республике Беларусь за период 2015–2019 гг. произошло значительное сокращение машинно-тракторного парка в аграрном секторе экономики (табл. 1) [10]. Анализ статистических данных указывает на снижение количества всех видов сельскохозяйственной техники в хозяйствах за указанный период. Например, удельный вес тракторов в 2019 г. по сравнению с 2015 г. сократился на 7,8 %, а доля грузовых автомобилей за аналогичный период сократилась на 14,4 %. Также наблюдается значительное сокращение различных видов комбайнов. Например, количество свеклоуборочных комбайнов за 5 лет сократилось на 36,1 %, кукурузоуборочных и льноуборочных комбайнов сократилось на 34,0 и 32,9 % соответственно.

Снижение количества основных видов сельскохозяйственной техники, машин и оборудования в хозяйствах республики обусловлено тем, что объемы приобретаемой техники не возмещают в количественном выражении объемов выбывших из эксплуатации сельскохозяйственных машин, в связи с чем возросла сезонная нагрузка на каждую единицу техники, а в некоторых случаях увеличились сроки уборки и, как следствие, потери урожая.

¹ Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной безопасности. Общие требования: СТБ 11.05.03-2010. – Введ. 01.01.11. – Минск: Бел-ГИСС, 2011. – 76 с.

² О Доктрине национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 15 декабря 2017 г. № 962. – Режим доступа: <https://mshp.gov.by/documents/plant/dceca377014340f4.html>. – Дата доступа: 04.01.2021.

Указанные обстоятельства, наряду с увеличением доли машин, выработавших ресурс, существенно актуализируют проблему пожарной безопасности [11].

Таким образом, можно сделать вывод, что за последние годы машинно-тракторный парк сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь значительно изменился как количественно, так и качественно. При этом актуальным остается вопрос оснащения современной высокоэффективной техникой предприятий агропромышленного комплекса.

Таблица 1. – Наличие тракторов, машин и комбайнов в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь

Тип техники	2015	2016	2017	2018	2019	2019 г. к 2014 г., %
Тракторы, тыс. шт.	42,0	43,6	41,3	40,4	39,9	92,2
Грузовые автомобили, тыс. шт.	20,9	20,8	19,4	19,0	18,7	85,6
Комбайны, тыс. шт.:						
зерноуборочные	11,1	10,5	9,9	9,5	9,2	81,9
картофелеуборочные	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	81,8
свеклоуборочные	425	385	334	315	301	63,9
кормоуборочные	4,7	4,5	4,2	4,1	4,0	80,4
кукурузоуборочные	45	41	36	33	31	66,0
льноуборочные	621	538	494	465	443	67,1

2. Анализ причин пожаров на сельскохозяйственной технике

В работе [12] были собраны данные о 4092 пожарах на тракторах и комбайнах различного назначения. На основании анализа полученной информации сделаны следующие выводы: 67 % пожаров произошли с 10:00 до 18:00, при этом наибольшее количество пожаров произошло между 14:00 и 16:00. Однако в данном исследовании не рассмотрены вопросы, касающиеся дней недели, когда произошли пожары.

В работе [13] указано, что 40 % возгораний возникли вблизи компонентов, нагретых до высоких температур, в том числе в 24 % случаев причиной являлись выхлопные газы и в 16 % случаев – горячая поверхность двигателя; 34 % пожаров на сельскохозяйственной технике возникли из-за неисправностей электрооборудования; 62,4 % пожаров возникли в моторных отсеках комбайнов и тракторов; 40 % пожаров на комбайнах были связаны с возгоранием растительных остатков, которые являлись основным горючим материалом.

В более поздней работе [14] было исследовано 8307 пожаров на зерноуборочных комбайнах. В данной работе указывается, что 78,2 % пожаров происходят в период с полудня до 20:00, в том числе 48,5 % – с 14:00 до 18:00. При этом большинство пожаров фиксируется в течение рабочей недели, меньше всего – в воскресенье. В период уборки зерновых злаковых культур происходит 67,9 % пожаров. Также в работе обращается внимание, что в 47,2 % случаев пожаров в качестве факторов воспламенения, вызвавших пожары, выступают неисправности в различных механизмах или электрической системе; 76,7 % пожаров на зерноуборочных комбайнах возникают в районе двигателя. В 41,3 % инициаторами горения на сельскохозяйственной технике являлись органические материалы обрабатываемых культур. В исследовании приведена средняя величина убытков от пожаров на зерноуборочных комбайнах, которая составляет 15 182 долл. США на один пожар. При этом сельскохозяйственные потери из-за пожаров не ограничиваются в краткосрочной перспективе уничтожением посевов, но и в среднесрочной перспективе приводят к потерям производственных мощностей.

Авторы работы [15] в 33 % случаев основной причиной возгорания сельскохозяйственной техники называют скопление пыли и растительных остатков на горячих поверхностях, в том числе в 22 % случаев источником зажигания являлись нагретые поверхности подшипниковых узлов. Более подробные исследования причин пожаров на зерноуборочных комбайнах показали, что 45 % возгораний возникли в области двигателя, 22 % в подшипниковых узлах и трансмиссии, а накопление электростатических зарядов называется одной из

причин пожаров [16]. В работе [17] на основании изучения 116 чрезвычайных ситуаций, связанных с возгоранием зерноуборочных комбайнов, сделаны выводы, что в 41,4 % случаев пожар был вызван неисправностями в топливной или электрической системах двигателя.

Также необходимо отметить, что полевые условия могут способствовать или препятствовать процессу распространения пожара. Основное влияние при этом оказывают четыре основных фактора: относительная влажность, температура окружающей среды, скорость ветра, тип и состояние урожая [18].

Статистически значимая зависимость риска возникновения пожара на зерноуборочном комбайне от количества убранных площадей установлена авторами работы [19]. В данной публикации указывается, что риск возникновения пожара значительно возрастает после уборки площади, составляющей более 6000 га. При этом 32 % возгораний наблюдается в зоне двигателя, 31 % – в жатке и 18 % – в подшипниковых узлах и приводных ремнях. Следовательно, прослеживается зависимость между временем работы сельскохозяйственной техники и вероятностью возникновения пожара, которая обратно пропорциональна зависимости вероятности безотказной работы, уменьшающейся с увеличением времени работы технического объекта [20].

3. Исследование причин пожаров на сельскохозяйственной технике в Республике Беларусь

Проведенный анализ пожаров, произошедших в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники на территории страны, показывает, что за последние пять лет количество пожаров увеличилось в 2,5 раза (табл. 2). Хотя органами государственного пожарного надзора проводится значительное количество профилактических мероприятий в местах заготовки, переработки и хранения урожая, полностью устранить факты ненадлежащей эксплуатации некоторых видов сельскохозяйственной техники, связанные, например, с негерметичностью топливной системы или системы смазки, ведущей к возникновению пожара за счет образования легкогорючего слоя на узлах и деталях, не представляется возможным.

К причинам пожаров на сельскохозяйственной технике также относятся: нарушение технологических процессов заготовки кормов и уборки урожая; конструктивные недостатки применяемых машин и механизмов, а также изменение конструкции узлов и агрегатов сельхозтехники; поджоги; нарушение правил пожарной безопасности, в том числе при проведении ремонтных мероприятий, связанных с выполнением огневых работ и применением материалов, склонных к воспламенению; латентные пожары, т.е. пожары которые не попали в поле зрения органов государственного пожарного надзора [21; 22].

Также пожар может быть вызван воспламенением остатков обрабатываемой сельскохозяйственной культуры (листьев, мякоти, стеблей и других органических материалов), которые накапливаются вокруг системы выпуска отработанных газов двигателя или других деталей сельхозмашины, нагреваемых во время нормальной работы.

Таблица 2. – Количество пожаров, произошедших на сельскохозяйственной технике на территории Республики Беларусь

Регионы	Количество пожаров, произошедших на сельскохозяйственной технике				
	2015	2016	2017	2018	2019
Брестская область	4	5	2	13	13
Витебская область	3	9	3	14	11
Гомельская область	3	2	3	3	13
Гродненская область	2	4	5	8	5
Минская область	7	4	12	10	10
Могилевская область	5	3	5	5	9
Итого по республике	24	27	30	53	61

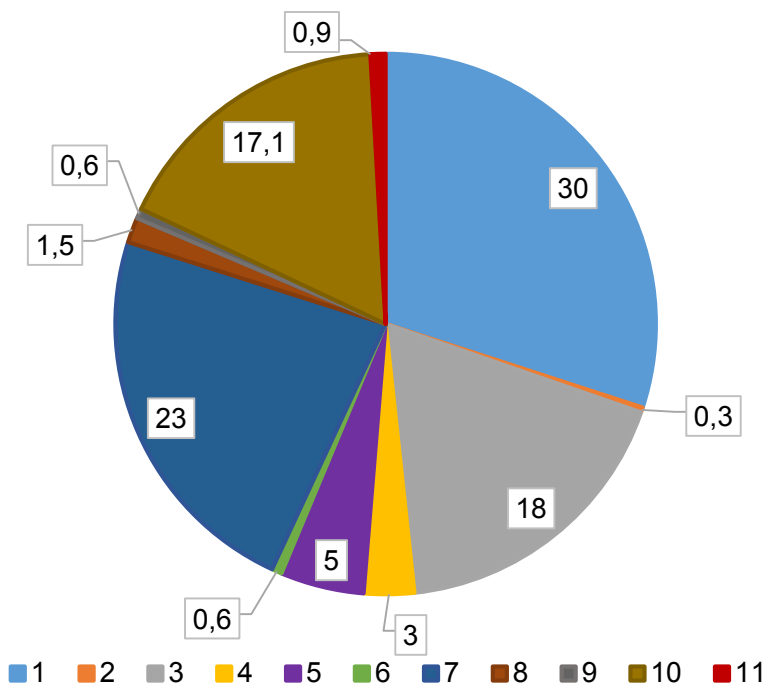
Опубликованные статистические данные показывают: в 25 % случаев пожары возникают на комбайнах и в 75 % – на тракторах, что объясняется сезонностью работы комбайнов, например зерноуборочных [7; 23].

На основе информации, зафиксированной Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь за последние 5 лет, можно выделить 11 групп пожаров на сельскохозяйственной технике, причинами которых являются: нарушение правил эксплуатации, конструктивные недостатки машин и механизмов, разрушение узлов и деталей, нарушение технологического регламента, неосторожное обращение с огнем, поджоги, проявление сил природы, нарушение противопожарных требований, нарушение правил хранения и транспортирования веществ и материалов, неустановленные причины и прочие ситуации (диаграмма).

Подчеркнем, что одна из частых причин пожаров – скопление горючего материала на деталях с высокими температурами, расположенных рядом с двигателем. Температура поверхности элементов данных деталей может достигать 500 °С [24], что превышает температуры воспламенения соломы и пожнивных остатков. Так, пшеничная солома имеет температуру воспламенения 200 °С [25; 26]. При этом регулярное техническое обслуживание и очистка сельхозмашин являются одним из путей снижения риска возникновения пожара.

Среди причин, связанных с нарушением правил эксплуатации, конструктивными недостатками машин и механизмов и разрушением узлов и деталей, чаще всего к пожарам приводят неисправности в системах питания, смазки и выпуска отработавших газов, электрооборудования, а также гидроприводов навесного и прицепного оборудования.

Утечка топлива, масел и жидкостей из гидравлических систем вследствие износа и повреждения деталей, узлов и систем сельскохозяйственной техники при эксплуатации и дорожно-транспортных происшествиях может привести к пожару. Частыми причинами пожаров на сельскохозяйственной технике являются неисправности топливной системы [27–29]: повреждение и разгерметизация топливных баков, разрывы топливопроводов, течь топлива в местах соединения топливопроводов при механическом и тепловом воздействиях.



1 – нарушение правил эксплуатации; 2 – проявление сил природы; 3 – разрушение узлов и деталей; 4 – нарушение технологического регламента; 5 – неосторожное обращение с огнем; 6 – поджоги; 7 – конструктивные недостатки; 8 – неустановленные причины; 9 – нарушение противопожарных требований; 10 – прочие причины; 11 – нарушение правил хранения и транспортирования веществ и материалов
Рисунок 1. – Причины пожаров на сельскохозяйственной технике в Республике Беларусь, %

В связи с вышеизложенным к конструкциям топливных систем сельскохозяйственной техники предъявляется ряд требований, например, в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним»³ топливные баки изготавливаются коррозионно-стойкими и устанавливаются с защитой от последствий удара по передней или задней части трактора, также топливные баки должны сохранять герметичность при давлении, в 2 раза превышающем рабочее давление. При этом топливо не должно протекать через крышку бака или через устройства, предназначенные для компенсации избыточного давления, даже в случае, если бак находится в полностью перевернутом состоянии.

Повышение нагрузочных режимов работы двигателей внутреннего сгорания сопровождается увеличением удельных нагрузок на детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, а также на детали трансмиссии, что ведет к интенсификации процессов старения масла и невозможности обеспечения системой смазки охлаждения трущихся поверхностей. В результате наблюдается значительный рост температуры в зонах трибоконтров. При этом современные моторные масла имеют температуру вспышки 190–220 °С [30].

Электрическая энергия, используемая для пуска двигателя и приведения в действие контрольно-измерительных приборов сельскохозяйственной техники [31–33], может являться источником зажигания [34]. При достижении критических значений температур в электрооборудовании возможно воспламенение изоляции и находящихся вблизи горючих конструкционных материалов и т.д. Если же температура не достигает критической, но достаточно высока, то в значительной степени увеличивается скорость старения изоляции провода, а ее эксплуатационное состояние и долговечность снижаются. Это может привести к воспламенению изоляции токоведущих частей в результате короткого замыкания.

Таким образом, в сельскохозяйственной технике, как и в автомобиле, возможно возникновение нескольких аварийных режимов работы электрооборудования: короткое замыкание; устойчивое перенапряжение вследствие механических нарушений в работе регулирующих аппаратов; кратковременное перенапряжение, возникающее при коммутации мощных электрифицированных механизмов и аппаратов, например при установке мощных нештатных аудиосистем; длительное коррозионное воздействие на электрические контакты и электронные системы.

Система выпуска отработавших газов представляет собой определенную пожарную опасность, т.к. подвержена воздействию высоких температур газов, образующихся в цилиндрах двигателя при сгорании топливовоздушной смеси. Попадая на выпускной коллектор, топливо мгновенно испаряется, и в подкапотном пространстве возникает пожаровзрывоопасная горючая смесь [35].

Огромную пожарную опасность создают искры – горящие частицы, выбрасываемые с отработавшими газами. Причиной образования искр в двигателях внутреннего сгорания тракторов и комбайнов является нагар, который образуется на стенках системы выпуска отработавших газов при сгорании дизельного топлива и моторного масла [7; 36]. В работе [37] указывается, что при сгорании 100 кг дизельного топлива образуется 150 гр нагара. Сгорание моторного масла, попавшего в цилиндры двигателя, дает значительно больше нагара за счет присутствия в масле металлической и минеральной пыли. При этом в работе приведена зависимость размера образующихся искр и их пожарной опасности. Данная проблема усугубляется отсутствием или низкой эффективностью искрогасителей, применяемых на сельскохозяйственной технике в Республике Беларусь.

³ Технический регламент Таможенного союза «О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним»: ТР ТС 031/2012: принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20.07.2012 № 60: вступ. в силу 15.02.2015 / Евраз. экон. комис. – Минск: БелГИСС, 2017. – 48 с.

Таким образом, чтобы снизить количество пожаров на сельскохозяйственной технике, нужно предотвращать образование потенциальных источников загорания в системах питания, смазки, выпуска отработавших газов и электрооборудования, а также строго соблюдать технологический регламент обслуживания сельхозмашин и правил пожарной безопасности.

Заключение

Ежегодно в мире происходят тысячи пожаров на сельскохозяйственной технике. Однако несмотря на значительные последствия, связанные с повреждением или утратой дорогостоящих машин и оборудования, потерей урожая, масштабные исследования причин их возникновения в условиях почвенно-климатических зон Беларуси отсутствуют.

В работе выявлены причины возникновения пожаров на тракторах и комбайнах. Показано, что данные причины связаны с нарушением правил эксплуатации, конструктивными недостатками машин и механизмов, разрушением узлов и деталей, нарушением технологических процессов, неосторожным обращением с огнем, поджогами, проявлением сил природы, нарушением противопожарных требований, нарушением правил хранения и транспортирования веществ и материалов. Нередко причиной пожаров на сельскохозяйственной технике является скопление горючего материала в точках с высокими температурами, расположенных рядом с двигателем.

Более подробное изучение причин пожаров, связанных с нарушением правил эксплуатации, конструктивными недостатками машин и механизмов, разрушением узлов и деталей, позволило установить, что наиболее часто к пожарам приводят неисправности в системах питания, смазки и выпуска отработавших газов, электрооборудования, а также гидроприводов навесного и прицепного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный доклад: уязвимость и адаптация к изменению климата в Беларуси / Е. Бертош, Д. Рузаков, Т. Лукашевич. – Минск: Типография ФПБ, 2014. – 45 с.
2. Амельченко, П.А. Современные тенденции сельхозтракторостроения / П.А. Амельченко [и др.] // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2018. – Т. 63, № 1. – С. 76–92. DOI: 10.29235/1561-8358-2018-63-1-76-92.
3. Костюк, Е.П. Основные направления повышения уровня пожарной безопасности зерноуборочной сельскохозяйственной техники / Е.П. Костюк, К.А. Давыдчик, В.П. Артемьев // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 апр. 2013 г.: – в 2 ч. – Минск: КИИ, 2013. – Ч. 1. – С. 57–58.
4. Shutske, J.M. An integrated loss control strategy for grain combine fires // J.M. Shutske, W.E. Field // International winter meeting of the American society of agricultural engineers. – Chicago: American society of agricultural engineers, 2014. – 170 p.
5. Agricultural machinery fire losses: A preventative approach / J.M. Shutske, W.E. Field, L.D. Gaultney, S.D. Parsons // Applied Engineering in Agriculture, 1990 – Vol. 6, Iss. 5. – Pp. 575–581. DOI: 10.13031/2013.26431.
6. Degeling, S. Equitable compensation and disgorgement of profit / S. Degeling, J. Varuhas. – London: Hart Publishing, 2019. – 376 p.
7. Капцевич, В.М. Причины возникновения пожаров при работе мобильной сельскохозяйственной техники и их последствия / В.М. Капцевич [и др.] // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию Белорусского государственного аграрного технического университета и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ), доктора технических наук, профессора В.П. Сулова, Минск, 4–6 июня 2014 г.: в 2 ч. – Минск: БГАТУ, 2014. – Ч. 1. – С. 459–463.
8. Капцевич, В.М. Структурные и гидродинамические характеристики сетчатых искрогасителей / В.М. Капцевич, П.С. Чугаев, Д.М. Булыга // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию Белорусского государственного аграрного технического университета

- и памяти первого ректора БИМСХ (БГАТУ), доктора технических наук, профессора В.П. Суслова, Минск, 4–6 июня 2014 г.: в 2 ч. – Минск: БГАТУ, 2014. – Ч. 1. – С. 463–468.
9. Макаревич, С.Д. Результаты лабораторных исследований трактора «Беларус» серии 3022 по установлению пожароопасных узлов и агрегатов / С.Д. Макаревич [и др.] // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2015. – Т. 10, № 1. – С. 62–67.
 10. Статистический сборник «Сельское хозяйство Республики Беларусь» / Национальный статистический комитет Республики Беларусь; редкол.: И.В. Медведева [и др.]. – Минск: Белстат, 2020. – 179 с.
 11. Бондарь, М.А. Повышение пожаробезопасности эксплуатации зерноуборочного комбайна: концепция и пути ее реализации / М.А. Бондарь, А.Н. Заволока, Н.А. Свириденко // Техніка і технології АПК. – 2010. – Т. 11, № 8. – С. 12–16.
 12. Shutske, J.M. Grain Combine Fires: A Loss Reduction Approach / J.M. Shutske, W.E. Field, J. Chaplin // Applied Engineering in Agriculture, 1994. – Vol. 10, Iss. 2. – Pp. 175–182.
 13. Field, W.E. Agricultural-related fires and explosions / W.E. Field // Agricultural mechanization and automation. – New York: UNESCO, 2018. – Vol. II. – Pp. 575–581.
 14. Venem, M.T. Combine fire prevention and control summit / M.T. Venem, J.M. Shutske // ASAE annual international meeting/CIGR XVth world congress: agronomy conference proceedings, Illinois. St. Joseph, MI, July 28–July 31, 2002, / American Society of Agricultural and Biological Engineers. – Chicago, 2002. – P. 202–215. DOI: 10.13031/2013.11218.
 15. An investigation into combine harvester fires [Electronic resource]: a report by G.R. Quick. – Kadina: grains research and development corporation, 2010. – Mode of access: <http://pulseaus.com.au/storage/app/media/blog%20assets/HARVESTER%20FIRES%20-%20Graeme%20Quick%20-%20Final%20Report.pdf>. – Date of access: 20.12.2020.
 16. The burning issue of combine harvester fires [Electronic resource] / G.R. Quick. – Mode of access: <https://www.farmweekly.com.au/story/3782578/the-burning-issue-of-combine-harvester-fires/?cs=5150>. – Date of access: 05.01.2021.
 17. Keskin, M. An evaluation of combine harvester accidents in Turkey / M. Keskin, Y.E. Sekerli // Journal of Agricultural faculty of Mustafa Kemal university. – 2018. – Vol. 23, Iss. 2. – P. 137–147.
 18. Cardil A. Large wildland fires and extreme temperatures in Sardinia / A. Cardil, M. Salis, D. Spano, D. Molina-terrén // iForest – Biogeosciences and Forestry. – 2014. – Vol. 73, Iss. 3. – P. 162–169. DOI: 10.3832/ifor1090-007.
 19. Fire risks associated with combine harvesters: analysis of machinery critical points / J.P. Val-Aguasca, M. Videgain-Marco, P. Martin-Ramos, M. Vidal-Cortes, A. Bone-Garasa, F.J. Garcia-Ramos // Agronomy, 2019. – Vol. 9, №. 12. – Pp. 877–890. DOI: 10.3390/agronomy9120877.
 20. Федотов, А.В. Основы теории надежности и технической диагностики: конспект лекций / А.В. Федотов, Н.Г. Скабкин. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 64 с.
 21. Астахов, С.М. Причины и условия возникновения пожаров автотранспортных средств / С.М. Астахов, А.С. Антифеев // Грузовое и пассажирское автохозяйство, 2011. – № 4. – С. 34–37.
 22. Копылов, С.Н. Пожарная безопасность автотранспортных средств / С.Н. Копылов, В.А. Кушук, Д.В. Полтавец // Технологии гражданской безопасности. – 2009. – Т. 6, № 1–2. – С. 88–93.
 23. Ключков, А.В. Зерноуборочные комбайны: учеб. пособие / А.В. Ключков, А.В. Адашь, В.А. Попов. – Минск: Дизайн ПРО, 2004. – 240 с.
 24. Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2005. – 403 с.
 25. Таубкин, С.И. Справочник пожароопасности твердых веществ и материалов / С.И. Таубкин, А.Н. Баратов, Н.С. Никитина. – М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1961. – 148 с.
 26. Клубань, В.С. Пожарная безопасность предприятий промышленности и агропромышленного комплекса: учебник для учащихся пожарно-технических училищ / В.С. Клубань, А.П. Петров, В.С. Рябиков. – М.: Стройиздат, 1987. – 477 с.
 27. Михайловский, Е.В. Устройство автомобиля / Е.В. Михайловский, К.Б. Серебряков, Е.Я. Тур. – 6-е изд. – М.: Машиностроение. 1987. – 322 с.
 28. Милушкин, А.А. Справочник водителя автомобиля / А.А. Милушкин. – Изд. 3-е. – М.: Транспорт, 1983. – 239 с.
 29. Чешко, И.Д. Осмотр места пожара: метод. пособие / И.Д. Чешко, Н.В. Юн, В.Г. Плотников. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. – 501 с.

30. Исхаков, Х.И. Пожарная безопасность автомобиля / Х.И. Исхаков, А.В. Пахомов, Я.Н. Каминский. – М.: Транспорт. 1987. – 87 с.
31. Осмотр места пожара: метод. пособие [Электронный ресурс] / И.Д. Чешко // Библиотека нормативной документации. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/46/46379/index.htm>. – Дата доступа: 06.01.2021.
32. Синельников, А.Х. Электронные приборы для автомобилей / А.Х. Синельников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Электроатомиздат. 1986. – 256 с.
33. Смелков, Г.И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах / Г.И. Смелков. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 133 с.
34. Зернов, С.И. Пожарно-техническая экспертиза: назначение и использование результатов / С.И. Зернов, О.Ю. Антонов. – М.: ЮИ МВД РФ, 1997. – 298 с.
35. Зернов, С.И. Пожарно-техническая экспертиза / С.И. Зернов, В.А. Левин. – М.: ВНКЦ МВД СССР, 1991. – 309 с.
36. Искрогасители для сельскохозяйственной техники: монография / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2017. – 156 с.
37. Таубкин, С.И. Пожар и взрыв, особенности экспертизы / С.И. Таубкин. – М.: ВНИИПО, 1999. – 600 с.

