



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал
Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси
(Journal of Civil Protection)
Том 3, № 4, 2019

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, доцент (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); Герасимчик Александр Петрович, кандидат психологических наук, доцент; Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Каван Степан, доктор технических наук (Чехия); Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, профессор (Россия); Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Карпиленя 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; Ласута Геннадий Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лебедкин 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); Раимбеков Кендебай Жанабильевич, кандидат технических наук (Казахстан); 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.

Всю 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, г. Минск, 220118

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

© Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

Ботян С.С., Жамойдик С.М., Кудряшов В.А., Осяев В.А., Пастухов С.М. Аналитическая оценка динамики среднеобъемной оптической плотности дыма на начальной стадии пожара в помещениях, оборудованных противодымной вентиляцией	359
Нехань Д.С., Жамойдик С.М., Полевода И.И. Моделирование прогрева центрифугированной железобетонной колонны с учетом анизотропии теплофизических характеристик бетона по сечению.....	366
Морозов А.А., Пармон В.В., Камлюк А.Н., Стриганова М.Ю. Методы использования современных ручных пожарных стволов при тушении пожаров	378
Журов М.М., Бобрышева С.Н., Короткевич С.Г., Черный Ю.С. Оптимизация конструкции порошкового огнетушителя и исследование параметров подачи огнетушащего порошка	391
Шаршанов А.Я. Расчет предела огнестойкости термически тонкого тела, защищенного поглощающим покрытием	400
Суриков А.В., Лешенюк Н.С. Методика расчета видимости при пожаре	412
Гражданская оборона	
Булва А.Д., Карпиленя Н.В., Лебедкин А.В. Концептуальные подходы к зонированию территорий по степени опасности.....	420
Худолеев А.Ф. Подготовка экспертизы алгоритма действий должностных лиц государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при аварии на Белорусской атомной электростанции	438
Разное (обзоры)	
Левчук О.В. Новые вызовы и угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь в связи с изменением климата	446
Радьков И.А., Самсоник А.Р., Федькович В.А. Метрологический подход в профессиональной подготовке спасателей.....	462
Правила предоставления статей	470

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

- Botyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Osyayev V.A., Pastukhov S.M.** Analytical determination of the dynamics of the volumetric optical density of smoke at the initial stage of a fire in compartment's equipped with smoke ventilation 359
- Nekhan' D.S., Zhamoydik S.M., Polevoda I.I.** Modeling of heating of a centrifuged reinforced concrete column taking into account anisotropy of thermophysical characteristics of concrete in cross section 366
- Morozov A.A., Parmon V.V., Kamlyuk A.N., Striganova M.Yu.** Methods of using modern hand-held fire barrels for fire extinguishing 378
- Zhurov M.M., Bobrysheva S.N., Korotkevich S.G., Chernyy Yu.S.** Optimization of powder fire extinguisher design and research parameters of fire extinguishing powder supply 391
- Sharshanov A.Ya.** Calculation of the protection of a thermal thin body protected by an absorbent coating..... 400
- Surikov A.V., Leshenyuk N.S.** Fire visibility calculation method..... 412

Civil defense

- Bulva A.D., Karpilenya N.V., Lebedkin A.V.** Conceptual approaches to zoning of territories by the degree of danger 420
- Khudoleev A.F.** Preparation of algorithm expertise of the actions of officials of state emergency prevention and elimination system in case of an accident at the Belarusian nuclear power plant..... 438

Miscellaneous (reviews)

- Levchuk O.V.** New challenges and threats of emergency situations in the Republic of Belarus in connection with climate change 446
- Rad'kov I.A., Samsonik A.R., Fed'kovich V.A.** Metrological approach to the professional training of rescuers 462
- Rules of submitting articles for publication 470

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.359>

УДК 536.46+614.841.123.24

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СРЕДНЕОБЪЕМНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ДЫМА НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИЯХ, ОБОРУДОВАННЫХ ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

Ботян С.С., Жамойдик С.М., Кудряшов В.А., Осяев В.А., Пастухов С.М.

Цель. Получение алгебраического уравнения, позволяющего рассчитать динамику среднеобъемной оптической плотности дыма в горящем помещении, оборудованном противодымной вентиляцией.

Методы. Решение дифференциальных уравнений интегральной модели пожара и использование расчетных компьютерных моделей динамики пожара.

Результаты. Получено алгебраическое уравнение, позволяющее с сопоставимой для полевой модели пожара точностью рассчитать динамику среднеобъемной оптической плотности дыма в горящем помещении, оборудованном противодымной вентиляцией.

Область применения исследований. Полученные результаты представлены для оценки опасных факторов пожара и могут быть использованы при проведении практических расчетов для безопасной эвакуации людей из зданий и сооружений при пожаре.

Ключевые слова: начальная стадия пожара, оптическая плотность дыма, противодымная вентиляция, компьютерное моделирование.

(Поступила в редакцию 10 октября 2019 г.)

Введение. Ущерб от пожаров в зданиях и сооружениях выражается в первую очередь в причинении вреда жизни и здоровью людей вследствие воздействия на них опасных факторов пожара (ОФП). К ОФП относят пламя и искры, повышенную температуру окружающей среды, токсичные продукты горения и термического разложения, дым, пониженную концентрацию кислорода в воздухе¹. Безопасность людей в этих условиях обеспечивается их эвакуацией в безопасную зону в течение необходимого времени эвакуации (НВЭ)^{2,3}.

Оценка времени наступления ОФП может быть проведена на основе интегральной, зонной и полевой моделей пожара [1–6]. В Республике Беларусь для определения НВЭ людей из зданий и сооружений применяется инженерная методика, изложенная в ГОСТ 12.1.004-91. Методика ГОСТ базируется на наиболее простой модели пожара, а именно интегральной модели [1]. Алгебраические уравнения методики ГОСТ были получены решением дифференциальных уравнений интегральной модели пожара с учетом принятия допущения об отсутствии притока свежего воздуха в горящее помещение на начальной стадии пожара (через проемы в ограждающих конструкциях происходит только вытеснение воздуха и продуктов горения) [1]. Одним из недостатков полученных уравнений является отсутствие возможности учета влияния системы противодымной вентиляции, которая во время пожара предназначена для снижения концентрации токсичных продуктов горения, температуры и оптической плотности дыма в горящих помещениях.

В данной статье рассмотрена возможность расширения области практического применения приведенной в ГОСТ 12.1.004-91 методики на основе модификации ее алгебраиче-

¹ Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.1992. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР: М-во внутр. дел СССР, М-во хим. пром. СССР, 1996. – 83 с.

² См. сн. 1.

³ Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ. – Введ. 01.08.2010. – Минск: Совет Министров Респ. Беларусь: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2012. – 44 с.

ским уравнением динамики среднеобъемной оптической плотности дыма в горящем помещении, оборудованном противодымной вентиляцией.

Результаты. Для учета влияния противодымной вентиляции на динамику оптической плотности дыма в горящем помещении в качестве основы взято дифференциальное уравнение, описывающее процесс изменения состояния среды в результате заполнения помещения дымом [1]:

$$V \frac{d\mu}{d\tau} = D\psi - \mu \left(\frac{G_r + G_{\text{выт}}}{\rho_m} \right) + k_c F_w, \quad (1)$$

где V – свободный объем помещения, м^3 ; μ – оптическая плотность дыма, $1/\text{м}$; τ – время, с ; D – дымообразующая способность горючего материала, $\text{м}^2/\text{кг}$; ψ – скорость выгорания (скорость газификации) горючего материала в рассматриваемый момент времени, $\text{кг}/\text{с}$; G_r – расход газов, покидающих помещение через проемы в рассматриваемый момент времени, $\text{кг}/\text{с}$; $G_{\text{выт}}$ – расход газов, создаваемый вытяжной вентиляцией, $\text{кг}/\text{с}$; ρ_m – среднеобъемная плотность газовой среды внутри помещения, $\text{кг}/\text{м}^3$; k_c – коэффициент седиментации частиц дыма на поверхности ограждающих конструкций, $1/\text{с}$; F_w – площадь поверхности ограждений (потолка, пола, стен), м^2 .

Для решения уравнения (1) нами принято допущение, что на начальной стадии пожара отсутствует газообмен помещения с окружающей средой через проемы ($G_r = 0$) и седиментация частиц дыма на поверхности ограждающих конструкций ($k_c = 0$), а основную роль в динамике среднеобъемной оптической плотности дыма играет расход газов $G_{\text{выт}}$, создаваемый вытяжной (противодымной) вентиляцией. Тогда в результате принятых допущений и преобразований для кругового распространения пожара ($\psi = \pi v \psi_{\text{уд}} \tau^2$) уравнение (1) будет иметь вид:

$$V \frac{d\mu}{d\tau} + \mu z W = D \pi v^2 \psi_{\text{уд}} \tau^2, \quad (2)$$

где W – объемный расход газов, создаваемый системой противодымной вентиляции, $\text{м}^3/\text{с}$; v – линейная скорость пламени, $\text{м}/\text{с}$; $\psi_{\text{уд}}$ – удельная скорость выгорания (скорость газификации) горючего материала, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; z – коэффициент пересчета для высотной отметки вытяжных устройств системы противодымной вентиляции, определяемый по формуле⁴

$$z = \frac{h}{H} \exp\left(1,4 \frac{h}{H}\right) \quad \text{при} \quad H \leq 6 \text{ м} \quad (3)$$

h – высота рабочей зоны, м ; H – высота помещения, м .

Разделив две части уравнения (2) на свободный объем V , получим:

$$\frac{d\mu}{d\tau} + \frac{zW}{V} \mu = \frac{D \pi v^2 \psi_{\text{уд}} \tau^2}{V}. \quad (4)$$

Введем обозначения: $zW/V = a$; $D \pi v^2 \psi_{\text{уд}} / V = b$. Тогда уравнение (4) примет вид

$$\frac{d\mu}{d\tau} + a\mu = b\tau^2. \quad (5)$$

⁴ См. сн. 1.

Выражение (5) является линейным дифференциальным уравнением 1-го порядка, решение которого с учетом начальных условий $\tau = 0$, $\mu = 0$ имеет вид [7]:

$$\mu = \frac{b}{a^3} (a^2 \tau^2 - 2a\tau + 2 - 2e^{-a\tau}); \quad (6)$$

$$a = \frac{zW}{V}; \quad b = \frac{D\pi v^2 \psi_{уд}}{V}.$$

Обсуждение. Точность расчетных данных любых инженерных методик в первую очередь должна проверяться экспериментальными исследованиями. Однако для их предварительной оценки вполне достаточно сопоставления полученных расчетных данных с результатами компьютерного моделирования по более точным моделям. Наибольшей точностью расчета динамики опасных факторов пожара в помещениях обладает полевая модель пожара. Программно полевая модель реализована в ряде вычислительных комплексов (JASMINE, SOFIE, PHOENICS, FLUENT, CFX, FDS и др.). В настоящей работе вычисления по полевой модели пожара проведены с использованием специализированного программного комплекса FDS (Fire Dynamics Simulator)⁵, который имеется в свободном доступе и применяется широким кругом исследователей в различных странах.

Для оценки расчетных данных по формуле (6) проведено их сопоставление с результатами компьютерного моделирования динамики среднеобъемной оптической плотности дыма в горящем помещении по полевой модели пожара с использованием FDS и расчетными данными по являющейся основой для методики ГОСТ 12.1.004-91 и не учитывающей работу противодымной вентиляции формуле [1]:

$$\mu = \frac{c_p \rho_0 T_0 D}{\eta(1-\phi)Q_H} \left[1 - \exp\left(-\frac{A}{B} \tau^n\right) \right], \quad (7)$$

где c_p – удельная изобарная теплоемкость газовой среды в помещении, Дж/кг·К; ρ_0 – начальная плотность газовой среды в помещении, кг/м³; T_0 – начальная температура газовой среды в помещении, К; η – коэффициент полноты сгорания; ϕ – коэффициент теплопотерь; Q_H – низшая теплота сгорания, Дж/кг; $A = \pi v^2 \psi_{уд} / 3$; $B = c_p \rho_0 T_0 V / \eta(1-\phi)Q_H$.

В качестве модели горящего помещения выбран зрительный зал кинотеатра объемом $V = 2618 \text{ м}^3$ и высотой $H = 7,45 \text{ м}$, оборудованный системой противодымной вентиляции (два дымовых люка в потолке помещения) с расходом $W = 67000 \text{ м}^3/\text{с}$. Очаг пожара располагался в центре зала, а распространение пожара принято круговым. Для пожарной нагрузки были приняты следующие характеристики: низшая теплота сгорания – 14 МДж/кг; удельная скоростью выгорания (скоростью газификации) горючего материала – 0,013 кг/с; линейная скорость пламени – 0,005 м/с и дымообразующая способность горючего материала – 795 м²/кг. Коэффициент теплопотерь в расчетах взят равным 0,25, а коэффициент полноты сгорания – 0,97. Результаты расчетов приведены на рисунке.

Для лучшего представления точности результатов расчетов и их сопоставления по формуле⁶

$$l_{np} = 2,38 / \mu_{кр} \quad (8)$$

было определено критическое значение среднеобъемной оптической плотности дыма $\mu_{кр}$, при котором на высоте 1,7 м в горящем помещении видимость в дыму для человека снижается до предельного значения ($l_{np} = 20 \text{ м}$).

⁵ Fire dynamics simulator. Technical reference guide [Electronic resource] / K. McGrattan [at al.]. – Washington: U.S. Government printing office, National institute of standards and technology, 2000. – Mode of access: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nistir6467.pdf>. – Date of access: 02.09.2019.

⁶ См. сн. 1.

Из представленных на рисунке данных видно, что скорость нарастания среднеобъемной оптической плотности дыма по методике ГОСТ 12.1.004-91 значительно завышена по сравнению с результатами компьютерного моделирования по полевой модели пожара с использованием FDS. Если рассматривать погрешность расчетов определения НВЭ для данного помещения, то по сравнению с результатами расчетов по полевой модели пожара формула (6) занижает НВЭ всего на 8 %, а методика ГОСТ 12.1.004-91 – на 34 %. Такие погрешности не являются существенными при проведении моделирования пожара в помещениях малого объема (жилая комната, учебный класс, рабочий кабинет и т. п.) в связи с малыми численными значениями НВЭ. Однако для зальных помещений (зрительные и концертные залы, залы кинотеатров и подобные помещения) численная погрешность расчетов определения НВЭ уже будет составлять несколько минут. В свою очередь это приведет к удорожанию их строительства за счет организации дополнительных эвакуационных выходов.

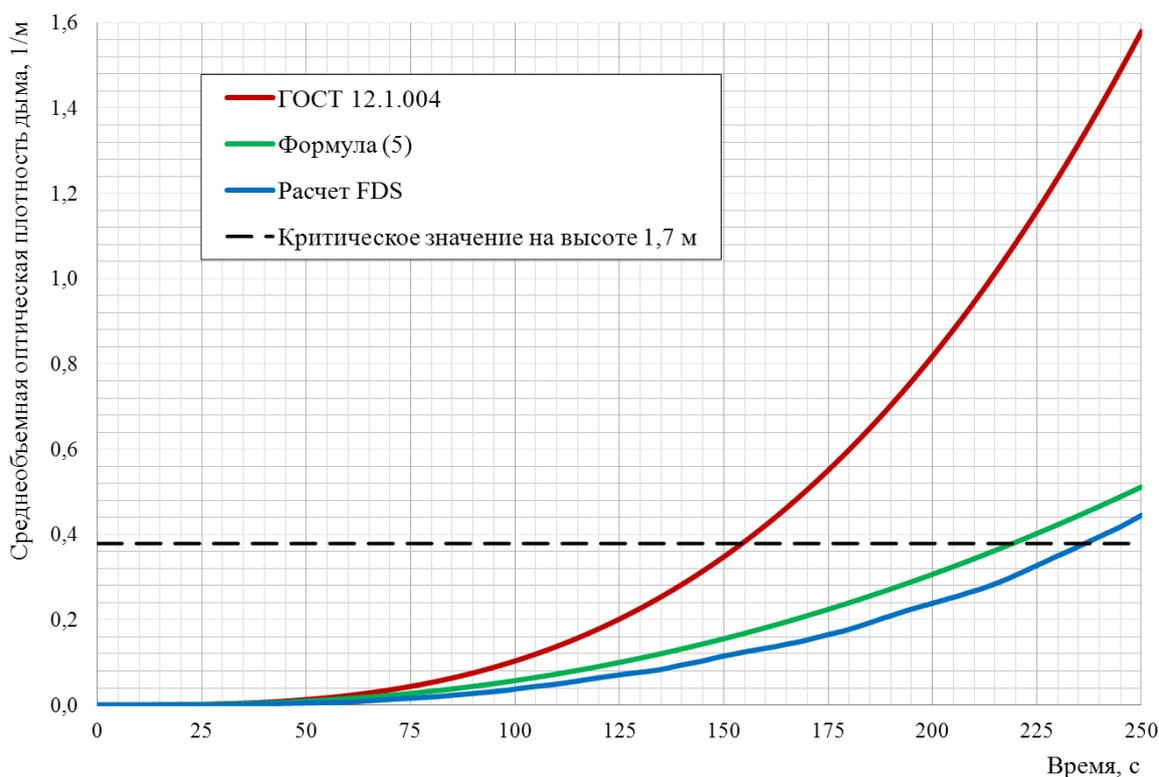


Рисунок. – Расчеты динамики среднеобъемной оптической плотности дыма в зрительном зале кинотеатра

Заключение. С учетом принятия допущения об отсутствии на начальной стадии пожара газообмена помещения с окружающей средой через проемы и седиментации частиц дыма на поверхности ограждающих конструкций решено дифференциальное уравнение интегральной модели пожара, описывающее динамику оптической плотности дыма в горящем помещении с учетом работы противодымной вентиляции. Получено алгебраическое уравнение, которое с сопоставимой для полевой модели пожара точностью позволяет рассчитать динамику оптической плотности дыма в зальных помещениях, оборудованных системой противодымной вентиляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров. – М.: Акад. ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
2. Астапенко, В.М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский, А.Н. Шевляков; под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.

3. Зотов, Ю.С. Процесс задымления помещений при пожаре и разработка метода расчета необходимого времени эвакуации людей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Ю.С. Зотов. – М., 1989. – 227 л.
4. Пузач, С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач. – М.: Акад. ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
5. Пузач, С.В. Теоретические разработки интегрального метода моделирования / С.В. Пузач, В.М. Казенов. – М.: Пожнаука, 2000. – 482 с.
6. Болодьян, И.А. Развитие полевого метода моделирования пожаров в помещениях / И.А. Болодьян [и др.] // Юбилейный сборник трудов ФГУ ВНИИПО МЧС России: сб. ст. / Федеральное гос. учреждение «Всероссийский научно-исслед. ин-т противопожарной обороны»; под ред. Н.П. Копылова. – М., 2007. – С. 54–120.
7. Воднев, В.Т. Основные математические формулы: справочник / В.Т. Воднев, А.Ф. Наумович, Н.Ф. Наумович; под ред. Ю.С. Богданова. – Минск: Высш. шк., 1988. – 270 с.

Аналитическая оценка динамики среднеобъемной оптической плотности дыма на начальной стадии пожара в помещениях, оборудованных противодымной вентиляцией
Analytical determination of the dynamics of the volumetric optical density of smoke at the initial stage of a fire in compartment's equipped with smoke ventilation

Ботян Сергей Сергеевич

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: aseckis@mail.ru

Sergey S. Botyan

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: aseckis@mail.ru

Жамойдик Сергей Михайлович

кандидат технических наук, доцент

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: zhamoidik.kii@gmail.com

Sergey M. Zhamoydik

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: zhamoidik.kii@gmail.com

Кудряшов Вадим Александрович

кандидат технических наук, доцент

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: vadkud@gmail.com

Vadim A. Kudryashov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: vadkud@gmail.com

Осяев Владимир Александрович

кандидат технических наук

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: vladimir_osyaev@mail.ru

Vladimir A. Osyayev

PhD in Technical Sciences

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: vladimir_osyaev@mail.ru

Пастухов Сергей Михайлович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», первый заместитель начальника университета

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: plamennyj98@gmail.com

Sergey M. Pastukhov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: plamennyj98@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.359>

ANALYTICAL DETERMINATION OF THE DYNAMICS OF THE VOLUMETRIC OPTICAL DENSITY OF SMOKE AT THE INITIAL STAGE OF A FIRE IN COMPARTMENT'S EQUIPPED WITH SMOKE VENTILATION

Botyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Osyaev V.A., Pastukhov S.M.

Purpose. To obtain an algebraic equation that allows calculation the dynamics of the volumetric optical density of smoke in a compartment equipped with smoke ventilation.

Methods. Solving the differential equations of the integral fire model and using computational computer models of fire dynamics.

Findings. An algebraic equation is obtained that allows calculating the dynamics of the volumetric optical density of smoke in a compartment equipped with anti-smoke ventilation with comparable accuracy for the field model of fire.

Application field of research. The presented results were obtained to simulate the effects of dangerous fire factors on people and can be used in practical calculations to evaluate the safe evacuation of people from buildings and structures in case of fire.

Keywords: initial stage of fire, optical density of smoke, smoke ventilation, computer simulation.

(The date of submitting October 10, 2019)

REFERENCES

1. Koshmarov YU.A. *Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Predicting indoor fire hazards]: tutorial. Moscow: State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 2000. 118 p. (rus)
2. Astapenko V.M., Koshmarov Yu.A., Molchadskiy I.S., Shevlyakov A.N. *Termogazodinamika pozharov v pomeshcheniyakh* [Thermogasdynamics of indoor fires]. Ed. by Yu.A. Koshmarov. Moscow: Stroyizdat, 1988. 448 p. (rus)
3. Zotov Yu.S. *Protsess zadymleniya pomeshcheniy pri pozhare i razrabotka metoda rascheta neobkhodimogo vremeni evakuatsii lyudey* [The process of smoke in a fire and the development of a method for calculating the necessary time for evacuation of people]: PhD tech. sci. diss.: 05.26.01. Moscow, 1989. 227 p. (rus)
4. Puzach S.V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti* [Calculation methods of heat and mass transfer in case of fire in the room and their application in solving practical problems of fire and explosion safety]. Moscow: State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 2005. 336 p. (rus)
5. Puzach S.V., Kazonov V.M. *Teoreticheskie razrabotki integral'nogo metoda modelirovaniya* [Theoretical development of the integral modeling method]. Moscow: Pozhnauka, 2000. 482 p. (rus)
6. Bolod'yan I.A. [et al.]. *Razvitie polevogo metoda modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyakh* [Development of a field method for modeling indoor fires]. *Yubileynyy sbornik trudov FGU VNIPO MChS Rossii* [Anniversary Proceedings of the FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia]. Ed. by N.P. Kopylova. Moscow: FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, 2007. Pp. 54–120. (rus)
7. Vodnev V.T., Naumovich A.F., Naumovich N.F. *Osnovnyye matematicheskie formuly* [Basic mathematical formulas]: handbook. Ed. by Yu.S. Bogdanov. Minsk: Vysshaya shkola, 1988. 270 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.366>

УДК 614.841.34:666.97.033.17::624.012.35

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРЕВА ЦЕНТРИФУГИРОВАННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА ПО СЕЧЕНИЮ

Нехань Д.С., Жамойдик С.М., Полевода И.И.

Цель. Определить температурное поле центрифугированной железобетонной колонны, подверженной воздействию стандартного температурного режима пожара по всему наружному периметру.