Пожары на сельскохозяйственной технике и причины их возникновения
Fires on agricultural machinery and their causes

Пасовец Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
аварийно-спасательной техники, доцент
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: pasovets_v@mail.ru
ORCID: 0000-0001-9451-9513

Vladimir N. Pasovets

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 Rescue Equipment,
Associate Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: pasovets_v@mail.ru
ORCID: 0000-0001-9451-9513

Лаквич Вячеслав Вячеславович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
аварийно-спасательной техники, начальник
кафедры
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: slavaspec@rambler.ru
ORCID: 0000-0001-7601-305X

Viachslau V. Lakhvich

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 Rescue Equipment,
Head of Chair
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: slavaspec@rambler.ru
ORCID: 0000-0001-7601-305X

Антоненко Максим Алексеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», магистрант
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: keksss2007@mail.ru

Maksim A. Antonenko

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Graduate Student
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: keksss2007@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.193>

FIRES ON AGRICULTURAL MACHINERY AND THEIR CAUSES

Pasovets V.N., Lakhvich V.V., Antonenko M.A.

Purpose. Analysis of the causes of fires on agricultural machinery in the agro-industrial complex of the Republic of Belarus.

Methods. Theoretical analysis of the causes of fires on agricultural machinery, inspection of fire scene with use of modern methods and technical means.

Findings. The causes of fires on tractors and combines of various purposes are presented. These causes of fires are associated with violation of operating rules, structural defects of machines and mechanisms, destruction of units and parts, violation of technological processes, careless handling of fire, arson, manifestation of nature forces, violation of fire safety requirements, violation of rules for storage and transportation of substances and materials. A common cause of fires on agricultural machinery is the accumulation of combustible material in high temperature points close to the engine. The technical causes of fires are malfunctions in the power supply, lubrication and exhaust systems of internal combustion engines and electrical equipment of agricultural machinery.

Application field of research. The presented results can be used in the field of ensuring fire safety of enterprises in the agro-industrial complex.

Keywords: tractor, harvester, cause of fire, violation of operating rules, destruction of units and parts, technological regulation, careless handling of fire, design deficiencies, transportation substances and materials.

(The date of submitting: January 11, 2021)

REFERENCES

1. Bertosh E., Rusakov D., Lukashovich T. *Natsional'nyy doklad: uyazvимость i adaptatsiya k izmeneniyu klimata v Belarusi* [National report: vulnerability and adaptation to climate change in Belarus]. Minsk: Tipografiya FPB, 2014. 45 p. (rus)
2. Amel'chenko P.A., Dubovik D.A., Klyuchnikov A.V., Vashchula A.V. *Sovremennyye tendentsii sel'khoztraktorostroyeniya* [Modern tendencies of agricultural tractors]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Physical-Technical Series*, 2018. Vol. 63, No. 1. Pp. 76–92. (rus). DOI: 10.29235/1561-8358-2018-63-1-76-92.
3. Kostyuk, E.P., Davydchik K.A., Artem'yev V.P. *Osnovnye napravleniya povysheniya urovnya pozhar-noy bezopasnosti zernouborochnoy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki* [The main directions of increasing the level of fire safety of grain harvesting agricultural machinery]. *Proc. VII Intern. scientific-practical conf. «Life safety provision: problems and prospects» Minsk, April 4–5, 2013*. In 2 parts. Minsk: KII, 2013. Part 1. Pp. 57–58. (rus)
4. Shutske J.M., Field W.E. *An integrated loss control strategy for grain combine fires. International winter meeting of the American Society of Agricultural Engineers*. Chicago: American society of agricultural engineers, 2014. 170 p.
5. Shutske J.M., Field W.E., Gaultney L.D., Parsons S.D. *Agricultural machinery fire losses: A preventative approach. Applied Engineering in Agriculture*, 1990. Vol. 6, Iss. 5. Pp. 575–581. DOI: 10.13031/2013.26431.
6. Degeling S., Varuhas J. *Equitable compensation and disgorgement of profit*. London: Hart Publishing, 2019. 376 p.
7. Kaptsevich V.M., Chugaev P.S., Lisay N.K., Bulyga D.M. *Prichiny vozniknoveniya pozharov pri rabote mobil'noy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i ikh posledstviya* [Causes of fires during the operation of mobile agricultural machinery and their consequences]. *Proc. Intern. scientific-practical conf. dedicated to the 60th anniversary of the Belarusian State Agrarian Technical University and the memory of the first rector of BIMSH (BGATU), Doctor of Technical Sciences, Professor V.P. Suslova «Sovremennyye problemy osvoyeniya novoy tekhniki, tekhnologiy, organizatsii tekhnicheskogo servisa v APK» Minsk, June 4–6, 2014*. In 2 parts. Part 1. Minsk: BSATU, 2014. Pp. 459–463. (rus)
8. Kaptsevich V.M., Chugaev P.S., Lisay N.K., Bulyga D.M. *Strukturnyye i gidrodinamicheskiye kharakteristiki setchatykh iskrogasiteley* [Structural and hydrodynamic characteristics of mesh spark arresters]. *Proc. Intern. scientific-practical conf. dedicated to the 60th anniversary of the Belarusian State Agrarian*

- Technical University and the memory of the first rector of BIMSH (BGATU), Doctor of Technical Sciences, Professor V.P. Suslova «Sovremennyye problemy osvoyeniya novoy tekhniki, tekhnologiy, organizatsii tekhnicheskogo servisa v APK» Minsk, June 4–6, 2014. In 2 parts. Part 1. BSATU. Minsk, 2014. Pp. 463–468. (rus)*
9. Makarevich S.D., Gaisyonok A.N., Aniskovich A.V., Kostyuk K.A. Rezul'taty laboratornykh issledovaniy traktora «Belarus» serii 3022 po ustanovleniyu pozharoopasnykh uzlov i agregatov [Results of laboratory research of 3022 series «Belarus» tractors on determination of fire hazardous units and assemblies]. *Chrezvychaynye situatsii: obrazovanie i nauka*, 2015. Vol. 10, No. 1. Pp. 62–67. (rus)
 10. *Statisticheskiy sbornik Sel'skoe khozyaystvo Respubliki Belarus'* [Statistical collection Agriculture of the Republic of Belarus]. By ed. I.V. Medvedeva et al. Minsk: Belstat, 2020. 179 p. (rus)
 11. Bondar' M.A., Zavoloka A.N., Sviridenko N.A. Povysheniye pozharobezopasnosti ekspluatatsii zernouborochnogo kombayna: kontseptsiya i puti yeye realizatsii [Improving fire safety of grain harvester operation: the concept and ways of its implementation]. *Tekhnika i tekhnologii APK*, 2010. Vol. 11, No. 8. Pp. 12–16. (rus)
 12. Shutske J.M., Field W.E., Chaplin J. Grain Combine Fires: A Loss Reduction Approach. *Applied Engineering in Agriculture*, 1994. Vol. 10, No. 2. Pp. 175–182.
 13. Field W.E. Agricultural-related fires and explosions. *Agricultural mechanization and automation*, 2018. Vol. II. Pp. 575–581.
 14. Venem M.T., Shutske J.M. Combine Fire Prevention and Control Summit. *Proc. conf. «ASAE annual international meeting / CIGR XVth world congress», Illinois. St. Joseph, MI, July 28-July 31, 2002. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Chicago, 2002. Pp. 202–215. DOI: 10.13031/2013.11218.*
 15. An investigation into combine harvester fires, available at: <http://pulseaus.com.au/storage/app/media/blog%20assets/HARVESTER%20FIRES%20-%20Graeme%20Quick%20-%20Final%20Report.pdf> (accessed: December 20, 2020).
 16. The burning issue of combine harvester fires, available at: <https://www.farmweekly.com.au/story/3782578/the-burning-issue-of-combine-harvester-fires/?cs=5150> (accessed: January 5, 2021).
 17. Keskin M., Sekerli Y.E. An evaluation of combine harvester accidents in Turkey. *Journal of Agricultural Faculty of Mustafa Kemal University*, 2018. Vol. 23, No. 2. Pp.137–147.
 18. Cardil A., Salis M., Spano D., Molina-terrén D., Terren D. Large wildland fires and extreme temperatures in Sardinia. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 2014. Vol. 73, No. 3. Pp. 162–169. DOI: 10.3832/ifer1090-007.
 19. Val-Aguasca J.P., Videgain-Marco M., Martín-Ramos P., Vidal-Cortes M., Bone-Garasa A., Garcia-Ramos F.J. Fire risks associated with combine harvesters: analysis of machinery critical points. *Agronomy*, 2019. Vol. 9, No. 12. Pp. 877–890. DOI: 10.3390/agronomy9120877.
 20. Fedotov A.V., Skabkin N.G. *Osnovy teorii nadezhnosti i tekhnicheskoy diagnostiki* [Fundamentals of the theory of reliability and technical diagnostics]: lecture notes. Omsk: OmGTU, 2010. 64 p. (rus)
 21. Astakhov S.M., Antifeev A.S. Prichiny i usloviya vozniknoveniya pozharov avtotransportnykh sredstv [Causes and conditions for the occurrence of vehicle fires]. *Gruzovoye i passazhirskoye avtokhozyaystvo*, 2011. No. 4. Pp. 34–37. (rus)
 22. Kopylov S.N., Kushchuk V.A., Poltavets D.V. Pozharnaya bezopasnost' avtotransportnykh sredstv [Fire safety of the car]. *Civil Security Technology*, 2009. Vol. 6, № 1–2. Pp. 88–93. (rus)
 23. Klochkov A.V., Adas' A.V., Popov V.A. *Zernouborochnyye kombayny* [Combine harvesters]: tutorial. Minsk: Dizayn PRO, 2004. 240 p. (rus)
 24. Sharoglazov B.A., Farafontov M.F., Klement'ev V.V. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya, modelirovaniye i raschet protsessov* [Internal combustion engines: theory, modeling and calculation of processes]. Chelyabinsk: YuUrGU, 2005. 403 p. (rus)
 25. Taubkin S.I., Baratov A.N., Nikitina N.S. *Spravochnik pozharoopasnosti tverdykh veshchestv i materialov* [Handbook of fire hazard of solids and materials]. Moscow: MKKh RSFSR, 1961. 148 p. (rus)
 26. Kluban' V.S., Petrov A.P., Ryabikov V.S. *Pozharnaya bezopasnost' predpriyatiy promyshlennosti i agropromyshlennogo kompleksa* [Fire safety of industrial enterprises and agro-industrial complex]: textbook. Moscow: Stroyizdat, 1987. 477 p. (rus)
 27. Mikhaylovskiy E.V., Serebryakov K.B., Tur E.Ya. *Ustroystvo avtomobilya* [Vehicle desisgn]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1987. 322 p. (rus)

28. Milushkin A.A. *Spravochnik voditelya avtomobilya* [Car driver's guide]. Moscow: Transport, 1983. 239 p. (rus)
29. Cheshko I.D., Yun N.V., Plotnikov V.G. *Osmotr mesta pozhara* [Inspection of the fire scene]: teaching aid. Moscow: FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, 2004. 501 p. (rus)
30. Iskhakov Kh.I., Pakhomov A.V., Kaminskiy Ya.N. *Pozharnaya bezopasnost' avtomobilya* [Fire safety of the car]. Moscow: Transport, 1987. 87 p. (rus)
31. *Osmotr mesta pozhara* [Inspection of the fire scene]: methodological guide, available at: <https://files.stroyinf.ru/Data1/46/46379/index.htm> (accessed: January 6, 2021). (rus)
32. Sinel'nikov A.Kh. *Elektronnyye pribory dlya avtomobiley* [Electronic devices for cars]. Moscow: Elektroatomizdat, 1986. 256 p. (rus)
33. Smelkov G.I. *Pozharnaya opasnost' elektroprovodok pri avariynykh rezhimakh* [Fire hazard of electrical wiring in emergency modes]. Moscow: Energoatomizdat, 1984. 133 p. (rus)
34. Zernov S.I., Antonov O.Yu. *Pozharno-tekhnicheskaya ekspertiza: naznacheniyе i ispol'zovaniye rezul'tatov* [Fire-technical expertise: purpose and use of results]. Moscow: YuI MVD RF, 1997. 298 p. (rus)
35. Zernov S.I., Levin V.A. *Pozharno-tekhnicheskaya ekspertiza* [Fire-technical expertise]. Moscow: VNKTs MVD SSSR, 1991. 309 p. (rus)
36. Kaptsevich V.M., Lisay N.K., Konstantinov V.M., Chugaev P.S., Bulyga D.M. *Iskrogasiteli dlya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki* [Spark arresters for agricultural machinery]: monograph. Minsk: BGATU, 2017. 156 p. (rus)
37. Taubkin S.I. *Pozhar i vzryv, osobennosti ekspertizy* [Fire and explosion, examination features]. Moscow: FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, 1999. 600 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.206>

УДК 614.841.2.001.5

ПУТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНАХ, ВОЗНИКАЮЩИХ ЗА СЧЕТ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

Пасовец В.Н., Лахвич В.В., Антоненко М.А., Сидарков В.А.

Цель. Исследование путей предупреждения пожаров на зерноуборочных комбайнах, вызванных нагревом узлов трения и обрабатываемой растительной массы.

Методы. Проведение теоретического анализа причин возникновения пожаров на зерноуборочных комбайнах.

Результаты. В работе показано, что значительное количество пожаров на зерноуборочных комбайнах возникает по причине нагрева трущихся поверхностей и возгорания растительной массы из-за трения о движущиеся части деталей узлов и агрегатов. Представлены пути рационального решения технически сложной и актуальной задачи повышения пожарной безопасности эксплуатации зерноуборочных комбайнов за счет применения новых композиционных материалов, использования современных систем контроля и пожаротушения. Также, кроме предложенных технических решений, пожарная безопасность зерноуборочной техники обеспечивается посредством контролирования температуры узлов трения, недопущения их перегрева, своевременного технического обслуживания и содержания комбайна в чистоте.

Область применения исследований. Представленные результаты могут быть использованы в сфере обеспечения пожарной безопасности предприятий агропромышленного комплекса. Представлены научно обоснованные результаты применения в конструкциях зерноуборочных комбайнов композиционных материалов, содержащих в составе наноструктуры углерода, а также перспективность установки на данных комбайнах систем контроля и пожаротушения.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, трение, возгорание, пожар, композиционный материал, система контроля и пожаротушения, тепловыделение.

(Поступила в редакцию 25 января 2021 г.)

Введение

Наиболее крупные сельскохозяйственные механизированные работы в Беларуси, выполняемые в крайне сжатые агротехнические сроки, связаны с уборкой урожая зерновых культур. При этом наибольшую опасность при проведении данного вида работ представляют пожары на зерноуборочных комбайнах, которые являются самоходными многофункциональными высокопроизводительными машинами, предназначенными для срезания стеблей, обмолота и очистки зерна, а также измельчения соломы.

Впервые зерноуборочные комбайны были созданы в США в 1930-х гг. [1]. В СССР выпуск самоходных зерноуборочных комбайнов начался в 1947 г. [2]. Что касается Беларуси, то первый самоходный зерноуборочный комбайн был разработан и произведен ОАО «Гомсельмаш» в 2001 г. На сегодня в Беларуси выпускаются зерноуборочные комбайны с молотильно-сепарирующими устройствами как с классического, так и роторного типа, имеющие достаточно простую и надежную конструкцию [3].

Среди зерноуборочных комбайнов, используемых на территории Беларуси, преобладают машины отечественного производства – 84,9 %, а самым массовым комбайном является КЗС-1218. Также сельскохозяйственными предприятиями страны используются комбайны следующих производителей: Ростсельмаш – 4,9 %, Claas – 6,1 %, John Deere – 2,8 %, Case New Holland – 1,0 %, другие фирмы – 0,3 %. [4]

Как правило, эксплуатация зерноуборочных комбайнов осуществляется в условиях высоких температур воздуха и засушливой погоды в присутствии большого количества легковоспламеняющегося растительного материала, представляющего собой высохшую на

корню солоmistую массу с температурой воспламенения 200 °С [5]. Все перечисленные обстоятельства повышают пожарную опасность при эксплуатации зерноуборочной техники. Основными источниками зажигания горючей среды при уборке урожая зерновых культур являются открытый огонь, искры, тепло которое выделяется при преобразовании механической энергии, протекании химических процессов и джоулевым тепловыделением [6].

Механические передачи и узлы трения широко используются в конструкциях комбайнов, являются потенциальными источниками зажигания, но, как правило, не имеют такого контроля и уровня противопожарной защиты как в случае, например, с электрическим оборудованием. Поверхности узлов трения могут выступать в качестве источников зажигания при их нагреве за счет преобразования механической энергии в тепловую. Однако это не означает, что понимание причин, условий и механизмов протекания процессов возгорания тривиально, поскольку теплообмен горючего материала с нагретой поверхностью является сложным и недостаточно исследованным процессом. Проблема тепловыделения в результате взаимодействия деталей пар трения также весьма специфична.

В зерноуборочных комбайнах большое количество узлов трения, которые расположены в жатках, транспортерах, молотильно-сепарирующих устройствах, соломотрясах, измельчителях, различных приводах, двигателях и т.д. Обеспечение смазочными материалами данных узлов – важное условие надежной и безопасной эксплуатации зерноуборочной машины. Однако в настоящее время не каждый комбайн оборудован автоматической централизованной системой подачи смазки.

Также в зерноуборочной технике есть множество вращающихся и трущихся деталей, которые нагреваются за счет возрастания силы трения при попадании в узлы и механизмы соломы, зерна и т.д. Намотавшаяся на валы и рабочие органы растительная масса тоже нагревается за счет трения выше допустимых температур, что может привести к ее возгоранию. Так, частыми причинами возгорания зерноуборочных комбайнов является трение намотанной солоmistой массы о вращающиеся валы приемного и отбойного битеров, привода режущего аппарата, клавиш соломотряса [7].

Процесс трения находящихся в контактном взаимодействии и перемещающихся друг относительно друга поверхностей сопровождается их изнашиванием за счет многократного деформирования поверхностных слоев, процессов схватывания и микрорезания. В первых двух случаях происходит нагрев трущихся поверхностей в течение длительного времени, как правило, без искр или с незначительным искрообразованием. Микрорезание трущихся поверхностей приводит к нагреву поверхностей, находящихся в контактном взаимодействии, обычно с образованием искр, количество которых зависит от состава материала.

Пожарная опасность образующихся источников зажигания при эксплуатации узлов трения зависит от давления в контакте, скорости перемещения контактирующих поверхностей, тепловых и триботехнических характеристик используемых материалов. Так, при трении стали по стали при возрастании температуры в трибоконтате выше 450 °С происходит образование большого количества искр при скоростях скольжения выше 2 м/с. При низких скоростях трения (менее 1 м/с) искры обычно не образуются. Небольшое количество искр образуется при умеренных скоростях скольжения от 1 до 2 м/с [8]. Увеличение зазоров в результате изнашивания контактирующих поверхностей ведет к ухудшению условий смазки, повышению динамических и ударных нагрузок.

Таким образом, одна из наиболее опасных проблем, часто возникающих в комбайнах как отечественного, так и импортного производства, – перегрев узлов трения. В случае недостаточной смазки, износа или механического повреждения пары трения могут нагреваться до высоких температур, что часто приводит к возгоранию как комбайна, так и убираемых зерновых культур (рис. 1).



Рисунок 1. – Возгорание зерноуборочного комбайна (а) и последствия пожара (б)

В частности, к повышенному нагреву подшипниковых узлов приводят следующие причины: дефекты монтажа подшипников и валов, под которыми подразумеваются несоблюдение соосности вала и отверстия, осевое смещение вала, посадка подшипника на вал с натягом, значительно превышающим расчетные значения, повреждения рабочих поверхностей подшипника при монтаже; превышение ресурса эксплуатации смазочных материалов, а также загрязнение смазки пылью и продуктами износа; недостаточное или избыточное количество смазочного материала в подшипнике и выбор смазки, несоответствующей реальным режимам работы подшипника; износ подшипника [9].

При этом наблюдаются следующие зависимости: чем выше вязкость смазки, тем более высокие нагрузочные режимы работы узла трения она может обеспечить; чем ниже вязкость смазки, тем более высокие скоростные режимы она допускает. Необходимо отметить, что более вязкие смазки склонны к внутреннему разогреву, а традиционно используемые материалы в условиях постоянного увеличения рабочих скоростей и нагрузок, воздействия агрессивных сред и температур не обеспечивают надежности и долговечности оборудования [10].

В основном пожарная безопасность зерноуборочной техники обеспечивается размещаемыми на комбайне кожухами и щитками, предохраняющими нагретые до высоких температур выпускные коллекторы и выхлопные трубы двигателей от попадания соломы и пыли [11]. Однако указанные конструктивные решения не обеспечивают пожарную безопасность при эксплуатации узлов трения, о чем свидетельствует количество пожаров, регистрируемых ежегодно на работающих в поле комбайнах по причине выделения тепла в узлах трения, а также в зонах контактного взаимодействия растительной массы с вращающимися или линейно перемещающимися деталями [12].

Согласно современным требованиям зерноуборочные комбайны оснащаются первичными средствами пожаротушения в виде порошковых огнетушителей, лопат, швабр и кошм, закрепленных таким образом, чтобы их можно было при необходимости легко снять и использовать [11].

Однако проблема пожарной опасности, образующаяся за счет тепловыделения в узлах трения зерноуборочных комбайнов и зонах контактного взаимодействия растительной массы с деталями, постоянно находящимися в движении во время работы комбайна, все еще не решена. Таким образом, цель работы состояла в исследовании путей предупреждения пожаров на зерноуборочных комбайнах, вызванных нагревом узлов трения и обрабатываемой растительной массы.

Основная часть

1. Применение новых материалов

К материалам узлов трения предъявляют следующие требования: высокая износостойкость, низкий коэффициент трения, сопротивляемость ударным нагрузкам и усталости, высокая теплопроводность и низкий температурный коэффициент линейного расширения. Все это обеспечивает сопротивляемость заеданию. На сегодня в качестве материалов для узлов трения применяют бронзы, баббиты, антифрикционные чугуны, композиционные материалы на полимерной или металлической основе (табл. 1).

Наиболее перспективными материалами являются композиционные материалы, содержащие в составе наноструктуры углерода в качестве упрочняющего и антифрикционного наполнителя. Так, разработаны композиты для узлов трения, обладающие низкой интенсивностью изнашивания и коэффициентом трения, а также высоким коэффициентом теплопроводности [13; 14].

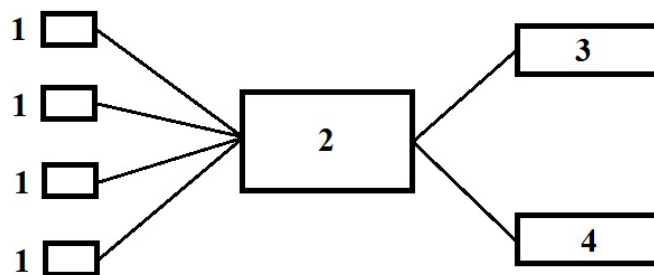
Таблица 1. – Триботехнические и физико-механические характеристики композиционных материалов для узлов трения без смазки

Материал, страна	Коэффициент трения	Интенсивность изнашивания, мкм/км	Предел прочности при сжатии, МПа	Пористость, %
CuG15, РФ [15]	0,22–0,26	1,46–1,5	175	–
RU 2031173, РФ [16]	–	0,21–0,29	340	–
RU 2024639, РФ [17]	0,1–0,12	0,19–0,21	–	–
UA 70080, Украина [18]	0,12–0,14	–	210–235	–
BY 21703, Беларусь [19]	0,1–0,13	0,06–0,07	156–165	2–4

2. Применение систем контроля

На основании эмпирического опыта эксплуатации зерноуборочных комбайнов можно утверждать, что узлы трения жатки, транспортера, молотильного аппарата и измельчителя соломы требуют контроля температуры. Анализ литературных источников указывает на отсутствие специальных систем контроля температуры узлов трения в зерноуборочных комбайнах.

Для контроля температуры узлов трения целесообразно использовать системы, предназначенные для своевременного оповещения комбайнера о превышении температурных порогов, на основе датчиков температуры, логических элементов и сигнализации [20]. Конструкции данных систем обладают простотой и надежностью, а принцип действия заключается в следующем: сигналы с датчиков температуры передаются на логический элемент, обрабатываются и при превышении пороговых значений сигнал подается на системы звуковой и световой сигнализации (рис. 2). При этом оповещение комбайнера осуществляется двумя способами: световым и звуковым, что объясняется сложными условиями работы комбайнера при уборке урожая. Например, сильный шум, исходящий как от двигателя, так и от рабочих органов машины, может помешать комбайнеру услышать звуковой сигнал, а работа на солнце может ограничить видимость светового сигнала. Таким образом, использование двух типов сигнализации обеспечивает адекватное доведение информации до комбайнера, а универсальность данной системы контроля температуры позволяет использовать ее на любых сельскохозяйственных машинах.