Методы. Компьютерное моделирование, в основе которого лежат результаты экспериментальных и теоретических исследований физических и теплофизических свойств центрифугированного бетона. Инженерные теплотехнические расчеты согласно действующим ТНПА.

Результаты. Разработана расчетная компьютерная модель для исследования теплообмена центрифугированной железобетонной колонны с газовой средой пожара. Определено температурное поле центрифугированной железобетонной конструкции кольцевого сечения, подвергшейся всестороннему воздействию стандартного температурного режима пожара, в заданный момент времени. Проведено сравнение результатов моделирования с данными, полученными в ходе расчета с помощью инженерных методов согласно действующим ТНПА.

Область применения исследований. Результаты исследования могут быть использованы при определении пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных конструкций. Полученные с помощью теоретических исследований данные планируются в дальнейшем сопоставить с экспериментальными.

Ключевые слова: огнестойкость, стандартный температурный режим пожара, центрифугированные железобетонные конструкции, относительная толщина, компьютерное моделирование, температурное поле, анизотропность, теплотехнический расчет, Ansys Workbench.

(Поступила в редакцию 17 сентября 2019 г.)

Введение. «Умение оценивать и прогнозировать поведение конструкций и зданий при пожаре, проводить расчеты прочности и устойчивости зданий при огневом воздействии, предлагать эффективные способы повышения устойчивости объектов при пожаре является обязательным для проектировщиков, строителей и специалистов служб эксплуатации. Однако в первую очередь это входит в прямые обязанности специалистов по обеспечению пожарной безопасности различных объектов», – такое высказывание В.М. Ройтмана актуально и по сегодняшний день, когда в строительство внедряются современные конструкции, изготовленные по новейшим и прогрессивным технологиям. Получивший широкое применение метод центрифугирования при производстве строительных конструкций не является исключением.

Изготовленные данным методом конструкции в строительстве зачастую используются в качестве сжато-изгибаемых элементов. Центрифугированные железобетонные колонны внедрены на объектах различного класса по функциональной и пожарной опасности как в нашей стране (производственное здание объединения «Горизонт», здание специального конструкторского бюро НПО «Гранат» (сейчас бизнес-центр Sky Towers), гараж-стоянка скорой медицинской помощи на 500 автомобилей (сейчас паркинг многофункционального комплекса «Колизей»), производственный корпус фабрики цветной печати в г. Минске и др.) [1], так в ближнем и дальнем зарубежье (Allianz Arena, Theater Erfurt,

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Большая мечеть в Алжире, Рейхстаг, Воронежский инженерно-лабораторный комплекс, Neue Messe в Лейпциге)^{1,2,3}.

Одним из этапов оценки огнестойкости является проведение теплотехнического расчета, а равно решение задачи нестационарной теплопроводности. Данная задача сводится к определению температурного поля конструкции вследствие огневого воздействия в заданный момент времени. При оценке огнестойкости строительных конструкций по действующим ТНПА^{4,5,6,7} предполагается воздействие на них огневого воздействия, в частности стандартного температурного режима пожара, характеризуемого следующей зависимостью:

$$\theta_f = \theta_{f0} + 345 \cdot \lg(8\tau + 1), \quad (1)$$

где θ_{f0} – температура среды в начальный момент времени, °С; τ – время развития пожара, мин; 8 – коэффициент, мин⁻¹.

Пределы огнестойкости строительных конструкций задаются согласно признанным проектным решениям (по табличным данным или результатам испытаний) или на основании проведенных расчетов.

Согласно ТКП EN 1991-1-2-2009 и ТКП 45-2.02-110-2008 выделяются упрощенный и общий методы расчета. В основе первого метода лежит решение дифференциального уравнения теплопроводности для изотропных тел. Конструкциям, изготовленным методом центрифугирования, присуща анизотропность структуры, выражающаяся в изменчивости по сечению физико-механических и теплофизических характеристик в начальных условиях [2–5] и при повышении температуры [5, 6]. Поэтому использование данного метода для определения предела огнестойкости рассматриваемых конструкций некорректно.

Определение температурного поля для анизотропных тел в заданный момент времени возможно с использованием общего метода расчета, основывающегося на признанных принципах и допущениях теории теплообмена⁸. В основе метода лежит решение дифференциального уравнения теплопроводности Фурье при нелинейных граничных условиях и сложном процессе тепло- и массопереноса. При этом учитываются изменение по сечению теплотехнических свойств материалов, в том числе при их нагреве⁹, тепловые потоки конвекцией и излучением¹⁰.

¹ Пастушков, Г.П. Многоэтажные каркасные здания с несущими железобетонными центрифугированными элементами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01; 05.23.05 / Г.П. Пастушков. – Минск, 2004. – 487 л.

² SPUN CONCRETE. Benefits BUILDINGS & SECURITY [Электронный ресурс] / Euro poles – Mehr als 120 Jahre Erfahrung im Mastbau. – Режим доступа: https://www.europoles.com/fileadmin/user_upload/09-downloads/product-information-europoles-columns-benefits-spun-concrete.pdf – Дата доступа: 22.08.2019.

³ Shleuderbeton.de – Information [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://schleuderbeton.de/beispiele.htm>. – Дата доступа: 22.08.2019.

⁴ Воздействия на конструкции. Ч. 1–2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: ТКП EN 1991-1-2-2009 (02250). Еврокод 1. – Введ. 01.01.10. – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 42 с.

⁵ Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости: ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). – Введ. 01.01.09 (с отменой на территории РБ П1-02 к СНБ 2.02.01-98). – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 135 с.

⁶ Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0-78. – Взамен СТ СЭВ 1000-78; введ. 01.01.1996. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

⁷ Здания и фрагменты зданий. Метод натуральных огневых испытаний. Общие требования: ГОСТ Р 53309-2009. – Введ. впервые; введ. 01.01.2010. – М.: Стандартинформ, 2009. – 10 с.

⁸ См. сн. 4.

⁹ См. сн. 5.

¹⁰ Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1992-1-2-2009 (02250). Еврокод 2. – Введ. 01.01.10. – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 96 с

Наиболее точно прогрев железобетонных конструкций определяется конечно-разностным или конечно-элементным расчетом с использованием ЭВМ. Одной из платформ для решения указанных задач является Ansys Workbench. Опыт ее применения [7, 8] показывает, что она успешно справляется с данного рода задачами при помощи модуля Transient Thermal, снижая трудоемкость и повышая эффективность прогнозирования и оценки состояния бетонных и железобетонных конструкций. Поэтому для решения поставленной задачи была использована именно эта платформа.

Основная часть. На сегодняшний день в Республике Беларусь производство центрифугированных железобетонных элементов осуществляется на ОАО «Светлогорский завод железобетонных изделий и конструкций». Имеющиеся на заводе технологии позволяют изготавливать методом центрифугирования железобетонные элементы кольцевого сечения длиной до 22,2 м, наружным диаметром 560 мм, толщиной 55 мм, имеющие 7 равномерно распределенных по окружности арматурных стержней диаметром 12 мм с толщиной защитного слоя 20 мм (рис. 1). Плотность бетона конструкции в целом составляет 2500 кг/м^3 при весовой влажности 2,2 %. В настоящей работе рассматривается прогрев такого изделия.

С целью учета неоднородности поперечное сечение конструкции в первом приближении было представлено как пять примыкающих друг к другу колец одинаковой толщины (11 мм) (рис. 2), каждое из которых имеет свои теплофизические характеристики.



Рисунок 1. – Моделируемая центрифугированная железобетонная колонна

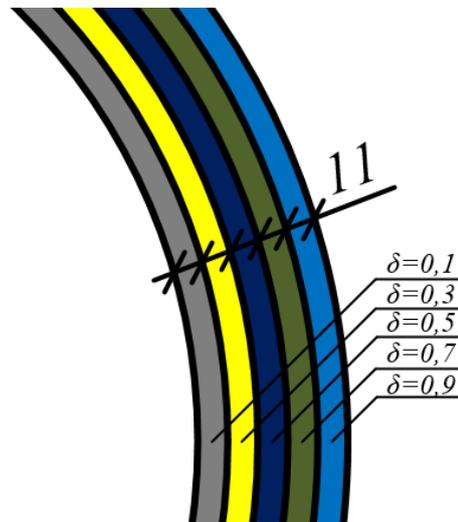


Рисунок 2. – Фрагмент сечения моделируемой колонны (части колец с соответствующими относительными толщинами конструкции δ 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9)

Плотность, коэффициенты теплопроводности и удельной теплоемкости каждого кольца определяли исходя из результатов работы [5]. При этом приняли, что скорость изменения коэффициентов теплопроводности с ростом температуры совпадала со скоростью изменения средней величины между нижним и верхним предельными значениями коэффициента теплопроводности согласно ТКП EN 1992-1-2-2009¹¹ [5]:

$$\lambda(\theta, \delta) = \lambda_0(\delta) - (1,91 \cdot 10^{-3} \theta - 8,10 \cdot 10^{-7} \theta^2), \quad (2)$$

где $\lambda_0(\delta)$ – теплопроводность бетона заданного слоя в начальных условиях (по формуле В.П. Некрасова), Вт/м·°С.

Полученные значения данных характеристик приведены в таблице 1 (рис. 3–5).

¹¹ Проектирование железобетонных конструкций. Ч. 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1992-1-2-2009 (02250). Еврокод 2. – Введ. 01.01.10. – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 96 с.

Таблица 1. – Теплофизические характеристики колец, составляющих моделируемую конструкцию

№ кольца	Относительная толщина δ	Плотность ρ , кг/м ³ / коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·°C / коэффициент удельной теплоемкости c_p , Дж/кг·°C, при температуре										
		20 °C	100 °C	100,01 °C*	115 °C	200 °C	300 °C	400 °C	600 °C	800 °C	1000 °C	1200 °C
1	0,1	2435	2364	2364	2351	2276	2234	2193	2171	2150	2128	2107
		1,175	1,027	1,027	1,001	0,857	0,703	0,566	0,339	0,178	0,081	0,049
		900	900	2029	2029	1000	1050	1100	1100	1100	1100	1100
2	0,3	2468	2402	2402	2390	2322	2281	2241	2219	2197	2175	2153
		1,192	1,045	1,045	1,018	0,875	0,721	0,583	0,357	0,195	0,098	0,066
		900	900	1927	1927	1000	1050	1100	1100	1100	1100	1100
3	0,5	2500	2441	2441	2430	2368	2329	2290	2268	2245	2223	2200
		1,210	1,062	1,062	1,036	0,892	0,739	0,601	0,375	0,213	0,116	0,084
		900	900	1803	1803	1000	1050	1100	1100	1100	1100	1100
4	0,7	2533	2480	2480	2470	2414	2377	2339	2316	2293	2270	2247
		1,227	1,080	1,080	1,053	0,910	0,756	0,619	0,392	0,230	0,134	0,101
		900	900	1693	1693	1000	1050	1100	1100	1100	1100	1100
5	0,9	2565	2519	2519	2510	2460	2425	2389	2366	2342	2319	2295
		1,245	1,097	1,097	1,071	0,927	0,774	0,636	0,410	0,248	0,151	0,119
		900	900	1598	1598	1000	1050	1100	1100	1100	1100	1100

Примечание. * – значение принято с целью возможности учесть в исходных данных для моделирования в среде Ansys Workbench скачок удельной теплоемкости при фазовом переходе воды.

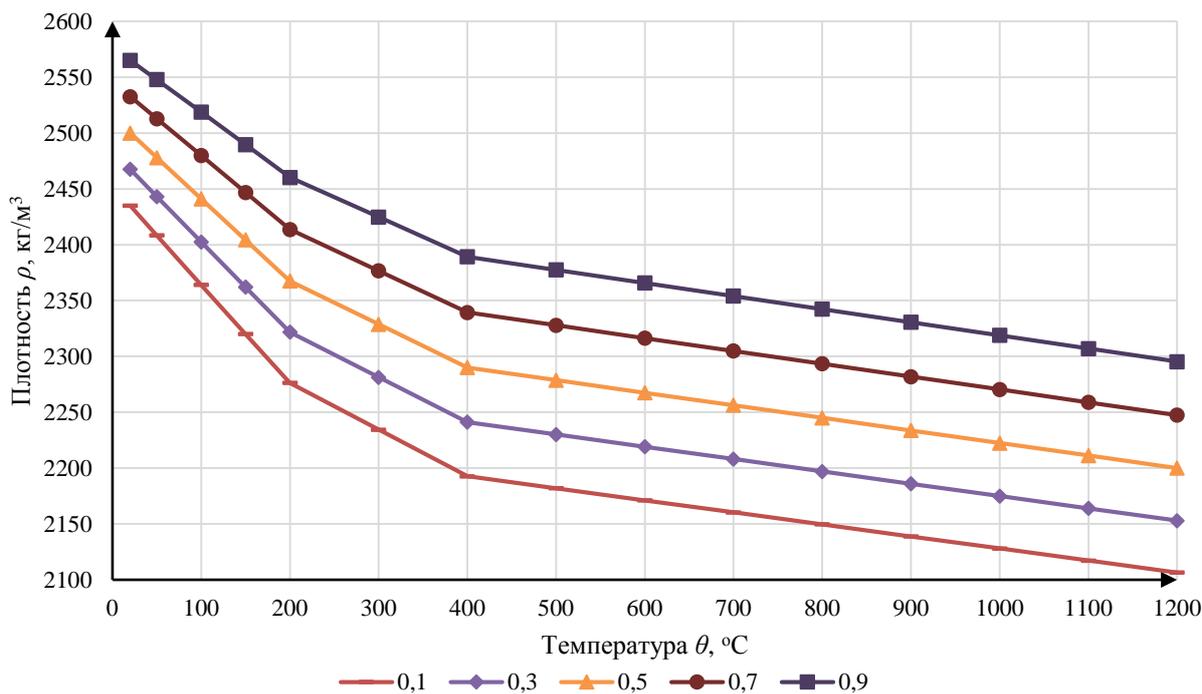


Рисунок 3. – Зависимость плотности центрифугированного бетона от температуры для относительных толщин конструкции 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9

Сравнивая рисунки 3–5 с рисунками 5, 6, 8 из работы [5], можно сделать вывод, что при увеличении толщины формируемого на центрифуге изделия наблюдается более высокий разброс теплофизических характеристик по сечению не только в начальных условиях [2, 4], но и при повышении температуры, что вполне объяснимо снижением однородности по сечению и формированием соответствующей ярко выраженной раздельной структуры [2, 6].

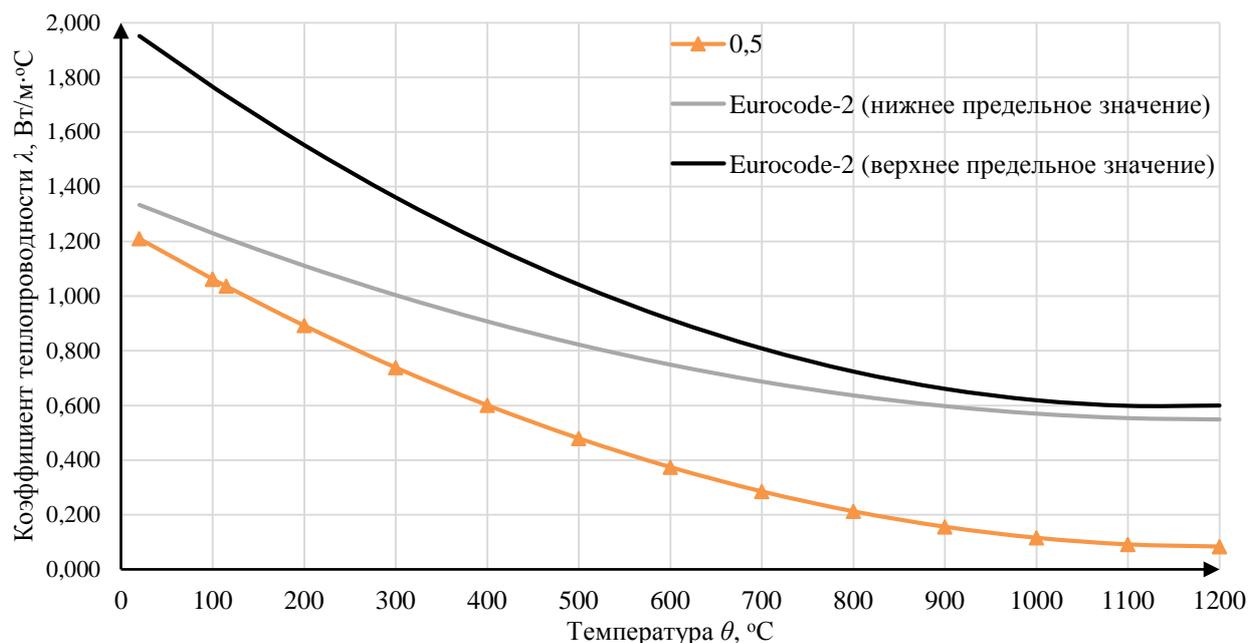


Рисунок 4. – Зависимость коэффициента теплопроводности центрифугированного бетона от температуры для относительной толщины конструкции 0,5

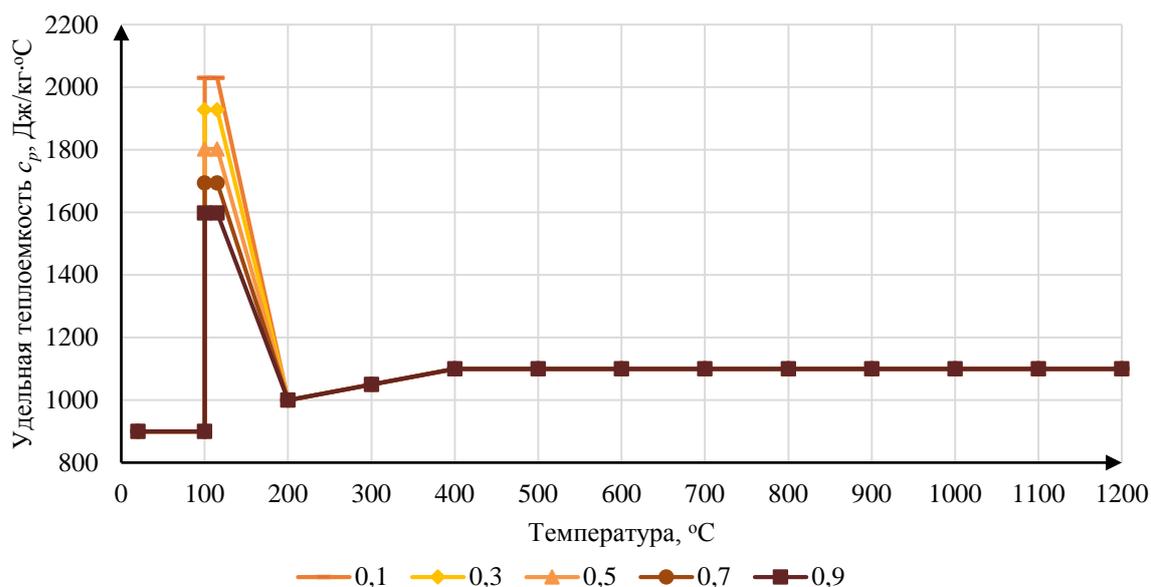


Рисунок 5. – Зависимость коэффициента удельной теплоемкости центрифугированного бетона от температуры для относительных толщин конструкции 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9

Моделирование прогрева колонны. Задача моделирования на данном этапе состояла в получении температурного поля в заданный момент времени с учетом принятых теплотехнических свойств центрифугированного бетона. Теплофизические характеристики для стали заданы из ТКП EN 1993-1-2-2009¹².

Для определения прогрева конструкции были заданы следующие начальные и граничные условия.

Начальные условия. Температура окружающего воздуха и конструкции в начальный момент времени одинаковы:

¹² Проектирование стальных конструкций. Ч. 1–2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1993-1-2-2009 (02250). Еврокод 3. – Введ. 01.01.10. – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 80 с.

$$\theta_{f0} = \theta_{w0} = \theta_f(x, y, z, 0) = \theta_w(x, y, z, 0) = 20^\circ \text{C}. \quad (3)$$

Граничные условия:

1. Температура греющей среды изменяется по формуле (1).
2. Поперечное сечение конструкции подвергается тепловому воздействию равномерно по наружному периметру. Расчетная схема нагрева показана на рисунке 6.

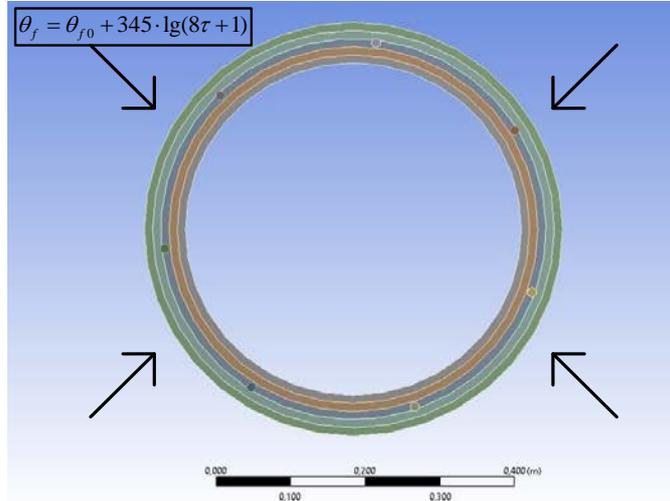


Рисунок 6. – Расчетная схема нагрева центрифугированной железобетонной колонны кольцевого сечения

3. Результирующий тепловой поток q_{net} , Вт/м² на обогреваемую при пожаре конструкцию определялся посредством теплообмена конвекцией и излучением¹³. Способ нагрева наружной поверхности конструкции, а также отвод теплоты от внутренней поверхности к газовой среде полости задавали через граничные условия 3-го рода:

$$q_{net} = \alpha(\theta_f - \theta_w) = (\alpha_c + \alpha_r)(\theta_f - \theta_w) = \left[\alpha_c + \Phi \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma (\theta_f^2 + \theta_w^2) (\theta_f + \theta_w) \right] (\theta_f - \theta_w) = -\lambda \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_w, \quad (4)$$

где α – суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·°C;

θ_f – температура газовой среды, К;

θ_w – температура поверхности конструкции, К;

α_c – коэффициент теплоотдачи конвекцией (для наружной поверхности принят¹⁴ 25 Вт/м²·°C, для внутренней поверхности через критерии подобия при средней разности температур 160 °C с учетом наличия в полости при пожаре водяного пара [9] равен 0,62 Вт/м²·°C);

α_r – коэффициент теплоотдачи излучением (для внутренней поверхности не учитывался ввиду равномерного прогрева по периметру);

Φ – угловой коэффициент облученности, принят¹⁵ равным 1,0;

ε_m – степень черноты поверхности конструкции, для бетона принята¹⁶ равной 0,7;

ε_f – степень черноты пламени, принята¹⁷ равной 1,0;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К – постоянная Стефана–Больцмана.

3. Контактные взаимодействия i -того слоя бетона с $i+1$ слоем, а также арматуры с бетоном описываются граничными условиями 4-го рода:

¹³ См. сн. 4.

¹⁴ Там же.

¹⁵ Там же.

¹⁶ См. сн. 10.

¹⁷ См. сн. 4.

$$\theta_{b_i}(\tau) = [\theta_{b_{i+1}}(\tau)]_{b_i}; \quad \theta_b(\tau) = [\theta_s(\tau)]_b \quad (5)$$

или

$$\lambda_{b_i} \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{b_i} = \lambda_{b_{i+1}} \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{b_{i+1}}; \quad \lambda_b \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_b = \lambda_s \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_s, \quad (6)$$

где индексы b и s относятся соответственно к бетону и арматуре.