1 – датчики температуры; 2 – логический элемент; 3 – световая сигнализация; 4 – звуковая сигнализация

Рисунок 2. – Схема системы контроля температуры узлов трения

3. Применение систем пожаротушения

Для обнаружения и тушения пожара на зерноуборочном комбайне разработаны системы, состоящие из подсистем пожарной сигнализации и пожаротушения. Подсистема пожарной сигнализации позволяет определить превышение температуры в защищаемом пространстве выше нормативных значений и передать сигнал «Пожар» на пульт управления, который находится в кабине комбайнера. Если действия по запуску системы пожаротушения зерноуборочного комбайна не предпринимаются, а температура в защищаемом объеме достигает критической отметки, то с процессора поступит самостоятельный сигнал на запуск установки пожаротушения. В качестве пожарного извещателя используется тепловой линейный пожарный извещатель, который размещается в верхней части защищаемого отсека, например моторного отсека или обмолоточного пространства, т.к. они несут наибольшую пожарную нагрузку и предполагают наличие источников зажигания при различных режимах работы. В качестве подсистемы пожаротушения предлагается использовать модульную установку аэрозольного пожаротушения [21].

Известна также автоматическая система пожарной сигнализации и управления пожаротушением для автомобилей и сельскохозяйственной техники, основанная на тепловых извещателях, соединенных с центральным блоком управления, который, в свою очередь, соединен с блоком ручного включения установок пожаротушения и автоматического управления установками пожаротушения. Применение данной системы повышает вероятность обнаружения пожара, увеличивает ее надежность и обеспечивает безопасность людей, находящихся в транспортном средстве [22; 23].

Разработаны и более совершенные конструкции противопожарных устройств, применение которых возможно не только на сельскохозяйственной технике, но и на пассажирском и грузовом транспорте, а также на строительной, дорожной и спецтехнике. Данные противопожарные устройства обладают схожими конструкциями, обеспечивают адресный запуск средства пожаротушения и оснащены источниками бесперебойного питания, фильтрами электромагнитных помех, блоками регистрации изменений состояния системы в энергонезависимой памяти и микроконтроллерами [24].

Необходимо отметить, что особую важность противопожарные устройства и системы предупреждения возникновения пожаров приобретают при дальнейшем развитии сельскохозяйственного машиностроения, например при разработке зерноуборочного комбайна с дистанционным или роботизированным управлением, характеризующимся отсутствием комбайнера, который мог бы с достаточной оперативностью принять меры к тушению возникшего пожара. Также на зерноуборочных комбайнах возможно применение устройств аэрозольно-порошкового пожаротушения, содержащих генераторы огнетушащего аэрозоля, принцип действия которых основан на использовании комбинированных средств в виде ингибирующего аэрозоля и огнетушащего порошка [25].

Определенный интерес представляет вопрос, касающийся использования огнетушащих веществ в системах автоматического пожаротушения. Например, в бортовых системах

пожаротушения, установленных на тяжелых внедорожных транспортных средствах и сельскохозяйственных машинах, работающих в тяжелых условиях, для тушения пожара применяется сухое химическое вещество, такое как, например, моноаммонийфосфат. При этом известно, что сухие химические вещества пожаротушения обеспечивают недостаточную защиту от возможного повторного возгорания.

Оправданным для тушения пожаров на сельскохозяйственной технике является использование диспергированной воды, характеризующейся высокой пожаротушающей эффективностью и экологичностью [26–28]. Перспективными огнетушащими материалами для применения в бортовых системах пожаротушения на сельскохозяйственной технике являются пленкообразующие пенообразователи, из которых получается пена низкой кратности, что позволяет охладить зону горения и защитить от повторного воспламенения. При этом последующее удаление остатков сгоревшей растительной массы и огнетушащих веществ не повлияет на эксплуатационные свойства зерноуборочной техники.

Заключение

Таким образом, в работе показано, что значительное количество пожаров на зерноуборочных комбайнах возникает по причине нагрева трущихся поверхностей и возгорания растительной массы из-за трения о движущиеся части деталей узлов и агрегатов. Представлены пути рационального решения технически сложной и актуальной задачи повышения пожарной безопасности эксплуатации зерноуборочных комбайнов за счет применения новых композиционных материалов, а также использования современных систем контроля и пожаротушения. Кроме предложенных технических решений пожарная безопасность зерноуборочной техники обеспечивается посредством контролирования температуры узлов трения, недопущения их перегрева, своевременного технического обслуживания и содержания комбайна в чистоте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Miu, P. Combine Harvesters: theory, modeling, and design / P. Miu. – Boca Raton: CRC Press, 2015. – 482 p.
2. Портнов, М.Н. Зерноуборочные комбайны / М.Н. Портнов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 304 с.
3. Дюжев, А.А. Зерноуборочные комбайны КЗС-1218 «Палессе GS12» и КЗС-10К «Палессе GS10» // А.А. Дюжев, А.В. Ключков, В.А. Попов. – Минск: Беларусь, 2011. – 150 с.
4. Сайганов, А.С. Эффективность эксплуатации зерноуборочных комбайнов в сельском хозяйстве Беларуси / А.С. Сайганов, В.К. Липская // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2018. – Т. 56, № 2. – С. 213 – 225. DOI: 10.29235/1817-7204-2018-56-2-213-225.
5. Демидов, П.Г. Горение и свойства горючих материалов / П.Г. Демидов. – М.: ВИПТШ МВД, 1981. – 190 с.
6. Шкрабак, В.С. Безопасность жизнедеятельности в сельскохозяйственном производстве / В.С. Шкрабак, А.В. Луковников, А.К. Тургиев. – М.: Колос, 2004. – 512 с.
7. Азаренко, В.В. Причины возгорания зерноуборочной техники и особенности тушения пожаров в период уборки урожая зерновых культур / В.В. Азаренко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомственный тематический сборник. – Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2009. – С. 156–160.
8. Assessing the potential for ignition from mechanical equipment / S. Hawksworth, [et al.] // Hazards XIX: Process safety and environmental protection, 28–30 March 2006. – Chicago: IChemE. – P. 1–9.
9. Burton, R.A. Heat, bearings, and lubrication: engineering analysis of thermally coupled shear flows and elastic solid boundaries / R.A. Burton. – Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2012. – 217 p.
10. Санюкевич, Ф.М. Особенности работы подшипников качения в узлах механических приводов / Ф.М. Санюкевич, С.В. Монтик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 4. – С. 22–25.
11. Скобелев, О.В. Пожарная безопасность в сельском хозяйстве / О.В. Скобелев, Н.Г. Новосельцев. – Киев: Урожай, 1981. – 151 с.

12. Fire risks associated with combine harvesters: analysis of machinery critical points / J.P. Val-Aguasca [et al.] // *Agronomy*, 2019. – Vol. 9, No. 12. – P. 877–890.
13. Pasovets, V.N. Thermal properties of composite materials based on the powder systems «copper – CNTs» / V.N. Pasovets, V.A. Kovtun, M. Mihovski // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. – 2019. – Vol. 92, No. 5. – P. 1267–1275.
14. Порошковые нанокompозиты триботехнического назначения / В.Н. Пасовец [и др.]. – Минск: КИИ, 2016. – 295 с.
15. Федорченко, И.М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И.М. Федорченко, Л.И. Пугина. – Киев: Наукова думка, 1980. – 404 с.
16. Спеченный антифрикционный материал на основе меди: пат. RU 2031173 / В.Д. Зозуля, В.А. Манерцев. – Оpubл. 20.03.1995.
17. Антифрикционный дисперсно-упрочненный композиционный материал: пат. RU 2024639 / В.А. Ягуткин, С.Д. Куимов, А.В. Филонов. – Оpubл. 10.05.2003.
18. Антифрикційний композиційний матеріал і спосіб його одержання: пат. UA 70080 / О.І. Михайлова, О.О. Гвініашвілі, Р.Л. Мокієнко. – Оpubл. 15.09.2004.
19. Порошковый износостойкий композиционный материал для узлов трения аварийно-спасательной техники: пат. ВУ 21703 / В.Н. Пасовец, В.А. Ковтун. – Оpubл. 28.02.2018.
20. Janotta, R. The Concept of a Mechatronic System for Monitoring the Temperature of Bearings in a Combine Harvester / R. Janotta, S. Podsedek, M. Bartoszek // *AIP: conference proceedings 2029*, October 29, 2018. – P. 020023-1 – 020023-6.
21. Костюк, К.А. Разработка автоматической системы обнаружения и тушения пожара зерноуборочных комбайнов / К.А. Костюк, С.Д. Макаревич // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 22–23 окт. 2015 г.* / редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2015. – С. 101.
22. Автоматическая система пожарной сигнализации и управления пожаротушением в подвижных транспортных средствах: пат. RU 39 832 / В.Г. Демидов, А.И. Подоляка, А.И. Пинаев. – Оpubл. 20.08.2004.
23. Автоматическая система пожарной сигнализации и управления пожаротушением в подвижных транспортных средствах: пат. ВУ 1913 / В.Г. Демидов, А.И. Подоляка, А.И. Пинаев – Оpubл. 30.06.2005.
24. Система пожарной сигнализации и управления пожаротушением в подвижных транспортных средствах: пат. RU 93285 / С.Н. Баев, В.Н. Шеин. – Оpubл. 27.04.2010.
25. Устройство аэрозольно-порошкового пожаротушения: пат. ВУ 12273 / А.В. Мельничук, В.В. Мельничук, А.И. Пинаев, В.Е. Галузо. – Оpubл. 30.04.2020.
26. Зерноуборочный комбайн: пат. RU 2141190 / В.С. Бабенко. – Оpubл. 20.11.1999.
27. Бондарь, М.А. Пожар в обмолоточном пространстве зерноуборочного комбайна: моделирование развития и тушения диспергированной водой / М.А. Бондарь, А.П. Кремена, Н.Ф. Свириденко // *Техническая механика*. – 2016. – № 1. – С. 83–94.
28. Fire extinguishing composition: patent US 8366955/ S.C. Thomas, Ch. Powell, A.C. Regina. – Publ. 05.02.2013.

**Пути предотвращения пожаров на зерноуборочных комбайнах,
возникающих за счет выделения тепла в узлах трения**

The ways to prevent combine harvester fires arising from heat release in friction units

Пасовец Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
аварийно-спасательной техники, доцент

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

e-mail: pasovets_v@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9451-9513

Vladimir N. Pasovets

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 Rescue Equipment,
Associate Professor

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

e-mail: pasovets_v@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9451-9513

Лаквич Вячеслав Вячеславович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
аварийно-спасательной техники, начальник
кафедры

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

e-mail: slavaspec@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-7601-305X

Viachslau V. Lakhvich

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 Rescue Equipment,
Head of Chair

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

e-mail: slavaspec@rambler.ru

ORCID: 0000-0001-7601-305X

Антоненко Максим Алексеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», магистрант

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

e-mail: keksss2007@mail.ru

Maksim A. Antonenko

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Graduate Student

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

e-mail: keksss2007@mail.ru

Сидарков Вячеслав Александрович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
аварийно-спасательной техники, преподаватель

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

e-mail: sidarkoff@ya.ru

ORCID: 0000-0003-1807-3593

Vyacheslav A. Sidarkov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Rescue Equipment, Lecturer

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

e-mail: sidarkoff@ya.ru

ORCID: 0000-0003-1807-3593

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.206>

THE WAYS TO PREVENT COMBINE HARVESTER FIRES ARISING FROM HEAT RELEASE IN FRICTION UNITS

Pasovets V.N., Lakhvich V.V., Antonenko M.A., Sidarkov V.A.

Purpose. Investigation of ways to prevent combine harvester fires arising from heat generation processes in friction units and processed plant materials.

Methods. Analysis of the causes of fires on combine harvester by heating of friction units and processed plant matter.

Findings. A significant number of fires on combine harvesters occurs due to heating of frictional surfaces and ignition of plant matter. The ways of solution of the complex problem of increasing fire safety of combine harvesters are presented in the work. A rational solution to this problem is the use of new composite materials, use of modern control and fire extinguishing systems. In addition, the fire safety of cereal-harvesting machines is ensured by controlling the temperature of the friction units, preventing them from overheating, timely maintenance and keeping the combine clean.

Application field of the research. The presented results can be used in the field of ensuring fire safety of enterprises of the agro-industrial complex.

Keywords: combine harvester, friction, ignition, fire, composite material, control and fire extinguishing system, heat release.

(The date of submitting: January 25, 2021)

REFERENCES

1. Miu P. *Combine Harvesters theory, modeling, and design*. Boca Raton: CRC Press, 2015. 482 p.
2. Portnov M.N. *Zernoubochnye kombayny* [Combine harvesters]. Moscow: Agropromizdat, 1986. 304 p. (rus)
3. Dyuzhev A.A. *Zernoubochnye kombayny KZS-1218 «Palesse GS12» i KZS-10K «Palesse GS10»* [Combine harvesters KZS-1218 «Palesse GS12» and KZS-10K «Palesse GS10»]. Minsk: Belarus', 2011. 150 p. (rus)
4. Sayganov A.S. Effektivnost' ekspluatatsii zernoubochnykh kombaynov v sel'skom khozyaystve Belarusi [Efficiency of operation of combine harvesters in agriculture]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*, 2018. Vol. 56, No. 2. Pp. 213–225. (rus). DOI: 10.29235/1817-7204-2018-56-2-213-225.
5. Demidov P.G. *Gorenie i svoystva goryuchikh materialov* [Combustion and properties of combustible materials]. Moscow: VIPTSh MVD, 1981. 190 p. (rus)
6. Shkrabak V.S., Lukovnikov A.V., Turgiev A.K. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve* [Safety in agricultural production]. M.: Kolos, 2004. 512 p. (rus)
7. Azarenko V.V. Prichiny vozgoraniya zernoubochnoy tekhniki i osobennosti tusheniya pozharov v period uborki urozhaya zernovykh kul'tur [Causes of ignition of grain harvesting equipment and features of extinguishing fires during the harvesting of grain crops]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva: interdepartmental thematic collection*. Minsk: Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, 2009. Pp. 156–160. (rus)
8. Hawksworth S., Rogers R., Beyer M., Proust C., Lakic D., Gummer J., Raveau D. Assessing the potential for ignition from mechanical equipment. *Hazards XIX: Process safety and environmental protection*, 28–30 March 2006. Chicago: IChemE. Pp. 1–9.
9. Burton R.A. *Heat, bearings, and lubrication: engineering analysis of thermally coupled shear flows and elastic solid boundaries*. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2012. 217 p.
10. Sanyukevich F.M., Montik S.V. Osobennosti raboty podshipnikov kacheniya v uzlakh mekhanicheskikh privodov [Features of rolling bearings in mechanical drive units]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018. No. 4. Pp. 22–25. (rus)
11. Skobelev O.V., Novosel'tsev N. G. *Pozharnaya bezopasnost' v sel'skom khozyaystve* [Fire safety in agriculture]. Kiev: Urozhay, 1981. 151 p. (rus)
12. Val-Aguasca J.P., Marco M.V., Martín-Ramos P., Vidal-Cortés M., Boné-Garasa A., García-Ramos F.J. Fire risks associated with combine harvesters: analysis of machinery critical points. *Agronomy*, 2019. – Vol. 9, No. 12. – Pp. 877–890.

13. Pasovets V.N., Kovtun V.A., Mihovski M. Thermal properties of composite materials based on the powder systems «copper – CNTs». *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2019. Vol. 92, No. 5. Pp. 1267 – 1275.
14. Pasovets V.N., Il'yushchenko A.F., Kovtun V.A., Pleskachevskiy Yu.M. *Poroshkovyye nanokompozity tribotekhnicheskogo naznacheniya* [Powder nanocomposites for tribotechnical purposes]. Minsk: KII, 2016. 295 p. (rus)
15. Fedorchenko I.M., Pugina L.I. *Kompozitsionnye spechennyye antifriktsionnyye materialy* [Composite sintered antifriction materials]. Kiev: Naukova dumka, 1980. 404 p. (rus)
16. Zozulya V.D., Manertsev V.A. *Spechennyy antifriktsionnyy material na osnove medi* [Sintered copper based antifriction material]: patent RU 2031173. Published March 20, 1995. (rus)
17. Yagutkin V.A., Kuimov S.D., Filonov A.V. *Antifriktsionnyy dispersno-uprochnennyy kompozitsionnyy material* [Anti-friction dispersion-hardened composite material]: patent RU 2024639. Published May 10, 2003. (rus)
18. Mikhaylova O.I., Gviniashvili O.O., Mokienko R.L. *Antifriktsionnyy kompozitsionnyy material i sposoby yego otdozhannya* [Antifriction composition material and methods of obtaining]: patent UA 70080. Published September 15, 2004. (rus)
19. Pasovets V.N., Kovtun V.A. *Poroshkovyy iznosostoykiy kompozitsionnyy material dlya uzlov treniya avariyno-spatatel'noy tekhniki* [Powder wear-resistant composite material for friction units of rescue equipment]: patent BY 21703. Published February 28, 2018. (rus)
20. Janotta R., Podsedek S., Bartoszek M. The Concept of a mechatronic system for monitoring the temperature of bearings in a combine harvester. *AIP: conference proceedings, October 29, 2018*. Pp. 020023-1 – 020023-6.
21. Kostyuk K.A., Makarevich S.D. Razrabotka avtomaticheskoy sistemy obnaruzheniya i tusheniya pozhara zernouborochnykh kombaynov [Development of an automatic fire detection and extinguishing system for grain harvesters]. *Proc. Intern. scientific and technical conf. of young scientists «Novyye materialy, oborudovanie i tekhnologii v promyshlennosti»*, Mogilev, October 22–23, 2015. Mogilev: Belarusian-Russian University, 2015. Pp. 101. (rus)
22. Demidov V.G., Podolyaka A.I., Pinaev A.I. *Avtomaticheskaya sistema pozharoy signalizatsii i upravleniya pozharotusheniem v podvizhnykh transportnykh sredstvakh* [Automatic fire alarm and fire extinguishing control system in mobile vehicles]: patent RU 39 832. Published August 20, 2004. (rus)
23. Demidov V.G., Podolyaka A.I., Pinaev A.I. *Avtomaticheskaya sistema pozharoy signalizatsii i upravleniya pozharotusheniem v podvizhnykh transportnykh sredstvakh* [Automatic fire alarm and fire extinguishing control system in mobile vehicles]: patent BY 1913. Published June 30, 2005. (rus)
24. Baev S.N., Shein V.N. *Sistema pozharoy signalizatsii i upravleniya pozharotusheniem v podvizhnykh transportnykh sredstvakh* [Fire alarm and fire extinguishing control system in mobile vehicles]: patent RU 93285. Published April 27, 2010. (rus)
25. Mel'nichuk A.V., Mel'nichuk V.V., Pinaev A.I., Galuzo V.E. *Ustroystvo aerol'no-poroshkovogo pozharotusheniya* [Aerosol powder fire extinguishing device]: patent BY 12273. Published April 30, 2020. (rus)
26. Babenko V.S. Zernouborochnyy kombayn [Combine harvester]: patent RU 2141190. Published November 20, 1999. (rus)
27. Bondar' M.A., Kremena A.P., Sviridenko N.F. Pozhar v obmolotochnom prostranstve zernouborochnogo kombayna: modelirovaniye razvitiya i tusheniya dispergirovannoy vody [Fire in the threshing space of a combine harvester: modeling the development and extinguishing of dispersed water]. *Tekhnicheskaya mekhanika*, 2016. No. 1. Pp. 83–94. (rus)
28. Thomas S.C., Powell Ch., Regina A.C. *Fire extinguishing composition*: patent US 8366955. Published February 5, 2013.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.216>

УДК 614.878:519.6

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ВЫБРОСОМ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Котов Г.В.

Цель. Разработка научных основ и технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасных химических веществ.

Методы. Лабораторные исследования, натурные и полигонные испытания, математическое моделирование.

Результаты. Определена поглощательная способность аммиака и хлора отдельными движущимися водяными каплями и их массивом в объеме завес. Определены параметры фактической зоны заражения при проливах аммиака и хлора в условиях свободного распространения примеси и при постановке водяных завес. Определен механизм влияния водяных завес на распространение газообразной примеси с ветровым потоком. Предложены оптимальные распылители для создания завес, описана тактика их применения и методика расчета требуемого количества сил и средств.

Область применения исследований. Планирование и проведение аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасных химических веществ. Определение способов создания и тактики применения водяных завес. Оценка эффективности применения водяных завес. Расчет требуемого количества сил и средств.

Ключевые слова: опасное химическое вещество, выброс, ликвидация чрезвычайной ситуации, водяная завеса.

(Поступила в редакцию 24 марта 2021 г.)

Введение

В условиях чрезвычайной ситуации (ЧС) с выбросом опасного химического вещества (ОХВ) наибольшую угрозу здоровью и жизни людей представляет распространение от источника выброса газообразных опасных веществ под действием ветра. Основным способом ограничения распространения опасной примеси с ветровым потоком в ходе аварийно-спасательных работ при ЛЧС является постановка водяных завес (ВЗ).

Широкое применение ВЗ обусловлено рядом существенных преимуществ, важнейшими из которых являются мобильность, использование технических средств, имеющих на вооружении подразделений по ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЛЧС), доступных расходных материалов и высокая эффективность.

Вместе с тем проблема разработки и внедрения научно обоснованных рекомендаций по способам создания и тактике использования завес остается актуальной. Для решения этой проблемы необходимы знание особенностей влияния ВЗ на распространение потока примеси, разработка технических средств для создания завес и тактики их применения.

В результате проведенных исследований разработана и проверена в условиях полигонных испытаний концепция применения водяных завес при ЛЧС с выбросом ОХВ. В рамках концепции разработаны научные основы применения водяных завес и технология ликвидации чрезвычайных ситуаций такого типа. Концепция включает:

прогнозирование параметров фактической зоны заражения (ФЗЗ) при свободном распространении ОХВ и в условиях применения ВЗ с учетом природы ОХВ, площади пролива жидкости (интенсивности газообразного выброса), скорости ветра, параметров ВЗ;

выбор распылителей для создания завес и определение оптимального режима их работы;

способы постановки завес и тактику их применения;

расчет требуемого количества сил и средств.

Основная часть

Разработка научно обоснованной концепции применения ВЗ при ЛЧС с выбросом ОХВ осуществлялась в ходе решение задач, связанных с получением экспериментальных данных об абсорбционной активности движущихся водяных капель; параметрах завес, создаваемых распылителями различного типа; формировании фактической зоны заражения при проливах аммиака и хлора в условиях свободного распространения примеси и при постановке ВЗ.

Принимая во внимание ограниченные возможности экспериментальных исследований, в частности при проведении полномасштабных полигонных испытаний, использовались методы математического моделирования процессов: абсорбции газообразной примеси движущимися водяными каплями; формирования потока примеси над поверхностью жидкого пролива; распространения примеси за пределами пролива с потоком воздуха; формирования фактической зоны заражения; влияния завес на распространение потока примеси.

В рамках концепции разработана технология ЛЧС с применением ВЗ, определяющая решение вопросов создания и применения устройств для постановки завес; разработки схем постановки завес с учетом особенностей выброса (пролива), учета метеоусловий и условий ведения аварийно-спасательных работ (АСР); разработки системы оценки эффективности применения завес; разработки методики расчета сил и средств, необходимых для постановки и обеспечения работы завес.

На первом этапе работ была дана принципиальная оценка обеззараживающего действия водяных завес. Существует два мнения по данному вопросу. Первое предполагает, что определяющее влияние на снижение концентрации примеси оказывают абсорбционные процессы. Второе – определяющее влияние оказывает механическое рассеивание примеси. При этом следует отметить, что, если решающим оказывается влияние абсорбционных процессов, концепция должна включать применение абсорбирующих растворов.

Для решения данного вопроса были разработаны методики и создана лабораторная установка для исследования процесса абсорбции газов движущимися водяными каплями. В качестве объектов исследований были выбраны аммиак и хлор – вещества, проявляющие противоположные свойства с учетом растворимости в воде и плотности паров [1; 2].

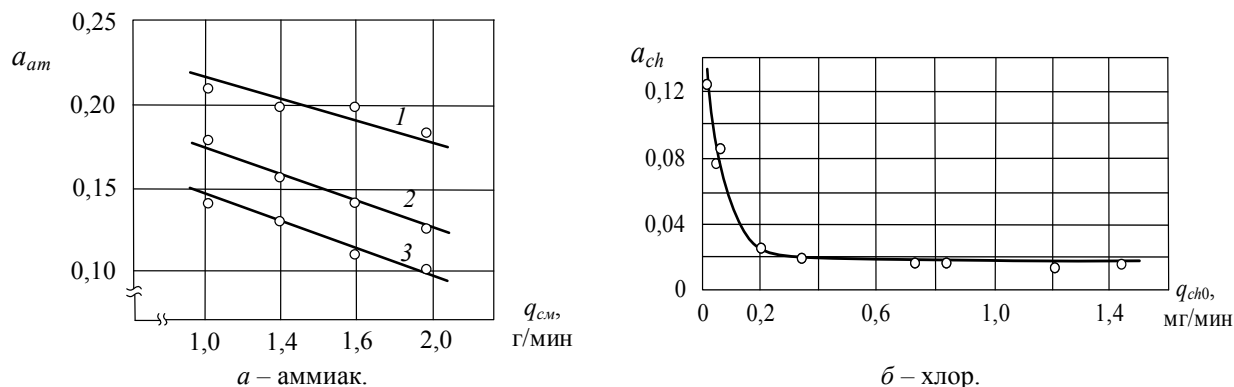
В ходе проведенных исследований установлено, что, несмотря на увеличение с ростом концентрации и расхода газовой-воздушного потока, омывающего движущиеся водяные капли, концентрации образующегося раствора, абсорбционная активность водяных капель падает. При этом для аммиака наблюдается прямо пропорциональная зависимость концентрации образующегося раствора от массы капель. Для хлора концентрация образующегося раствора от массы капель не зависит.