Внутренние источники теплоты в структуре железобетона учтены скачком значений коэффициента удельной теплоемкости в интервале температур 100–115 °С в зависимости от влажности слоя. В данном интервале происходит уменьшение скорости прогрета за счет поглощения теплоты физической водой, находящейся в порах бетона, и ее интенсивного испарения.

С целью недопущения существенных погрешностей в расчетах размер ячейки бетона и арматуры в первом приближении принят 2,2 мм.

Результаты моделирования. В результате проведенного моделирования было получено температурное поле в поперечном сечении колонны в заданный момент времени (рис. 7).

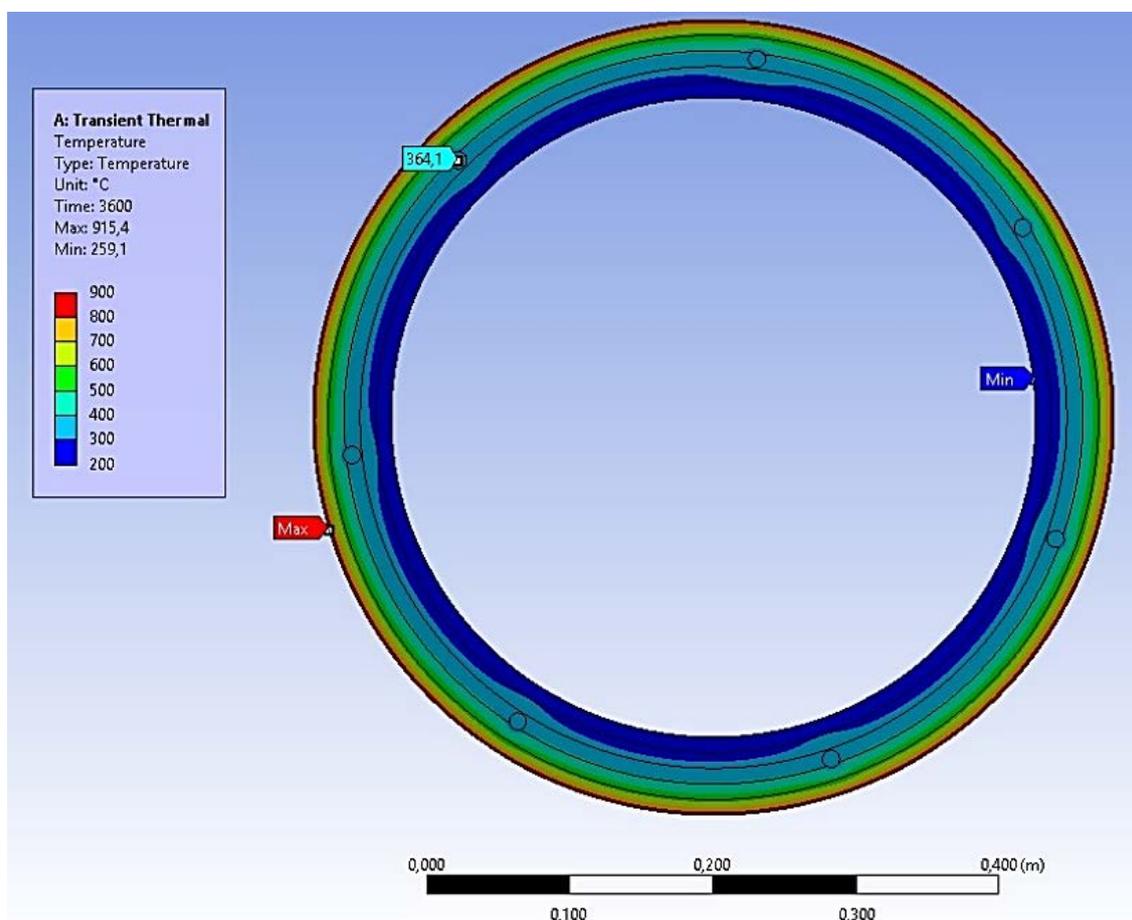


Рисунок 7. – Температурное поле поперечного сечения центрифугированной железобетонной колонны кольцевого сечения толщиной 55 мм в среде Ansys Workbench

На рисунке 8 представлены кривые, показывающие изменение температуры по сечению конструкции при времени нагрева, соответствующему ряду цифровых показателей в обозначении предела огнестойкости¹⁸ (15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 мин).

¹⁸ См. сн. 6.

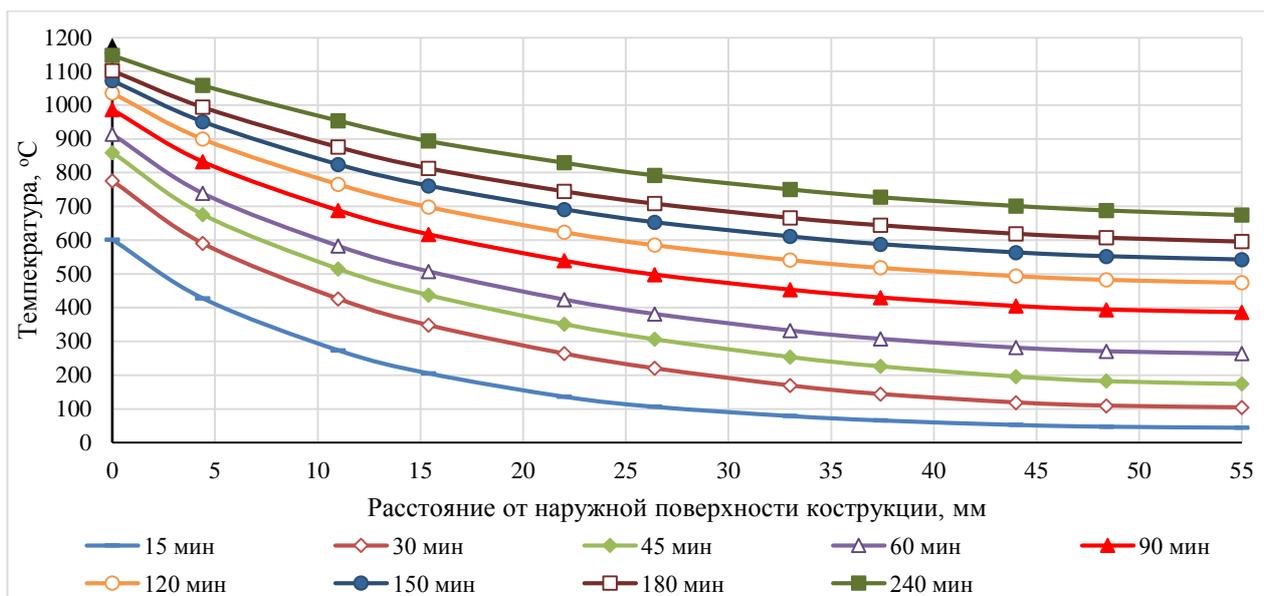


Рисунок 8. – Распределение температуры по сечению центрифугированной железобетонной колонны кольцевого сечения толщиной 55 мм в заданный момент времени стандартного огневого воздействия (моделирование в Ansys Workbench)

Анализ температурных полей конструкции показывает, что уже на начальном этапе наблюдается значительное нарастание градиента температур по сечению. После 15 и 30 мин стандартного огневого воздействия разница в температуре между наружной и внутренней поверхностью достигает 557 и 671 °C соответственно, после чего наблюдается ее экстремум (около 690 °C) и дальнейшее плавное снижение после 45 мин огневого воздействия.

Средняя температура арматурных стержней составила: при 15 мин – 105 °C; при 30 мин – 211 °C; при 45 мин – 298 °C; при 60 мин – 375 °C; при 90 мин – 492 °C; при 120 мин – 577 °C; при 150 мин – 644 °C; при 180 мин – 697 °C; при 240 мин – 770 °C.

Результаты моделирования были сравнены с решением теплотехнической задачи по инженерной методике в соответствии с ТКП 45-2.02-110-2008. Кривые, показывающие изменение температуры в сечении конструкции, приведены на рисунке 9.

Характер изменения градиента температуры схож с результатами моделирования. Вместе с тем пик градиента приходится на интервал 30–45 мин и составляет не более 650 °C, а скорость его снижения после достижения максимума несколько выше (рис. 10).

Температура арматурных стержней составила: при 15 мин – 85 °C; при 30 мин – 280 °C; при 45 мин – 407 °C; при 60 мин – 495 °C; при 90 мин – 611 °C; при 120 мин – 686 °C; при 150 мин – 740 °C; при 180 мин – 781 °C; при 240 мин – 840 °C.

Из сравнения результатов моделирования (рис. 8) и расчетов согласно действующим ТНПА (рис. 9) видно: прогрев рассматриваемой строительной конструкции со свойствами бетона, полученными по результатам лабораторных и теоретических исследований [5], является более жестким, с большим градиентом температур по сечению, чем по результатам расчета в соответствии с ТКП 45-2.02-110-2008. При этом результаты прогрева арматуры имеют противоположный характер.

Следует отметить: часть теплоты, проходя сквозь стенку конструкции, будет нагревать газовую среду внутренней полости колонны, что при моделировании и расчете учитывалось путем введения некоторых допущений. Вместе с тем значение суммарного коэффициента теплоотдачи между внутренней поверхностью и газовой средой полости возможно будет рассчитать, измерив температуру газовой среды полости и внутренней поверхности конструкции при проведении эксперимента.

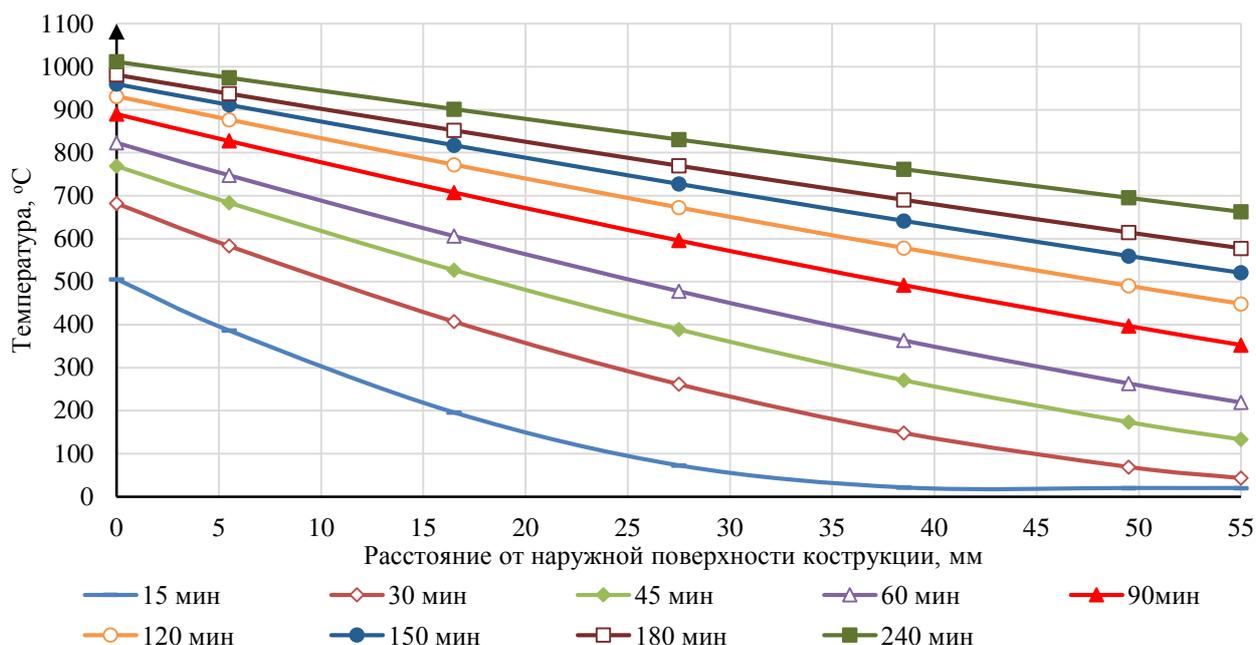


Рисунок 9. – Распределение температуры по сечению железобетонной колонны кольцевого сечения толщиной 55 мм в заданный момент времени стандартного огневого воздействия (расчет по инженерной методике ТКП 45-2.02-110-2008)

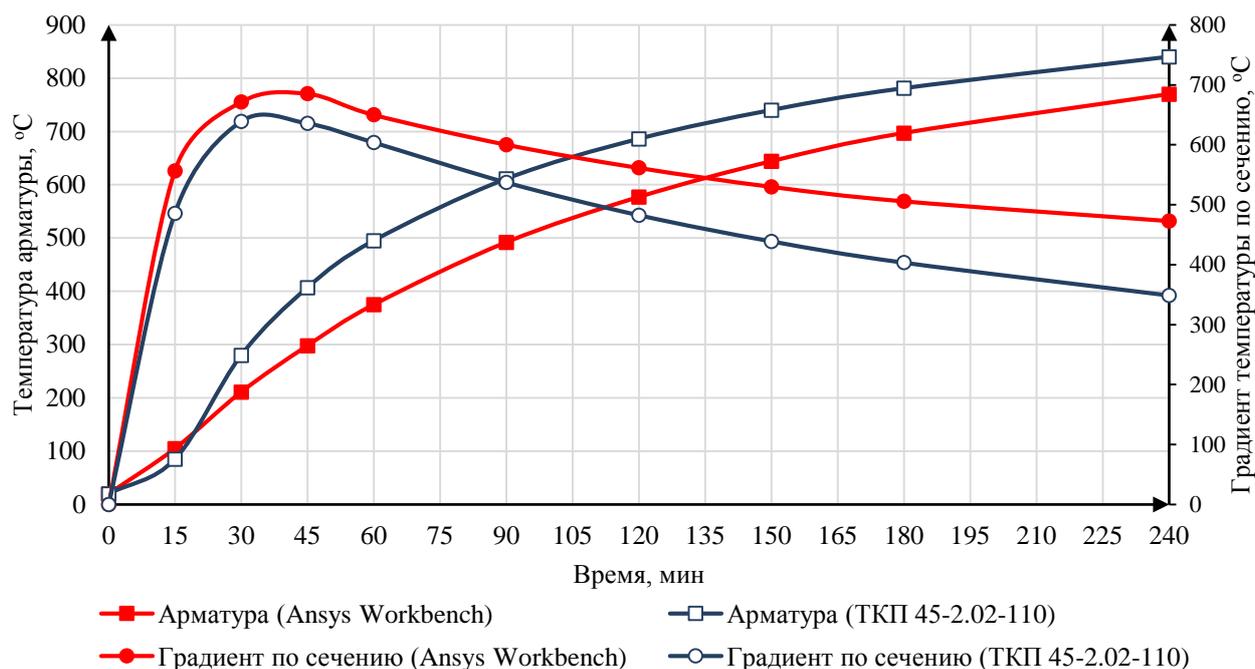


Рисунок 10. – Значения температуры арматуры и градиента по сечению железобетонной колонны кольцевого сечения толщиной 55 мм в заданный момент времени стандартного огневого воздействия

Определение теплофизических свойств центрифугированного бетона имеет в данной статье теоретический характер. Реальные свойства материала и принятые допущения необходимо уточнить путем проведения экспериментальных исследований.

Заключение. Проведен комплекс теоретических исследований, а именно:

1. На базе платформы Ansys Workbench разработана расчетная модель стандартного огневого воздействия на центрифугированную железобетонную колонну кольцевого сечения с учетом анизотропности теплофизических характеристик бетона по ее сечению.

2. Определено температурное поле поперечного сечения центрифугированной железобетонной колонны кольцевого сечения в заданный момент времени вследствие стандартного огневого воздействия.

3. Проведен теплотехнический расчет по ТКП 45-2.02-110-2008. Проведено сравнение результатов моделирования и расчета.

Результаты исследования планируется в дальнейшем сопоставить с экспериментальными данными, по результатам которых будут уточнены теплофизические характеристики бетона по сечению, а также определено значение суммарного коэффициента теплоотдачи между внутренней поверхностью конструкции и газовой средой в ее полости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казачек, В.Г. Шагая в ногу со временем / В.Г. Казачек [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2014. – № 16. – С. 111–113.
2. Полевода, И.И. Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона / И.И. Полевода [и др.] // Наука и техника. – 2019. – Т. 18, № 4. – С. 319–329.
3. Ахвердов, И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. – М: Стройиздат, 1967. – 163 с.
4. Щуцкий, В.Л. Исследование физико-механических свойств центрифугированного бетона [Электронный ресурс] / В.Л. Щуцкий, Д.А. Дедух, М.Ю. Гриценко // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2, Ч. 2. – 13 с. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2p2y2015/3000>. – Дата доступа: 10.09.2019.
5. Полевода, И.И. Экспериментальные и теоретические исследования физических и теплофизических характеристик центрифугированного бетона / И.И. Полевода, Д.С. Нехань // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 255–267. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.255.
6. 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.
7. Ширко, А.В. Теплотехнический расчет огнестойкости элементов железобетонных конструкций с использованием программой среды Ansys / А.В. Ширко [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2013. – № 2 (18). – С. 260–269.
8. Полевода, И.И. Моделирование поведения железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном в программном комплексе Ansys / И.И. Полевода, Н.В. Зайнудинова // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 4. – С. 385–391. DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-4.385.
9. Нехань, Д.С. О методике проведения натуральных огневых испытаний центрифугированных железобетонных колонн и теоретическом расчете избыточного давления смеси газов в полости укрупненных конструкций / Д.С. Нехань // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2019. – № 1 (45). – С. 62–72.

Моделирование прогрева центрифугированной железобетонной колонны с учетом анизотропии теплофизических характеристик бетона по сечению

Modeling of heating of a centrifuged reinforced concrete column taking into account anisotropy of thermophysical characteristics of concrete in cross section

Нехань Денис Сергеевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси», факультет подготовки научных кадров, адъюнкт

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: denis_nechany@mail.ru

Denis S. Nekhan'

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: denis_nechany@mail.ru

Жамойдик Сергей Михайлович

кандидат технических наук, доцент

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: zhamoidik.kii@gmail.com

Sergey M. Zhamoydik

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: zhamoidik.kii@gmail.com

Полевода Иван Иванович

кандидат технических наук, доцент

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: ip@ucp.by

Ivan I. Polevoda

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: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: ip@ucp.by

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.366>

MODELING OF HEATING OF A CENTRIFUGED REINFORCED CONCRETE COLUMN TAKING INTO ACCOUNT ANISOTROPY OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE IN CROSS SECTION

Nekhan' D.S., Zhamoydik S.M., Polevoda I.I.

Purpose. To determine the temperature field of a centrifuged reinforced concrete column exposed to standard fire temperature regime around the external perimeter.

Methods: Computer simulation based on the results of experimental and theoretical studies of the physical and thermophysical properties of centrifuged concrete. Thermotechnical calculations according to the current technological regulations.

Findings. A computational computer model was developed for modeling the heat transfer of a centrifuged reinforced concrete column with a fire gaseous atmosphere. The temperature field of the centrifuged reinforced concrete construction of the annular section is determined at a given point in time due to the standard fire exposure all around. The simulation results are compared with the data obtained from calculation by engineering methods according to the current technical regulations.

Application field of research. The results of the study can be used to determine fire resistance limits of the centrifuged reinforced concrete constructions. The obtained data are planned to be compared with experimental data.

Keywords: fire resistance, standard fire temperature, centrifuged reinforced concrete constructions, relative thickness, computer simulation, temperature field, anisotropy, thermotechnical calculation, Ansys Workbench.

(The date of submitting September 17, 2019)

REFERENCES

1. Kazachek V.G., Lazovskiy D.N., Rak N.A., Tur V.V. Shagaya v nogu so vremenem [Keeping up with the times]. *Journal of Polotsk State University*, 2014. No. 16. Pp. 111–113. (rus)
2. Polevoda 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 technology*, 2019. Vol. 18, No. 4. Pp. 319–329. (rus)
3. Akhverdov I.N. *Zhelezobetonnye napornye tsentrifugirovannye trubyy* [Reinforced concrete pressure centrifuged pipes]. Moscow: Stroyizdat, 1967. 163 p. (rus)
4. Shchutskiy V.L., Dedukh D.A., Gritsenko M.Yu. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv tsentrifugirovannogo betona [Study of physical and mechanical properties of centrifuged concrete]. *Engineering Journal of the Don*, 2015. No. 2, P. 2. 13 p. (rus) <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3000>.
5. Polevoda I.I., Nekhan' D.S. Experimental and theoretical researches of physical and thermophysical characteristics of centrifuged concrete. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 3. Pp. 255–267. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.255.
6. Polevoda I.I., Nekhan' D.S., Batan D.S. 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.
7. Shirko A.V., Kamlyuk A.N., Polevoda I.I., Zaynudinova N.V. Teplotekhnicheskii raschet ognestoykosti elementov zhelezobetonnykh konstruksiy s ispol'zovaniem programmoy sredy Ansys [Thermotechnical calculation of fire resistance of elements of reinforced concrete structures using the Ansys program]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2013. No. 2 (18). Pp. 260–269. (rus)
8. Polevoda I.I., Zaynudinova N.V. Modeling the behavior of reinforced concrete prestressed slabs without coupling reinforcement with concrete in the Ansys software package. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 4. Pp. 385–391. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-4.385.
9. Nekhan' D.S. O metodike provedeniya naturnykh ognevnykh ispytaniy tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn i teoreticheskom raschete izbytochnogo davleniya smesi gazov v polosti ukazannykh konstruksiy [About the method for full-scale fire tests of centrifuged reinforced concrete columns and the theoretical calculation of the positive pressure of a gas mixture in the cavity of these constructions]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2019. № 1 (45). Pp. 62–72. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.378>

УДК 614.843.4

МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ РУЧНЫХ ПОЖАРНЫХ СТВОЛОВ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ

Морозов А.А., Пармон В.В., Камлюк А.Н., Стриганова М.Ю.

Цель. Поиск оптимальных методов применения современных ручных пожарных стволов для широкого распространения новых средств тушения пожаров.

Методы. Отработка тактических приемов применения современных ручных пожарных стволов путем экспериментальных исследований позиций ствольщика и подствольщика.

Результаты. Определены оптимальные положения ствольщика и подствольщика при работе с ручными пожарными стволами (на примере СПРУК 50/0,7 «Викинг»). Разработаны рекомендации по их применению.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть широко использованы при тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: ручные пожарные стволы, тактика тушения пожаров, работа со стволом, ствольщик, входной крепеж.

(Поступила в редакцию 20 сентября 2019 г.)

Введение. Согласно данным государственной статистической отчетности в период с 2014 по 2019 год в Республике Беларусь произошло более 30 000 пожаров, в т. ч. с гибелью людей. При этом 91 % от общего количества пожаров приходится на жилой фонд^{1,2}. Т. е. 9 из 10 выездов пожарных по тревоге связаны с тушением пожаров в квартирах жилых домов. На основании анализа данных по тушению таких пожаров можно сделать вывод о том, что основными факторами, влияющими на время тушения и, как следствие, на причиняемый ущерб, являются рациональное использование огнетушащего вещества, а также возможность проведения боевого развертывания в минимально короткие сроки с применением маневренных ручных пожарных стволов. В связи с этим вопросы оптимизации приемов применения ручных пожарных стволов являются актуальными.

Влияние нового пожарно-технического вооружения и пожарной техники на формы и способы ведения боевых действий проявляется через их тактико-технические характеристики и тактические возможности. Очевидно, что со сменой технических средств меняются формы ведения боевых действий. Однако для получения широкого распространения новых средств тушения должны быть разработаны оптимальные методы их применения для целей пожаротушения.

В настоящее время подразделения МЧС Республики Беларусь оснащаются современными ручными комбинированными пожарными стволами Protek 360 и Protek 366, разработанными и произведенными корпорацией Protek (Тайвань). С 2013 г. начато импортозамещение данных зарубежных стволов отечественными аналогами: СПРУ-50/0,7 [1] и СПРУК-50/0,7 «Викинг» [2]. В отличие от ранее применяемых, эти стволы позволяют подавать воду и водные растворы огнетушащих веществ в широком диапазоне расходов и давлений (формируют спектр различных видов струй и их комбинаций, обеспечивая при

¹ Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Сведения о чрезвычайных ситуациях в Республике Беларусь по данным учета МЧС. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/ministerstvo/statistika/svedeniya-o-chs/>. – Дата доступа: 12.09.2019.

² Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Сведения о боевой работе подразделений по чрезвычайным ситуациям по ликвидации аварий и других чрезвычайных ситуаций. – Минск, 2019. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/ministerstvo/statistika/boevaya-rabota/>. – Дата доступа: 12.09.2019.

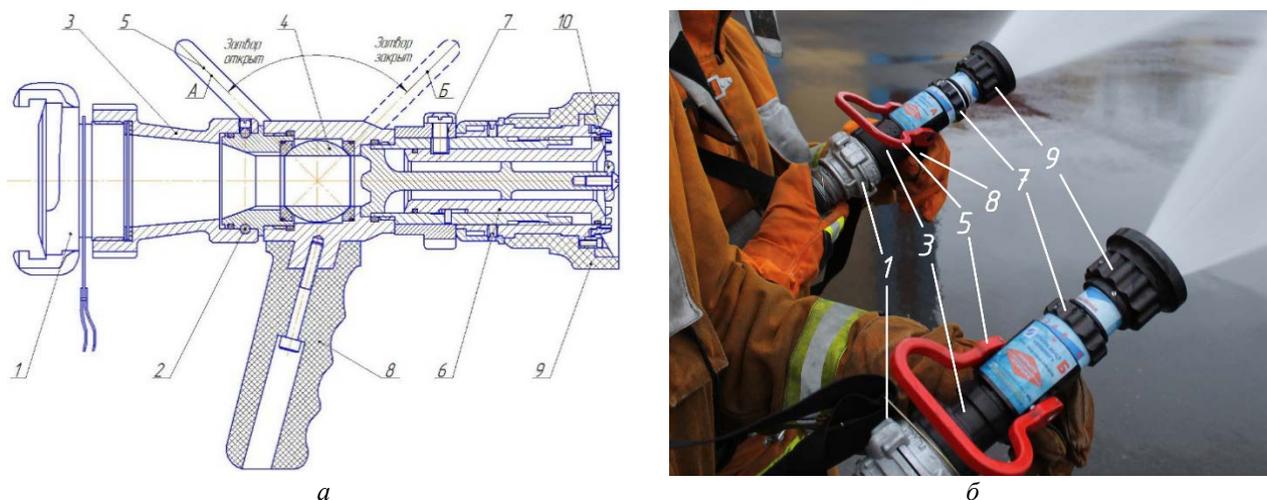
этом высокое качество распыла с различным углом факела), а также воздушно-механическую пену низкой кратности (при наличии насадка).

Однако до настоящего времени технология тушения пожаров с использованием данных пожарных стволов не разработана. В результате этого их технические возможности используются не в полной мере, что может негативно сказываться на эффективности тушения пожаров.

В данной работе представлены обоснованные методы применения современных ручных пожарных стволов.

Описание конструкции современных ручных пожарных стволов и особенности работы с ними. Современные пожарные ручные стволы с изменяемым расходом схожи по своей конструкции. Рассмотрим принципы действия стволов на примере СПРУК 50/0,7 «Викинг» (рис. 1).

На входе в ствол расположена соединительная головка 1, которая при помощи крепежных элементов 2 присоединена к вращающемуся переходнику 3. Переходник 3 подсоединен к корпусу ствола. Перекрывное устройство 4 при помощи рукоятки 5 позволяет перекрывать и плавно регулировать количество поступающего огнетушащего вещества. С противоположной стороны перекрывного устройства установлен механизм плавного регулирования 6 поступающей в ствол воды, который позволяет обеспечивать расход огнетушащего вещества с фиксированными значениями путем вращения дозатора 7. К механизму плавного регулирования поступающей в ствол воды присоединен насадок 9, при вращении которого осуществляется плавное переключение ствола для подачи компактной распыленной струи или водяной завесы. Внутри насадка установлен дефлектор 10. Герметичность соединений обеспечивают резиновые прокладки.



1 – головка соединительная ГЦ 50; 2 – крепежный элемент; 3 – вращающийся переходник; 4 – перекрывное устройство; 5 – рукоятка управления; 6 – механизм регулирования расхода огнетушащего вещества; 7 – дозатор; 8 – удерживающая рукоятка; 9 – насадок; 10 – дефлектор
Рисунок 1. – Внешний вид ствола: а – схема; б – фотография ствола при подаче воды

Управление стволом осуществляется следующим образом. В первую очередь необходимо присоединить рукавную линию к стволу. Вращением дозатора 7 установить требуемый расход. Перемещая рукоятку 5 в сторону, противоположную направлению движения потока огнетушащего вещества, открыть перекрывное устройство 4. Осуществить подачу огнетушащего вещества в рукавную линию. Вращением насадка 9 установить требуемую геометрию струи.

При работе с водой конструкция ствола позволяет:

– подавать компактные струи огнетушащего вещества (насадок 9 повернут в крайнее положение по часовой стрелке);

- подавать распыленные струи огнетушащего вещества (насадок 9 находится в промежутке между крайними положениями);
- создавать защитную водяную завесу с углом распыла 120° (насадок 9 повернут в крайнее положение против часовой стрелки);
- регулировать расход огнетушащего вещества путем изменения положения дозатора 7.

Для подачи воздушно-механической пены необходимо присоединить и зафиксировать эксцентриками пеногенератор (рис. 2), установить насадок 9 в положение подачи сплошной струи с требуемым расходом. При необходимости произвести дополнительную регулировку типа струи.



Рисунок 2. – Пожарный ствол с присоединенным пеногенератором

В работах [3–6] представлены результаты экспериментальных исследований ручного пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» при подаче воды и воздушно-механической пены с использованием специального насадка. В результате анализа полученных данных были сделаны следующие выводы:

- с увеличением расхода огнетушащего вещества увеличиваются показатели пожарного ствола: дальность подачи и эффективная дальность распыленной струи огнетушащего вещества, средняя интенсивность орошения. Наибольшая эффективная дальность орошения наблюдалась для 5-го и 6-го положения регулятора расхода (4,0 и 4,9 л/с соответственно), наименьшая – для 1-го и 2-го (0,5 и 1 л/с соответственно);

- кратность генерируемой воздушно-механической пены достигает максимального значения при расходе раствора пенообразователя 2 л/с. С увеличением (уменьшением) расхода кратность падает, поэтому для формирования воздушно-механической пены целесообразно пользоваться третьим положением регулятора расхода пожарного ствола;

- для получения раствора пенообразователя необходимо использовать пеносмеситель пожарного насоса. При получении раствора непосредственно в цистерне с водой (путем добавления в нее пенообразователя) сложно приготовить однородную смесь, что впоследствии сказывается на качестве получаемой воздушно-механической пены.

Рекомендации по применению современных ручных пожарных стволов. Рекомендации по технологии тушения пожаров в зданиях и сооружениях, а также резервуарных парков, с помощью современных многофункциональных ручных и лафетных пожарных стволов были подготовлены в рамках выполнения научно-исследовательской работы по заданию «Разработать технологию применения современных многофункциональных ручных стволов» (номер госрегистрации № 20163550) ГНТП «Защита от чрезвычайных ситуаций-2020».

Для определения наиболее успешных позиций спасателей в момент ликвидации пожара был использован отечественный и зарубежный опыт, полученный в ходе учений. Основные позиции, рассмотренные в данной работе, проверены опытным путем при проведении исследований в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси. Их можно разде-

лить на три категории: работа ствольщика с подствольщиком и без него; работа ствольщика при совместном использовании ствола и входного крепежа; работа звена в зданиях и сооружениях. При проведении экспериментальных исследований использовались СПРУК 50/0,7 «Викинг», напорные пожарные рукава, пожарная автоцистерна, входной крепеж пожарного ствола.

Методы работы со ствольным оборудованием сформулированы в виде рекомендаций, выполнение которых повысит эффективность работы спасателей-пожарных и обеспечит их безопасность.

При необходимости подачи больших расходов воды и быстрого маневрирования работу со стволом осуществляют два человека (ствольщик и подствольщик). Ствольщик управляет стволом: регулирует расход огнетушащего вещества, выбирает необходимую геометрию струи, позицию ствола и расстояние до горящего объекта. В обязанности подствольщика входит: помощь ствольщику в прокладке рукавных линий, в достижении позиции ствола; закрепление рукавной линии при подъеме ее на высоту; обеспечение позиции ствола необходимым запасом рукавов; наблюдение за конструкциями в пределах позиции ствола и проведение работы по вскрытию и разборке конструкций на позиции; подмена ствольщика в случаях его продолжительной работы со стволом или работы в тяжелых условиях. От слаженности совместных действий ствольщика с подствольщиком зависит успех ликвидации горения на пожаре. Основной задачей подствольщика при непосредственной работе со стволом является помощь ствольщику в противодействии реакции струи и при передвижении с рукавной линией.

Для работы со стволом из положения стоя ствольщик занимает боевую позицию. Подствольщик становится позади ствольщика в непосредственной близости и создает упор плечом в спину ствольщика, удерживая в это же время рукавную линию (рис. 3а). Для этого подствольщик становится левым боком к спине ствольщика, сгибает левую ногу в колене, правую ногу отводит в сторону, максимально выпрямляет и, для большей устойчивости, левым плечом упирается в спину ствольщика. В таком положении рекомендуется работать при значительном расходе огнетушащего вещества (6 л/с и более) для охлаждения вертикальных конструкций, тушении пожара на различных высотах, а также при необходимости перемещения ствольщика.



а

б

а – в положении стоя; б – в положении с колена

Рисунок 3. – Работа со стволом с подствольщиком

Для работы со стволом из положения с колена ствольщик принимает требуемую стойку: приседает на одно колено, обеспечивая второй полусогнутой ногой устойчивое положение. Подствольщик располагается позади ствольщика в непосредственной близости и создает упор плечом в спину ствольщика, удерживая в это же время рукавную линию (рис. 3б). Для этого подствольщик располагается левым боком к спине ствольщика, опуска-

ется на левое колено, правую ногу отводит в сторону, максимально выпрямляет и, для большей устойчивости, левым плечом упирается в спину ствольщика. В таком положении рекомендуется работать при возможности резких перепадов давления в линии, воздействия высокой тепловой радиации, необходимости длительной работы со стволом, а также необходимости перемещения ствольщика.

Зарубежными пожарными используется способ, при котором удержание ствола происходит благодаря тому, что конец рукава с подключенным стволом прокладывается под кольцом, образованным оставшейся частью рукавной линии. При этом фиксация ствола происходит благодаря весу рукавной линии и ствольщика. Данный способ наиболее актуален при затяжных пожарах, а также при ограниченном количестве личного состава (возможна работа без подствольщика, рис. 4).



а – фиксация ствола рукавной линией; б – работа ствольщика с зафиксированным стволом
Рисунок 4. – Фиксация ствола при помощи рукавной линии и веса ствольщика

Интерес представляют переносные угловые устройства для крепления ручных пожарных стволов (рис. 5). Данные приспособления позволяют организовать подачу огнетушащего вещества без участия человека, что наиболее актуально при наличии угрозы взрыва, обрушения, а также при недостаточном количестве личного состава.



Рисунок 5. – Устройства для крепления стволов

На рисунке *ба* приведен пример охлаждения баллона с газом. При этом регулятор расхода огнетушащего вещества необходимо перевести в минимальное положение и слегка закрыть перекрывной механизм. На рисунке *бб* приведен пример подачи ручного пожарного ствола на защиту кровли.

Известна технология совместного использования входных крепежей для стволов, разветвления и пожарного рукава. В качестве примера можно рассмотреть опыт компании РОК³ (Франция) по разработке входных крепежей для подсоединения пожарных рукавов.

³ РОК – manufacturer firefighter equipment – Catalogues [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pok.fr/en/catalogues-2/>. – Дата доступа: 12.09.2019.

По отзывам зарубежных спасателей, представленные на рисунке 7 входные крепежи значительно повышают маневренность при подаче огнетушащих веществ и снижают реактивную силу струи (до 25 %). Благодаря этим особенностям обеспечивается возможность работы без подствольщика (рис. 8).



а – для охлаждения газового баллона; *б* – для тушения или охлаждения конструкции
Рисунок 6. – Крепление стволов с помощью специального устройства



Рисунок 7. – Входной крепеж для рукава пожарного

При совместном использовании входных крепежей, разветвления и пожарного рукава можно обеспечить подачу огнетушащего вещества без участия человека (рис. 9). Для этого к центральному патрубку разветвления необходимо последовательно подключить входной крепеж и ручной пожарный ствол, затем выставить необходимый расход огнетушащего вещества и геометрию струи, а к крайним патрубкам разветвления подключить пожарный рукав, образуя кольцо. Открытие вентилей разветвления и крана перекрывного механизма пожарного ствола обеспечит подачу огнетушащего вещества и устойчивое положение ствола.

На рисунке 10 приведен пример данной технологии, позволяющей использовать ручные пожарные стволы с большими расходами для подачи огнетушащего вещества на значительные расстояния (более 40 м).

Подробнее остановимся на возможных позициях ствольщика при работе со стволом без подствольщика.



a



б

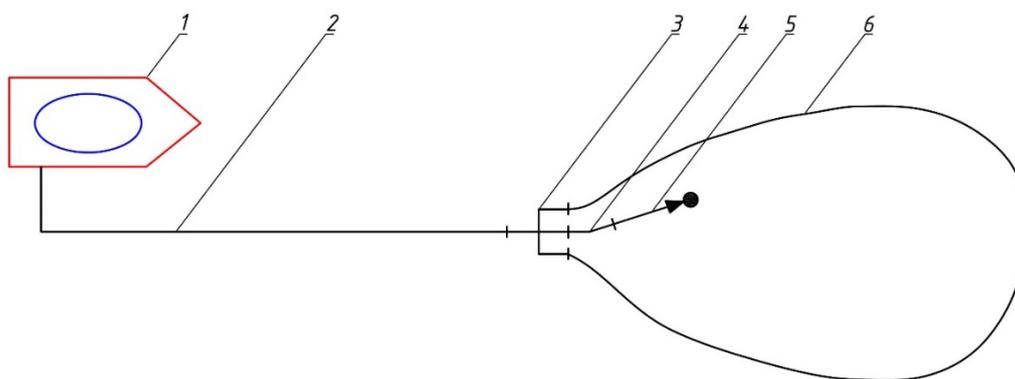


в



г

a – перемещение с рукавной линией и стволом;
б, в, г – варианты работы со стволом с использованием входного крепежа
Рисунок 8. – Подача ствола с усовершенствованным входным крепежом



1 – пожарная автоцистерна; *2* – напорный пожарный рукав ($d = 77$ мм, $l = 20$ м);
3 – разветвление трехходовое РТ-80; *4* – входной крепеж; *5* – ручной пожарный ствол;
6 – напорный пожарный рукав ($d = 51$ мм, $l = 20$ м)
Рисунок 9. – Технологическая схема совместного использования входного крепежа, разветвления и пожарного рукава



а – подключение; *б* – регулировка расхода и геометрии струи ствола

Рисунок 10. – Совместное использование входного крепежа, разветвления и пожарного рукава

Для работы со стволом из положения стоя (рис. 11) спасатель-пожарный поворачивается вполборота направо, выставляет левую ногу вперед, согнув ее в колене, в это время правая нога выпрямляется полностью для большей устойчивости, пожарный рукав располагается с правой стороны. В таком положении максимально удобно регулировать сектор тушения пожара, изменяя положение тела вращением вокруг поставленной на поверхность правой ноги, отталкиваясь левой ногой. Такое положение рекомендуется применять для тушения и охлаждения вертикальных поверхностей с большой площадью.

Для обеспечения наиболее эффективного маневрирования стволом левую руку спасатель-пожарный кладет на корпус либо механизмы управления подачей воды самого ручного ствола, правой рукой удерживает пожарный рукав на удобном расстоянии, примерно в полуметре от соединительной полугайки (рис. 11). Таким способом удержания ствола обеспечивается оптимальный рычаг для эффективного маневрирования и увеличения сектора тушения как по горизонтали, так и по вертикали. Правой рукой ствольщик прижимает пожарный рукав к телу на уровне пояса, тем самым достигается частичный перенос веса рукава на тело, что позволяет уменьшить нагрузку на руки, значительно улучшить маневренность при работе со стволом.



Рисунок 11. – Работа со стволом из положения стоя

При работе со стволом из положения стоя его удержание можно производить, размещая напорный пожарный рукав на плече спасателя-пожарного с расположением рук, описанным выше. Для этого спасатель-пожарный становится, повернувшись вполборота направо, выставляет левую ногу вперед, согнув ее в колене. Правая нога отставляется назад, пожарный рукав располагается на правом плече ствольщика. В таком положении сектор тушения пожара регулируется путем изменения положения тела вполборота направо.

во или налево, а также маневрирования стволом посредством изменения положения пожарного рукава. Однако такой способ удержания ствола удобен и эффективен при небольших напорах в насосно-рукавной системе и небольших расходах из самого пожарного ствола. При поднятии давления и увеличении расхода огнетушащего вещества спасателю будет трудно удерживать ствол.

Для работы со стволом из положения с колена пожарный становится вполоборота вправо, опускается на правое колено, левую ногу, согнутую в колене, выставляет вперед и ставит на всю ступню, чем обеспечивается наилучшая устойчивость в данном положении. Для наиболее удобного расположения ствольщика можно перенести большую часть веса тела на правую ногу и присесть на стопу правой ноги.

Удержание ствола в положении с колена производится несколькими способами. Первые два способа рекомендуется использовать при значительном расходе огнетушащего вещества (более 6 л/с), а также при длительной работе со стволом. Третий способ применяется при тушении низовых пожаров, а также пожаров, где возможно воздействие высокой тепловой радиации.

При первом способе пожарный ствол удерживается правой рукой за рукав на удобном расстоянии, а левой рукой – за корпус либо механизмы управления подачей воды (рис. 12а). Пожарный рукав правой рукой прижимается к телу ствольщика на уровне пояса. При реализации второго способа пожарный рукав прижимается к земле голенью правой ноги ствольщика (рис. 12б). Используя данный способ, спасатель-пожарный на позиции ствольщика практически полностью разгружает руки, т. к. удержание ствола выполняется в месте прижатия рукавной линии к земле, области «зажима рукава». При третьем способе удержание ствола производится при расположении рукавной линии на правом плече спасателя-пожарного (рис. 12в).



а

б

в

а – первый способ; б – второй способ; в – третий способ

Рисунок 12. – Работа со стволом в положении с колена

Помимо приемов тушения пожаров с места на открытых площадках рассмотрены приемы перемещения со стволом внутри зданий и сооружений.

Тушение пожаров внутри зданий, как правило, связано с необходимостью работы в непригодной для дыхания среде. В таком случае требуется сформировать звено, состоящее из трех спасателей⁴. В горящем помещении или при подходе к нему следует продвигаться не прямо, а согнувшись, опираясь об пол или стену. Перемещение с опорой на стену, когда одна нога пожарного согнута, и он опирается на нее, а вторая выпрямлена и вытянута впе-

⁴ Об утверждении Правил организации деятельности газодымозащитной службы в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь: приказ Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 14 июля 2015 г., № 139 // СПС КонсультантПлюс: Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр». – Минск, 2019.

ред, уменьшает возможность падения пожарного на пол, дает лучшее поле обзора, оставляет одну руку свободной (рис. 13а). Не рекомендуется передвигаться на четвереньках, т. к. такой способ не дает возможности обследовать пространство впереди себя на достаточном расстоянии, следить за изменением обстановки спереди и сверху, а также в случае опасности применить распыленную струю в качестве защиты от пожара с обратной тягой. При тушении очага пожара все спасатели звена приседают на одну ногу, выставляя вторую ногу вперед (рис. 13б). Ствольщик удерживает ствол, перекинув его через плечо. Также через плечо перекидывают рукав и остальные спасатели, входящие в состав звена. Ствольщик должен подавать воду не непрерывно, а время от времени закрывать ствол и отслеживать воздействие воды, степень образования пара и ущерб, причиненный водой. Повышенное парообразование приводит к вытеснению нагретых газов из горящего помещения, изменению температурного распределения, а также вероятности получения спасателем ожогов. Кроме того, сухой жар легче переносить, чем влажный. Следует учитывать высокую теплоемкость камня и бетона и избегать попадания воды на раскаленные поверхности.

Всегда следует использовать имеющуюся мебель или стены в качестве защиты от теплового потока и пламени (рис. 13в).



а – передвижение звена с рукавной линией внутри здания; б – позиция звена со стволом при тушении пожара внутри здания; в – использование дверного полотна в качестве физической защиты от теплового потока

Рисунок 13. – Перемещение звена внутри здания

Заключение. В результате проведенных исследований установлены наиболее успешные позиции спасателей-пожарных при работе со стволом ствольщика с подствольщиком и без него, совместном использовании ствола и входного крепежа, а также звеньев в зданиях и сооружениях при прокладке рукавных линий и работе со стволом. Представлены устройства, позволяющие организовать подачу огнетушащего вещества без участия человека: угловые устройства для крепления ручных пожарных стволов и входные крепежи. Представленные в работе материалы положены в основу рекомендаций по применению современных ручных пожарных стволов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпенчук, И.В. Разработка и оптимизация гидродинамических параметров отечественной модификации экспериментального образца ствола ручного пожарного универсального / И.В. Карпенчук, Д.А. Шафранский, Н.Г. Янкевич // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2013. – № 2 (18). – С. 270–279.
2. Камлюк, А.Н. Расчет и оптимизация геометрии проточного канала пожарного ствола с расходом до 5 л/с / А.Н. Камлюк, В.В. Пармон, А.А. Морозов // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 51–59.
3. Пармон, В.В. Экспериментальные исследования пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» при подаче воды / В.В. Пармон, А.Н. Камлюк, Я.С. Волчек, Р.Р. Асилбейли, А.А. Морозов // Вест-

- ник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 159–166. DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.159.
4. Камлюк, А.Н. Оптимизация геометрических параметров пеногенератора пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» / А.Н. Камлюк, В.В. Пармон, М.Ю. Стриганова, А.А. Морозов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 470–476. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.470.
 5. Морозов, А.А. Влияние места установки пеногенирующей сетки пеногенератора пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» на кратность пены / А.А. Морозов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2018. – № 2 (44). – С. 130–136.
 6. Камлюк, А.Н. Пеногенератор пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» / В.В. Пармон, М.Ю. Стриганова, А.А. Морозов, А.С. Курочкин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 335–342. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.335.