Для количественной оценки абсорбционной активности движущихся водяных капель использована величина поглотительной способности a , определяемая как отношение расхода примеси, переходящей в жидкую среду при движении капли в газовой-воздушной среде, к начальному значению расхода примеси на входе в активную зону [1]:

$$a = q_{im1} / q_{im0}, \quad (1)$$

где q_{im0} – расход примеси на входе в активную зону, мг/с; q_{im1} – расход примеси, переходящей в жидкую среду, мг/с.

На рисунке 1а представлен экспериментально установленный характер зависимости поглотительной способности аммиака движущимися водяными каплями (на примере капель массой $m_w = 0,0356$ г) от расхода аммиачно-воздушной смеси и концентрации в ней аммиака. Увеличение расхода и концентрации аммиачно-воздушной смеси сопровождается ростом содержания аммиака в водной фазе, в то же время происходит уменьшение доли абсорбируемой примеси.



Концентрация аммиака в газовой фазе:
 1 – 0,01 моль/дм³, 2 – 0,02 моль/дм³,
 3 – 0,03 моль/дм³, $m_w = 0,0356$ г

δ – хлор.
 $m_w = 0,01-0,08$ г

Рисунок 1. – Зависимость поглощательной способности водяных капель от расхода

Данные о поглощательной способности движущихся водяных капель по отношению к хлору α_{ch} в соответствии с выражением (1) отражены на рисунке 1б. Здесь проиллюстрирован характер изменения поглощательной способности от содержания хлора во встречном воздушном потоке (его расхода). Видно, что поглощательная способность водяных капель по отношению к хлору в области малых концентраций достаточно высока ($\alpha_{ch} \approx 0,03-0,12$). При увеличении расхода хлора во встречном потоке до 0,2 мг/мин (соответствует значению концентрации примеси 10 мг/м³) поглощательная способность капель снижается и, достигнув значения порядка 0,015, далее остается постоянной. Таким образом, в условиях эксперимента в достаточно устойчивый водный раствор может быть переведено порядка 1,5 % массы хлора, содержащегося в газозвудушном потоке.

Поглощательная способность движущихся водяных капель от их массы по отношению к хлору в условиях эксперимента практически не зависит.

Принимая во внимание неоднозначность полученных экспериментальных данных, было выполнено математическое моделирование абсорбции газов движущимися водяными каплями. Математическая модель представляет собой нелинейную систему обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. При математическом моделировании учтено испарительное охлаждение капель, изменение горизонтального и вертикального положений капли, изменение скорости движения сферических капель под действием силы сопротивления и силы тяжести, абсорбция и теплообмен с воздухом. В ходе математического моделирования подтвержден экспериментально установленный характер зависимости поглощательной способности движущихся капель от параметров газозвудушной смеси.

Для расчета максимального количества аммиака, которое может быть поглощено движущейся водяной каплей, использовано выражение (2), полученное на основе [3]:

$$m_{\max} = 10^{-5} \frac{4\pi R^3 \rho_w \rho_{am} H(T_d) k T_d}{3 \cdot 18 \text{ а.е.м.}}, \quad (2)$$

где R – радиус капли, м; ρ_w – плотность воды, кг/м³; ρ_{am} – плотность паров аммиака в воздушной смеси, кг/м³; H – постоянная Генри, 1/Па; k – постоянная Больцмана, Дж/К; а. е. м. – атомная единица массы, кг; T_d – температура капли, К.

С использованием полученных результатов рассчитана поглощательная способность массива движущихся водяных капель в условиях водяных завес. Для примеси, хорошо растворимой в воде, величина поглощательной способности завес достаточно высока и может достигать $A_w = 0,15$ [1].

Таким образом, на основе полученных данных можно сделать вывод, что при оценке влияния водяных завес на распространение потока примеси, плохо растворимой в воде, такой как хлор или пары углеводородных топлив, их абсорбционной активностью можно пренебречь. Высокая растворимость в воде газообразной примеси, такой как аммиак, оксиды азота и серы, летучие кислоты и пр., способствует абсорбционной активности водяных капель, но не будет иметь решающего значения.

Полученные результаты о сравнительно низкой поглощательной способности завес прямо указывают на то, что определяющее влияние в обеззараживающее действие ВЗ вносят процессы рассеивания примеси в атмосфере.

Процесс взаимодействия потока примеси и водяной завесы носит достаточно сложный характер. На рисунке 2 проиллюстрированы особенности такого взаимодействия.

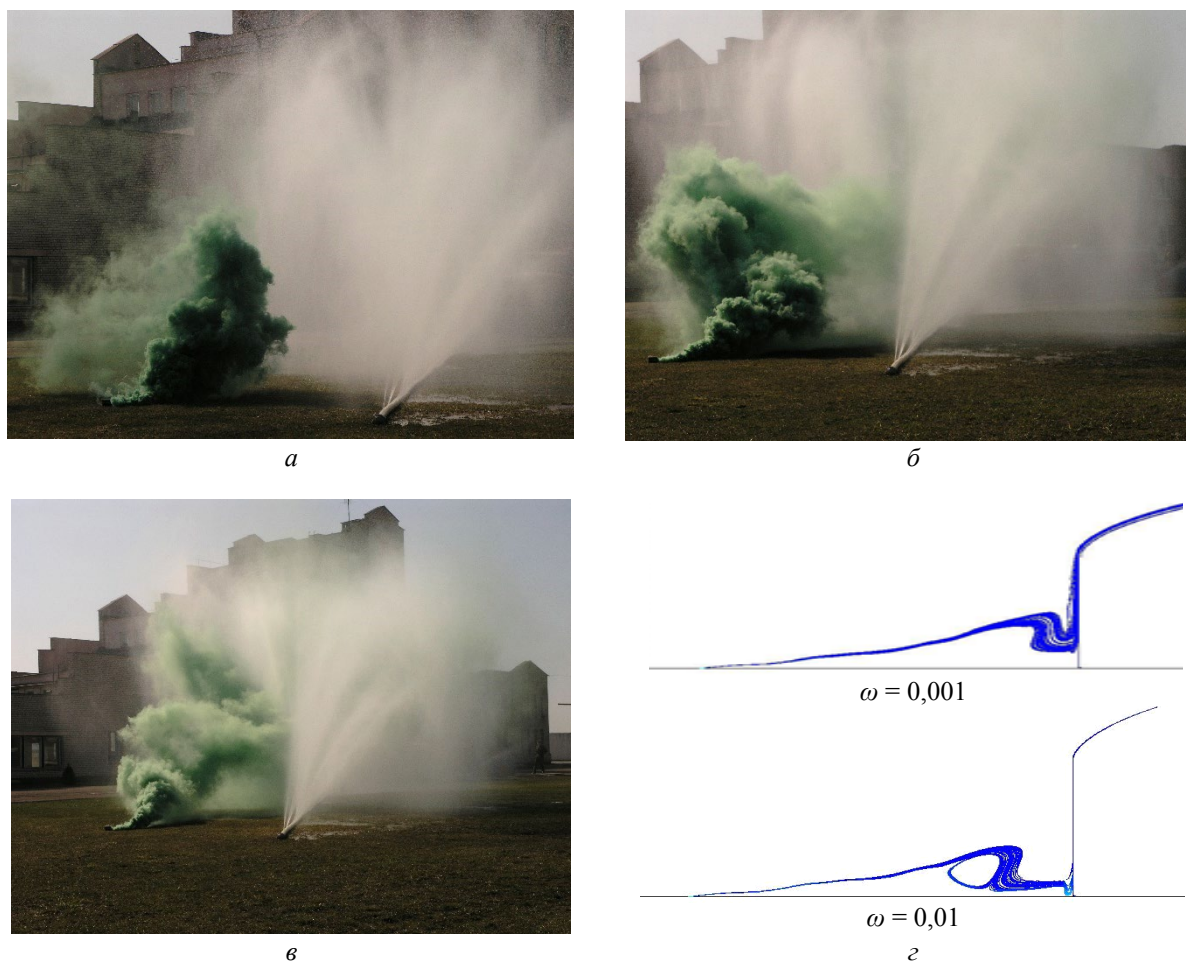
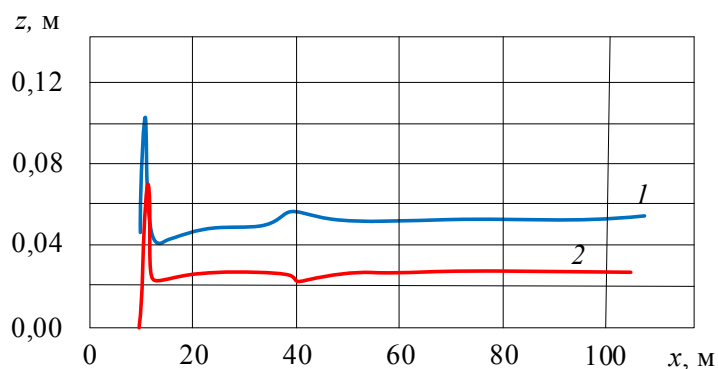


Рисунок 2. – Взаимодействие потока примеси с водяной завесой

Поток примеси, достигая области завесы, воспринимает ее как некое препятствие, поток тормозится перед завесой, и в этой области наблюдается скапливание примеси (рис. 2а). Далее происходит отрыв потока примеси от поверхности почвы и ее частичное проникновение сквозь объем завесы (рис. 2б). На рисунке 2в можно видеть вовлечение потока примеси в восходящее течение. Иллюстрации, представленные на рисунках 2б и 2в, указывают на проникновение потока примеси сквозь объем завесы.

Оценка механизма влияния ВЗ на распространение примеси в ветровом потоке от локального источника выброса (пролива) осуществлялась по результатам расчета с применением программного комплекса ANSYS 14.0 [4]. ВЗ моделировались как препятствия в виде твердой перегородки с определенной пористостью, перегородки с подвижной поверхностью, а также водяной струи.

На рисунке 3 представлены изолинии объемной концентрации ($\varphi = 0,01$) тяжелой примеси при ее свободном распространении (кривая 1) и при наличии препятствия на пути распространения в виде пористой перегородки (кривая 2). Величина пористости перегородки составляет 50 %. Мощность источника примеси $q = 0,006 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, z – высота над поверхностью почвы, м [5].



1 – при свободном распространении примеси; 2 – при наличии пористой перегородки

Рисунок 3. – Изолинии концентрации примеси над поверхностью почвы

После прохождения потоком примеси пористой перегородки наблюдается значительное увеличение высоты слоя, в котором распространяется примесь. В данном случае происходит не просто затрудненное проникновение потока сквозь препятствие, а имеет место его рассеивание. Следствием такого рассеивания становится выравнивание значений концентрации примеси по высоте.

Наличие пористой перегородки на пути движения потока увеличивает высоту слоя примеси и способствует ее накоплению перед перегородкой. Имеет место пропорциональная зависимость пористости перегородки и концентрации примеси позади завесы, при значении пористости перегородки 50 % наблюдается снижение концентрации примеси в 2–3 раза.

Наблюдаемый эффект отрыва потока от поверхности почвы и вовлечения его в восходящее спутное течение подтвержден результатами расчета. На рисунке 2г представлены результаты расчета концентрации примеси в области влияния перегородки с поверхностью, движущейся в вертикальном направлении. Отчетливо прослеживаются области, соответствующие изменению траектории потока, его торможению, а также захвату примеси и вовлечению ее в спутное течение (изолинии с массовой долей примеси $\omega = 0,001$). Характер изолиний $\omega = 0,01$ четко указывает на вихреобразование в области перед перегородкой. Это также можно заметить на рисунках 2б и 2в по характерному закруглению потока перед завесой. Высота подъема примеси пропорциональна скорости движения поверхности перегородки.

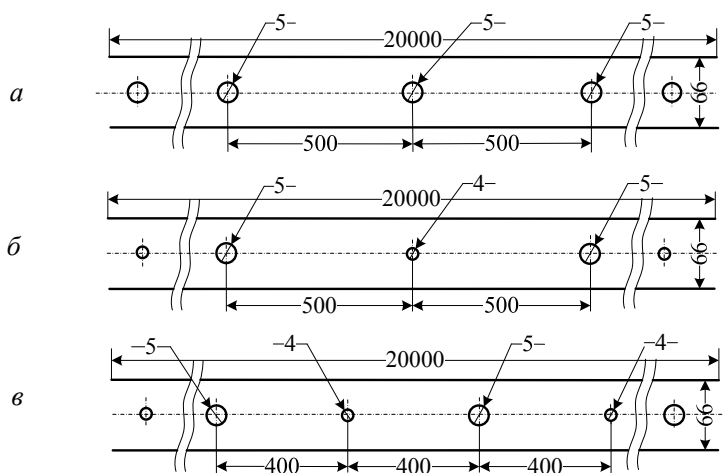
Наибольшую интенсивность влияния на распространяющийся поток примеси показали случаи применения вертикальной перегородки в виде водяной струи. Полученные результаты свидетельствуют о том, что водяная струя обеспечивает подъем примеси на высоту порядка 4–6 величин высоты струи [1].

По результатам проведенных исследований механизм влияния завес на распространяющийся поток примеси определен как совокупность проявлений их абсорбционной активности, ограниченной проницаемости и вовлечения примеси в спутное течение за завесой. Установлено, что абсорбционная активность ВЗ при условии хорошей растворимости примеси в воде может обеспечивать ее связывание до 15 %. Ограничение проницаемости при пористости перегородки не менее 50 % позволяет снизить концентрацию примеси в 2–3 раза за счет увеличения высоты слоя ее распространения. Вовлечение примеси в спутное течение сопровождается ее подъемом над поверхностью почвы на высоту, соответствующую 4–6

значениям высоты струи. Основным каналом рассеивания является подъем примеси над поверхностью почвы, что приводит к росту турбулентного перемешивания с воздухом, связанного с увеличением скорости ветра по высоте.

Распылитель, применяемый для постановки завесы, должен соответствовать ряду требований, важнейшими из которых являются надежность, простота применения и эффективность. Анализ использования различных устройств для постановки ВЗ с учетом особенностей их применения в условиях ЛЧС с выбросом ОХВ указывает на преимущественное использование рукавных распылителей (РР).

Применение рукавных распылителей позволяет обеспечить оптимальное соотношение между требуемым расходом воды и параметрами формируемой завесы и, как результат, эффективное влияние на распространяющееся зараженное облако. Данные, полученные в ходе натурных испытаний о параметрах водяных завес, создаваемых рукавными распылителями различной конструкции, позволили сделать вывод, что при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом опасных веществ низкой плотности, таких как аммиак, оксиды азота, циановодород и т.п., наиболее эффективно применение рукавного распылителя, соответствующего формуле РР(20×0,066×0,5×0,005) (20 – длина, 0,066 – диаметр рукава; 0,5 – расстояние между соплами; 0,005 – диаметр сопел, м) [6]. Схема такого распылителя представлена на рисунке 4а.



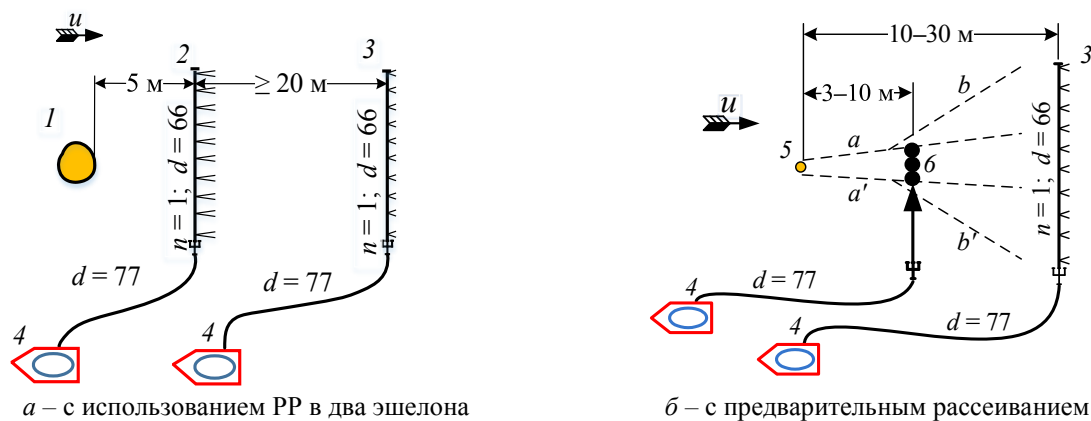
а – РР(20×0,066×0,5×0,005); б – РР(20×0,066×0,5×0,004(0,005)); в – РР(20×0,066×0,4×0,004(0,005))
Рисунок 4. – Схемы конструкций рукавного распылителя (размеры в мм)

При выбросе паров ОХВ большой плотности, таких как хлор (пары углеводородного топлива и т.п.), водяная завеса, создаваемая этим РР, оказывает недостаточное воздействие на набегающий воздушный поток в своей нижней части, на высоте менее 1 м. В целях обеспечения большей однородности создаваемой завесы по высоте в конструкцию РР внесены изменения. Предложены комбинированные распылители, имеющие чередующиеся сопла диаметром 4 и 5 мм (РР(20×0,066×0,5×0,004(0,005))) (рис. 4б), а также с уменьшенным расстоянием между ними РР(20×0,066×0,4×0,004(0,005)) (рис. 4в), позволяющие создавать завесу с большей плотностью в нижней части ее объема.

Постановка завес может осуществляться по различным схемам: круговой, линейной, перпендикулярно и под углом к направлению потока примеси, с вертикальными и наклонными струями, с использованием точечных и рукавных распылителей, комбинированных, в один и несколько эшелонов, с использованием резервной линии [7–9].

Выбор схемы постановки ВЗ определяется природой опасного вещества и объемом выброса, расположением источника выброса, метеоусловиями, характером местности, наличием необходимых сил и средств.

Наибольшее распространение получили линейные схемы, применяемые при достаточно разреженных потоках примеси и скорости ветра 2–7 м/с. Такие завесы ставятся, как правило, с использованием рукавных распылителей, вертикально или наклонно, в один или несколько эшелонов. На рисунке 5а, представлена схема постановки ВЗ в два эшелона, при этом первая завеса установлена наклонно. Скорость ветра $u = 7$ м/с. Наклонная завеса создается при повороте РР по продольной оси на 30–40° по ветру.



а – с использованием РР в два эшелона

б – с предварительным рассеиванием

1 – пролив; 2 – наклонная завеса; 3 – вертикальная завеса; 4 – пожарный автомобиль;

5 – компактный источник выброса; 6 – распылительный ствол

Рисунок 5. – Схема постановки водяной завесы (размеры в мм)

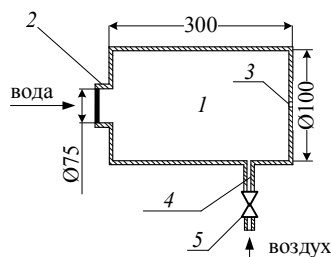
В случаях, когда от источника выброса распространяется достаточно компактный поток с высокой плотностью примеси, используется предварительное рассеивание. Для предварительного рассеивания используются различные пожарные стволы (щелевые распылители, распылительные стволы, а также различные насадки на ручные и лафетные стволы и пр.), установленные в ветровом потоке вблизи источника выброса на расстоянии от 3 до 10 м (рис. 5б). Распылительный ствол устанавливается таким образом, чтобы обеспечить формирование восходящих и горизонтальных струй.

Поток зараженного воздуха с высокой концентрацией примеси, ограниченный на схеме пунктирными линиями a и a' , достигая области завесы, создаваемой распылительным стволом b (точечным распылителем), испытывает интенсивное турбулентное воздействие. В результате происходит расширение потока (на схеме ограничено пунктирами b и b'). Предварительно расширенный сектор распространения потока примеси более эффективно может быть перекрыт завесой, создаваемой рукавным распылителем 3. Расстояние до места прокладки рукавного распылителя в этом случае может составлять от 10 до 30 м.

Для предварительного рассеивания рекомендуется использовать распылители нового класса – гетерофазные распылители импульсного действия (РИД). Распылитель данного класса не имеет движущихся частей и совмещает рабочий объем с ресиверной частью (рис. 6а). Работает РИД при одновременной подаче в объем распылителя l жидкости и сжатого воздуха. Импульсное истечение струй происходит при неравномерном выпуске водовоздушной смеси через сопла 3 в результате периодического перекрывания сопла потоком воды. При этом увеличивается энергия истекающих струй и интенсивность турбулентного воздействия.

На рисунках 6б и 6в проиллюстрирована работа РИД, установленного на лафетный ствол П-20 [10]. Подача воздуха в объем распылителя сопровождается значительным увеличением степени дисперсности капель и длины струи.

Гетерофазные распылители импульсного действия могут включаться в состав мобильных и стационарных устройств для создания плоских, объемных, горизонтальных, вертикальных и наклонных ВЗ.



а – схема распылителя:
 1 – корпус; 2 – резьбовая часть;
 3 – сопла; 4 – штуцер;
 5 – предохранительный клапан



б – работа распылителя без подачи воздуха



в – работа распылителя с подачей воздуха, $p_a = 0,9$ МПа

Рисунок 6. – Гетерофазный распылитель импульсного действия

Оценка эффективности применения завес производится на основе изменения параметров ФЗЗ. Для этого используются значения концентрации опасной примеси либо глубины фактической зоны заражения (ГФЗЗ), в частности отношение этих величин, достигнутых в результате применения ВЗ, к исходным значениям:

$$C/C_0 = K, \quad (3)$$

$$L/L_0 = K, \quad (4)$$

где C_0 – концентрация примеси при ее свободном распространении, мг/м³; C – концентрация примеси после постановки завесы, мг/м³; L_0 – ГФЗЗ при свободном распространении примеси, м; L – ГФЗЗ после постановки завесы, м; K – коэффициент пропускания завесы.

Выражение (4) используется в области низких значений концентрации примеси для оценки изменения величины ГФЗЗ. Выражение (3) используется в области высоких и средних значений концентрации примеси для оценки изменения концентрации опасного вещества.

При постановке ВЗ в несколько эшелонов прогнозируемые значения ГФЗЗ и концентрации опасной примеси определяются как:

$$L = K^N L_0, \quad (5)$$

$$C = K^N C_0, \quad (6)$$

где N – количество эшелонов водяных завес.

Значение коэффициента пропускания завесы определяется по результатам полигонных испытаний. Принимая во внимание сложность проведения полномасштабных полигонных испытаний, определение коэффициента пропускания в широком интервале значений скорости ветра осуществлено расчетным методом в рамках разработанной полуэмпирической модели расчета параметров зоны заражения в условиях применения завес [11].

Коэффициент пропускания завесы является важнейшей характеристикой завесы и зависит от природы примеси, скорости ветра и параметров ВЗ. Значения параметров завесы, создаваемой рукавным распылителем РР(20×0,066×0,5×0,005), определенные в ходе полигонных испытаний, и соответствующие им коэффициенты пропускания, определенные экспериментально и с применением полуэмпирической модели расчета, представлены в таблице 1.

Полуэмпирическая модель расчета параметров ФЗЗ является ключевым моментом концепции применения ВЗ. Решить проблему оценки влияния ВЗ на концентрацию опасной примеси в ветровом потоке, распространяющемся от источника выброса, теоретически не представляется возможным. Результаты расчетов, полученные с применением распределения Гаусса, программного комплекса ANSYS 14.0, а также решений двух- и трехмерного

уравнений турбулентной диффузии согласуются с экспериментальными данными только в определенных областях значений концентрации примеси.

Таблица 1. – Параметры завесы, создаваемой РР(20×0,066×0,5×0,005), и значения коэффициента пропускания

Высота завесы, м	Давление на насосе, МПа	Расход воды, дм ³ /с	ОХВ	Коэффициент пропускания при скорости ветра		
				2 м/с	5 м/с	7 м/с
4,5	0,3	7	Аммиак	0,32	0,59	0,67
5	0,5	9		0,20	0,38	0,43
5,5	0,7	11		0,15	0,28	0,32
6	0,9	12,5		0,13	0,25	0,28
4,5	0,3	7	Хлор	0,93	0,96	0,97
5	0,5	9		0,85	0,91	0,93
5,5	0,7	11		0,78	0,87	0,90
6	0,9	12,5		0,74	0,84	0,88

В основе разработанной полуэмпирической модели расчета параметров ФЗЗ лежат результаты проведенных полигонных испытаний по определению параметров зоны заражения при проливах аммиака и хлора при свободном распространении примеси с ветровым потоком и в условиях применения ВЗ. В ходе испытаний были определены параметры ФЗЗ при различных режимах работы распылителей при значениях площади пролива 0,3–4 м², скорости ветра 2 и 5 м/с, в условиях различных схем постановки завес.