**Методы использования современных ручных пожарных стволов
при тушении пожаров**

Methods of using modern hand-held fire barrels for fire extinguishing

Морозов Артем Александрович

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: morozow974@gmail.com

Artem A. Morozov

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

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: morozow974@gmail.com

Пармон Валерий Викторович

кандидат технических наук, доцент

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: niipb@yahoo.ru

Valeriy V. Parmon

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 Automatic System Security,
Head of the Chair

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: niipb@yahoo.ru

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: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: kan@ucp.by

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: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: kan@ucp.by

Стриганова Марина Юрьевна

кандидат технических наук, доцент

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: striganovam@tut.by

Marina Yu. Striganova

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 Automatic System Security,
Associate Professor

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: striganovam@tut.by

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.378>

METHODS OF USING MODERN HAND-HELD FIRE BARRELS FOR FIRE EXTINGUISHING

Morozov A.A., Parmon V.V., Kamlyuk A.N., Striganova M.Yu.

Purpose. Search of optimal methods of application of modern manual fire barrels for wide distribution of new means of fire suppression.

Methods. Development of tactical techniques for the use of modern hand-held fire barrels by experimental studies of the positions of barrel operator and hoseman.

Findings. The optimal position of the barrel operator and hoseman when working with hand-held fire barrels (on the example of the SPRUK 50/0,7 «Viking»). Recommendations for their application have been developed.

Application field of research. The presented research results can be used in firefighting and emergency response.

Keywords: hand-held fire barrels, fire extinguishing tactics, work with barrel, barrel operator, entry fixture.

(The date of submitting September 20, 2019)

REFERENCES

1. Karpenchuk I.V., Shafranskiy D.A., Yankevich N.G. Razrabotka i optimizatsiya gidrodinamicheskikh parametrov otechestvennoy modifikatsii eksperimental'nogo obraztsa stvola ruchnogo pozharnogo universal'nogo [Development and optimization of hydrodynamic parameters of the domestic modification of the experimental model of the universal hand-held fire barrel]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2013. Vol. 2, No. 18. Pp. 270–279. (rus)
2. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Morozov A.A. Raschet i optimizatsiya geometrii protochnogo kanala pozharnogo stvola s rashodom do 5 l/s [Calculation and optimization of the geometry of the flow channel of the fire barrel with a flow rate of up to 5 l/s]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. Vol. 1, No. 23. Pp. 51–59. (rus)
3. Parmon V.V., Kamlyuk A.N., Volchek Ya.S., Asilbeyli R.R., Morozov A.A. Experimental investigations of the fire barell SPRUK 50/0,7 «Viking» when supplying water. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 2. Pp. 159–166. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.159.
4. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Striganova M.Yu., Morozov A.A. Optimization of geometrical parameters of the fire removal penogenerator SPRUK 50/0.7 «Viking». *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2 No. 4. Pp. 470–476. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.470.
5. Morozov A.A. Vliyaniye mesta ustanovki penogeneriruyushchey setki penogeneratora pozharnogo stvola SPRUK 50/0,7 «VIKING» na kratnost' peny [The influence of the installation site of the foam-generating mesh of the foam generator of the fire barrel SPRUK 50/0.7 «VIKING» on the foam ratio]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2018. Vol. 2 No. 44. Pp. 130–136. (rus)
6. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Striganova M.Yu., Morozov A.A., Kurochkin A.S. Foam generator of the fire nozzle SPRUK 50/0,7 «Viking». *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2 No. 3. Pp. 335–342. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.335.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.391>

УДК 614.845.1

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПОРОШКОВОГО ОГNETУШИТЕЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДАЧИ ОГNETУШАЩЕГО ПОРОШКА

Журов М.М., Бобрышева С.Н., Короткевич С.Г., Черный Ю.С.

Цель. Оптимизировать конструкцию порошкового огнетушителя, исследовать параметры подачи огнетушащего порошка, провести натурные испытания.

Методы. Экспериментальное определение текучести и остатка огнетушащего порошка в баллоне огнетушителя после его использования. Теоретические исследования значения потерь давления перед насадком-распылителем и дальности струи порошка.

Результаты. Получены зависимости текучести огнетушащего порошка и давления перед насадком-распылителем от времени истечения огнетушащего заряда. Установлены средние значения текучести огнетушащего порошка и давления перед насадком-распылителем для исходной и оптимизированной конструкции порошкового огнетушителя. Предложена конструкция огнетушителя, которая позволяет эффективно использовать весь огнетушащий порошок, рассчитаны потери давления в конструкции с сифонной трубкой. По функциям давления и текучести перед насадком-распылителем установлено, что в предлагаемой конструкции огнетушителя без увеличения исходного рабочего давления в баллоне при увеличении подачи огнетушащего порошка дальность его струи также увеличивается. Рассчитаны значения потерь давления в сифонной трубке. Практически доказана эффективность предлагаемой конструкции порошкового огнетушителя.

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

Ключевые слова: порошковый огнетушитель, текучесть, остаток порошка, сифонная трубка, потери давления, насадок-распылитель, дальность струи.

(Поступила в редакцию 7 октября 2019 г.)

Введение. Впервые огнетушащий порошковый состав (алюминиевые квасцы $\text{AlNH}_4(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) был применен в г. Эслинген (Eßlingen, Германия) [1]. В дальнейшем рецептура и технологии подачи огнетушащих порошковых составов подверглись значительному совершенствованию. В настоящее время огнетушащие порошковые составы являются универсальным эффективным огнетушащим веществом¹. Это обусловлено их высокой огнетушащей способностью и универсальностью применения как по видам пожаров, так и по температурному диапазону, а также способностью огнетушащих порошковых составов длительное время сохранять свои свойства при хранении.

Для подачи порошковых огнетушащих составов широко применяются огнетушители различных объемов. При этом наибольшая эффективность применения огнетушителя достигается на первоначальном этапе развития пожара. Площадь тушения пожара зависит от таких параметров, как дальность и количество подаваемого огнетушащего порошка. Для повышения эффективности тушения пожара требуется совершенствование параметров подачи огнетушащего порошка. Существующие конструкции порошковых огнетушителей не позволяют использовать весь огнетушащий заряд, при этом остаток может составлять² до 10 мас. %. В связи с этим является актуальным исследование параметров подачи огнетушащих порошковых составов и эффективное использование всего заряда огнетушителя.

¹ Огнетушащие порошки // Виды, состав, преимущества, недостатки, утилизация, регенерация [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://fireman.club/statti-polzovateley/ognetushaahhie-poroshki.html>. – Дата доступа: 27.09.2019.

² Система стандартов пожарной безопасности. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.12.01-2009. Введ. 01.07.2009 (с отменой на территории РБ НПБ 13-2000). – Минск: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2009. – 24 с.

Основная часть. Оптимизацию конструкции порошкового огнетушителя нами предлагается провести по количеству используемого огнетушащего заряда. Основными конструкционными элементами данных огнетушителей являются: стальной баллон с огнетушащим веществом под давлением, запорно-пусковое устройство с манометром, сифонной трубкой и соплом (шлангом с распылительным соплом на конце). Подача огнетушащего вещества из огнетушителя осуществляется через сифонную трубку, конструкционная особенность которого не обеспечивает полный выход порошка. Проведенные нами испытания огнетушителя с запасом огнетушащего порошка массой 2 кг (далее ОП-2) в соответствии с действующей методикой СТБ 11.12.01-2009 подтвердили, что существующая конструкция порошковых огнетушителей не обеспечивает полный выброс огнетушащего заряда (табл. 1).

Таблица 1. – Результаты испытаний выброса огнетушащего порошка

№ испытания	m_1 , кг	m_2 , кг	m_3 , кг	m_4 , кг
1	3,28	1,52	1,38	1,19
2	3,23	1,43	1,37	1,19
3	3,20	1,35	1,36	1,19
Среднее значение	3,24	1,43	1,37	1,19

Примечание. m_1 – масса огнетушителя с порошком; m_2 – масса огнетушителя с остатком порошка после выпуска в течение 6 с; m_3 – масса огнетушителя с остатком порошка (после полного выпуска); m_4 – масса огнетушителя без порошка.

Для определения средних значений текучести T_{cp} и остатка O_{cp} огнетушащего порошка нами использовалась методика СТБ 11.12.01-2009, основанная на истечении огнетушащего порошка через насадок-ороситель за фиксируемое время. Исходное давление в баллоне составляло 1,4 МПа. По результатам трех испытаний ОП-2 средние значения указанных параметров составили $T_{cp} = 0,30$ кг/с и $O_{cp} = 8,79$ % (табл. 2).

Таблица 2. – Значения текучести и остатка огнетушащего порошка

№ испытания	Текучесть (T), кг/с	Остаток (O), %
1	0,29	9,10
2	0,30	8,82
3	0,31	8,46
Среднее значение	0,30	8,79

Полученные результаты значений текучести и остатка огнетушащего порошка соответствуют установленным требованиям СТБ 11.12.01-2009. Вместе с тем количество остатка огнетушащего порошка в пересчете на массу составляет 0,18 кг, что весьма значимо для огнетушителя с запасом заряда порошка массой 2 кг как с точки зрения эффективности тушения, так и экономии средств.

С целью повышения эффективности тушения пожаров нами разработана модель огнетушителя, конструкция которого позволяет без снижения огнетушащей способности обеспечить требуемый расход для тушения и повысить экономический эффект от его применения. Принцип его работы заключается в подаче огнетушащих порошков через конoidalный насадок в дне баллона, без использования вертикальной сифонной трубки. На рисунке 1а представлена конструкция серийно выпускаемого огнетушителя, а на рисунке 1б – разработанного модельного огнетушителя. Также на рисунке 1 показаны направления движения порошкового состава при приведении огнетушителей в действие.

Предложенная нами конструкция модельного огнетушителя исключает использование сифонной трубки, которая выполняет функцию внутреннего цилиндрического насадка (насадок Борда). Главная ее функциональная значимость заключается в обеспечении выхода огнетушащего порошка из баллона, а также направленного действия движущей силы сжатого газа и в исключении прямого выхода рабочего заряда сжатого газа огнетушителя в атмосферу при открытии запорно-пускового устройства. При этом применение сифонной

трубки имеет ряд недостатков: она не только не обеспечивает выход всего запаса порошка, но и приводит к уменьшению интенсивности подачи огнетушащего вещества за счет дополнительных потерь (рис. 2), возникаемых при прохождении порошка через нее.

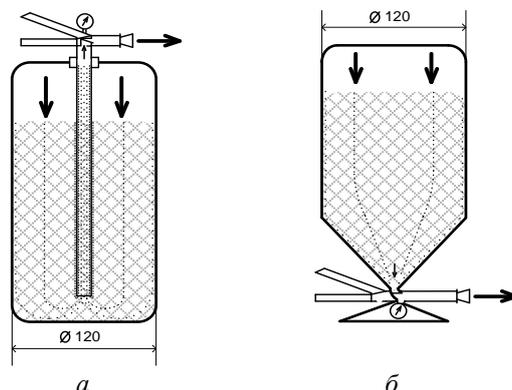


Рисунок 1. – Общий вид конструкции стандартного (а) и модельного (б) порошковых огнетушителей

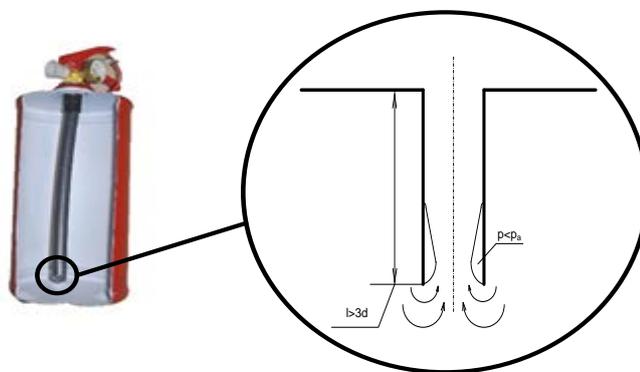


Рисунок 2. – Вид вертикальной сифонной трубки порошкового огнетушителя³

Вместе с тем исключение сифонной трубки требует альтернативного решения, позволяющего не менее эффективно использовать огнетушащий заряд.

В качестве такого решения нами предлагается конструкцией модельного огнетушителя предусмотреть выход порошка из нижней части баллона через штуцер запорно-пускового устройства (рис. 1б). Известно, что округление входной кромки насадка уменьшает сопротивление движения вещества и увеличивает его пропускную способность [2]. Поэтому для увеличения интенсивности истечения огнетушащих порошков предлагается округлить входную кромку цилиндрического отверстия таким образом, чтобы данное отверстие представляло собой коноидальный насадок (рис. 3).

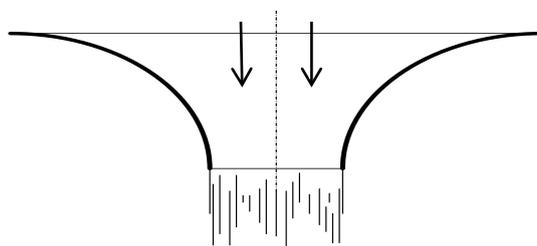


Рисунок 3. – Коноидальный насадок

³ Огнетушитель // Конструкция порошкового огнетушителя [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://vidsyst.ru/zashhita/ognetushiteli/poroshkovye/op-3.html>. – Дата доступа: 11.06.2019.

Порошковые огнетушащие составы обладают хорошей текучестью. Такая текучесть обеспечивает требуемую интенсивность подачи порошка, которая в комплексе с другими свойствами эффективно действует на прекращение реакции горения.

Известен экспериментальный метод определения текучести порошковых материалов с помощью прибора Холла, в котором для определения текучести используется калиброванная воронка⁴. Суть метода заключается в определении истечения пробы порошка через калиброванную воронку за фиксируемое время. При этом время истечения порошков зависит и от угла конуса воронки. На основании вышеизложенного нами предлагается баллон модельного огнетушителя в нижней части выполнять в форме конуса, что позволит не только быстрее подавать огнетушащий порошок, но и использовать весь его заряд. Для проведения исследований параметров текучести T и остатка порошка O в огнетушителе с предлагаемой конструкцией изготовлена модель огнетушителя, принципиальная конструкция которого представлена на рисунке 1б.

Таким образом, подача порошка в модельном огнетушителе осуществляется через расположенный на вершине конуса коноидальный насадок. Объем оптимизированного баллона равен объему исходного баллона и составляет 2,5 л. Испытания на текучесть и остаток порошка также проводили по действующей методике СТБ 11.12.01-2009. При этом исходное давление в баллоне составляло 1,4 МПа, результаты испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты испытаний выброса огнетушащего порошка

№ испытания	m_1 , кг	m_2 , кг	m_3 , кг	t , с
1	3,12	1,06	1,06	5,8
2	3,09	1,06	1,06	6,0
3	3,09	1,06	1,06	5,8
Среднее значение	3,10	1,06	1,06	5,9

Примечание. m_1 – масса огнетушителя с порошком; m_2 – масса огнетушителя с остатком порошка после выпуска в течение 6 с; m_3 – масса огнетушителя без порошка.

Определения средних значений текучести $T_{\text{ср}}$ и остатка $O_{\text{ср}}$ огнетушащего порошка в модельном ОП-2 проводили также по вышеуказанной методике СТБ 11.12.01-2009, результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Значения текучести и остатка огнетушащего порошка

№ испытания	Текучесть (T), кг/с	Остаток (O), %
1	0,36	0
2	0,34	0
3	0,35	0
Среднее значение	0,35	0

По итогам трех испытаний средние значения параметров, указанных в таблице 4, соответственно составили $T_{\text{ср}} = 0,35$ кг/с и $O_{\text{ср}} = 0$ %. Сравнительный анализ результатов проведенных экспериментов (табл. 1–4) позволил установить, что предлагаемая конструкция корпуса огнетушителя позволяет не только эффективно использовать весь запас огнетушащего вещества, но и увеличить интенсивность подаваемого на тушение огнетушащего порошка. Таким образом, по количеству используемого запаса огнетушащего порошка полученная модель огнетушителя является оптимальной.

Известно, что при недостаточной дальности подачи огнетушащего порошка огнетушителя не обеспечивается эффект тушения пожара. Проведенные исследования показали, что конструкция модельного огнетушителя позволяет увеличить подачу огнетушащего по-

⁴ Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла): ГОСТ 20899-98. – Введ. 30.06.2001 (взамен ГОСТ 20899-75). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.

рошка за единицу времени при одинаковом давлении в баллоне и при одинаковых параметрах насадка-оросителя. В свою очередь, дальность подачи огнетушащего вещества напрямую зависит от давления перед насадком-распылителем. На основе этого нами сделано предположение, что и дальность подачи струи огнетушащего порошка из модельного огнетушителя по сравнению с исходным увеличивается. Для подтверждения произведен теоретический расчет значений давления перед насадком-распылителем в исходном и модельном огнетушителях. Сравнение изменений давления перед насадком-распылителем до и после оптимизации конструкции огнетушителя проводили по средним значениям давлений, рассчитанных по формуле:

$$Q_{cp} = k\sqrt{P_{cp}}, \quad (1)$$

где Q_{cp} – средний расход через насадок-распылитель; k – это k -фактор насадка-распылителя; P_{cp} – среднее давление перед насадком-распылителем.

Средние расходы огнетушащего порошка через насадок-распылитель принимали равным средним значениям текучести ($Q_{cp} = T_{cp}$), представленным в таблицах 2 и 4. Т. к. при исследовании параметров истечения огнетушащего порошка из исходного и оптимизированного огнетушителя использовался одинаковый насадок-распылитель, следовательно, значение k -фактора насадка-распылителя в обоих случаях одинаково. С учетом этого и установленных средних значений текучести Q_{cp1} – при стандартной конструкции огнетушителя и Q_{cp2} – при оптимизированной из формулы 1 следует:

$$\frac{Q_{cp1}^2}{Q_{cp2}^2} = \frac{P_{cp1}}{P_{cp2}} = \frac{P_{cp2} - P_x}{P_{cp2}}, \quad (2)$$

где P_x – средние потери давления в сифонной трубке; P_{cp1} – давления перед насадком-распылителем в серийно-изготавливаемом огнетушителе; P_{cp2} – давления перед насадком-распылителем в оптимизированном огнетушителе.

Среднее значение давления перед насадком-распылителем в модельном огнетушителе рассчитывали по значению изменения давления перед ним за время истечения огнетушащего порошка (6 с). При доверительной вероятности 95 % относительные погрешности абсолютных значений давления не превышали 5 %, результаты представлены на рисунке 4.

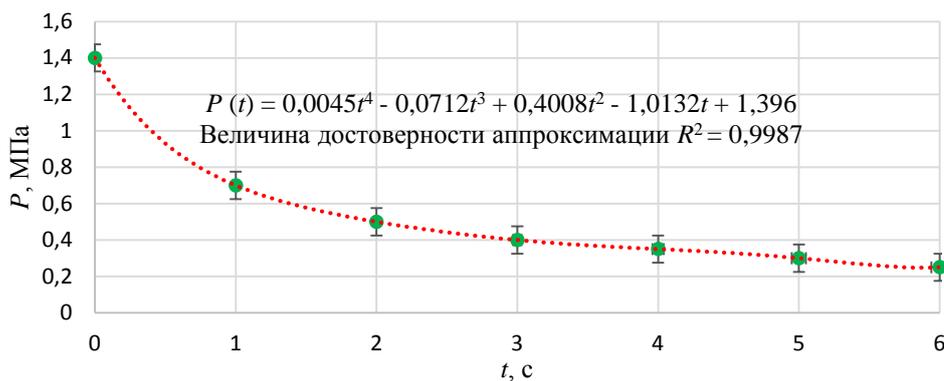


Рисунок 4. – Изменение давления перед насадком-распылителем

С учетом полученной полиномиальной функции, описывающей зависимость давления от времени истечения огнетушащего порошка в опимизированном огнетушителе, рассчитано среднее значение давления перед насадком-распылителем:

$$P_{cp2} = \frac{1}{6} \int_0^6 P(t) dt = 0,49 \text{ МПа}. \quad (3)$$

Из формулы (2) выражаем P_x :

$$P_x = P_{cp2} \left(1 - \frac{Q_{cp1}^2}{Q_{cp2}^2} \right). \quad (4)$$

Получаем, что среднее значение потерь давления в сифонной трубке составляет $P_x = 0,13$ МПа. Проведенные расчеты показывают, что предлагаемая конструкция огнетушителя по сравнению со стандартной позволяет увеличить текучесть огнетушащего порошка через насадок-распылитель до 16 % ($T_{cp2} / T_{cp1} = 0,35 / 0,30$) при одинаковом исходном давлении в баллоне ($P_{исх} = 1,4$ МПа). При этом давление перед насадком-распылителем увеличивается ($P_{cp2} > P_{cp1}$) на $P_x = 0,13$ МПа, рисунок 5.

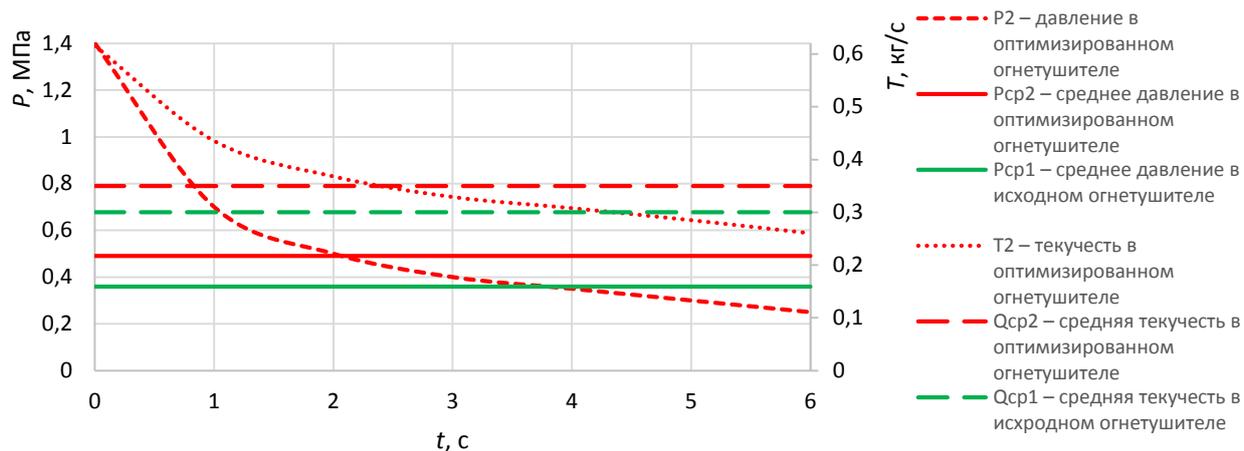


Рисунок 5. – Значение параметра давления перед насадком-распылителем

Преимуществом предлагаемой конструкции является то, что она обеспечивает полный выброс запаса огнетушащего порошка. При этом увеличивается интенсивность подачи огнетушащего вещества без увеличения давления в баллоне и потери дальности подачи. Как следует из рисунка 5, среднее значение текучести порошка увеличивается от 0,30 до 0,35 кг/с, а среднее значение давления перед насадком-распылителем увеличивается от 0,36 до 0,49 МПа. Таким образом, конструкция модельного огнетушителя позволяет уменьшить потери давления до 0,13 МПа, что приводит к увеличению давления перед насадком-распылителем. Следовательно, предлагаемая конструкция огнетушителя позволяет увеличить дальность струи огнетушащего порошка без увеличения давления в баллоне. Для экспериментального определения эффективности работы модельного огнетушителя с оптимизированной конструкцией, проведены успешные испытания по тушению модельного очага 21В по стандартной методике⁵. Проведенные испытания показали эффективность предлагаемой конструкции огнетушителя при тушении модельного очага 21В. Для комплексной оценки эффективности тушения модельным огнетушителем в дальнейшем нами планируются испытания по тушению модельного очага 1А.

Заключение. Проведена оптимизация конструкции порошкового огнетушителя, позволяющая эффективно использовать весь огнетушащий порошок, исключив при этом потери давления в сифонной трубке. Получены зависимости текучести огнетушащего порошка и давления перед насадком-распылителем от времени истечения огнетушащего заряда для оптимизированной конструкции ОП-2. Установлено, что средние значения текучести огнетушащего порошка для исходной и оптимизированной конструкции порошкового огнетушителя составляют 0,30 и 0,35 кг/с, значения давления перед насадком-

⁵ Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная техника. Огнетушители переносные. Общие технические условия: СТБ 11.13.04-2009. – Введ. 01.09.2009 (с отменой на территории РБ НПБ 1-2005). – М.: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2009. – 46 с.

распылителем – 0,36 и 0,49 МПа соответственно. Проведенные натурные испытания показали, что оптимизированная конструкция огнетушителя позволяет эффективнее проводить тушение при одинаковом исходном давлении в баллоне ($P_{исх} = 1,4$ МПа) посредством увеличения интенсивности и дальности подачи огнетушащего порошка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Собурь, С.В. Установки пожаротушения автоматические / С.В. Собурь. – М.: Спецтехника, 2003. – 55 с.
2. Кравцов, А.М. Гидравлика: практикум / А.М. Кравцов, В.С. Лахмаков, Е.В. Плискевич. – Минск: БГАТУ, 2015. – 101 с.

Оптимизация конструкции порошкового огнетушителя и исследование параметров подачи огнетушащего порошка
Optimization of powder fire extinguisher design and research parameters of fire extinguishing powder supply

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: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: zhurmark@mail.ru

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: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: zhurmark@mail.ru

Бобрышева Светлана Николаевна

кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», кафедра материаловедения в машиностроении, доцент

Адрес: 246746, Беларусь, г. Гомель, пр-т Октября, 48
e-mail: bobrusheva@tut.by

Svetlana N. Bobrysheva

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Educational Institution «Sukhoi State Technical University of Gomel», Chair of Materials Science in Mechanical Engineering, Associate Professor

Address: 246746, Belarus, Gomel, pr-t Oktyabrya, 48
e-mail: bobrusheva@tut.by

Короткевич Сергей Геннадьевич

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: korotkevichsergei@mail.ru

Sergey G. Korotkevich

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: korotkevichsergei@mail.ru

Черный Юрий Сергеевич

Гомельский филиал государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра безопасности жизнедеятельности, преподаватель

Адрес: 246023, Беларусь, г. Гомель, пр-т Речицкий, 35А
e-mail: mr.chernyu@mail.ru

Yuriy S. Chernyy

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

Address: 246023, Belarus, Gomel, pr-t Rechitskiy, 35A
e-mail: mr.chernyu@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.391>

OPTIMIZATION OF POWDER FIRE EXTINGUISHER DESIGN AND RESEARCH PARAMETERS OF FIRE EXTINGUISHING POWDER SUPPLY

Zhurov M.M., Bobrysheva S.N., Korotkevich S.G., Chernyy Yu.S.

Purpose. To optimize the design of the powder fire extinguisher, to investigate the parameters of the supply of fire extinguishing powder, to conduct full-scale tests.

Methods. Experimental determination of fluidity and residue of fire extinguishing powder in the cylinder of the fire extinguisher after its use. Theoretical studies of the value of pressure losses in front of the spray nozzle and the range of the powder jet.

Findings. The dependences of the fluidity of the extinguishing powder and the pressure in front of the spray nozzle on the expiration time of the extinguishing charge were obtained. The average values of the fluidity of the extinguishing powder and the pressure in front of the spray nozzle for the initial and optimized design of the powder extinguisher were established. The design of the fire extinguisher, which allows efficient use of all fire extinguishing powder has been proposed, the pressure losses in the design with a siphon tube have been calculated. According to the pressure and fluidity functions in front of the nozzle, it was found that in the proposed design of the fire extinguisher without increasing the initial working pressure in the cylinder, with increasing the supply of the extinguishing powder, the range of its jet also increases. The values of pressure losses in the siphon tube are calculated. The effectiveness of the proposed design of powder fire extinguisher has been practically proved.

Application field of research. The results of the study can be used to optimize the design of powder fire extinguisher.

Keywords: powder fire extinguisher, fluidity, powder residue, siphon tube, pressure loss, spray nozzle, jet range.

(The date of submitting October 7, 2019)

REFERENCE

1. Sobur S.V. *Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskie* [Automatic fire extinguishing installations]. Moscow: Spetstekhnika, 2003. 55 p. (rus)
2. Kravtsov A.M., Lakhmakov V.S., Pliskevich E.V. *Gidravlika* [Hydraulics]: tutorial. Minsk: Belarusian State Agrarian Technical University, 2015. 101 p. (rus).

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.400>

УДК 614.84:699.81

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ТЕРМИЧЕСКИ ТОНКОГО ТЕЛА, ЗАЩИЩЕННОГО ПОГЛОЩАЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ

Шаршанов А.Я.

Рассмотрена защита плоского термически тонкого тела от теплового воздействия пожара. Защита осуществляется при помощи нанесенного на поверхность тела плоского однородного слоя инертного теплопоглощающего материала. Целью работы является нахождение зависимости температуры защищенного тела от времени теплового воздействия.

Вопрос сведен к линейной задаче нестационарной теплопроводности с граничными условиями третьего рода на внешних границах системы. Ее решение осуществлялось при помощи преобразований Лапласа по временной переменной.

Впервые получено аналитическое решение данной задачи при стационарных граничных условиях третьего рода. Оно представлено в безразмерном (критериальном) виде как зависимость относительной избыточной температуры термически тонкого тела от пяти критериев: 1) критерия Фурье для задачи прогрева теплозащитного слоя; 2) двух критериев Био; 3) отношения поверхностных теплоемкостей покрытия и термически тонкого тела; 4) относительной избыточной температуры среды с необогреваемой стороны. Зависимость температуры термически тонкого тела от времени имеет вид бесконечного ряда, слагаемые которого экспоненциально убывают с ростом времени. Получен явный вид зависимости слагаемых ряда от параметров задачи. Указан явный вид характеристического уравнения задачи и интервалы единственности корней этого уравнения, что значительно упрощает получение численного значения данных корней. Показано, что для большинства расчетов температуры достаточно двух первых членов соответствующего ряда.

На основе найденных соотношений в явном виде получены формулы функциональной зависимости предела огнестойкости от параметров термически тонкого тела и защитного покрытия. Полученные результаты позволяют рассчитывать предел огнестойкости защищенных металлических конструкций. Расширить применение полученных соотношений на металлические конструкции неплоского сечения можно, используя вместо толщины защищенных металлических конструкций их приведенную толщину.

Ключевые слова: термически тонкое тело, теплопоглощающее покрытие, нестационарная теплопроводность, предел огнестойкости.

(Поступила в редакцию 15 июля 2019 г.)

Введение. Пожар означает наличие представляющих опасность высокотемпературных источников тепла. Защита от их влияния является одной из основных проблем пожарной безопасности. Распространенным способом пассивной защиты термически тонкого тела (ТТТ) от данного источника опасности является использование защитных покрытий. В качестве инертного защитного покрытия чаще всего выступает наносимый на поверхность ТТТ поглощающий тепло слой защитного материала. Он либо вообще не допускает нагревания защищаемой поверхности до критического уровня температуры, либо отодвигает время его наступления.

Среди защищаемых объектов существенную часть составляют металлические конструкции. Такая ситуация вызвана относительно быстрым их нагреванием в условиях пожара.

Проблеме защиты металлических конструкций посвящено большое количество теоретических и экспериментальных исследований. В нормативных документах, например, в

Еврокодах^{1,2,3}, даны конкретные рекомендации по оценке их огнестойкости. В связи с актуальностью проблематики исследования продолжаются [1, 2].

Теоретические работы по определению предела огнестойкости защищенных металлических конструкций, как и нормативные документы, предполагают численное решение соответствующих задач. Отсутствие аналитических результатов (даже в линейной постановке задачи прогрева) является следствием сложности ситуации. В настоящем исследовании защищаемое тело является термически тонким, что позволило упростить математическую модель задачи и найти ее решение.

Целью данной работы является получение соотношений для расчета температуры поверхности ТТТ (например, металлической стенки резервуара), защищаемого от внешнего теплового воздействия слоем инертного (не меняющего свою структуру в ходе нагревания) теплоизоляционного материала.

Вопрос формально сводится к решению задачи нестационарной теплопроводности в системе, состоящей из ТТТ, отделенного от падающего теплового потока пластиной конечной толщины. Внешние воздействия задаются как граничные условия на поверхностях этой пластины. Такая задача давно сформулирована, известна методика ее решения, однако обзорные аналитические решения найдены только в случае граничных условий первого рода [3]. Что касается граничных условий третьего рода, характеризующихся наличием конвекционного теплообмена защитного покрытия с внешней средой, аналитические решения отсутствуют.

Основная часть. В работе данная проблема традиционно рассматривается как одномерная задача прогрева плоской термически тонкой пластины, отделенной от внешнего теплового потока пластиной толщиной h , состоящей из защитного вещества. Схематично ситуация изображена на рисунке 1, где защитной пластине соответствуют значения пространственной координаты $0 < x < h$, а тонкому телу – $x = h$.

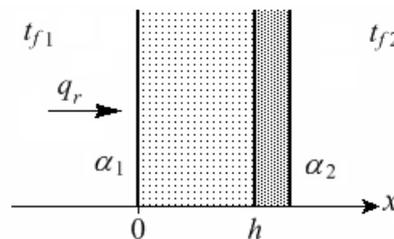


Рисунок 1. – Пространственная схема взаимного расположения защитной пластины, термически тонкого тела, омывающих сред и лучистого потока тепла

Уравнение нестационарной теплопроводности, определяющее поле температур $t(x, \tau)$ в защитном слое, имеет вид:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq h; \quad (1)$$

где a – коэффициент температуропроводности материала защитного слоя. Он равен

$$a = \frac{\lambda}{c'}, \quad \text{м}^2/\text{с},$$

¹ Actions on structures: Eurocode 1. Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire: EN 1991-1-2:2002. – Brussels: European committee for standardization, 2002. – 61 p.

² Design of steel structures: Eurocode 3. Part 1–2: General rules – Structural fire design: EN 1993-1-2:2005. – Brussels: European committee for standardization, 2005. – 78 p.

³ Design of aluminium structures: Eurocode 9. Part 1–2: General rules – Structural fire design: EN 1999-1-2:2007. – Brussels: European committee for standardization, 2007. – 61 p.

где λ и c' – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$, и удельная объемная изобарная теплоемкость, $\text{Дж}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{К}^{-1}$, соответственно.

Граничные условия к уравнению (1) имеют вид [3]:

1) Условие на облучаемой поверхности ($x = 0$), выражающее непрерывность полного потока тепла:

$$-\lambda \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=0} = q_r - \alpha_1 [t(0, \tau) - t_{f1}], \quad (2)$$

где q_r – результирующая плотность потока теплового излучения, падающего на поверхность, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$; α_1 – коэффициент конвективной теплоотдачи с данной поверхности в среду, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$; t_{f1} – температура среды с соответствующей стороны, $^{\circ}\text{C}$.

2) Условиями на противоположной стороне покрытия ($x = h$) являются, соответственно, непрерывность температуры и баланс энергии в ТТТ:

$$t(h, \tau) = t_*(\tau); \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=h} = c_*'' \frac{dt_*(\tau)}{d\tau} + \alpha_2 [t_*(\tau) - t_{f2}], \quad (4)$$

где $t_*(\tau)$ – температура ТТТ, $^{\circ}\text{C}$; c_*'' – удельная поверхностная теплоемкость ТТТ, $\text{Дж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$, равная

$$c_*'' = c'_* h_*, \quad (5)$$

где c'_* и h_* – соответственно, удельная объемная изобарная теплоемкость материала ТТТ, $\text{Дж}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{К}^{-1}$, и его толщина, м; α_2 – коэффициент конвективной теплоотдачи со свободной поверхности ТТТ, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-1}$; t_{f2} – температура среды с соответствующей стороны (рис. 1), $^{\circ}\text{C}$.

Начальным условием задачи (1)–(5) взято однородное распределение температуры в покрытии и ТТТ ($0 \leq x \leq h$):

$$t(x, 0) = t_0, \quad (6)$$

где t_0 – считающаяся известной начальная температура, $^{\circ}\text{C}$.

Напомним, что тело является термически тонким, если можно пренебрегать изменением температуры в его пределах. В нашем случае это требование обеспечивается выполнением условия малости критерия Био задачи теплоотдачи ТТТ во внешнюю среду:

$$Bi_* = \frac{\alpha_2 h_*}{\lambda_*} \ll 1, \quad (7)$$

где λ_* – коэффициент теплопроводности материала ТТТ, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$.

Задача (1)–(5) в случае неизменности величин a , λ , c'_* , q_r , α_1 , α_2 , t_{f1} , t_{f2} решается с помощью преобразования Лапласа, проведенного по временной переменной нестационарного поля $t(x, \tau)$ [3]. В результате происходит переход к изображениям по Лапласу. Последние удовлетворяют линейной системе обыкновенных дифференциальных уравнений относительно пространственной переменной x . Методика решения таких систем широко известна, в связи с чем мы опустим выкладки. Результат для интересующего нас изображения по Лапласу разности температур ТТТ

$$t_L(x, s) \equiv \int_0^{\infty} [t(x, \tau) - t_0] \exp(-s \tau) d\tau \quad (8)$$

имеет вид

$$t_{*L}(s) = \frac{Bi_1(t_{\max 1} - t_0) + \left(ch(\varphi) + Bi_1 \frac{sh(\varphi)}{\varphi} \right) Bi_2(t_{f2} - t_0)}{D(s)}, \quad (9)$$

где

$$D(s) = s \left([Bi_1 + Bi_2 + C\varphi^2] ch(\varphi) + [Bi_1 Bi_2 + (1 + C Bi_1)\varphi^2] \frac{sh(\varphi)}{\varphi} \right). \quad (10)$$

В формулах (9)–(10) использована безразмерная переменная

$$\varphi \equiv \sqrt{s\tau_0}, \quad (11)$$

в записи которой фигурирует характерное время прогрева покрытия

$$\tau_0 = \frac{h^2}{a}. \quad (12)$$

При записи соотношений (9), (10) использованы обозначения:

1) критерий Био для задачи теплоотдачи покрытия

$$Bi_1 = \frac{\alpha_1 h}{\lambda}, \quad Bi_2 = \frac{\alpha_2 h}{\lambda}; \quad (13)$$

2) отношение поверхностных теплоемкостей слоев ТТТ и покрытия

$$C = \frac{c_*''}{c''} = \frac{c_*' h_*}{c' h}, \quad (14)$$

где c'' – удельная поверхностная теплоемкость покрытия, Дж·м⁻²·К⁻¹:

$$c'' = c' h; \quad (15)$$

3) эффективная температура горячей среды

$$t_{\max 1} = \frac{q_r}{\alpha_1} + t_{f1}. \quad (16)$$

Применение обратного преобразования Лапласа к выражению (9) дает результат

$$t_*(\tau) - t_0 = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{Bi_1(t_{\max 1} - t_0) + Bi_2(t_{f2} - t_0) \left(ch(\varphi_n) + Bi_1 \frac{sh(\varphi_n)}{\varphi_n} \right)}{\left. \frac{dD}{ds} \right|_{s=s_n}} e^{s_n \tau}, \quad (17)$$

где суммирование производится по корням s_n характеристического уравнения

$$D(s) = 0. \quad (18)$$

Из-за позитивности всех коэффициентов в выражении (10) уравнение (18) не имеет действительных корней. С целью оперирования действительными параметрами сделаем замену переменных от φ к μ :

$$\varphi = i\mu, \quad (19)$$

где $i = \sqrt{-1}$.

В этих переменных характеристическое уравнение (18) принимает вид:

$$\operatorname{tg} \mu = -\mu \frac{Bi_1 + Bi_2 - C\mu^2}{Bi_1 Bi_2 - (1 + C Bi_1)\mu^2}. \quad (20)$$

Отметим, что уравнение (20) имеет решение $\mu = \mu_0 = 0$, соответствующее решению $s = s_0 = 0$ уравнения (18). Структура уравнения (20) такова, что, если μ_n является решением этого уравнения, то и $-\mu_n$ – решение. Последнее означает, что для учета всех решений s_n ($n = 1, 2, \dots$) уравнения (18) достаточно рассмотреть все положительные решения μ_n уравнения (20). Также отметим, что согласно формулам (11) и (19) выполняется соотношение

$$s_n = -\frac{\mu_n^2}{\tau_0}. \quad (21)$$

Расположение корней характеристического уравнения (20) можно проиллюстрировать нанесенными на одно поле графиками двух функций (рис. 2):

$$y_1(\mu) = \operatorname{tg} \mu; \quad (22)$$

$$y_2(\mu) = -\mu \frac{Bi_1 + Bi_2 - C\mu^2}{Bi_1 Bi_2 - (1 + C Bi_1)\mu^2}. \quad (23)$$

Абсциссы точек пересечения графиков функций $y_1(\mu)$ и $y_2(\mu)$ совпадают с корнями уравнения (20).

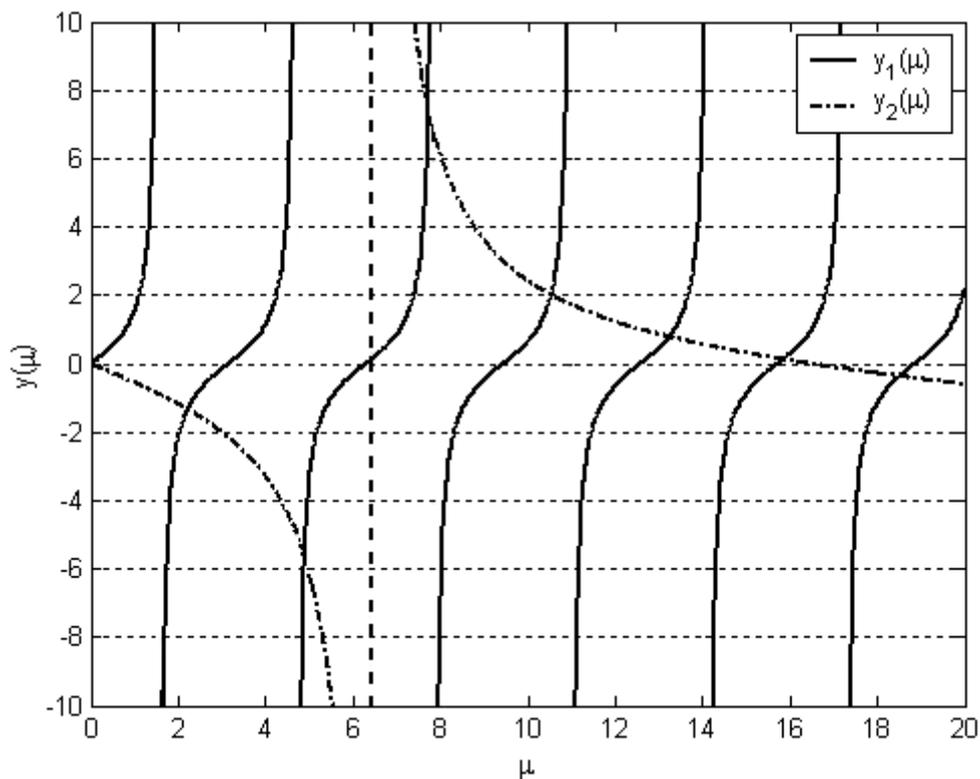


Рисунок 2. – Графики составляющих характеристического уравнения (20) (при $Bi_1 = 2$; $Bi_2 = 25$; $C = 0,1$)

В каждом из периодов $\omega(n) = ((n - 0,5)\pi; (n + 0,5)\pi)$, где n – целое число, периодическая функция $y_1(\mu)$ монотонно возрастает от $-\infty$ к $+\infty$. Функция $y_2(\mu)$ не имеет конечных разрывов. Из двух предыдущих утверждений вытекает, что в каждом из интервалов $\omega(n)$ функции $y_1(\mu)$ и $y_2(\mu)$ пересекаются хотя бы один раз.

Уточним последнее утверждение. Для этого введем положительную координату μ_b точки разрыва функции $y_2(\mu)$. Согласно определению функции $y_2(\mu)$ (23)

$$\mu_b = \sqrt{\frac{Bi_1 Bi_2}{1 + C Bi_1}}. \quad (24)$$

Из характера монотонности функций $y_1(\mu)$ и $y_2(\mu)$ следует:

а) если точка $\mu_b \notin \omega(n)$, то в интервале $\omega(n)$ существует только одна точка пересечения функций $y_1(\mu)$ и $y_2(\mu)$, что дает один корень уравнения (20);

б) если $\mu_b \in \omega(n)$ и $n \neq 0$, то в интервале $\omega(n)$ существуют две точки пересечения функций $y_1(\mu)$ и $y_2(\mu)$, что дает два корня уравнения (20); меньший из этих корней $\mu^<$ находится в интервале $\mu^< \in ((n - 0,5)\pi; \mu_b)$, больший корень $\mu^>$ попадает в интервал $\mu^> \in (\mu_b; (n + 0,5)\pi)$;

в) если $\mu_b \in \omega(0)$, то в неотрицательной части интервала $\omega(0)$ кроме корня $\mu_0 = 0$ существует корень $\mu_1 > 0$ уравнения (20); корень μ_1 принадлежит интервалу $\mu_1 \in (\mu_b; 0,5\pi)$.

Ненулевые корни уравнения (20) являются функциями четырех переменных: $\mu_n = \mu(n, Bi_1, Bi_2, C)$. Численные значения корней находились с использованием стандартных компьютерных программ. (Из-за того, что количество переменных превышает 2, графическое или табличное представления значений μ_n нецелесообразно.)

Отметим важную особенность зависимости величин μ_n от n , которая является следствием расположения последовательных корней μ_n и μ_{n+1} большей частью в соседних областях ω . Из-за того, что соседние области ω сдвинуты на расстояние π , реализуется оценка

$$\mu_n = (n + \delta n)\pi, \quad (25)$$

в которой поправка $|\delta n| < 1$. Такая ситуация зачастую позволяет в сумме (17) ограничиться небольшим количеством первых слагаемых.

Согласно соотношению (17) при определении величины температуры надо рассчитывать безразмерную величину $\left. \frac{dD}{ds} \right|_{s=s_n}$. Опираясь на соотношения (10), (11) и (19), можно показать, что

$$\left. \frac{dD}{ds} \right|_{s=s_0=0} = Bi_1 + Bi_2 + Bi_1 Bi_2; \quad (26)$$

$$\left. \frac{dD}{ds} \right|_{s=s_n \neq 0} = \frac{1}{2} \cos \mu_n (Bi_1 Bi_2 - [1 + 2C + C Bi_1] \mu_n^2) - \frac{1}{2} \frac{\sin \mu_n}{\mu_n} (Bi_1 Bi_2 + [1 + Bi_1 + Bi_2 + C Bi_1] \mu_n^2 - C \mu_n^4). \quad (27)$$

Придадим безразмерный (критериальный) вид выражению (17). Для этого введем:

1) относительную избыточную температуру ТГТ

$$\theta \equiv \frac{t_*(\tau) - t_0}{t_{\max 1} - t_0}; \quad (28)$$

2) относительную избыточную температуру среды со второй стороны ТГТ

$$\theta_{f2} \equiv \frac{t_{f2} - t_0}{t_{\max 1} - t_0}; \quad (29)$$

3) безразмерное время процесса (критерий Фурье):

$$Fo \equiv \frac{\tau}{\tau_0} = \frac{a\tau}{h^2}. \quad (30)$$

В этих переменных выражение (17) приобретает полностью безразмерный вид:

$$\theta(Fo, Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2}) = \sum_{n=0}^{\infty} \theta_n(Fo, Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2}). \quad (31)$$

Слагаемые ряда (31) экспоненциально убывают со временем

$$\theta_n(Fo, Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2}) = A_n(Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2}) \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (32)$$

а

$$A_n(Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2}) = \frac{Bi_1 + Bi_2 \theta_{f2} \left(\cos(\mu_n) + Bi_1 \frac{\sin(\mu_n)}{\mu_n} \right)}{\left. \frac{dD}{ds} \right|_{s=s_n}}, \quad (33)$$

где знаменатель дроби (33) описан формулой (27).