На рисунке 6 представлены установленные зависимости концентрации примеси при ее свободном распространении (кривая 1) и в условиях постановки ВЗ (кривая 2). Рисунок 6а иллюстрирует изменение концентрации примеси в условиях пролива аммиака площадью 4 м², скорости ветра 5 м/с, на высоте 1,5 м при использовании распылителя РР(20×0,066×0,5×0,005). Давление в рукавной линии 0,5 МПа. Рисунок 6б иллюстрирует изменение концентрации примеси в условиях пролива хлора площадью 0,3 м², скорости ветра 2 м/с, на высоте 0,5 м, при использовании распылителя РР(20×0,066×0,5×0,006), при давлении в рукавной линии 0,8 МПа.

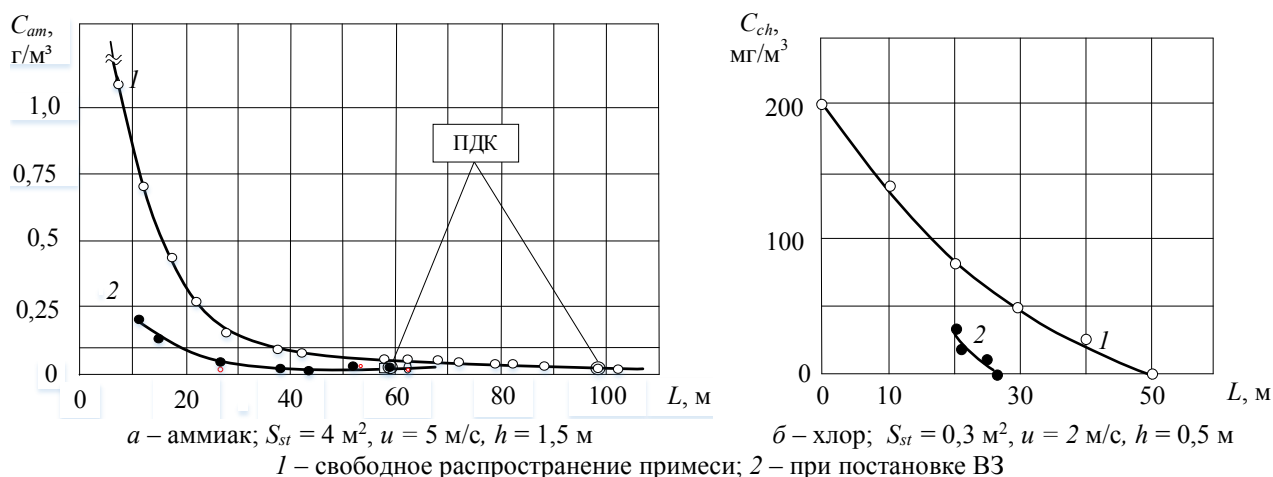


Рисунок 6. – Концентрация примеси на расстоянии L от границы пролива

Полученные в условиях полигонных испытаний данные свидетельствуют о высокой эффективности применения ВЗ. Установлено, что решающее влияние на эффективность воздействия ВЗ на распространение потока примеси оказывают параметры завесы, связанные с расходом воды. Полученные данные были использованы при верификации различных методов расчета параметров зоны заражения, а также интер- и экстраполяционных оценок в рамках разработанной полуэмпирической модели расчета.

В основе расчета концентрации примеси, распространяющейся от источника выброса, лежит определение ее концентрации как функции длины пролива низкокипящей жидкости, высоты слоя примеси над поверхностью почвы, геометрических размеров затопленного следа и коэффициента пропускания [11–14]:

$$n = f(d, h, S_L, K), \quad (7)$$

где n – концентрация примеси (числовая плотность), м^{-3} ; d – длина пролива, м; h – высота слоя примеси, м; S_L – площадь поперечного сечения следа на расстоянии L , м^2 .

Данный метод расчета опирается на результаты, полученные в ходе полигонных испытаний [1].

Полуэмпирическая модель может применяться в отношении большого количества газообразных опасных химических веществ, отличающихся как по плотности паров, так и по растворимости в воде. Кроме того, для расчета параметров ФЗЗ в условиях постановки ВЗ могут применяться различные современные программы экспресс-расчета. Как правило, в них учитывается характер поверхности, над которой происходит распространение потока примеси. С применением полуэмпирической модели может быть определена величина так называемого локального коэффициента шероховатости поверхности:

$$\delta^* = \delta/K, \quad (8)$$

где δ – коэффициент шероховатости поверхности, м; δ^* – коэффициент шероховатости поверхности в области действия завесы, м.

Дело в том, что существует определенная связь между коэффициентом шероховатости поверхности и его изменением в условиях применения ВЗ. При постановке ВЗ происходит изменение местных условий, что может быть охарактеризовано как трансформация значений коэффициента шероховатости δ к локальному значению δ^* . Исходные и локальные значения коэффициента связаны между собой посредством величины K .

Знание величины K , соответствующей определенным значениям плотности и растворимости газообразного опасного вещества, скорости ветра и параметрам завесы, позволит использовать большинство известных методик расчета параметров зоны заражения в отношении широкого круга веществ в условиях ведения аварийно-спасательных работ с постановкой ВЗ.

В основе расчета количества сил и средств, необходимых для постановки ВЗ, лежит величина расхода воды Q_w для обеспечения работы завес. Величина Q_w определяется с учетом расхода воды используемыми распылителями:

$$Q_w = \sum_{i=1}^n q_{wi}, \quad (9)$$

где Q_w – общий расход воды, $\text{дм}^3/\text{с}$; q_{wi} – расход воды отдельных распылителей, $\text{дм}^3/\text{с}$.

Требуемое количество распылителей с учетом длины завесы, создаваемой каждым из них, и выбранной схемы постановки завес определяется на основе величины эффективной длины завесы l_{eff} . Например, в случае РР эффективная длина завесы определяется как

$$l_{eff} = N_p l_p + h_{зав}, \quad (10)$$

где N_p – количество рукавных распылителей в линии; l_p – длина РР, м; $h_{зав}$ – высота завесы, м. При этом ширина фронта распространения примеси должна быть меньше величины l_{eff} .

Расход воды определяет количество пожарных аварийно-спасательных автомобилей (пожарных насосов) для постановки водяных завес: $N_A = Q_w/Q_{wA}$. Здесь: N_A – количество пожарных аварийно-спасательных автомобилей; Q_{wA} – расход воды одного пожарного автомобиля (пожарного насоса), $\text{дм}^3/\text{с}$.

На основании количества необходимых технических средств определяется численность личного состава формирований, участвующих в постановке завес: $N_{лс} = N_A \times N_{лс1}$.

Здесь: $N_{лс}$ – численность личного состава формирований, чел.; $N_{лс1}$ – численность личного состава для обеспечения работы одного автомобиля (пожарного насоса), чел.

Время работы завес определяется как продолжительность времени выброса или испарения пролива в соответствии с методикой [15].

Заключение

Концепция базируется на научных основах применения водяных завес и определяет технологию ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасных химических веществ. При разработке концепции использованы результаты лабораторных исследований абсорбционной активности движущихся водяных капель, натурных и полигонных испытаний по определению параметров ВЗ и ФЗЗ в условиях выброса (пролива) аммиака и хлора, а также методы математического моделирования.

Установлено, что определяющее влияние на снижение концентрации примеси ветровом потоке в условиях применения ВЗ оказывает ее рассеивание.

Влияние завес на распространяющийся поток примеси определяется совокупностью их абсорбционной активности, проницаемости и вовлечения примеси в спутное течение за завесой. Основным каналом рассеивания является подъем примеси над поверхностью почвы, что приводит к росту турбулентного перемешивания с воздухом, связанного с увеличением скорости ветра по высоте.

Расчет ГФЗЗ осуществляется с использованием полуэмпирической модели, которая позволяет прогнозировать параметры фактической зоны заражения как при свободном распространении опасной примеси, так и в условиях применения водяных завес.

Оценка эффективности применения водяных завес в ходе ведения аварийно-спасательных работ на основе прогноза изменения концентрации опасной примеси и глубины фактической зоны заражения может осуществляться с использованием коэффициента пропускания, определяемого либо в условиях полномасштабных полигонных испытаний, либо с применением разработанной полуэмпирической модели.

Оптимальным при постановке ВЗ признано применение РР. В случаях компактных потоков примеси при высокой интенсивности выброса рекомендуется предварительное рассеивание потока.

В основе расчета сил и средств, необходимых для постановки ВЗ, лежит величина требуемого расхода воды для обеспечения их работы.

Планирование и проведение аварийно-спасательных работ на основе концепции применения водяных завес при ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасных химических веществ дает возможность снижения социально-экономических потерь, связанных с гибелью людей, на 27–99 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котов, Г.В. Чрезвычайные ситуации с выбросом (проливом) опасных химических веществ: использование завес при ликвидации последствий: монография / Г.В. Котов. – Минск: КИИ, 2015. – 232 с.
2. Еремин, А.П. Абсорбция аммиака движущимися каплями воды / А.П. Еремин [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 2007. – Т. 80, № 3. – С. 36–42.
3. Fisenko, S.P. Evaporative cooling of water in a mechanical draft cooling tower / S.P. Fisenko, A.A. Brin, A.I. Petrushik // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. – 2004. – Vol. 47, No. 1. – P. 165–177.
4. ANSYS 14.0. FLUENT UDF Manual [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/udf/node93.htm>. – Date of access: 22.03.2021.
5. Котов, Г.В. Закономерности распространения примеси вблизи источника загрязнения / Г.В. Котов, Т.В. Сидорович // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2013. – № 1 (17). – С. 13–23.

6. Котов, Г.В. Создание водяных завес с использованием рукавных распылителей / Г.В. Котов, А.П. Еремин, В.Г. Тищенко // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2007. – № 2 (6). – С. 33–39.
7. Kotov, G.V. Efficiency of Contaminated Air-Flow Dispersion by Water Curtains / G.V. Kotov, S.P. Fisenko // Development in Earth Science. – 2013. – Vol. 1, No. 2. – P. 23–28.
8. Котов, Г.В. Тактика применения водяных завес при ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом (проливом) опасных химических веществ. Часть 1. Схемы постановки завес / Г.В. Котов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2017. – № 2 (42). – С. 65–73.
9. Котов, Г.В. Тактика применения водяных завес при ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом (проливом) опасных химических веществ. Часть 2. Прокладка перфорированных линий / Г.В. Котов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2017. – № 2 (42). – С. 74–83.
10. Устройство импульсного действия для создания наклонной водяной завесы: полез. модель ВУ 8650 / Г.В. Котов, А.Д. Булва. – Опубл. 30.10.12.
11. Котов, Г.В. Полуэмпирическая модель расчета параметров фактической зоны заражения при постановке водяных завес / Г.В. Котов, С.П. Фисенко // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 424–432. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-4.424.
12. Крайнов, В.П. Качественные методы в физической кинетике и гидрогазодинамике / В.П. Крайнов. – М.: Высш. шк., 1989. – 224 с.
13. Nordin, J. Rapid prediction of chemical cloud dispersion from chemical spill accident / J. Nordin [et al.] // Energy Sources. – 1998. – Vol. 20, No 6. – P. 541–567.
14. Кутателадзе, С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 296 с.
15. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте: РД 52.04.253–90: введ. 01.07.90. – Л.: Гидрометеоздат, 1991. – 23 с.

**Концепция применения водяных завес при ликвидации чрезвычайных ситуаций
с выбросом опасных химических веществ**

**The concept of using water curtains at the elimination of emergency situations
with the release of hazardous chemicals**

Котов Геннадий Викторович

кандидат химических наук, доцент

Адрес: ул. Коржа, 10-45,
220036, г. Минск, Беларусь

e-mail: kotovgv@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7364-4403

Gennadiy V. Kotov

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

Address: Korzha str., 10-45,
220036, Minsk, Belarus

e-mail: kotovgv@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7364-4403

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.216>

THE CONCEPT OF USING WATER CURTAINS AT THE ELIMINATION OF EMERGENCY SITUATIONS WITH THE RELEASE OF HAZARDOUS CHEMICALS

Kotov G.V.

Purpose. Development of scientific foundations and technologies for liquidation of emergency situations with the release of hazardous chemicals.

Methods. Laboratory research, full-scale and field tests, mathematical modeling.

Findings. The absorption capacity of ammonia and chlorine by separate moving water drops and their mass in the volume of curtains is determined. The parameters of the actual contamination zone during the spills of ammonia and chlorine in the conditions of free spread of impurities and during the installation of water curtains have been determined. The mechanism of the effect of water curtains on the spread of gaseous impurities with the wind flow has been determined. Optimal sprayers for creating curtains are proposed, the tactics of their use and the method of calculating the required number of forces and means are described.

Application field of research. Planning and carrying out emergency rescue operations in response to emergencies with the release of hazardous chemicals. Determination of ways of creating and tactics of using water curtains. Evaluation of the effectiveness of the use of water curtains. Calculation of the required number of forces and means.

Keywords: hazardous chemical, release, emergency response, water curtain.

(The date of submitting: March 24, 2021)

REFERENCES

1. Kotov G.V. *Chrezvychaynye situatsii s vybrosom (prolivom) opasnykh khimicheskikh veshchestv: ispol'zovanie zaves pri likvidatsii posledstviy* [Emergency situations with the release (spillage) of hazardous chemicals: the use of curtains in the elimination of consequences]: monograph. Minsk: KII, 2015. 232 p. (rus)
2. Eremin A.P., Kotov G.V., Sidorovich T.V., Fisenko S.P. Absorption of ammonia by moving drops of water. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2007. Voll. 80, Iss. 3. Pp. 461–468. (rus). DOI: 10.1007/s10891-007-0061-5.
3. Fisenko S.P., Brin A.A., Petrushik A.I. Evaporative cooling of water in a mechanical draft cooling tower. *Intern. J. of Heat and Mass Transfer*, 2004. Vol. 47, No. 1. Pp. 165–177.
4. *ANSYS 14.0. FLUENT UDF Manual*, available at: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/udf/node93.htm> (accessed: March 22, 2021).
5. Kotov G.V., Sidorovich T.V. Zakonomernosti rasprostraneniya primesi vblizi istochnika zagryazneniya [Patterns of impurity propagation near the source of contamination]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2013. No. 1 (17) Pp. 13–23. (rus)
6. Kotov G.V., Eremin A.P., Tishchenko V.G. Sozdanie vodyanykh zaves s ispol'zovaniem rukavnykh raspyliteley [Creating water curtains using bag sprayers]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2007. No. 2 (6). Pp. 33–39. (rus)
7. Kotov G.V., Fisenko S.P. Efficiency of Contaminated Air-Flow Dispersion by Water Curtains. *Development in Earth Science*, 2013. Vol. 1, No. 2. Pp. 23–28.
8. Kotov G.V. Taktika primeneniya vodyanykh zaves pri likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy s vybrosom (prolivom) opasnykh khimicheskikh veshchestv. Chast' 1. Skhemy postanovki zaves [Tactics of the use of water curtains in the elimination of emergency situations with the release (strait) of dangerous chemicals. Part 1. Schemes of setting curtains]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2017. No. 2 (42). Pp. 65–73. (rus)
9. Kotov G.V. Taktika primeneniya vodyanykh zaves pri likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy s vybrosom (prolivom) opasnykh khimicheskikh veshchestv. Chast' 2. Prokladka perforirovannykh liniy [Tactics of the use of water curtains in emergency situations with the release (strait) of dangerous chemicals. Part 2. Laying of perforated lines]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2017. No. 2 (42). Pp. 74–83. (rus)

10. Kotov G.V., Bulva A.D. *Ustroystvo impul'snogo deystviya dlya sozdaniya naklonnoy vodyanoy zavesy* [Pulse action device for creating an inclined water curtain]: utility model BY 8650 Published October 30, 2012. (rus)
11. Kotov G.V., Fisenko S.P. Poluempiricheskaya model' rascheta parametrov fakticheskoy zony zarazheniya pri postanovke vodyanykh zaves [Semi-empirical model of calculating the parameters of the actual zone of contamination when setting up water curtains]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 4. Pp. 424–432. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-4.424.
12. Kraynov V.P. *Kachestvennyye metody v fizicheskoy kinetike i gidrogazodinamike* [Qualitative methods in physical kinetics and hydro-gas dynamics]. Moscow: Vysshaya shkola, 1989. 224 p. (rus)
13. Nordin J. [et al.] Rapid prediction of chemical cloud dispersion from chemical spill accident. *Energy Sources*, 1998. Vol. 20, No. 6. Pp. 541–567.
14. Kutateladze S.S., Styrikovich M.A. *Gidrodinamika gazozhidkostnykh system* [Hydrodynamics of gas-liquid systems]. Moscow: Energiya, 1976. 296 p. (rus)
15. *Metodika prognozirovaniya masshtabov zarazheniya sil'nodeystvuyushchimi yadovitymi veshchestvami pri avariyyakh (razrusheniyakh) na khimicheski opasnykh ob"ektakh i transporte: RD 52.04.253–90* [Methodology for predicting the extent of contamination with highly toxic substances in accidents (destruction) at chemically hazardous facilities and transport: RD 52.04.253–90], entered July 1, 1990. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 23 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.231>

УДК. 351.861

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВНИКОМ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ: СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ АППАРАТ

Бордак С.С., Карпиленя Н.В., Субботин М.Н.

Цель. Обосновать специальные принципы организации ликвидации последствий применения противником средств поражения силами гражданских формирований гражданской обороны, а также внести уточнения в терминологический аппарат данной предметной области.

Методы. В качестве теоретической базы использовались метод аналогии, а также общенаучные методы индукции, дедукции, анализа и синтеза.

Результаты. На основе общих законов развития, известных законов (закономерностей) войны (вооруженной борьбы) и с учетом общих законов и принципов управления установлена диалектическая связь с принципами военного управления и конкретизирован механизм их проявления относительно особенностей управления гражданской обороной. Разработаны специальные принципы организации ликвидации последствий применения противником средств поражения силами гражданских формирований гражданской обороны, а также внесены уточнения в терминологический аппарат.

Область применения исследований. Результаты исследования могут быть использованы в научных исследованиях, связанных с аспектами подготовки и ведения гражданской обороны, а также в практической деятельности начальников и штабов гражданской обороны.

Ключевые слова: организация гражданской обороны, принципы, терминологический аппарат, аварийно-спасательные и другие неотложные работы, законы войны (вооруженной борьбы).

(Поступила в редакцию 25 февраля 2021 г.)

Введение

На гражданскую оборону (ГО) согласно действующему законодательству возложен ряд задач. Одна из самых объемных и трудоемких – проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) по ликвидации последствий применения противником средств поражения. В составе сил гражданской обороны наиболее многочисленной составляющей являются гражданские формирования гражданской обороны. На уровне района (города) эти формирования – основная часть сил ГО, которые выполняют наибольший объем задач по проведению АСДНР. Вместе с тем в настоящее время в национальном законодательстве, определяющем порядок действий органов управления и сил гражданской обороны, в полной мере не освещены принципы управления гражданской обороной, принципы организации ликвидации последствий применения противником средств поражения силами гражданских формирований гражданской обороны, требует доработки терминологический аппарат. Принимая во внимание, что органы управления и силы гражданской обороны являются элементами военной организации государства, представляется, что указанные категории могут быть разработаны за счет военно-теоретического обоснования.

Содержание мероприятий гражданской обороны в значительной степени зависит от возможных форм и содержания вооруженного противоборства, сил и средств возможного противника, которые могут применяться в войне, характера возможных последствий. Несмотря на то что решение задач гражданской обороны осуществляется невооруженным способом, в ходе исследований в данной области неизбежно возникает необходимость исследования войны, вооруженной борьбы, которые являются основным предметом военной науки.

В связи с этим правомерно, что исследования в области гражданской обороны должны осуществляться с учетом законов войны (вооруженной борьбы), которые, несмотря на большое количество неопределенностей, случайностей [1–3], позволяют прогнозировать ход и исход военных конфликтов [4–5], а значит, позволят планировать приемы и способы защиты населения и территорий от возникающих при этом опасностей.

В теории познания под сущностью любого предмета (явления, процесса) понимается внутренняя, относительно устойчивая основа, определяющая его смысл, функционирование и развитие [1, с. 15]. Сущность же, как правило, проявляется через многообразные внешние связи и действия, характеризующие ту или иную сторону данного предмета (явления). Поэтому целью данной статьи является на основе общих законов развития, известных законов (закономерностей) войны (вооруженной борьбы), общих законов управления, познания сущности этих явлений, учитывая общие принципы управления и установив диалектическую связь с принципами военного управления, вначале установить механизм их проявления относительно особенностей управления гражданской обороной, а в последующем обосновать специальные принципы организации ликвидации последствий применения противником средств поражения силами гражданских формирований гражданской обороны, совершенствуя сам терминологический аппарат.

Основная часть

Общеизвестно, что в основу любого научного исследования должны быть положены законы диалектики: единства и борьбы противоположностей; перехода количественных изменений в качественные; отрицания отрицания. При этом под диалектикой авторами понимается философская теория о внутренней противоречивости всего существующего и мыслимого, считающая эту противоречивость основным или даже единственным источником всякого движения и развития.

Законы диалектики носят универсальный характер: им подчиняется развитие человека, общества и природы. Их познание позволяет вскрыть и разумно использовать механизмы проявления объективных законов (закономерностей) в различных областях, в том числе применительно к организации выполнения мероприятий гражданской обороны. Знание же законов войны (вооруженной борьбы), всесторонний учет их действия и проявления в конкретных условиях позволяют правильно определять главные, наиболее существенные тенденции в развитии военного искусства и военного строительства, верно оценивать обстановку, ее возможные изменения и главное – принимать целесообразные решения для наиболее эффективного управления гражданской обороной, успешного выполнения поставленных задач.

Под законами войны (вооруженной борьбы) понимаются существенные, необходимые повторяющиеся связи и отношения между различными сторонами и явлениями войны как процесса, обуславливающие ее зарождение, функционирование, развитие, ход и исход [6, с. 23–24]. Представляется, что учет этих объективных законов (закономерностей) позволит уточнить общие принципы управления гражданской обороной, разработать принципы организации ликвидации последствий применения противником средств поражения силами гражданских формирований гражданской обороны, выработать научно обоснованные практические рекомендации должностным лицам органов управления гражданской обороны.

Общие законы войны выражают наиболее существенные связи и отношения между войной и другими явлениями общественной жизни:

зависимость войны от политических целей правительства;

зависимость хода и исхода войны от соотношения экономических, научных, моральных и собственно военных потенциалов противодействующих сторон.

Из общих законов войны вытекают законы вооруженной борьбы, которые их конкретизируют применительно к основному предмету военной науки:

зависимость форм и способов вооруженной борьбы от военно-политических целей войны;

зависимость форм и способов ведения вооруженной борьбы от количества и качества оружия, боевой и специальной техники;

зависимость боевых действий от соответствия форм и способов действий целям и условиям обстановки;

зависимость хода и исхода вооруженной борьбы от соотношения сил и средств сторон, состояния личного состава войск, уровня подготовки командования, штабов, войск и т.п.

С учетом того что гражданская оборона является составной частью оборонных мероприятий государства, на нее действуют как общие законы войны и вооруженной борьбы, так и специфические законы военного управления.

Специфические законы военного управления выражают наиболее существенные связи и отношения различных сторон управления, военного управления как между собой, так и с внешней средой. Развивая законы военного управления, изложенные в работе [1, с. 35], можно сформулировать специфические законы военного управления применительно к гражданской обороне:

закон зависимости организационных форм и методов управления от структуры Вооруженных сил, гражданской обороны, материально-технической базы и условий управления;

закон единства организационно-методологических основ на всех уровнях управления;

закон сохранения пропорциональности и оптимальной соотносительности всех элементов системы управления;

закон совместимости технических средств и систем управления соподчиненных и взаимодействующих сил, формирований и войск;

закон единства и соподчиненности критериев эффективности, используемых при управлении войсками и гражданской обороной;

закон соответствия потребного и располагаемого времени при решении задач управления;

закон зависимости эффективности решения задач управления от объема используемой информации;

закон совместимости систем и средств управления гражданской обороны.

Связующим звеном между законами войны, законами вооруженной борьбы и практической деятельностью органов управления гражданской обороны в ходе организации ее мероприятий являются общие принципы управления и прежде всего принципы военного управления.