На рисунке 3 приведен график зависимости от Fo слагаемых ряда (31) для нескольких начальных значений n и частичных сумм ряда (31) θ_{sum} для N начальных слагаемых:

$$\theta_{sum}(N, Fo, Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2}) \equiv \sum_{n=0}^{N-1} \theta_n(Fo, Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2}). \quad (34)$$

Графики на рисунке 3 показывают, что если не интересоваться диапазоном малых значений времени $Fo \ll 1$, то при расчетах θ достаточно использовать два первых слагаемых ряда (31). Последнее обстоятельство объясняется существованием оценки (25) и множителем $\exp(-\mu_n^2 Fo)$ в выражении (32). Так, в случае, изображенном на рисунке 3 ($Bi_1 = 2$; $Bi_2 = 25$; $C = 0,1$), $\mu_1 \approx 2,215$; $\mu_2 \approx 4,888$; $\mu_3 \approx 7,722$, что при $Fo = 0,5$ дает оценки:

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} < \exp[-(\mu_2^2 - \mu_1^2) Fo] \approx \exp(-19,0 \cdot 0,5) \approx 7,5 \cdot 10^{-5};$$

$$\frac{\theta_3}{\theta_2} < \exp[-(\mu_3^2 - \mu_2^2)Fo] \approx \exp(-35,7 \cdot 0,5) \approx 1,8 \cdot 10^{-8}.$$

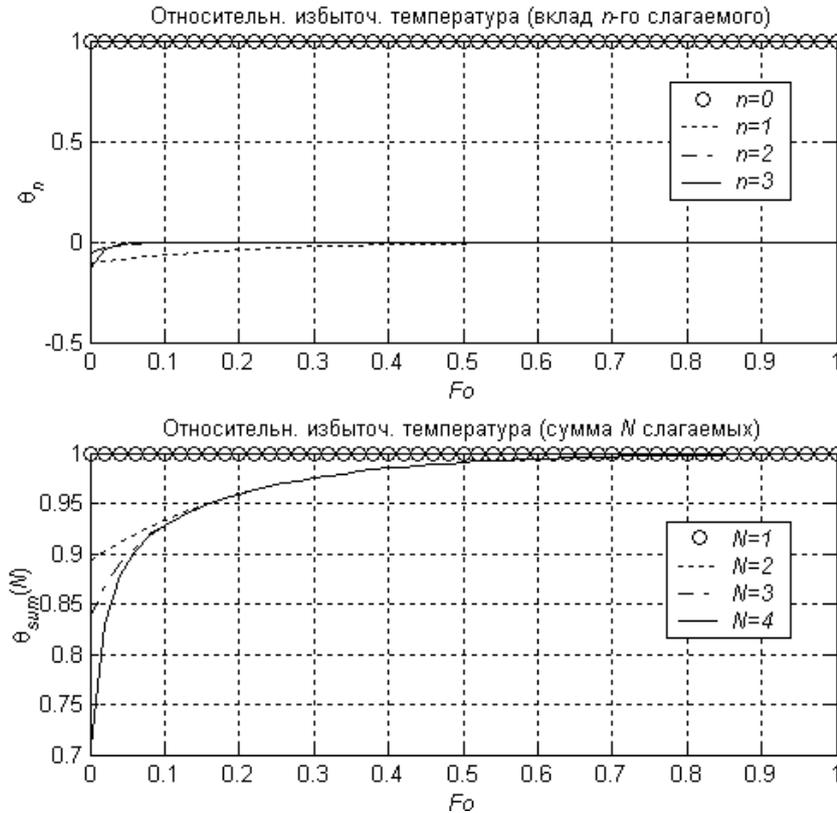


Рисунок 3. – Графики зависимости слагаемых ряда (31) θ_n и частичных сумм этого ряда θ_{sum} от критерия Fo при $Bi_1 = 2$; $Bi_2 = 25$; $C = 0,1$; $\theta_{f2} = 1$

Если, решая задачу пожарной безопасности, задаваться критическим уровнем температуры ТТТ t_{cr} или ее безразмерным аналогом

$$\theta_{cr} \equiv \frac{t_{cr} - t_0}{t_{max1} - t_0}, \quad (35)$$

эта критическая температура θ_{cr} будет связана с безразмерным временем Fo соотношением [4]

$$\theta_{cr} = \theta(Fo, Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2}). \quad (36)$$

Зависимость критического значения безразмерного времени Fo_{cr} от критической температуры θ_{cr} можно получить, разрешив уравнение (36) относительно переменной Fo . При достаточно больших временах, когда критерий Фурье Fo больше или порядка единицы, такую операцию можно проделать явно. Как отмечалось ранее, в этом случае от ряда (31) можно оставить два первых слагаемых, и тогда

$$\theta(Fo, Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2}) = A_0 + A_1 \exp(-\mu_1^2 Fo), \quad (37)$$

где

$$A_0(Bi_1, Bi_2, \theta_{f2}) = \frac{Bi_1 + Bi_2 \theta_{f2} (1 + Bi_1)}{Bi_1 + Bi_2 (1 + Bi_1)},$$

а амплитуда $A_1(Bi_1, Bi_2, C, \theta_{f2})$ определяется формулой (33). Корень $\mu_1(Bi_1, Bi_2, C)$ характеристического уравнения (20) приходится получать численно. Область его единственности зависит от величины параметра μ_b (24): при $\mu_b \in (0; 0,5\pi)$ корень $\mu_1 \in (\mu_b; 0,5\pi)$; при $\mu_b \in (0,5\pi; 1,5\pi)$ корень $\mu_1 \in (0,5\pi; \mu_b)$; при $\mu_b \in (1,5\pi; +\infty)$ корень $\mu_1 \in (0,5\pi; 1,5\pi)$.

Решая уравнение (36) в области адекватности формулы (37), получим зависимость критического значения безразмерного времени Fo_{cr} от критической температуры θ_{cr} :

$$Fo_{cr} = \frac{1}{\mu_1^2} \ln \left| \frac{A_1}{A_0 - \theta_{cr}} \right| \quad (38)$$

или в размерном виде для предела огнестойкости

$$\tau_{cr} = \tau_0 Fo_{cr} = \frac{h^2}{a} \frac{1}{\mu_1^2} \ln \left| \frac{A_1}{A_0 - \theta_{cr}} \right|. \quad (39)$$

Отметим, что полученные результаты можно использовать при расчете предела огнестойкости защищенных металлических конструкций не только плоского сечения. Т. к. можно считать, что ТТТ на всех свои участках имеет одну и ту же температуру, при его нагреве важна не столько толщина, сколько отношение объема ТТТ к площади поверхности теплообмена, называемое «приведенной толщиной». Это означает, что при расчете предела огнестойкости необходимо вместо толщины защищаемого металлического слоя подставлять приведенную толщину защищаемой конструкции.

Заключение. Рассмотрена защита плоского термически тонкого тела от внешнего теплового воздействия при помощи нанесенного покрытия, представляющего собой плоский однородный слой инертного теплопоглощающего материала. Вопрос сведен к линейной задаче нестационарной теплопроводности с граничными условиями третьего рода на внешних границах системы.

Аналитическое решение задачи представлено в безразмерном (критериальном) виде как зависимость относительной избыточной температуры термически тонкого тела от пяти критериев: 1) критерия Фурье для задачи прогрева теплозащитного слоя; 2) двух критериев Био; 3) отношения поверхностных теплоемкостей покрытия и термически тонкого тела; 4) относительной избыточной температуры среды с необогреваемой стороны. Зависимость температуры термически тонкого тела от времени имеет вид бесконечного ряда, слагаемые которого экспоненциально убывают с ростом времени. Получен явный вид зависимости слагаемых ряда от параметров задачи и решений ее характеристического уравнения. Существенным усложнением характеристического уравнения (по сравнению с ситуацией прогрева одиночного слоя) стало появление зависимости от отношения поверхностных теплоемкостей защитного слоя и термически тонкого тела. Указан явный вид характеристического уравнения и интервалы единственности корней этого уравнения, что значительно упрощает получение численного значения данных корней. Показано, что для большинства расчетов температуры достаточно двух первых членов соответствующего ряда.

На основе найденных соотношений в явном виде получены формулы функциональной зависимости предела огнестойкости от параметров защитного покрытия и термически тонкого тела. Полученные результаты можно использовать при расчете предела огнестойкости защищенных металлических конструкций. Для расширения области применения полученных соотношений на металлические конструкции неплоского сечения необходимо вместо толщины защищаемого металлического слоя использовать его приведенную толщину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голованов, В.И. Огнезащита стальных конструкций плитным материалом PYRO-SAFE AESTUVER T / В.И. Голованов, В.В. Павлов, А.В. Пехотиков // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 11. – С. 8–16. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.8-16.
2. Голиков, А.Д. Способ огнезащиты обделки транспортных тоннелей из чугунных тубингов / А.Д. Голиков, Е.Ю. Черкасов, А.И. Данилов, И.А. Сиваков // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 12. – С. 22–29. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.22-29.
3. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.
4. Шаршанов, А.Я. О критериях пожарной безопасности / А.Я. Шаршанов // Проблемы пожарной безопасности. – 2018. – Вып 44. – С. 176–182.

**Расчет предела огнестойкости термически тонкого тела,
защищенного поглощающим покрытием**

Calculation of the protection of a thermal thin body protected by an absorbent coating

Шаршанов Андрей Янович

кандидат физико-математических наук, доцент

Национальный университет гражданской
защиты Украины, кафедра специальной
химии и химической технологии, доцент

Адрес: 61023, Украина, г. Харьков,
ул. Чернышевская, 94

e-mail: sharshanov59@gmail.com

Andrey Ya. Sharshanov

PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor

National University of Civil Defence of Ukraine,
Department of Special Chemistry and Chemical
Technology, Assistant Professor

Address: 61023, Ukraine, Kharkov,
ul. Chernyshevskaya, 94

e-mail: sharshanov59@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.400>

CALCULATION OF THE PROTECTION OF A THERMAL THIN BODY PROTECTED BY AN ABSORBENT COATING

Sharshanov A.Ya.

Purpose. The protection of a flat thermally thin body from the heat effect of a fire is considered. Protection is carried out using a flat uniform layer of inert heat absorbing material applied to the body surface. The aim of the work is to find the dependence of the temperature of the protected body on the time of exposure.

Methods. The problem is reduced to a linear task of unsteady heat conduction with boundary conditions of the third kind at the external boundaries of the system. The solution was performed using the Laplace transform of time variable.

Findings. For the first time, an analytical solution of this problem under stationary boundary conditions of the third kind was obtained. It is presented in a dimensionless (criterial) form, as the dependence of the relative excess temperature of a thermally thin body on five criteria: 1) the Fourier criterion of the problem of heating the heat-shielding layer; 2) two criteria of Bio; 3) the ratio of the surface heat capacities of the coating and the thermally thin body; 4) relative excess temperature of the medium on the unheated side. The temperature dependence of a thermally thin body on time has the form of an infinite series, the terms of which exponentially decrease with increasing time. An explicit form of the dependence of the terms of the series on the parameters of the problem is obtained. The explicit form of the characteristic equation of the problem and the intervals of uniqueness of the roots of this equation are indicated, which greatly simplifies obtaining the numerical value of these roots. It is shown that for most temperature calculations the first two terms of the corresponding series are sufficient.

Application field of research. Based on the obtained relations, formulas for the explicit functional dependence of the fire resistance on the parameters of the thermally thin body and the protective coating are written. The results obtained allow calculating the fire resistance limit of metal structures with protection. The introduction of the reduced thickness of structures instead of the thickness make it possible to apply the relations to the metal structures of non-flat section.

Keywords: thermally thin body, heat-absorbing coating, non-stationary thermal conductivity, fire resistance limit.

(The date of submitting: July 15, 2019)

REFERENCES

1. Golovanov V.I., Pavlov V.V., Pekhotikov A.V. Ognezashchita stal'nykh konstruktsiy plitnym materialom PYRO-SAFE AESTUVER T [Fire protection of steel structures with slab material PYRO-SAFE AESTUVER T]. *Fire and Explosion Safety*, 2016. No. 25 (11). Pp. 8–16. (rus) DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.8-16.
2. Golikov A.D., Cherkasov E.Y., Danilov A.I., Sivakov I.A. Sposob ognezashchity obdelki transportnykh tonneley iz chugunnykh tyubingov [Method fire protection of cast iron tunnel lining]. *Fire and Explosion Safety*, 2016. No. 25 (12). Pp. 22–29. (rus) DOI: 10.18322/PVB.2016.25.12.22-29.
3. Lykov A.V. *Teoriya teploprovodnosti* [Theory of heat conduction]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1967. 600 p. (rus)
4. Sharshanov A.Ya. O kriteriyakh pozharnoy bezopasnosti [On the criteria for fire safety]. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, 2018. No. 37. Pp. 166–172. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.412>

УДК 536.46+614.841.123.24

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВИДИМОСТИ ПРИ ПОЖАРЕ

Суриков А.В., Лешенюк Н.С.

Цель. Разработать методику расчета видимости при пожаре, основанную на математической модели распространения оптического излучения через рассеивающую среду и дополненную учетом цветовой гаммы интерьера помещений, доли сгоревшего материала и количественными характеристиками пожарной нагрузки.

Методы. Моделирование динамики задымления помещения в условиях пожара.

Результаты. Разработана методика расчета видимости пожара, основанная на математической модели распространения оптического излучения в рассеивающей среде и дополненная учетом цвета внутренней части помещений, комплексной оценкой дымообразующей способности пожарной нагрузки и долей ее сгорания. Описана методика определения значений и применения параметров для моделирования видимости при пожаре.

Область применения исследований. Результаты исследования могут быть применены при моделировании пожаров.

Ключевые слова: моделирование, видимость, дымообразующая способность, удельный выход дыма, фактор видимости, удельный показатель экстинкции, освещенность, коэффициент отражения.

(Поступила в редакцию 14 октября 2019 г.)

Введение. Своевременная эвакуация людей при пожаре зависит от динамики его развития и скорости проведения аварийно-спасательных работ по их поиску и спасению. Следует учитывать, что в зоне пожара аварийно-спасательные работы выполняются при воздействии опасных факторов пожара (ОФП), что влияет на скорость их проведения. Критерием успешной эвакуации является выход в безопасную зону до наступления критических значений ОФП¹. Критическая продолжительность пожара по потере видимости, зависящей от оптической плотности дыма, как правило, достигается быстрее критических значений других ОФП².

В настоящее время существует ряд моделей, позволяющих оценить динамику задымления в помещении при пожаре [1–3]. Наиболее востребованными являются интегральная и полевая модель развития пожара. Основные методы решения задачи оценки видимости в помещении, применяемые при проектировании объектов, приведены в утвержденной методике³ и ГОСТ 12.1.004-91. Вместе с тем в практике моделирования распространения оптического излучения в условиях пожара и, следовательно, изменения видимости в указанных нормативных документах в настоящее время не учитывается влияние ряда параметров – цветовой гаммы интерьера помещений, доли сгоревшего материала при определении коэффициента дымообразования и аддитивных свойств пожарной нагрузки (т. е. ее количественных характеристик). При применении полевой модели развития пожара в качестве параметров моделирования дымообразования применяется удельный выход дыма Y_s и массовый коэффициент экстинкции σ_s .

¹ Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.1992. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР: М-во внутренних дел СССР, М-во химической промышленности СССР, 1996. – 83 с.

² См. сн. 1.

³ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России, 30 июня 2009 г., № 382: в ред. приказ. МЧС России, 2 дек. 2015 г., №632 // МЧС России. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/normativnye-pravovye-akty-mchs-rossii/668>. – Дата доступа: 22.02.2019.

В настоящей работе представлена методика расчета видимости в помещении при пожаре, основанная на модели распространения оптического излучения через рассеивающую среду, которая принимает во внимание все указанные выше параметры.

Основные соотношения физических величин, характеризующих видимость в помещении в условиях пожара. Численным критерием видимости в условиях пожара служит отношение яркости объекта к яркостному порогу зрения человека $B_{кр}$ [1].

Яркостный порог зрения человека $B_{кр}$ в условиях задымления зависит от предельной видимости $l_{пр}$ и начальной освещенности поверхности E_0 :

$$B_{кр} = \frac{\alpha E_0}{\pi} e^{-kl_{пр}}, \quad (1)$$

где $B_{кр}$ – яркостный порог зрения человека в условиях задымления, кд/м² (принимается равным 0,302 кд/м²); α – коэффициент отражения поверхности (далее – коэффициент отражения); E_0 – начальная освещенность поверхностей, лк; k – коэффициент ослабления оптического излучения (далее – коэффициент ослабления), м⁻¹; $l_{пр}$ – предельная видимость в дыму, м [1].

Предельная видимость в дыму в зависимости от времени горения пожарной нагрузки $l_{пр}(\tau)$ определяется по формуле:

$$l_{пр}(\tau) = \frac{1}{k(\tau)} \ln \left(\frac{\alpha E_0}{\pi B_{кр}} \right) = \frac{C}{k(\tau)}, \quad (2)$$

где $C = \ln(\alpha E_0 / \pi B_{кр})$ – фактор видимости (безразмерная характеристика типа объекта наблюдения).

Фактор видимости C зависит от коэффициента отражения α , который определяется исходя из материала отражающей поверхности, ее окраски и условий эксплуатации помещения. В частности, накопление темной пыли на поверхности строительных конструкций значительно снижает значение C . Начальная освещенность объекта наблюдения E_0 зависит от назначения помещения и пространственного распределения света на вертикальной поверхности. В работе [4] приведен расчет фактора видимости C и показано, что его значение при определенных начальных условиях может как превышать, так и быть значительно меньше стандартного значения⁴, равного 2,38.

Одним из определяющих параметров, влияющих на коэффициент ослабления k , является дымообразующая способность пожарной нагрузки D . Данный параметр, как правило, принимается равным коэффициенту дымообразования D_m [1], рассчитываемому по результатам проведения стандартных испытаний⁵. Недостатком данного подхода является отсутствие учета при определении D_m доли сгоревшего материала при проведении испытаний⁶, что в свою очередь вносит определенную погрешность при расчете динамики задымления.

Пожарная нагрузка большинства помещений состоит из различных горючих материалов, каждому из которых соответствует определенное значение D_m . Известно, что пожарная нагрузка обладает аддитивными свойствами [1, 5], поэтому определение ее дымообразующей способности требует учитывать долю составляющих ее материалов.

Таким образом, при расчете видимости в условиях задымления необходимо учитывать цвет интерьера помещений, комплексную оценку дымообразующей способности пожарной нагрузки, определяемой ее количественным составом, и долю сгорания материалов при определении коэффициента дымообразования.

⁴ См. сн. 1.

⁵ Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89. – Взамен ГОСТ 12.1.044-84; введ. 17.12.92. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – С. 74–76.

⁶ Там же.

Порядок расчета видимости в условиях пожара по интегральной модели. Для расчета видимости в условиях пожара необходимо определить:

- дымообразующую способность пожарной нагрузки D ;
- начальную освещенность E_0 ;
- коэффициент отражения α .

Дымообразующая способность материалов, составляющих пожарную нагрузку, определяется одним из следующих способов:

- принимается равной коэффициенту дымообразования D_m , рассчитанному по результатам испытания материала в режиме пламенного горения;
- из справочных данных (технических нормативных правовых актов, справочных изданий⁷ и др.).

В случае, когда пожарная нагрузка состоит из n различных материалов, необходимо определить их массовую долю M_i .

При расчете коэффициента дымообразования материалов по результатам испытаний⁸ необходимо учитывать значение коэффициента $A_{дсм}$ – доли сгоревшей массы материалов:

$$D_m = \frac{V}{A_{дсм} mL} \ln \left(\frac{I_0}{I} \right), \quad (3)$$

где D_m – коэффициент дымообразования, м²/кг; V – объем испытательной камеры, м³; m – начальная масса образца, кг; L – длина пути оптического луча, м; I_0 – интенсивность падающего света; I – интенсивность прошедшего света.

При отсутствии экспериментальных данных по коэффициенту $A_{дсм}$ допускается принимать его равным 0,8 для материалов на основе древесины и 0,75 для изделий из синтетических полимеров [4].

В случае, если пожарная нагрузка состоит из n различных горючих материалов, дымообразующая способность рассчитывается по формуле:

$$D = \sum_{i=1}^n M_i D_{m,i}, \quad (4)$$

где M_i – массовая доля i -того материала от общей массы горючих материалов; $D_{m,i}$ – коэффициент дымообразования i -того материала, м²/кг.

Начальная освещенность поверхностей E_0 определяется согласно техническим нормативным правовым актам, а в случаях отсутствия значений для рассматриваемого помещения допускается принимать ее равной 50 лк или определять путем измерения [1].

Коэффициент отражения α представляет собой отношение светового потока, отраженного от поверхности, к падающему на нее световому потоку. Данный параметр определяется в зависимости от цветовой отделки интерьера. Значения коэффициента отражения α определяется в зависимости от цветовой гаммы отделки помещения и ее материалов⁹.

Зависимость коэффициента ослабления $k(\tau)$ от времени горения определяется по формуле:

$$k(\tau) = \frac{BDz}{V_{св}} \left(1 - \exp \left(-\frac{A}{B} \tau^n \right) \right), \quad (5)$$

⁷ Пожарная нагрузка. Справочник. Документ / Редакция 2 / 15.05.2014 / СИТИС-СПН-1 [Электронный ресурс] / Техническая информация – Инженерный справочник DPVA.ru. – Режим доступа: <http://forum.sitis.ru/viewtopic.php?f=18&t=1044>. – Дата доступа 22.09.2019.

⁸ См. сн. 5.

⁹ Строительные нормы. Указания по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий: СН 181-70. – Введ. 01.10.1970. – М.: Стройиздат, 1972. – 76 с.

где B – параметр, зависящий от теплоты сгорания горючего материала и свободного объема помещения, кг; A – параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала и площадь пожара, кг·с⁻¹; $V_{св}$ – свободный объем помещения, м³; z – безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте; n – показатель степени, который зависит от характера распространения пламени (при круговом распространении принимается равным 3, при распространении горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени, – 2).

Параметры A , B и z определяются по стандартной методике¹⁰.

Предельная видимость в заданный момент времени определяется по формуле (2).

Расчет видимости в полевой модели развития пожара проводится с применением программных комплексов, одним из которых является Fire Dynamics Simulator (FDS).