Следует подчеркнуть, что принципы военного управления, как наиболее общие, основополагающие правила и рекомендации, которые должны учитываться и выполняться в практической деятельности органов управления гражданской обороны, не являются продуктом оторванного от жизни мыслительного процесса, а черпаются из жизни путем познания наиболее существенных связей и отношений различных сторон управления, научного обобщения длительной практической работы [1, с. 53]. Поэтому принципы, вытекая из законов, должны сознательно формироваться в интересах практики и применяться в зависимости от конкретных условий. По своему предназначению принципы, вытекая из общих законов, законов войны (вооруженной борьбы), законов управления, законов военного управления, являются связующим звеном между фундаментальной основой теории управления – законами управления – и управленческой деятельностью органов управления гражданской обороны.

В настоящее время в Республике Беларусь в нормативных правовых актах и литературе нет явного описания принципов управления гражданской обороной. Вместе с тем существуют основополагающие принципы военного управления [1, с. 56–64], к которым относятся:

единство политического, государственного и военного руководства;
единоначалие;

централизация управления с предоставлением подчиненным инициативы в определении способов выполнения поставленных им задач;

твердость и настойчивость в реализации принятых решений и планов;

оперативное и гибкое реагирование на изменение обстановки;

личная ответственность командующих (командиров) за принимаемые решения, применение подчиненных войск и результаты выполнения поставленных задач.

Относительно гражданской обороны указанные принципы на основе применения метода аналогии могут быть конкретизированы следующим образом:

Принцип единства государственного и военного руководства гражданской обороной заключается в объединении республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, местных исполнительных и распорядительных органов, организаций, населения в интересах наиболее эффективного решения задач гражданской обороны как в мирное, так и в военное время. Этот принцип создает возможность четкого планирования и твердого руководства проведением мероприятий ГО, позволяет наиболее целесообразно распределять и использовать людские, материальные, финансовые и другие ресурсы, обеспечивает необходимые условия для осуществления организованного перевода гражданской обороны на работу в условиях военного времени. Принцип обеспечивает условия для согласованной работы органов управления гражданской обороны различных уровней, органов военного управления по применению имеющихся сил и средств при совместном выполнении задач.

Принцип единоначалия должен заключаться в том, что начальники гражданской обороны различных уровней должны обладать необходимыми полномочиями и нести персональную ответственность за выполнение на соответствующих территориях (в отраслях, организациях) задач гражданской обороны, организацию и проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ. Сущность данного принципа выражается в осуществлении распорядительных функций при проведении мероприятий гражданской обороны. На основе принимаемого начальником гражданской обороны решения организуется взаимодействие, всестороннее обеспечение и управление.

Принцип единоначалия имеет особое значение в ходе организации и проведения АСДНР, когда резко повышается роль оперативности управления в условиях ограниченного времени. Данный принцип обеспечивает твердое управление действиями гражданских формирований гражданской обороны при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Принцип централизации управления с предоставлением подчиненным инициативы в определении способов выполнения поставленных им задач заключается в том, что старший начальник ГО в зависимости от обстановки может в короткие сроки объединить в своих руках руководство всеми подчиненными ему силами и средствами вне зависимости от их ведомственной принадлежности и направить усилия по единому замыслу для выполнения главной задачи в соответствии с принятым решением.

Данный принцип позволяет наиболее эффективно и экономно использовать имеющиеся силы и средства для выполнения задач, быстро переносить их усилия с одного направления на другое. В то же время централизация управления предполагает широкое проявление разумной инициативы и творчества, быстроты и самостоятельности действий подчиненных, особенно при выборе способов выполнения поставленных задач с учетом конкретной обстановки.

В некоторых условиях большое значение может иметь и определенная децентрализация управления силами ГО, особенно с началом нападения противника, нарушения управления, а также при проведении АСДНР на объектах поражения. В условиях сильных разрушений, образования обширных зон заражения (загрязнения), нарушения транспортных связей, в случае выхода из строя элементов средств управления может возникнуть необходимость в автономном управлении системой гражданской обороны в течение времени, необходимого для восстановления централизованного управления.

Принцип твердости и настойчивости в реализации принятых решений и планов заключается в способности начальников ГО принимать обоснованные решения на проведение мероприятий ГО, решительно и настойчиво проводить их в жизнь; добиваться своевременного выполнения мероприятий, предусмотренных планами ГО, и сохранять в своих руках руководство подчиненными силами в любой сложной обстановке. Для этого руководящий состав ГО должен иметь глубокие знания и практические навыки, обладать мужеством, решительностью, выдержкой, способностью пойти на обоснованный риск и оказать мобилизующее и организующее воздействие на людей.

Соблюдение этого принципа предполагает жесткий контроль и проверку исполнения принятых ранее решений и планов, высокую требовательность к подчиненным органам управления, а также оказания им необходимой практической помощи в решении возложенных на них задач.

Принцип оперативного и гибкого реагирования на изменение обстановки обеспечивается за счет знания обстановки, умения быстро ее анализировать, выделять из нее главное, первостепенное, своевременно реагировать на все ее изменения путем быстрого принятия целесообразных и обоснованных решений и немедленного доведения их до исполнителей. В то же время начальник ГО должен быть готов с учетом изменившихся условий обстановки своевременно уточнять или принимать новое решение, ставить подчиненным дополнительные задачи, принимать меры по поддержанию непрерывного взаимодействия сил ГО.

Принцип личной ответственности начальника ГО за принимаемые решения, применение подчиненных сил и результаты выполнения поставленных задач заключается в персональной ответственности начальника ГО за состояние гражданской обороны и успешное выполнение ее задач, которая определяется характером возложенных на него обязанностей и предоставленных полномочий.

Рассмотренные принципы тесно связаны и находятся в диалектическом единстве. Постоянный учет этих принципов позволит начальникам и органам управления ГО применять наиболее целесообразные методы работы при решении задач гражданской обороны.

На основе познания законов войны и вооруженной борьбы, руководствуясь общими принципами управления гражданской обороны, могут быть сформулированы специальные принципы, отражающие основополагающие правила организации ликвидации последствий применения противником средств поражения:

1. Принцип учета прогнозируемой обстановки. Данный принцип определяет необходимость прогнозирования обстановки на соответствующей территории в случае применения противником средств поражения и с учетом полученных результатов определение объемов и содержания мероприятий по ликвидации последствий применения противником средств поражения, определения состава и формирований гражданской обороны, необходимых для проведения прогнозируемого объема аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Реализация данного принципа предполагает, что принятие решения начальником гражданской обороны на проведение АСДНР должно осуществляться с учетом оценки средств поражения противника, результатов прогнозирования и тщательного анализа возможной обстановки, которая может сложиться на соответствующей территории. Наличие достоверных прогнозных данных по обстановке обеспечивает повышение уровня информированности начальника ГО, позволяет ему принимать наиболее обоснованные решения, а штабам и службам ГО полно и своевременно планировать и осуществлять все мероприятия гражданской обороны.

2. Принцип заблаговременной подготовки к проведению работ по ликвидации последствий применения противником средств поражения.

Данный принцип определяет необходимость проведения в мирное время ряда мероприятий: определения состава и численности гражданских формирований гражданской обороны, их обучения, оснащения, поддержания их готовности к применению; принятие начальником гражданской обороны решения на проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ, постановку задач органам управления и силам гражданской обороны; планирования мероприятий по ликвидации последствий применения противником средств поражения; организацию взаимодействия, всестороннего обеспечения и управления.

Данный принцип обеспечивает организованность и целенаправленность в подготовке мероприятий гражданской обороны по ликвидации последствий применения противником средств поражения, позволяет осуществить ряд мероприятий до начала ведения военных действий, тем самым повышая оперативность приведения в готовность и применения формирований гражданской обороны для решения задач по предназначению.

3. Принцип рационального сочетания необходимой достаточности и максимально возможного использования сил и средств гражданских формирований гражданской обороны с учетом возможностей организаций.

Реализация данного принципа заключается в том, что определение потребности сил и средств гражданской обороны, обеспечивающих проведение прогнозируемого с заданной вероятностью объема АСДНР по ликвидации последствий применения противником средств поражения, проводится с учетом возможностей организаций по созданию формирований.

Принцип устанавливает необходимость при определении количества персонала и перечня средств, выделяемых от организаций для создания формирований ГО, сохранения возможности устойчивого функционирования этих организаций.

4. Принцип сосредоточения основных усилий сил гражданской обороны в ходе проведения АСДНР с учетом наличия угрозы жизни и здоровью людей, объектам, имеющим важное оборонное и (или) экономическое значение, причинения ущерба окружающей среде.

Данный принцип определяет решающее направление, на котором сосредотачиваются основные усилия сил и средств гражданских формирований гражданской обороны в ходе проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ по ликвидации последствий применения противником средств поражения:

если в результате применения противником средств поражения возникли поражающие факторы, которые угрожают жизни и здоровью людей, – основные силы и средства сосредоточиваются для обеспечения спасательных работ;

если противником применяются средства поражения в отношении нескольких объектов – основные силы и средства сосредоточиваются и вводятся на наиболее важных в оборонном и (или) экономическом значении объектах;

если противником применяются средства поражения в отношении нескольких некатегоризированных объектов – основные силы и средства сосредоточиваются и вводятся на тех объектах, где дальнейшее распространение поражающих факторов может привести к наибольшему ущербу.

АСДНР должны быть направлены прежде всего на максимально возможное снижение людских и материальных потерь, обеспечение жизнедеятельности пострадавшего населения в условиях применения противником средств поражения, защиту важных в оборонном и (или) экономическом значении объектов, снижение материального ущерба и ущерба окружающей среде.

Принцип позволяет наиболее эффективно использовать имеющиеся силы и средства гражданской обороны для выполнения задач в ходе ликвидации последствий применения противником средств поражения.

5. Принцип определения приоритета проведения АСДНР.

Данный принцип вытекает из принципа сосредоточения основных усилий сил гражданской обороны в ходе проведения АСДНР и находится с ним в неразрывной связи. Он определяет решающие правила определения приоритета и выбора объекта проведения АСДНР в случае поражения противником группы объектов:

в первую очередь АСДНР проводятся на объектах, где дальнейшее распространение поражающих факторов может привести к наибольшему количеству потерь среди персонала и населения;

приоритетность проведения АСДНР определяется категорией объекта по гражданской обороне.

Данный принцип позволяет начальнику гражданской обороны выбрать наиболее целесообразный вариант организации ликвидации последствий применения противником средств поражения в ходе принятия решения на проведение АСДНР.

Показателем научной разработки любой теории является наличие своего терминологического аппарата – понятий, категорий, принципов. Особое значение при этом имеют понятия, от правильности и единообразной трактовки которых зависит выполнение задач гражданской обороны, жизнь и здоровье людей. Неправильное понимание и интерпретация того или иного термина может снизить эффективность работы органов управления и сил гражданской обороны, оказать негативное влияние на выполнение научно-исследовательских работ в данной области.

В настоящее время в сфере гражданской обороны сформирован перечень основных терминов и определений, используемых как в практической деятельности органов управления и сил гражданской обороны, так и в образовательной и научной деятельности.

Понятийный аппарат гражданской обороны формируется на основе большого количества международных и национальных нормативных правовых (технических) актов, в которые регулярно вносятся изменения. Подобные изменения периодически затрагивают термины и определения. Это обуславливает необходимость их постоянного совершенствования.

Большой вклад в научно-методическое сопровождение понятийного аппарата в области гражданской обороны, защиты в чрезвычайных ситуациях, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах внес Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России. На данный момент в наиболее полном виде термины и определения в области гражданской обороны систематизированы в энциклопедии «Гражданская защита» под общей редакцией С.К. Шойгу. Вместе с тем необходимо отметить, что в указанном издании перечень терминов и определений не является исчерпывающим, и в целом понятийный аппарат гражданской обороны до конца не сложился.

Поскольку в настоящее время в Республике Беларусь понятия «последствия применения противником средств поражения», «ликвидация последствий применения противником средств», «организация ликвидации последствий применения противником средств поражения» нормативными правовыми актами четко не регламентированы, не имеют однозначного общепризнанного определения и обычно не упоминаются в энциклопедических изданиях, с учетом вышеизложенных теоретических аспектов и положений в статье предлагается их изложить следующим образом.

Последствия применения противником средств поражения – последовательность взаимосвязанных событий, возникающих в результате воздействия поражающих факторов средств поражения, которые повлекли причинение вреда жизни и здоровью людей, нарушение условий их жизнедеятельности, ущерб окружающей среде, объектам экономики и инфраструктуре.

Ликвидация последствий применения противником средств поражения – комплекс мероприятий, направленных на прекращение или снижение до минимально возможного уровня воздействия на население, объекты экономики и инфраструктуры опасных факторов, возникающих вследствие применения противником средств поражения.

Организация ликвидации последствий применения противником средств поражения – совокупность взаимосвязанных мер и действий органов управления гражданской обороны и других должностных лиц, определяющих порядок проведения работ по ликвидации последствий применения противником средств поражения.

С учетом проведенного анализа существующих подходов к организации ликвидации последствий применения противником средств поражения установлено, что эти мероприятия на этапе заблаговременной подготовки гражданской обороны включают:

- принятие решения на проведение АСДНР на основе прогнозных данных;
- постановку задач подчиненным силам;
- планирование проведения работ;
- организацию взаимодействия, всестороннего обеспечения и управления.

Заключение

В статье изложены наиболее общие законы войны (вооруженной борьбы), общие законы и принципы военного управления и вытекающие из них принципы управления гражданской обороны, которые возможны к применению в современных условиях всего комплекса практики реализации организации управленческой деятельности ГО. На основе познания сущности этих явлений, установления диалектической связи между ними разработаны специальные принципы организации ликвидации последствий применения противником средств поражения силами гражданских формирований гражданской обороны, а также усовершенствован терминологический аппарат в этой области.

Предложенные правила и рекомендации, которые должны учитываться и выполняться в практической деятельности руководящего состава и должностных лиц органов управления гражданской обороны, что позволит им применять наиболее целесообразные методы работы в ходе организации аварийно-спасательных и других неотложных работ силами гражданских формирований гражданской обороны. Представленные понятия дают единое толкование терминов по организации ликвидации последствий применения противником средств поражения, систематизируют знания в данной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтухов, П.К. Основы теории управления войсками / П.К. Алтухов [и др.]; под общ. ред. П.К. Алтухова. – М.: Воениздат, 1984. – 221 с.
2. Клаузевиц, К. О войне / К. Клаузевиц. – М.: Госвоениздат, 1934.; переизд.: М.: Эксмо, 2007. – 437 с.
3. Пригожин, И. Философия нестабильности / И. Пригожин // Вопросы философии. – 2002. – № 6. – С. 46–57.
4. Круглов, В.В. Законы войны и их математическое представление / В.В. Круглов. – М.: ВА им. Ф.Э. Дзержинского, 1997. – 72 с.
5. Урманцев, Ю. Эволюционика, или Общая теория развития систем природы, общества и мышления / Ю. Урманцев. – М.: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 2003. – 279 с.
6. Карпилена, Н.В. Теоретические основы многополярного мира: евразийский взгляд из Союзного государства: монография / Н.В. Карпилена. – М.: ИД «Архонт», 2020. – 425 с.

**Теоретические основы организации ликвидации последствий применения
противником средств поражения: специальные принципы
и терминологический аппарат организации**

**Theoretical foundations of the organization of elimination of consequences of using means
of destruction by the enemy: special principles and terminological apparatus**

Бордак Сергей Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра гражданской
защиты, старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: bordak.ucp@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9157-3899

Sergey S. Bordak

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Civil Protection, Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: bordak.ucp@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9157-3899

Карпиленя Николай Васильевич

действительный член Академии военных наук,
доктор военных наук, профессор

Учреждение образования «Военный
университет Министерства обороны
Российской Федерации», кафедра
информатики и управления, профессор

Адрес: ул. Большая Садовая, 14,
125047, Москва, Россия
e-mail: karpilenyanv@mail.ru

Nikolay V. Karpilenya

Full member of the Academy of Military Sciences,
Grand PhD in Military Sciences, Professor

Educational Establishment «Military University
of the Ministry of Defense of the Russian
Federation», Chair of Informatics
and Management, Professor

Address: Bolshaya Sadovaya str., 14,
125047, Moscow, Russia
e-mail: karpilenyanv@mail.ru

Субботин Михаил Николаевич

кандидат военных наук, доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра гражданской
защиты, профессор

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
ORCID: 0000-0003-0071-8867

Mikhail N. Subbotin

PhD in Military Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Civil Protection, Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
ORCID: 0000-0003-0071-8867

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.231>

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE ORGANIZATION OF ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF USING MEANS OF DESTRUCTION BY THE ENEMY: SPECIAL PRINCIPLES AND TERMINOLOGICAL APPARATUS

Bordak S.S., Karpilenya N.V., Subbotin M.N.

Purpose. To substantiate special principles for organizing the forces of civilian civil defense formations to eliminate the consequences of the use of weapons by the enemy, and also to clarify the terminological apparatus of this subject area.

Methods. As a theoretical basis, the method of analogy was used, as well as general scientific methods of induction, deduction, analysis and synthesis.

Findings. On the basis of general laws of development, well-known laws (regularities) of war (armed struggle) and taking into account general laws and principles of management, a dialectical connection with the principles of military management has been established and the mechanism of their manifestation regarding the specifics of management of civil defense has been concretized. Special principles have been developed for organizing the forces of civilian formations of civil defense to eliminate the consequences of the use of weapons by the enemy, and clarifications have been made in the terminological apparatus.

Application field of research. The research results can be used in scientific studies related to the aspects of preparation and conduct of civil defense, as well as in the practical activities of chiefs and staffs of civil defense.

Keywords: civil defense, principles, terminology, organization of civil defense, organization of rescue and other urgent work, elimination of the consequences of the use of weapons, laws of war (armed struggle).

(The date of submitting: February 25, 2021)

REFERENCES

1. Altuhov P.K., Afonskiy I.A., Rybolovskiy I.V., Tatarchenko A.E. *Osnovy teorii upravleniya voyskami* [Fundamentals of the theory of command and control]. Moscow: Voenizdat, 1984. 221 p. (rus)
2. Klauzevits K. *O voyne* [About war]. Moscow: Gosvoenizdat, 1934. Moscow: Eksmo, 2007. 437 p. (rus)
3. Prigozhin I. *Filosofiya nestabil'nosti* [The philosophy of instability]. *Voprosy filosofii*, 2002. No. 6. Pp. 46–57. (rus)
4. Kruglov V.V. *Zakony voyny i ikh matematicheskoe predstavlenie* [The laws of war and their mathematical representation]. Moscow: Military Academy named after F.E. Dzerzhinsky, 1997. 72 p. (rus)
5. Urmantsev Yu. *Evolyutsionika, ili Obshchaya teoriya razvitiya sistem prirody, obshchestva i myshleniya* [Evolutionism or general theory of the development of systems of nature, society and thinking]. Moscow: ONTI NTsBI AN SSSR, 2003. 279 p. (rus)
6. Karpilenya N.V. *Teoreticheskie osnovy mnogopolyarnogo mira: evraziyskiy vzglyad iz Soyuznogo gosudarstva* [Theoretical Foundations of a Multipolar World: A Eurasian View from the Union State]: monograph. Moscow: Arkhont, 2020. 425 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.241>

УДК. 351.861

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Бордак С.С., Ковтун В.А., Плескачевский Ю.М.

Цель. Выработать подход по формализации оценки эффективности мероприятий гражданской обороны при подготовке управленческих решений.

Методы. В качестве теоретической базы использовались методы теории эффективности, теории исследования операций, теории вероятностей и математической статистики, а также общенаучные методы (индукции, дедукции, анализа и синтеза).

Результаты. Проведен анализ основных литературных источников в области оценки эффективности сложных систем. Выработан подход по формализации оценки эффективности мероприятий гражданской обороны при подготовке управленческих решений на основе критерия оценивания качества результатов операции.

Область применения исследований. Результаты исследования могут быть использованы в научных исследованиях, связанных с аспектами подготовки и ведения гражданской обороны, а также в практической деятельности начальников и штабов гражданской обороны.

Ключевые слова: гражданская оборона, оценка эффективности, органы управления гражданской обороной, система, операция, эффективность, неопределенность, принятие управленческого решения.

(Поступила в редакцию 1 марта 2021 г.)

Введение

В основе управления гражданской обороны лежит решение начальника гражданской обороны, которым определяются порядок, способы и сроки выполнения мероприятий, а также необходимые для их выполнения силы и средства. Исследуя процесс принятия такого решения, необходимо учитывать, что его во многом затрудняют резкие изменения обстановки и отсутствие полной информации о ней, т.е. имеется высокая степень неопределенности. Деятельность органов управления гражданской обороны, связанная с поддержкой принятия решения, как правило, направлена на снижение этой неопределенности в интересах принятия целесообразного решения начальником гражданской обороны. Поэтому важной составляющей их работы является обоснование вырабатываемого решения исходя из оценки эффективности наиболее общего комплексного свойства планируемых мероприятий гражданской обороны.

На данный момент решение такой задачи во многом зависит от интуиции начальника и должностных лиц штаба ГО, их эвристических способностей вырабатывать неординарные и эффективные управленческие воздействия в сложных условиях. В данной статье преследуется цель провести анализ основных литературных источников в области оценки эффективности сложных систем и на основе его результатов выработать подход по формализации оценки эффективности мероприятий гражданской обороны при подготовке управленческих решений. По нашему мнению, последующее применение предложенного подхода в комбинации с традиционными методами обоснования принимаемых решений будет способствовать повышению эффективности организации гражданской обороны, успешному решению других управленческих задач.

Для достижения поставленной цели видится обоснованным использование теории эффективности. Она зародилась в военном деле, в частности в теории стрельбы, предметом которой является оценивание действительности стрельбы огнестрельного оружия. Наибольший вклад в развитие теории эффективности внес А.Н. Колмогоров.

В работе [1] он впервые предложил оценивать эффективность стрельбы не на основе частных показателей, а по степени объективной возможности выполнения той основной задачи, ради которой эта стрельба производится.

В настоящее время теория эффективности представляет собой прикладную дисциплину, которая разрабатывает и исследует принципы и методы количественного оценивания и анализа результатов функционирования целеустремленных технических, социально-технических и экономических систем и степени их соответствия целям операции, которые стоят перед целеустремленной системой, а также методы оптимизации проектируемых целеустремленных систем и организуемых целенаправленных процессов их функционирования [2–6]. Данная теория строится на понятии эффективности, под которым понимают комплексное операционное свойство целенаправленного процесса функционирования, характеризующее его приспособленность к выполнению стоящей перед системой задачи [4; 5].

Основная часть

Проведенный анализ источников [3–5] показывает, что эффективность напрямую связана с понятием качества, которое отождествляется со свойством или совокупностью свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по целевому назначению. Применительно к гражданской обороне, которая, в сущности, является сложной системой, качество проявляется в полной мере только в процессе ее функционирования, применения ее сил и средств по предназначению. Поэтому наиболее объективная оценка эффективности ГО может быть осуществлена с позиции качества планируемых мероприятий гражданской обороны [4; 5].

Для комплексного исследования эффективности планируемых мероприятий гражданской обороны следует ввести показатель качества x , который должен включать как минимум три компонента: возможные целевые эффекты – результативность планируемых мероприятий гражданской обороны (e); затраты ресурсов – ресурсоемкость (r); затраты времени – оперативность (t). Поэтому показатель качества x целесообразно представить в виде трехкомпонентного вектора, свернув показатели частных эффектов внутри групп:

$$x(x_1, x_2, x_3) = (e, r, t), \quad (1)$$

где e – способность обеспечить результат (выполнить задачу), ради которого проводятся мероприятия; r – объем ресурсов, привлекаемых для проведения мероприятий; t – время, требуемое для достижения цели (выполнения задачи).

Вектор x будет зависеть от параметров исследуемой системы, ее эксплуатационно-технических характеристик – вектора $a = (a_1, a_2, \dots, a_k)$, условий функционирования – вектора $b^{(1)} = (b_1^{(1)}, b_2^{(1)}, \dots, b_l^{(1)})$:

$$x = x(a, b^{(1)}). \quad (2)$$

Изученные источники [3–10] свидетельствуют, что при исследовании эффективности процесса необходимо задать критерий, на основе которого будет определяться показатель эффективности, выражающий меру соответствия достигнутых результатов требуемым значениям, которые следует получить для достижения цели. В литературе такой критерий называют *критерием оценивания качества результатов операции* ($G_{ц}$). В формальном виде его можно выразить условием:

$$G_{ц} : x \in \{x^{\pi}\}, \quad (3)$$

где x^{π} – допустимые значения вектора x .

Для гражданской обороны типичной является ситуация, когда на ее эксплуатационно-технические характеристики и параметры, условия функционирования и применения воздействует ряд случайных факторов [11]. В связи с этим наибольший практический интерес представляет период исследования эффективности до проведения мероприятий ГО. Например, это характерно для принятия решения начальником ГО района (города) на проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ на этапе заблаговременной подготовки гражданской обороны, т.к. оно принимается на основе выводов из оценки обстановки по результатам прогнозирования. В этом случае векторы a и $b^{(1)}$, а следовательно, и x являются случайными. Более того, случайными являются значения x^{Δ} , которые определяются условиями применения сил и средств ГО – вектор $b^{(2)} = (b_1^{(2)}, b_2^{(2)}, \dots, b_n^{(2)})$, поскольку до проведения мероприятий гражданской обороны неизвестно, какими должны быть результаты, чтобы поставленная цель была достигнута, т.е.

$$\begin{cases} x' = x(a, b^{(1)}), \\ x'^{\Delta} = x^{\Delta}(b^{(2)}), \end{cases} \quad (4)$$

где x' – вектор качества результатов планируемых мероприятий; x'^{Δ} – вектор допустимых значений вектора качества результатов планируемых мероприятий ГО.

Таким образом, условие (3) принимает вид:

$$G_{ц} : x' \in \{x'^{\Delta}\}. \quad (5)$$

Спецификой гражданской обороны, в отличие от мероприятий по защите от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, является то, что в ходе выполнения мероприятий ГО на них воздействует большое число внешних факторов (например, противодействие противника), вызывающих неопределенность их исхода и не позволяющих применить детерминированный подход для оценки эффективности [12; 13].

В силу того что x' и x'^{Δ} по своей сущности являются случайными векторами, возникает необходимость в определении вероятности достижения цели планируемых мероприятий $P_{ц}$:

$$P_{ц} = P(x' \in \{x'^{\Delta}\}). \quad (6)$$

Результаты анализа существующих подходов к оценке вероятности достижения цели планируемых мероприятий ГО [3–10] показали, что наиболее распространенной является оценка, в основу которой положены законы распределения случайных величин. Следовательно, для вычисления значения этой вероятности необходимо знать функцию распределения случайного вектора x' :

$$F_x(x') = P(x_1 < x'_1, x_2 < x'_2, x_3 < x'_3). \quad (7)$$

Задача установления вида функции распределения вектора x' , определения свойств величин x_1, x_2, x_3 решается с применением методов теории вероятностей и математической статистики.

Проведенный анализ практики организации и ведения гражданской обороны свидетельствует, что требования, предъявляемые к результатам планируемых мероприятий, имеют односторонний характер. Так, целевой эффект должен быть не менее требуемого (минимально допустимого) значения $\tilde{x}_1^{\Delta} = e_{\min}$; затраты должны быть не выше максимально допустимого значения $\tilde{x}_2^{\Delta} = r_{\max}$; задача должна быть выполнена за время, не превышающее максимально допустимого значения $\tilde{x}_3^{\Delta} = t_{\max}$, называемое директивным или нормативным временем. Следовательно, критерий (5) принимает вид

$$G_{\Pi} : x' \in \left\{ x \mid x_1 \geq \tilde{x}_1^{\Delta} = e_{\min}, x_2 \leq \tilde{x}_2^{\Delta} = r_{\max}, x_3 \leq \tilde{x}_3^{\Delta} = t_{\max} \right\}. \quad (8)$$

Анализ источников [14–17] показал, что с практической точки зрения наиболее адекватная оценка компонента результативности векторов x' и x'^{Δ} может быть проведена на основе коллективного мнения группы экспертов. Согласно теории принятия решений такая оценка может быть качественной или количественной [15]. Преимущества качественной оценки заключаются в ее простоте, удобстве и отсутствии каких-либо расчетов. Вместе с тем основным ее недостатком является большая степень субъективности вследствие крайне узкого диапазона оценок исследуемой величины. По этой причине специалисты в области управления [16; 17] рекомендуют использование количественной оценки. Она хотя и не устраняет фактора субъективности, однако делает процесс оценки более гибким, расширяя диапазон возможных оценок величин.

Можно отметить, что количественная оценка не является таковой в чистом виде, поскольку в ходе ее проведения в основном используется балльная оценка величин, где каждому баллу соответствует качественная оценка, характеристика и описание. Другими словами, такая оценка имеет качественно-количественную сущность, является универсальной, что подтверждает возможность ее использования в интересах оценки указанных выше компонентов эффективности.

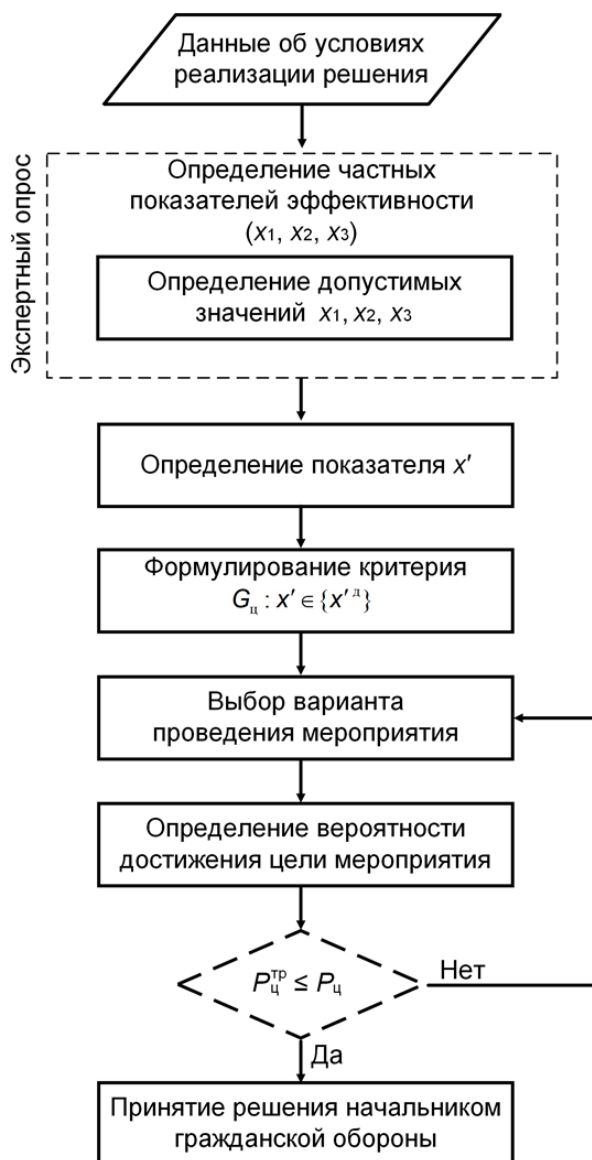
Сложившаяся практика обоснования решений начальника гражданской обороны свидетельствует, что, пожалуй, самой сложной задачей при оценке эффективности является оценка компоненты результативности e . Анализ источников [15–17] показал, что эта задача может быть значительно упрощена за счет использования балльных шкал оценки. Для ее построения необходимо выбрать диапазон шкалы и интерпретировать ее значения. Основной характеристикой балльной шкалы является ее диапазон, т.е. количество оценочных точек. По мнению авторов, наиболее подходящими для практического использования являются 3-, 5- или 10-балльные шкалы. В общем случае выбор диапазона шкалы балльной оценки ограничивается возможностью интерпретации ее значений. Каждое значение должно иметь четкую характеристику, которая не допускала бы ее двоякого толкования и обеспечивала однозначное отождествление компонента оценки эффективности. В таблице 1 приведен вариант нормирования шкалы показателя результативности планируемых мероприятий гражданской обороны e .

Таблица 1. – Вариант количественной оценки показателя результативности мероприятий ГО

Шкала качественной оценки		Результативность мероприятий гражданской обороны	Шкала количественной оценки		
3-балльная	5-балльная		10-балльная	5-балльная	3-балльная
Высокая	Очень высокая	Результат неизбежно достигается всегда	10	5	3
		Теоретически может быть не достигнут, но практически всегда достигается	9		
Средняя	Высокая	Достигается очень часто, в подавляющем большинстве случаев	8	4	2
		Достигается часто, в значительном большинстве случаев	7		
	Средняя	Получается в незначительном большинстве случаев	6	3	
		Получается в незначительном меньшинстве случаев	5		
Низкая	Низкая	Достигается редко	4	2	1
		Достигается очень редко	3		
	Очень низкая	Результат теоретически возможен, но практически не достигается	2	1	
	Результат невозможен, не достигается никогда	1			

Важным элементом оценки компонентов эффективности является их нормирование, что на практике часто вызывает затруднения. Например, выбрать значение показателя результативности между альтернативными характеристиками «часто» и «очень часто» довольно сложно, особенно без тщательного анализа имеющихся знаний об параметрах исследуемой системы, ее эксплуатационно-технических характеристиках, условий функционирования. Для разрешения этого проблемного вопроса целесообразно использовать подход численной оценки сравнительной предпочтительности альтернатив, в основе которого лежат метод парных сравнений и метод сравнительных суждений Л. Терстоуна [18].

Проведенный анализ позволяет формализовать процесс оценки эффективности планируемых мероприятий гражданской обороны, его общая структурно-логическая схема представлена на рисунке 1.



$P_{ц}^{тр}$ – требуемое значение вероятности достижения цели планируемых мероприятий

Рисунок 2. – Общая структурно-логическая схема оценки эффективности планируемых мероприятий гражданской обороны

Представленный подход оценивания эффективности гражданской обороны осуществляется на двух уровнях, и реализуется в два этапа. Его сущность заключается в следующем.

На первом этапе:

1. Для определения частных показателей эффективности организуется сбор информации у экспертов, проводится анализ согласованности мнений экспертов. Проводится численная оценка сравнительной предпочтительности альтернатив частных показателей эффективности. По результатам экспертного оценивания определяется количественный показатель результата, который необходимо достичь при выполнении мероприятий гражданской обороны.

2. На основе данных об условиях, в которых предполагается реализация решения начальника ГО и нормативных требований, определяются допустимые значения показателей ресурсоемкости и оперативности (затраты или *отрицательные эффекты*).

3. На основе частных показателей эффективности определяется показатель качества результатов планируемых мероприятий ГО.

4. Определяется критерий оценки эффективности – условия выполнения задач, реализация которых позволит достичь желаемой цели.

5. Выбирается вариант проведения мероприятия гражданской обороны.

На втором этапе:

6. Вычисляется вероятность достижения цели планируемых мероприятий гражданской обороны.

7. Задаются требования к эффективности мероприятий ГО – минимально допустимое или требуемое значение вероятности достижения цели $P_{ц}^{тp}$.

8. Проводится сравнение фактического значения $P_{ц}$ и требуемого значения $P_{ц}^{тp}$ вероятностей достижения цели планируемых мероприятий гражданской обороны. Если значение $P_{ц}$ больше или равно значению $P_{ц}^{тp}$, то начальником гражданской обороны принимается решение на проведение мероприятий ГО. Если значение $P_{ц}$ меньше требуемого, то выбирается другой вариант проведения мероприятия гражданской обороны.

Заключение

Таким образом, предложен подход к формализации оценки эффективности планируемых мероприятий гражданской обороны в ходе подготовки управленческих решений. В его основу положен критерий оценивания качества результатов планируемых мероприятий ГО. Применение полученных результатов органами управления гражданской обороны позволит выбрать целесообразный вариант проведения мероприятий для достижения цели при существующих альтернативах, а также оптимизировать управление силами и средствами гражданской обороны на основе заданного критерия эффективности.

Преимуществом представленного подхода является то, что при его применении все целенаправленные процессы оказываются сравнимыми по эффективности, которая имеет единую меру – вероятность достижения цели $P_{ц}$. Применение подхода позволяет рассматривать вероятность достижения цели планируемых мероприятий одновременно, как и относительный и абсолютный показатель эффективности. Так, с одной стороны, целевой эффект планируемых мероприятий гражданской обороны связан с затратами ресурсов, которые являются отрицательными эффектами, поэтому в этом случае вероятность $P_{ц}$ характеризует эффективность с учетом соотношения целевого и отрицательных эффектов. С другой стороны, для фиксированного комплекса условий вероятность случайного процесса есть абсолютная характеристика степени объективной возможности его реализации. То есть значение $P_{ц}$ и в этом случае относительно, но по сравнению с единицей, выступающей абсолютной мерой степени объективной возможности достоверного события. Другие применяемые показатели эффективности таким важным свойством не обладают.

Реализация выработанного подхода позволит упорядочить деятельность органов управления гражданской обороны по подготовке рациональных вариантов решения на про-

ведение мероприятий ГО, минимизировать субъективность оценки эффективности этих решений, а также снизить уровень неопределенности в отношении их возможных последствий. Полученные в статье результаты могут быть применены в системах поддержки принятия решения начальником ГО о проведении мероприятий гражданской обороны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров, А.Н. Число попаданий при нескольких выстрелах и общие принципы оценки эффективности системы стрельбы / А.Н. Колмогоров // Труды математического института им. В.А. Стеклова: сб. ст. по теории стрельбы / АН СССР. – М.; Л., 1945. – С. 7–25.
2. Вентцель, Е.С. Введение в исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Советское радио, 1964. – 390 с.
3. Добров, А.В. Основы теории эффективности: учебник / А.В. Добров. – Химки: АГЗ МЧС России, 2009. – 136 с.
4. Петухов, Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1. Методология, методы, модели / Г.Б. Петухов. – Л.: Мин. обороны СССР, 1989. – 647 с.
5. Петухов, Г.Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем / Г.Б. Петухов, В.И. Якунин. – М.: АСТ, 2006. – 502 с.
6. Виноградов, В.А. Эффективность сложных систем. Динамические модели / В.А. Виноградов [и др.]. – М.: Наука, 1989. – 288 с.
7. Habayeb, A.R. Systems effectiveness / A.R. Habayeb. – Irbid; Yarmouk University: Pergamon press, 1989. – 447 p. DOI: 10.1016/C2009-0-11076-0.
8. Morse P.M., Kimball G.E. Methods of operations research / P.M. Morse, G.E. Kimball. – Washington: National Defense Research Committee, 1946. – 186 p.
9. Ануреев, И.И. Применение математических методов в военном деле / И.И. Ануреев. – М.: Воениздат, 1972. – 254 с.
10. Зотов, В.П. Теоретические основы оценки эффективности / В.П. Зотов. – М.: ВА им. Ф.Э. Дзержинского, 1967. – 452 с.
11. Бордак, С.С. Подготовка мероприятий гражданской обороны на основе анализа рисков / С.С. Бордак, М.Н. Субботин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 223–231. DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.223.
12. Субботин, М.Н. Мероприятия гражданской защиты, обеспечивающие живучесть города в мирное и военное время / М.Н. Субботин, С.С. Бордак // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 99–105.
13. Тихонов, М.М. Перспективы создания государственной системы гражданской защиты / М.М. Тихонов, М.Н. Субботин, С.С. Бордак // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 386–392. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.386.
14. Ласута, Г.Ф. Методика ранжирования организаций в интересах гражданской обороны с использованием метода анализа иерархий / Г.Ф. Ласута, Н.В. Карпиленя, А.Д. Булва // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 301–313. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.301.
15. Бешелев, С.Д. Экспертные оценки / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М.: Наука, 1973. – 161 с.
16. Борисов, Н.Н. Методы оценки решений: элементы анализа / Н.Н. Борисов, А.С. Левченко. – Рига: РПИ, 1980. – 189 с.
17. Кузьменко, Ю.М. Методы анализа и обработки военно-экономической информации / Ю.М. Кузьменко [и др.]. – М.: Наука, 1978. – 115 с.
18. Thurstone, L.L. The Measurement of Values / L.L. Thurstone. – Chicago: University of Chicago Press, 1959. – 322 p.

**Оценка эффективности мероприятий гражданской обороны
при подготовке управленческих решений**

**Evaluation of the effectiveness of civil defense measures
in the preparation of management decisions**

Бордак Сергей Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра гражданской
защиты, старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: bordak.ucp@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9157-3899

Sergey S. Bordak

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Civil Protection, Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
e-mail: bordak.ucp@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9157-3899

Ковтун Вадим Анатольевич

доктор технических наук, профессор

Гомельский филиал государственного
учреждения образования «Университет
гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики
Беларусь», кафедра оперативно-тактической
деятельности и техники, профессор

Адрес: ш. Речицкое, 65А,
246023, г. Гомель, Беларусь
e-mail: vadimkov@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-9510-132X

Vadim A. Kovtun

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
Gomel Branch of the State Educational
Establishment «University of Civil Protection
of the Ministry of Emergency Situations
of the Republic of Belarus»,
Chair of Operational-Tactical Activity
and Technical Equipment, Professor

Address: st. Rechitskoe, 65A,
246023, Gomel, Belarus
e-mail: vadimkov@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-9510-132X

Плескачевский Юрий Михайлович

член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор технических наук, профессор

Белорусский национальный технический
университет, кафедра микро- и нанотехники,
заведующий кафедрой

Адрес: ул. Я. Коласа, 22,
220013, г. Минск, Беларусь
e-mail: pleskachevsky@bntu.by
ORCID: 0000-0002-5459-9835

Yuriy M. Pleskachevskiy

Corresponding Member of the National Academy
of Sciences of Belarus, Grand PhD in Technical
Sciences, Professor

Belarusian National Technical University,
Chair of Micro- and Nanotechnology,
Head of Chair

Address: Y. Kolas str., 22,
220013, Minsk, Belarus
e-mail: pleskachevsky@bntu.by
ORCID: 0000-0002-5459-9835

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.241>

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF CIVIL DEFENSE MEASURES MAKING MANAGEMENT DECISIONS

Bordak S.S., Kovtun V.A., Pleskachevskiy Yu.M.

Purpose. Develop an approach to formalize the assessment of the effectiveness of civil defense measures in the preparation of management decisions.

Methods. The well-known methods of efficiency theory, theory of operations research, probability theory and mathematical statistics, as well as general scientific methods (induction, deduction, analysis and synthesis) were used as a theoretical basis.

Findings. The analysis of the main literary sources in the field of assessing the effectiveness of complex systems. An approach has been developed to formalize the assessment of the effectiveness of civil defense measures in the preparation of management decisions based on the criterion for assessing the quality of the operation results.

Application field of research. The research results can be used in scientific research related to aspects of preparation and conduct of civil defense, as well as in the practical activities of chiefs and staffs of civil defense.

Keywords: civil defense, efficiency assessment, civil defense management bodies, system, operation, efficiency, uncertainty, management decision making.

(The date of submitting: Marth 1, 2021)

REFERENCES

1. Kolmogorov A.N. Chislo popadaniy pri neskol'kikh vystrelakh i obshchie printsipy otsenki effektivnosti sistemy strel'by [The number of hits with multiple shots and general principles for assessing the effectiveness of the firing system]. *Proceedings of the Steklov Mathematical Institute: collection of articles on the theory of artillery fire*. Moscow, Leningrad: Academy of Sciences of the USSR, 1945. Pp. 7–25. (rus)
2. Ventcel' E.S. *Vvedenie v issledovanie operatsiy* [Introduction to operations research]. Moscow: Sovetskoe radio, 1964. 390 p. (rus)
3. Dobrov A.V. *Osnovy teorii effektivnosti* [Fundamentals of efficiency theory]: tutorial. Himki: Civil Defense Academy of Emercom of Russia, 2009. 136 p. (rus)
4. Petukhov G.B. *Osnovy teorii effektivnosti tselenapravlennykh protsessov. Chast' 1 Metodologiya, metody, modeli* [Fundamentals of the theory of the effectiveness of purposeful processes. Part 1 Methodology, methods, models]. Leningrad: Ministry of Defense of the USSR, 1989. 647 p. (rus)
5. Petukhov G.B., Yakunin V.I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya tselenapravlennykh protsessov i tselestremlyennykh sistem* [Methodological bases of external design of purposeful processes and purposeful systems]. Moscow: AST, 2006. 502 p. (rus)
6. Vinogradov V.A. *Effektivnost' slozhnykh sistem. Dinamicheskie modeli* [Effectiveness of complex systems. Dynamic models]. Moscow: Nauka, 1989. 288 p. (rus)
7. Habayeb A.R. *Systems effectiveness*. Irbid; Yarmouk University: Pergamon press, 1989. 447 p. DOI: 10.1016/C2009-0-11076-0.
8. Morse P.M., Kimball G.E. *Methods of operations research*. Washington: National Defense Research Committee, 1946. 186 p.
9. Anureev I.I. *Primenenie matematicheskikh metodov v voennom dele* [Application of mathematical methods in military affairs]. Moscow: Voenizdat, 1972. 254 p. (rus)
10. Zotov V.P. *Teoreticheskie osnovy otsenki effektivnosti* [Theoretical foundations of performance assessment]. Moscow: Military Academy named after F.E. Dzerzhinsky, 1969. 452 p. (rus)
11. Bordak S.S., Subbotin M.N. Podgotovka meropriyatiy grazhdanskoy oborony na osnove analiza riskov [Preparation of actions of civil defense on the basis of risk analysis]. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 2. Pp. 223–231. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.223
12. Subbotin M.N., Bordak S.S. Meropriyatiya grazhdanskoy zashchity, obespechivayushchie zhivuchest' goroda v mirnoe i voennoe vremya [Measures of the Civil Defense providing the functioning of cities at

- peace and war period]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 1 (23). Pp. 99–105. (rus)
13. Tikhonov M.M., Subbotin, M.N., Bordak, S.S. Perspektivy sozdaniya gosudarstvennoy sistemy grazhdanskoy zashchity [Perspectives of the creation of the state system of civil protection]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2. No. 3. Pp. 386–392. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.386.
 14. Lasuta G.F., Karpilena N.V., Bulva A.D. Metodika ranzhirovaniya organizatsiy v interesakh grazhdanskoy oborony s ispol'zovaniem metoda analiza ierarkhiy [Ranking methodology of organizations for benefit of civil defense using the method of hierarchies]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 3. Pp. 301–313. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.301.
 15. Beshelev S.D., Gurvich F.G. *Ekspertnye otsenki* [Expert assessments]. Moscow: Nauka, 1973. 161 p. (rus)
 16. Borisov N.N., Levchenko A.S. *Metody otsenki resheniy: elementy analiza* [Decision Evaluation Techniques: Elements of Analysis]. Riga: RPI, 1980. 189 p. (rus)
 17. Kuz'menko Yu.M. [et al.]. *Metody analiza i obrabotki voenno-ekonomicheskoy informatsii* [Methods of analysis and processing of military-economic information]. Moscow: Nauka, 1978. 115 p. (rus)
 18. Thurstone L.L. *The Measurement of Values*. Chicago: University of Chicago Press, 1959. 322 p.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.251>

УДК 37.01: [811.11: 614.8.084]

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНОЯЗЫЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Ковалева Т.Г., Дементьева Т.Г.

Цель. Проанализировать существующие подходы к образовательным технологиям с точки зрения их применимости к обучению специалистов иностранным языкам с учетом профессиональной значимости. Отобрать параметры, релевантные для каждой из технологий с учетом лингвистических, методических и андрагогических принципов. Апробировать и описать семь современных технологий обучения иностранному языку, ориентированных на специалистов в области безопасности жизнедеятельности. Определить дидактическую ценность каждой из технологий.

Методы. Анализ существующих классификаций педагогических технологий, их параметрических характеристик, критериев технологичности. Сравнение описанных технологий с точки зрения их применимости к взрослой аудитории. Апробация семи технологий, разработанных для обучения специалистов практическому использованию иностранного языка в сфере безопасности жизнедеятельности. Обобщение результатов применения технологий, разработанных с учетом профессиональных интересов специалистов в процессе их иноязычного образования.

Результаты. Разработаны и классифицированы по девяти параметрам семь технологий иноязычного образования специалистов в области безопасности жизнедеятельности. Пять технологий являются преимущественно социальными, т.е. основываются на межличностной коммуникации, и две относятся к информационно-коммуникационным, т.е. реализуются в электронной среде без непосредственного межличностного взаимодействия. Определена дидактическая ценность каждой из технологий, основывающаяся на ее классификационных параметрах, релевантных для конкретных условий применения данной технологии.

Область применения исследований. Каждая из описанных технологий может быть воспроизведена с прогнозируемым результатом в процессе обучения иностранному языку специалистов в области безопасности жизнедеятельности. Предлагаемая классификация может быть расширена после разработки и апробации других авторских технологий.

Ключевые слова: технология иноязычного образования, профессионально ориентированное обучение иностранному языку, безопасность жизнедеятельности, дидактическая ценность.

(Поступила в редакцию 5 марта 2021 г.)

Введение

Конец XX в. и начало XXI в. продемонстрировали существенные изменения в окружающей среде, которые так или иначе влияют на все процессы в обществе, в том числе на образование. Среди наиболее влиятельных тенденций отмечается все более возрастающее значение знаний как движущей силы экономического роста и информационно-коммуникационной революции [1].

Глобализационные и интеграционные процессы, происходящие в современном мире, усиливают значимость практического владения специалистами иностранными языками. Использование инновационных подходов к иноязычному образованию позволяет значительно расширить и разнообразить виды деятельности обучающихся в данной области, что, в свою очередь, позитивно влияет на результаты усвоения иностранного языка. Следует отметить, что данный положительный эффект может быть достигнут только при тщательном планировании целей, результатов и текущих видов деятельности, все они должны быть направлены на удовлетворение конкретных образовательных потребностей и нужд обучающихся [2].

Основная часть

Технологизация и вызовы современных образовательных процессов. В современном мире наряду с проникновением техносферы во все области жизни наблюдается рост индивидуальных и социальных рисков, что требует усиленного внимания к сохранению здоровья, работоспособности и продуктивности, определяющих конкурентоспособность работников на рынке труда. Воспитание культуры личной и общественной безопасности становится неотъемлемой частью образовательного процесса, что повышает спрос на специалистов в данной области и предъявляет повышенные требования к их общей и специальной профессиональной подготовке, в которой практическое владение иностранным языком играет важную роль. Ученые, констатируя значимость языка как инструмента познания и коммуникации, подчеркивают, что лингвоэкологическое здоровье является одним из факторов психического здоровья человека и его безопасности¹.

Современное образование идет по пути технологизации, что подразумевает алгоритмизацию учебного процесса на основании четко отобранного и дозированного учебного материала, продуманных этапов, предсказуемых результатов и воспроизводимости. В трудах ведущих ученых-методистов (С.И. Змеев, В.Г. Бочарова, В.В. Новиков, К.Я. Вазина и др.) освещаются теоретические подходы к образовательным технологиям; их перечень, принципы классификации и особенности изложены в Энциклопедии образовательных технологий [3]. Педагоги-новаторы ведут работу по дальнейшей разработке и внедрению образовательных технологий обучения на разных ступенях образования (А.В. Сибриков, Б.А. Бройду, Г.Л. Квитницкая, Д.Е. Маслов, Б.Н. Богачев, Н.Н. Селезнева, В.Н. Морева, Т.С. Ульянова, В.В. Журавлев и др.). Технологизация образовательного процесса характерна не только для отечественной педагогики. Изучение зарубежного опыта (М. Монтессори, Х. Паркхерст, А. Нейл, Дж. Рензулли, Й. Шнайдер, И. Бёме) свидетельствует о широком практическом применении таких технологий, как технология самостоятельного развития, творческих мастерских, кооперативного обучения, исследовательских проектов, технология полного усвоения. Сегодня говорят о технологиях социальных сетей, педагогике гипермедиа и гипертекстовой среды, телематике (Б. Моро, А. Эльсланд, Л. Корнум). При этом заметна тенденция все более активного обновления образовательного процесса на основе принципов технологического и личностно ориентированного подходов к проектированию и организации процесса обучения [4, с. 12].

Следует отметить, что большая часть технологий, описанных в трудах отечественных и зарубежных ученых, относится к обучению школьников. Что касается взрослых, то различным особенностям обучения специалистов иностранным языкам, без акцента на технологичность методов, посвящено немало научных изысканий (И.М. Андреасян, Т.Н. Андреева, В.Г. Бричикова, А.Ф. Будько, М.Г. Гец, Т.П. Леонтьева, Л.А. Тригубова, Н.С. Шарафудинова, Т.Г. Дементьева, Т.Г. Ковалева и др.). Отмечается, что обучение взрослых должно быть нацелено на развитие самостоятельного, творческого и ответственного подхода субъектов обучения к процессу и результатам своей учебной деятельности. Благодаря этому существенно повышается мотивация, эффективность и реальная значимость процесса обучения для каждого обучающегося [5, с. 179–180]. Несмотря на разработанность критериев и параметров технологично организованного образовательного процесса, в настоящее время отсутствует единая классификация технологий обучения взрослых иностранным языкам с учетом особенностей данного контингента обучающихся в целом и в сфере безопасности жизнедеятельности в частности. Этим объясняется актуальность проведенного исследования. Объектом настоящего исследования является процесс иноязычного образования специалистов в сфере безопасности жизнедеятельности. Цель – описание апробированных технологий

¹ Сушенко, Е.А. Педагогическая лингвоэкология как фактор безопасности жизнедеятельности субъектов образовательного процесса: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 27.00.06 / У.А. Сушенко. – СПб. – 61 с.

и выработка рекомендаций по их использованию в образовательном процессе. Отправной точкой исследования является понятие «педагогическая (образовательная) технология» как «...система функционирования всех компонентов педагогического процесса, построенная на научной основе, запрограммированная во времени и в пространстве и приводящая к намеренным результатам» [3, с. 52].

Разработка технологий иноязычного образования специалистов (далее – ТИОС) в области безопасности жизнедеятельности, выполнялась с учетом критериев, позволяющих отличить технологично организованный процесс от процесса, организованного нетехнологично [4, с. 13–14]. Это следующие критерии:

- системность (целостность);
- научность (концептуальность, развивающий характер);
- структурированность (логичность);
- управляемость;
- воспроизводимость;
- эффективность.

Технологии иноязычного образования специалистов в области безопасности жизнедеятельности разрабатывались с учетом основополагающих принципов андрагогики, согласно которым индивид, рассматриваемый обществом как взрослый, развивает свои способности, обогащает знания, улучшает техническую или профессиональную квалификацию либо изменяет ее направление, а также вносит изменения в свои предпочтения и поведение с целью перспективного и полного личного развития и участия в сбалансированном и независимом социальном, экономическом и культурном развитии [6, с. 9]. Особенности языковой андрагогики посвящено немало научных изысканий [7–10], в которых отмечается, что взрослые обучающиеся обладают высокой внутренней мотивацией, богатым жизненным опытом, обширными профессиональными знаниями и навыками, что положительно влияет на процесс обучения и его результат. В то же время у них снижена способность быстрого запоминания, повышена психологическая чувствительность к неудачам и к атмосфере в учебной группе, постоянно ощущается недостаток времени. Взрослые «студенты» часто жалуются, что никак не могут запомнить слова и испытывают при этом дискомфорт и стеснение. Взрослая аудитория отличается стремлением к систематизации своих знаний, использованию личного опыта при обсуждении спорных вопросов, предпочитают аудиовизуальные средства предъявления информации. Одним словом, взрослым специалистам нужны особые технологии.

ТИОС в сфере безопасности жизнедеятельности. При отборе наиболее эффективных технологий обучения иностранному языку специалистов в рамках настоящего исследования учитывались психологические особенности взрослой аудитории, лингвистические и методические основы обучения иностранному языку людей в возрасте старше 23 лет, а также направление их профессиональных интересов. Особое внимание уделялось таким технологиям, которые позволили бы подключить личный и профессиональный опыт, снизили уровень психологического стресса от недостатка лингвистических знаний, создали условия для безбарьерной коммуникации на иностранном языке. В рамках настоящей статьи и с учетом аспекта безопасности жизнедеятельности рассмотрены такие социальные технологии, как деловая игра, профессиональные мини-сюжеты, дебаты, дискуссия, драматизация. Из разряда информационно-коммуникационных технологий мы остановимся на технологии дистанционного обучения ЭПАК и информационно-коммуникационной технологии на базе мультимедийного практикума по страноведению «Регионы Франции».

Для описания каждой из технологий использовались основные классификационные параметры, предложенные в Энциклопедии образовательных технологий [3, с. 77–86], которые применимы, с точки зрения авторов статьи, к взрослой аудитории.

В частности, это:

- 1) уровень применения (локальный, модульный);
- 2) философская основа (материализм, идеализм, сциентизм, прагматизм);
- 3) лидирующий принцип организации (практико-ориентированный, социокультурный, творческий, алгоритмический);
- 4) характер содержания (узкопрофессиональный, общепрофессиональный, общеобразовательный);
- 5) ориентация на личностные структуры и сферы (знания, умения, навыки; способы умственных действий; эстетические и нравственные отношения; творческие способности; практические действия);
- 6) организационные формы (индивидуальные, групповые, парные);
- 7) тип управления (консультативный, программированный, классический);
- 8) средства обучения (вербальные, аудиовизуальные, электронные, дистанционные);
- 9) способы реализации (поисковые, исследовательские, творческие, репродуктивные);
- 10) категория обучающихся (специалист, работник без высшего образования).

Рассмотрим подробнее каждую из технологий.

1. Деловая игра на английском языке «Рассмотрение проектно-сметной документации строящегося объекта для принятия исчерпывающих мер по устранению выявленных недостатков в области пожарной безопасности».

Уровень применения: модульный, локальный. Философская основа: прагматизм. Лидирующий принцип организации: практико-ориентированный. Характер содержания: узкопрофессиональный. Ориентация на личностные структуры и сферы: специальные знания, коммуникативные навыки и речевые действия. Организационная форма: групповая. Тип управления: консультативный. Средства обучения: вербальные, визуальные. Способы реализации: поисковые. Категория обучающихся: специалист.

Дидактическая ценность использования деловой игры обусловлена сочетанием принципов активности, динамичности, моделирования профессиональной ситуации и речевого взаимодействия в ее рамках, проблемности и самостоятельности.

2. Дебаты на английском языке «Стиль руководства в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям».

Уровень применения: модульный, локальный. Философская основа: антропософия, материализм, сциентизм (наукообразия). Лидирующий принцип организации: профессионально ориентированный. Характер содержания: общепрофессиональный, общеобразовательный. Ориентация на личностные структуры и сферы: профессиональные знания, устные и письменные коммуникативные умения и навыки, творчество. Организационная форма: групповая. Тип управления: консультативный. Средства обучения: вербальные, визуальные. Способы реализации: исследовательский, поисковый, творческий. Категория обучающихся: специалист.

Дидактическая ценность технологии «Дебаты» заключается в том, что она способствует совершенствованию умений поискового чтения и комплексных умений формирования аргументов и кейса для его поддержания, развивает навыки публичного выступления в защиту своей позиции на иностранном языке.

3. Дискуссия «Проблемы экологии городской среды (на примере г. Минска) и пути их решения» с использованием метода параллельного мышления Э. де Боно [11].

Уровень применения: модульный. Философская основа: материализм, сциентизм. Лидирующий принцип организации: социокультурный. Характер содержания: общепрофессиональный, общеобразовательный, гуманитарный. Ориентация на личностные структуры и сферы: сфера последовательных умственных действий и соответствующих им устных коммуникативных умений, эмоциональная сфера. Организационная форма: групповая. Тип

управления: консультативный. Средства обучения: вербальные, визуальные. Способы реализации: исследовательский, поисковый, творческий. Категория обучающихся: специалист, работник без высшего образования.

Дидактическая ценность дискуссии методом «шести шляп» заключается в том, что мыслительные акты и речевые действия осуществляются последовательно в строго заданных шести аспектах [4]. Каждый обучающийся формирует и формулирует на иностранном языке определенный набор высказываний: за, против, перспектива, риски, эмоции, факты. В итоге все аспекты собираются воедино и проблема получает, по определению де Боно, «полноцветное решение».

4. Ролевые профессиональные мини-сюжеты на английском языке «Интервью представителя МЧС представителю средств массовой информации в случае чрезвычайной ситуации».

Уровень применения: модульный, локальный. Философская основа: прагматизм. Лидирующий принцип организации: профессионально ориентированный. Характер содержания: общепрофессиональный. Ориентация на личностные структуры и сферы: профессиональные знания, коммуникативные умения и навыки ведения диалога. Организационная форма: парная. Тип управления: классический. Средства обучения: вербальные. Способы реализации: репродуктивный. Категория обучающихся: специалист.

Дидактическая ценность проигрывания профессионального мини-сюжета заключается в реализации принципа практической направленности обучения иностранному языку с погружением в заданную роль (работник МЧС, журналист) и решением профессиональных задач информирования СМИ на иностранном языке с соблюдением протокольных требований.

5. Драматизация. Постановка спектакля на основе художественного фильма «Огненная ловушка» (Piège de feu (2001), режиссер Harris Done).

Уровень применения: модульный. Философская основа: гуманизм, идеализм. Лидирующий принцип организации: общепрофессиональный, социокультурный. Характер содержания: общепрофессиональный, гуманитарный. Ориентация на личностные структуры и сферы: эстетические и нравственные отношения, творческие способности, практические действия на иностранном языке. Организационная форма: групповая. Тип управления: консультативный. Средства обучения: вербальные, аудиовизуальные. Способы реализации: творческий. Категория обучающихся: специалист, работник без высшего образования.

Дидактическая ценность образовательной технологии «Иностраный язык через театр» заключается в том, что она повышает уровень владения иностранным языком посредством воздействия на эмоционально-эстетическую сферу обучающегося, способствуют более интенсивному и эффективному запоминанию лексики и грамматических структур, снимает языковой барьер, погружая участников в разнообразные ситуации общения, в том числе связанные с профессией.

6. ЭПАК – дистанционное обучение элементам профессиональной англоязычной коммуникации.

Уровень применения: локальный. Философская основа: прагматизм, бихевиоризм. Лидирующий принцип организации: производственно ориентированный. Характер содержания: общепрофессиональный, общеобразовательный. Ориентация на личностные структуры и сферы: коммуникативные умения и навыки. Организационная форма: индивидуальная. Тип управления: консультативный, программированный. Средства обучения: вербальные, аудиовизуальные, электронные. Способы реализации: репродуктивный. Категория обучающихся: работник без высшего образования. Специалист.

7. Информационно-коммуникационная технология на базе мультимедийного практикума по страноведению «Регионы Франции»². Уровень применения: локальный. Философская основа: прагматизм. Лидирующий принцип организации: социокультурный, общепрофессиональный. Характер содержания: общепрофессиональный, общеобразовательный. Ориентация на личностные структуры: сфера знаний, (информационная), практические коммуникативные действия. Содержание: гуманистическая, воспитательная, валеологическая (забота о здоровье). Организационная форма: индивидуальная, дистанционная. Доминирующий метод: программированный, аудиовизуальный, вербальный. Категория обучающихся: специалист; работник без высшего образования.

Дидактическая ценность данной технологии заключается в предоставлении обучающимся произвольного доступа к необычным источникам информации, реализация возможности автономной работы в заданной языковой среде, с выбором своей траектории перемещения между текстовыми, звуковыми, визуальными и контрольными заданиями. Тем самым создаются совершенно новые возможности для индивидуального творчества и закрепления лингвистических и речевых навыков.

Заключение

Разработка и апробация семи технологий иноязычного образования специалистов в сфере безопасности жизнедеятельности позволили конкретизировать параметры и дидактическую значимость. Каждая из описанных технологий может быть воспроизведена с учетом категории специалистов и с соблюдением указанных параметрических характеристик.

Разработанные и апробированные образовательные технологии обучения иностранному языку специалистов позволяют проектировать процесс обучения иностранному языку, просчитывая все его этапы и предвидя результат.

Классификация ТИОС является первой попыткой подобного рода и может быть расширена как с точки зрения номенклатуры, так и в плане параметрических характеристик новых технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Constructing Knowledge Societies: New Challenges for Tertiary Education – Washington – the World Bank 2002. – XXXI, 204 p. – (Direction and development). – P. 7.
2. Бороздина, Н.А. Презентации, электронные портфолио и блогфолио в иноязычном образовании: методические принципы и критерии эффективности Н.А. Бороздина // Инновационные технологии обучения иностранному языку в вузе и школе: реализация современных ФГОС: сб. науч. тр. по материалам IV Междунар. науч.-практ. конф. (г. Воронеж, 19–20 февр. 2019 г.): в 2 ч. / Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательский дом ВГУ. – 2019. – Ч. 1. – С. 19–23.
3. Селевко, Г.К. Энциклопедия образовательных технологий: в 2 т. / Г.К. Селевко. – М.: НИИ школьных технологий, 2006. – Т. 1. – 816 с. (Серия «Энциклопедия образовательных технологий».)
4. Современные технологии для обучения взрослых: учеб.-метод. пособие / ГУО «Акад. последиплом. образования»; сост.: А.А. Глинский [и др.]; под общ. ред. канд. пед. наук Н.И. Запрудского. – Минск: АПО, 2012. – 280 с.
5. Змеев, С.И. Андрагогика: основы теории, истории и технологии обучения взрослых / С.И. Змеев. – М.: ПЭР СЭ, 2007. – 272 с.
6. [Auth]: Peter Clyne. – Strasburg: Council of Europe Press, 1994. – 68 p.
7. Актуальные вопросы подготовки к профессиональной иноязычной коммуникации // Дополнительное образование взрослых: проблемы и перспективы развития: сб. материалов IV Междунар. заочной науч.-практ. конф., Минск, 23 марта 2018 г. / Университет гражданской защиты МЧС Беларуси. – Минск: УГЗ, 2018. – С. 137–176.

² Дементьева, Т.Г. Регионы Франции [Электронный ресурс]: практикум по фр. яз. / Т.Г. Дементьева, Т.Г. Ковалева. – Минск: МГЛУ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

-
8. Проблемы и перспективы языковой андрагогики // Дополнительное образование взрослых: проблемы и перспективы развития: сб. материалов V Междунар. заочной науч.-практ. конф., Минск, 28 февр. 2019 г. / Университет гражданской защиты МЧС Беларуси. – Минск: УГЗ, 2019. – С. 164–193.
 9. Проблемы и перспективы языковой андрагогики // Дополнительное образование взрослых: проблемы и перспективы развития: сб. материалов VI Междунар. заочной науч.-практ. конф., Минск, 27 февр. 2020 г. / Университет гражданской защиты МЧС Беларуси. – Минск: УГЗ, 2020. – С. 187–222.
 10. Проблемы и перспективы языковой андрагогики // Дополнительное образование взрослых: проблемы и перспективы развития: сб. материалов VII Междунар. заочной науч.-практ. конф., Минск, 25 февр. 2021 г. / Университет гражданской защиты МЧС Беларуси. – Минск: УГЗ, 2021. – С. 91–122.
 11. Де Боно, Э. Шесть шляп мышления / Э. де Боно. – СПб.: Питер Паблишинг, 1997. – 256 с.

**Современные технологии иноязычного образования специалистов
в сфере безопасности жизнедеятельности**

**State-of-the-art technologies of foreign language education of specialists
in the sphere of life safety**

Ковалева Татьяна Григорьевна

кандидат филологических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра современных
языков, профессор

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

e-mail: kova77@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8513-5662

Tatyana G. Kovaleva

PhD in Philological Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Modern Languages, Professor

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

e-mail: kova77@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8513-5662

Дементьева Татьяна Георгиевна

кандидат филологических наук, доцент
Институт повышения квалификации
и переподготовки кадров Минского
государственного лингвистического
университета, кафедра интенсивного
обучения иностранным языкам № 2, доцент

Адрес: ул. Захарова, 21, корпус Б,
220034, г. Минск, Беларусь

e-mail: tania-dementieva@rambler.ru

Tatyana G. Dement'eva

PhD in Philological Sciences, Associate Professor
Institute for Advanced Studies and Retraining
of Minsk State Linguistic University,
Chair of Intensive Foreign Languages
Instruction No. 2, Associate Professor

Address: Zakharova str., 21, build. B,
220034, Minsk, Belarus

e-mail: tania-dementieva@rambler.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.251>

STATE-OF-THE-ART TECHNOLOGIES OF FOREIGN LANGUAGE EDUCATION OF SPECIALISTS IN THE SPHERE OF LIFE SAFETY

Kovaleva T.G., Dementyeva T.G.

Purpose. To analyze the existing approaches to educational technologies from the point of view of their applicability to teaching foreign languages to specialists, taking into account their professional significance. To select parameters that are relevant for each technology, taking into account linguistic, methodological and andragogical principles. To test and describe seven modern technologies for teaching a foreign language, aimed at professionals in the field of life safety. Determine the didactic value of each of the technologies.

Methods. Analysis of existing classifications of pedagogical technologies, their parametric characteristics, criteria for their reproductivity. Comparison of the described technologies in terms of their applicability to the adult audience. Approbation of seven technologies developed to train specialists in the practical use of a foreign language in the field of life safety. Generalization of the results of the application of technologies developed taking into account the professional interests of specialists in the process of their foreign language education.

Findings. Seven technologies of foreign language education of specialists in the field of life safety have been developed and classified according to nine parameters. Five technologies are predominantly social, that is, they are based on interpersonal communication, and two relate to information and communication technologies, that is, they are implemented in an electronic environment without direct interpersonal interaction. The didactic value of each of the technologies is determined, based on its classification parameters, which are relevant for specific conditions of application of this technology.

Application field of research. Each of the described technologies can be reproduced with a predictable result in the process of teaching a foreign language to specialists in the field of life safety. The proposed classification can be expanded after the development and testing of other copyrighted technologies.

Keywords: technology of foreign language education, professionally oriented teaching of a foreign language, life safety, didactic value.

(The date of submitting: March 5, 2021)

REFERENCES

1. *Constructing Knowledge Societies: New Challenges for Tertiary Education – Washington – the World Bank 2002 – XXXI*, 204 p. Direction and development. Pp. 7.
2. Borozdina N.A. Prezentatsii, elektronnye portfolio i blogfolio v inoyazychnom obrazovanii: metodicheskie printsipy i kriterii effektivnosti [Presentations, e-portfolios and blogfolios in foreign language education: methodological principles and performance criteria]. *Proc. of the 4th international scientific and practical conference «Innovative technologies for teaching a foreign language at a university and school: the implementation of modern federal state educational standards» (Voronezh, 19–20 February, 2019)*: in 2 parts. Voronezh State University. Voronezh: Izdatel'skiy dom VGU. 2019. Part 1. Pp. 19–23. (rus)
3. Selevko G. K. *Entsiklopediya obrazovatel'nykh tekhnologiy* [Encyclopedia of educational technologies]: in 2 volumes. Moscow: NII shkol'nykh tekhnologiy, 2006. Vol. 1. 816 p. (rus)
4. Glinskiy A.A., Deyubenko S.V., Zaprudskiy N.I. [et al.] *Sovremennyye tekhnologii dlya obucheniya vzroslykh* [Modern technologies for teaching adults]: educational and methodical manual. State Educational Institution «Academy of Postgraduate Education». Minsk: APO, 2012. 280 p. (rus)
5. Zmeev S.I. *Andragogika: osnovy teorii, istorii i tekhnologii obucheniya vzroslykh* [Andragogy: bases of theory, history and technology of instructing the adults]. Moscow: PER SE, 2007. 272 p. (rus)
6. [Auth]: *Peter Clyne*. Strasburg: Council of Europe Press, 1994. 68 p.
7. Aktual'nye voprosy podgotovki k professional'noy inoyazychnoy kommunikatsii [Topical issues of preparation for professional foreign language communication]. *Proc. IV Intern. corresp. scientific-practical conf. «Dopolnitel'noe obrazovanie vzroslykh: problemy i perspektivy razvitiya», Minsk, March 23, 2018. University of Civil Protection*. Minsk: UCP, 2018. Pp. 137–176. (rus)
8. Problemy i perspektivy yazykovoy andragogiki [Problems and perspectives of linguistic andragogy]. *Proc. V Intern. corresp. scientific-practical conf. «Dopolnitel'noe obrazovanie vzroslykh: problemy*

- i perspektivy razvitiya», Minsk, February 28, 2019. University of Civil Protection. Minsk: UCP, 2019. Pp. 164–193. (rus)*
9. Problemy i perspektivy yazykovoy andragogiki [Problems and perspectives of linguistic andragogy]. *Proc. VI Intern. corresp. scientific-practical conf. «Dopolnitel'noe obrazovanie vzroslykh: problemy i perspektivy razvitiya», Minsk, February 27, 2020. University of Civil Protection. Minsk: UCP, 2020. Pp. 187–222. (rus)*
 10. Problemy i perspektivy yazykovoy andragogiki [Problems and perspectives of linguistic andragogy]. *Proc. VII Intern. corresp. scientific-practical conf. «Dopolnitel'noe obrazovanie vzroslykh: problemy i perspektivy razvitiya», Minsk, February 25, 2021. University of Civil Protection. Minsk: UCP, 2021. Pp. 91–122. (rus)*
 11. De Bono E. *Shest' shlyap myshleniya* [Six thinking hats]. St. Petersburg: Piter Publishing, 1997. 256 p. (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, e-mail (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:

1-94 01 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:

1-94 02 73 «Ликвидация чрезвычайных ситуаций и гражданская оборона» с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

1-94 02 72 «Инжиниринг безопасности объектов строительства» с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

1-94 02 71 «Промышленная безопасность» с присвоением квалификации «Инженер по промышленной безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

1-59 01 06 «Охрана труда в отраслях непромышленной сферы» с присвоением квалификации «Специалист по охране труда». Срок обучения – 19 месяцев. Форма обучения – заочная (четыре 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»;
- «Экспертная деятельность» для работников проектных организаций;
- «Экспертная деятельность» для работников органов и подразделений по ЧС;
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Промышленная безопасность» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения в медицинских целях) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность, радиационный контроль» (при использовании источников ионизирующего излучения, в целях отличных от медицинских) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Основы обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (для лиц, участвующих в обеспечении ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации объектов использования атомной энергии) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Охрана труда» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Противодействие коррупции» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Защита от чрезвычайных ситуаций» (заочная (дистанционная) форма обучения).

Обучающие курсы для лиц, имеющих профессионально-техническое и общее среднее образование, по образовательным программам:

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Защита от чрезвычайных ситуаций» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Пожарно-технический минимум».

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 легкобрасываемых 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»;
- «Порядок подготовки организации к пожарно-техническому обследованию»;
- «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/заочная (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: (017) 340-71-89,
ФБЖ: тел.: (017) 340-69-55, факс: (017) 340-35-58, e-mail: 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 5, № 2, 2021

Подписано в печать 25.05.2021.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 15,11. Уч.-изд. л. 13,91.
Тираж 110 экз. Заказ 045-2021.

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.