Для расчета времени достижения предельной заданной видимости в FDS необходимо определить:

- удельный массовый показатель (коэффициент) экстинкции σ_s ;
- удельный выход дыма для заданной химической реакции Y_s ;
- начальную освещенность E_0 и коэффициент отражения α ;
- фактор видимости C ;
- коэффициент ослабления k , соответствующий заданной предельной видимости $l_{пр}$.

Удельный массовый показатель экстинкции σ_s , м²/кг, представляет собой коэффициент пропорциональности между коэффициентом ослабления и массовой концентрацией дыма. Показатель σ_s зависит от длины волны падающего излучения и от дисперсности дыма, которая определяется типом горящего материала (вещества). В работе [6] приведена оценка значений σ_s при проведении моделирования экспериментальных исследований видимости при пожаре. Установлено, что значения σ_s , приведенные в работе [7], влияют на результаты моделирования изменения видимости и имеют лучшую сходимость с экспериментальными данными. Вместе с тем при отсутствии для материалов и веществ значения σ_s в работе [7] его допускается принимать равным 8700 м²/кг.

Моделирование задымления в помещениях с применением полевой модели развития пожара предусматривает применение в качестве параметра, характеризующего дымообразующую способность материалов, удельный выход дыма Y_s . Значение Y_s определяется по табличным данным [8] или расчетным методом.

При отсутствии для материалов и веществ значения значения Y_s в работе [8], оно может быть определено по формуле (6) с учетом значения параметра, характеризующего дымообразующую способность пожарной нагрузки и применяемого при моделировании пожаров в Республике Беларусь, – коэффициента дымообразования D_m :

$$Y_s = \frac{D_m}{A_{дсм} \sigma_s}. \quad (6)$$

В приведенном соотношении (6) коэффициент $A_{дсм}$, учитывающий долю сгоревшей массы образца, применяется в случае использования для расчета Y_s значений коэффициента дымообразования D_m , определенных согласно справочным данным. В случае применения значения D_m по результатам испытаний коэффициент $A_{дсм}$ необходимо учитывать согласно формуле (3), а в формуле (6) принимать равным 1.

Начальная освещенность E_0 и коэффициент отражения α определяются по аналогии с интегральной моделью. При этом необходимо учитывать кривые силы света применяемых приборов освещения и распределение освещенности на вертикальной поверхности на высоте наблюдения.

¹⁰ См. сн. 1.

Значения фактора видимости C для различных поверхностей (материалов и поверхностей, окрашенных наиболее распространенными красками при различном весовом содержании чистого пигмента в красочном составе – насыщенности краски M) в зависимости от коэффициента отражения объектов α и начальной освещенности в помещении E_0 приведены в работе [4], а также могут быть определены из выражения (2).

Коэффициент ослабления k , соответствующий заданной предельной видимости l_{np} и определенному (рассчитанному) фактору видимости C , приведен в таблице или может быть определен из выражения (2).

При интерпретации выходных данных расчета предельной видимости в условиях пожара с использованием полевой модели необходимо учитывать значение коэффициента ослабления k по всей протяженности зоны видимости [4].

Таблица. – Значения коэффициента ослабления оптического излучения k

Фактор видимости C	Значение коэффициента ослабления оптического излучения k [м^{-1}] при предельной видимости l_{np} [м]						
	5	8	10	12	15	18	20
2	0,400	0,250	0,200	0,167	0,133	0,111	0,100
2,1	0,420	0,263	0,210	0,175	0,140	0,117	0,105
2,2	0,440	0,275	0,220	0,183	0,147	0,122	0,110
2,3	0,460	0,288	0,230	0,192	0,153	0,128	0,115
2,4	0,480	0,300	0,240	0,200	0,160	0,133	0,120
2,5	0,500	0,313	0,250	0,208	0,167	0,139	0,125
2,6	0,520	0,325	0,260	0,217	0,173	0,144	0,130
2,7	0,540	0,338	0,270	0,225	0,180	0,150	0,135
2,8	0,560	0,350	0,280	0,233	0,187	0,156	0,140
2,9	0,580	0,363	0,290	0,242	0,193	0,161	0,145
3,0	0,600	0,375	0,300	0,250	0,200	0,167	0,150
3,1	0,620	0,388	0,310	0,258	0,207	0,172	0,155
3,2	0,640	0,400	0,320	0,267	0,213	0,178	0,160
3,3	0,660	0,413	0,330	0,275	0,220	0,183	0,165
3,4	0,680	0,425	0,340	0,283	0,227	0,189	0,170
3,5	0,700	0,438	0,350	0,292	0,233	0,194	0,175
3,6	0,720	0,450	0,360	0,300	0,240	0,200	0,180
3,7	0,740	0,463	0,370	0,308	0,247	0,206	0,185
3,8	0,760	0,475	0,380	0,317	0,253	0,211	0,190
3,9	0,780	0,488	0,390	0,325	0,260	0,217	0,195
4,0	0,800	0,500	0,400	0,333	0,267	0,222	0,200

Время достижения критического значения видимости определяется в момент достижения коэффициентом ослабления значения, определенного для соответствующей предельной видимости l_{np} и фактора видимости C .

Расчет предельной видимости в полевой модели проводится с учетом следующих выходных данных:

- расчетное значение ослабления оптического излучения (если предусмотрено в программном комплексе);

- изменение поля распределения видимости в помещении в зависимости от времени;

- показатели виртуальных датчиков контроля газовой среды.

Большую информативность и однозначность интерпретации полученных расчетных данных при анализе полей распределения видимости в помещении имеют плоскости, размещенные горизонтально на высоте, соответствующей высоте наблюдения. В случае наличия нескольких временных интервалов, в течение которых происходит уменьшение видимости ниже предельно допустимого, за время потери видимости принимается более позднее [6]. Возникновение кратковременных минимумов предельной видимости, соответствующих локальному уменьшению видимости в месте размещения виртуальных датчиков,

связано с физической моделью распространения продуктов сгорания при пожаре и не оказывает существенного влияния на определение критических значений данного параметра.

Заключение. Видимость при пожаре зависит не только от дымообразующей способности пожарной нагрузки, но и от массового коэффициента экстинкции, цветовой гаммы интерьера помещения и его начальной освещенности, а также доли сгоревшего материала при определении коэффициента дымообразования. Представленная методика расчета видимости учитывает изменение указанных параметров.

Для оценки влияния параметров моделирования видимости при задымлении по представленной методике нами была проведена серия расчетов в помещении с варьированием пожарной нагрузки, цветовой гаммы интерьера и свободного объема помещения. Сопоставление расчетных данных по представленной методике и методике ГОСТ 12.1.004-91 показало, что время наступления потери видимости в условиях пожара при отсутствии учета доли сгоревшего материала увеличивается на 10 %. Время потери видимости уменьшается в среднем на 13 % для коэффициента отражения $\alpha = 0,1$ относительно стандартного ($\alpha = 0,3$) и увеличивается до 10 % при $\alpha = 0,8-0,9$.

Представленная методика позволяет повысить точность расчета времени наступления потери видимости и учесть эксплуатационные особенности помещений. Применение ее для практических расчетов позволит целенаправленно формировать компенсирующие мероприятия, позволяющие повысить безопасность людей при пожаре посредством выбора отделочных материалов (в том числе окраски) и освещенности помещений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зотов, Ю.С. Процесс задымления помещений при пожаре и разработка метода необходимого времени эвакуации людей: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Ю.С. Зотов. – М., 1989. – 273 л.
2. Серебренников, Д.С. Обзор моделей распространения дыма и определения дальности видимости [Электронный ресурс] / Д.С. Серебренников, К.Ю. Литвинцев // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2011. – № 1 (35). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/06-01-11.ttb.pdf>. – Дата доступа: 01.11.2019.
3. McGrattan, K. Modeling Enclose Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD) / K. McGrattan, S. Miles // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / Ed.: P.J. DiNenno [et al.]. – 4th ed. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. – Ch. 3. – P. 3229–3247.
4. Суриков, А.В. Определение значений параметров моделирования и интерпретация выходных данных в программном комплексе FDS при расчете видимости в условиях задымления / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 308–319. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.308.
5. Леонович, А.А. Аддитивность коэффициента дымообразования композиционных материалов / А.А. Леонович [и др.] // Безопасность людей при пожарах: сб. научн. тр. / Всеросс. научн.-исслед. ин-т противопожарной обороны. – М., 1984. – С. 97–100.
6. Суриков, А.В. Расчет видимости в помещениях в условиях пожара с применением программного комплекса FDS / А.В. Суриков, Н.С. Лешенюк // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 147–160. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.147.
7. Mulholland, G.W. Specific extinction coefficient of flame generated smoke / G.W. Mulholland, C. Croarkin // Fire and Materials. – 2000. – Vol. 24, № 5. – P. 227–230. DOI: 10.1002/1099-1018(200009/10)24:5<227::AID-FAM742>3.0.CO;2-9
8. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / Ed.: P.J. DiNenno [et al.]. – 4th ed. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. – 3396 p.

Методика расчета видимости при пожаре

Fire visibility calculation method

Суриков Андрей Валерьевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра организации службы, надзора и правового обеспечения, начальник кафедры

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: shurikoff@bk.ru

Andrey V. Surikov

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Organization of Service, Supervision and Law Support, Head of the Chair

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: shurikoff@bk.ru

Лешенюк Николай Степанович

доктор физико-математических наук, профессор

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: nleshenyuk@mail.ru

Nikolay S. Leshenyuk

Grand PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Professor

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

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: nleshenyuk@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.412>

FIRE VISIBILITY CALCULATION METHOD

Surikov A.V., Leshenyuk N.S.

Purpose. The development of a methodology for calculating visibility at a fire, based on a mathematical model of the propagation of optical radiation through a scattering medium and supplemented by taking into account modeling parameters.

Methods. Simulation of smoke dynamics in a fire.

Findings. A method for calculating the visibility of a fire based on a mathematical model of the propagation of optical radiation through a scattering medium and supplemented by taking into account the color of the interior of the premises, comprehensive assessment of the smoke-generating ability of the fire load and its share of combustion is presented. A methodology for determining the values and application of parameters for modeling visibility at a fire is described.

Application field of research. The results can be applied in fire modeling.

Keywords: modeling, visibility, smoke generating ability, specific smoke output, visibility factor, specific extinction index, illumination, reflection coefficient.

(The date of submitting: October 14, 2019)

REFERENCES

1. Zotov Yu.S. *Protsess zadymleniya pomeshcheniy pri pozhare i razrabotka metoda neobkhodimogo vremeni evakuatsii lyudey* [The process of smoke in a fire and the development of a method for the necessary time for evacuation of people]: PhD tech. sci. diss.: 05.26.01. Moscow, 1989. 273 p. (rus)
2. Serebrennikov D.S., Litvincev K.Yu. Obzor modeley rasprostraneniya dyma I opredeleniya dalynosti vidimosti [Models of smoke propagation and determination of range of visibility]. *Technology of technosphere safety*, 2011. № 1 (35), available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/06-01-11.ttb.pdf> (accessed: November, 11, 2019).
3. McGrattan K., Miles S. Modeling Enclose Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. 4th ed. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. Ch. 3. Pp. 3229–3247.
4. Surikov A.V., Leshenyuk N.S. Determination of simulation parameters values and output data interpretation in FDS during calculating visibility in smoke conditions. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 3. Pp. 308–319. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.308.
5. Leonovich A.A. [et al.]. Additivnost' koeffitsienta dymoobrazovaniya kompozitsionnykh materialov [Additivity of the coefficient of smoke formation of composite materials]. *Bezopasnost' lyudey pri pozharakh*: collection of proceedings. Moscow, 1984. Pp. 147–160. (rus)
6. Surikov A.V., Leshenyuk N.S. Modeling of visibility in a room under fire conditions with application of the FDS software complex. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 2. Pp. 147–160. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.147.
7. Mulholland G.W., Croarkin C. Specific extinction coefficient of flame generated smoke. *Fire and Materials*, 2000. Vol. 24, No. 5. Pp. 227–230. DOI: 10.1002/1099-1018(200009/10)24:5<227::AID-FAM742>3.0.CO;2-9
8. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. 4th ed. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. 3396 p.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.420>

УДК 351.861

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К ЗОНИРОВАНИЮ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ

Булва А.Д., Карпилена Н.В., Лебедкин А.В.

Цель. Проанализировать эволюцию концептуальных подходов к зонированию территорий по степени опасности, а также выработать предложения по их уточнению с учетом законов войны, положений Военной доктрины, Национальной стратегии по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь на 2019–2030 годы.

Методы. В статье использованы общенаучные методы исследования: индукции и дедукции, анализа и синтеза, сравнения и обобщения, аналогии.

Результаты. Определены роль и место зонирования территорий по степени опасности в общей системе оборонных мероприятий страны, выработаны предложения по совершенствованию требований технических нормативных правовых актов в сфере гражданской обороны.

Область применения исследований. Результаты исследования вносят вклад в развитие теории гражданской обороны и могут использоваться при переработке требований технических нормативных правовых актов в части уточнения концептуальных подходов к зонированию территорий по степени опасности.

Ключевые слова: гражданская оборона, военная доктрина, законы войны, защита, зонирование, инженерно-технические мероприятия, опасность, поражение, чрезвычайная ситуация.

(Поступила в редакцию 24 сентября 2019 г.)

Введение. Разработке проблематики войны, ее сущности и содержания, законов вооруженной борьбы посвящено немало научных трудов отечественных и зарубежных философов, политологов, социологов, военных деятелей. В частности, рассмотрение тех или иных аспектов нашло отражение в трудах Р. Арона, О.С. Бодрука, Д.А. Волкогонова, К.О. Воробьева, В.И. Гидиринского, О.И. Дырина, В.А. Зубарева, Б.М. Каневского, И.А. Климова, Ю. Кнорра, Б.И. Краснова, Ю.В. Мамонтова, О.О. Первенство, С.А. Проскурина, В.Ф. Смолянюка, М.П. Требина, С.О. Тюшкевича, С. Хантингтона, О.М. Шахова и других.

Понимание сущности, закономерностей, принципов возникновения и протекания войн, представление об их особенностях в современную эпоху позволяет эффективнее решать практические вопросы оборонного и более общего – социального характера.

Теория гражданской обороны как область военной науки включает систему научных знаний, принципов, закономерностей, категорий (понятий) и положений об опасностях, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий, их воздействии на население, материальные и культурные ценности, способы и методы защиты от них, ликвидации последствий вооруженного нападения [1].

Таким образом, теория ГО, как и другие разделы военной науки, должна основываться на объективных законах войны и вооруженной борьбы, принципах военного искусства, которые имеют большое теоретическое значение, т. к. затрагивают вопросы мировоззрения, общего взгляда на войну.

Т. е. законы войны и вооруженной борьбы так либо иначе составляют предмет исследования теории ГО.

В области обороноспособности государства гражданская оборона выполняет три важнейшие функции [2]:

– оборонную (решение проблем сохранения людских ресурсов и военно-экономического потенциала страны);

– социальную (обеспечение защиты и жизнедеятельности населения, спасение и оказание помощи пораженным и пострадавшим);

– экономическую (сохранение объектов, необходимых для устойчивого функционирования экономики страны и выживания населения в военное время, защита материальных и культурных ценностей, снижение опасности образования вторичных поражающих факторов в условиях войны).

Очевидно, что каждая указанная функция имеет диалектически обусловленные связи с наиболее общими законами:

– законом зависимости хода и исхода войны от соотношения военных факторов (потенциалов) противоборствующих сторон, т. е. их количественно-качественных и иных характеристик (боеспособности, боеготовности) военной силы (прежде всего вооруженных сил);

– законом зависимости хода и исхода войны от соотношения экономических факторов воюющих государств (коалиций);

– законом зависимости хода и исхода войны от соотношения научно-технических потенциалов;

– законом зависимости хода и исхода войны от соотношения социальных и духовных потенциалов.

С вышеперечисленными законами непосредственно связаны как минимум 11 законов низшего (второго) порядка, выражающие взаимозависимость между внутренними факторами военных действий различного масштаба и характера [3]. Эти законы есть не что иное, как законы вооруженной борьбы, общие для обеих воюющих сторон. Одним из них является закон «зависимости хода и исхода боя (операции) от сосредоточения основных усилий противоборствующих сторон на главном направлении», развитием которого являются действия враждующих сторон по уничтожению важных для жизнедеятельности страны или отдельного региона экономических объектов, центров управления, коммуникаций и энергосистем. Поэтому их оборона и защита приобретают первостепенное значение.

Одним из следствий указанного закона низшего порядка, а также общего закона, определяющего «зависимость хода и исхода войны от соотношения экономических факторов воюющих государств (коалиций)», является детерминированная необходимость в определении вероятных зон опасности и их границ.

Экономический потенциал государства составляет материально-техническую основу войны и военных действий и характеризуется такими элементами, как промышленность (тяжелая и военная), живучесть и мобильность экономики, природные богатства, людские ресурсы, сельское хозяйство, техника, транспорт, средства связи и энергосистема, резервы материальных ресурсов, система управления производством и др.

В одном из первых научных трудов, посвященном развитию теоретических положений защиты населения и территорий от опасностей военного времени применительно к ядерной войне, – «О теории гражданской обороны» (Москва, 1974 г.), начальник Гражданской обороны СССР генерал армии А.Т. Алтунин утверждал, что «важнейшей задачей теории ГО является разработка мер для повышения устойчивости экономики. Для решения этой задачи в условиях современной войны необходимы фундаментальные исследования ... по определению главных направлений и комплекса заблаговременно проводимых практических мероприятий на основе прогноза обстановки, которая может сложиться на территории страны или отдельных экономических районов в итоге применения современных средств поражения» [4].

То, насколько верным было положение, сформулированное А.Т. Алтуниным, убедительно показали военные события, произошедшие в мире за последние десятилетия.

Например, удар, нанесенный 14 сентября 2019 г. беспилотными летательными аппаратами по важнейшим энергетическим объектам Саудовской Аравии – крупнейшему в мире нефтеперерабатывающему заводу Abqaiq компании Saudi Aramco и второму по величине нефтяному месторождению страны Хурайс. В результате атак нефтедобыча Saudi Aramco

сократилась на 50 %. Кроме того, теракт привел к прекращению производства попутного газа в объеме около 56,6 млн м³ в сутки.

Таким образом, необходимость в определении вероятных зон опасности обусловлена законами войны и является одним из направлений подготовки экономики, защиты населения, материальных и историко-культурных ценностей от опасностей военного времени [5].

Процесс идентификации указанных зон в системе мероприятий ГО принято называть зонированием [6].

Зонирование, как и ранжирование [7, 8], по мнению авторов данного исследования, позволяет обеспечить дифференцированное и рациональное планирование ресурсов, осуществление защитных мероприятий как в период заблаговременной подготовки государства к условиям военного времени, так и непосредственно при введении военного положения.

Отметим, что проблема зонирования территорий по степени опасности в теории ГО практически не раскрыта, несмотря на то, что сама процедура имеет широкое прикладное значение и применение.

Целью данного исследования является анализ эволюции концептуальных подходов к зонированию территорий по степени опасности, а также выработка предложений по их уточнению с учетом законов войны, положений Военной доктрины и Национальной стратегии по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь на 2019–2030 годы.

Основная часть. Современные исследователи первые оборонные мероприятия, учитывающие зонирование территорий по степени опасности, как правило, соотносят с советским периодом, который для Республики Беларусь каких-либо существенных отличительных особенностей от общесоюзной системы оборонных мероприятий не имел [9].

Самый ранний нормативный правовой акт в области зонирования территорий по степени опасности был принят в ноябре 1925 г. постановлением Совета Народных Комиссаров СССР «О мерах противовоздушной обороны при новых постройках в 500-километровой приграничной полосе».

Согласно данному документу предписывалось на приграничных территориях в ходе нового строительства осуществлять соответствующие инженерно-технические мероприятия по защите населения и объектов народного хозяйства.

Спустя два года, 14 мая 1927 г., Совет Труда и Обороны СССР принимает новое постановление «Об организации воздушно-химической обороны территории СССР», в соответствии с которым территория страны разделяется на приграничную (угрожаемую) зону и тыл. Все города в приграничной зоне стали именоваться городами-пунктами противовоздушной обороны, были определены меры по усилению защиты от возможных ударов с воздуха стратегически важных объектов страны: аэродромов, сооружений железнодорожного и водного транспорта, средств связи, заводов, фабрик, складов.

Появлению указанных документов предшествовал целый ряд значимых событий во всех сферах общественной жизни, и прежде всего – социально-экономической, политической и военной. Еще в период с 1870 по 1914 г. отмечается быстрый рост отраслей тяжелой промышленности [10]. Во время Первой мировой войны (1914–1918 гг.) впервые массово были использованы новые виды техники и вооружения. Применение в сражениях большого количества танков, авиации позволило наносить глубокие тактические удары. Военная техника этого периода привнесла серьезные изменения в способы ведения военных действий. Вооруженная борьба велась на суше, в воздухе и на море. Широкое развитие получают военные действия с применением отравляющих веществ [11].

Уже с 1914 г. германские дирижабли, а затем многомоторные бомбардировщики с регулярной периодичностью осуществляли бомбардировку тыловых объектов Великобритании, Франции, Бельгии и России. При этом в ходе воздушных полетов противник не всегда выбирал в качестве целей объекты военного назначения. Зачастую ими становились промышленные предприятия, а также местное население городов и сел [12, с. 42].

Следует отметить, что понимание сущности и особенностей войн в различных условиях имеет большое теоретическое и практическое значение с точки зрения социальной практики [13, с. 63].

Не вызывает сомнения, что новая боевая техника в годы Первой мировой войны определяла не только способы и формы вооруженной борьбы, но и основу планируемых защитных мероприятий. Проявилась все возрастающая зависимость вооруженной борьбы, военного искусства от состояния экономики и тыла страны [14, с. 594]. И хотя официальной концепции зонирования территорий по степени опасности не существовало, было ясно, что необходимы дополнительные защитные меры от налетов авиации противника. Отныне тыл воюющих стран перестал рассматриваться в качестве зоны, находящейся вне сферы вооруженной борьбы.

В этот период, учитывая значительную зависимость эффективности авиации от наружного освещения, разрабатываются и применяются первые защитные мероприятия, направленные на маскировку объектов и территорий. Эффективно зарекомендовала себя светомаскировка. Именно с этим периодом связывают возникновение такого понятия, как зона световой маскировки.

Для снижения интенсивности ночного освещения в Петрограде осуществлялось централизованное отключение как уличного, так и внутреннего освещения в административных, общественных и жилых зданиях по указанию начальника воздушной обороны Петроградского района. Распоряжение доводилось с помощью секретного пароля, после чего электрические станции прекращали работу. Уличное освещение отключалось спустя 15 минут после получения приказа, а внутреннее – через 30–40 минут. Также приостанавливалась работа трамваев и газовых заводов [15].

Подобные меры осуществлялись и в других городах России: Одессе, Севастополе, Новороссийске, Феодосии, которые подвергались бомбардировке с кораблей. В целях светомаскировки в конце 1914 г. в городах запрещается световая реклама в домах, окна которых выходили на море. В вечернее время плотно закрывались ставни, запрещались вечерние и ночные прогулки вдоль моря [15].

С 1915 г. активному нападению с воздуха подвергаются города Рига, Двинск, Таллин, Минск и др. Для снижения эффективности ночных налетов в ночное время полностью прекращалось электрическое освещение зданий, промышленных предприятий и городских улиц. Впервые за время войны для защиты населения применялись специальные убежища и укрытия [16]. Их строительство выполнялось в местах вероятных авиационных ударов, например, на железнодорожных вокзалах, промышленных предприятиях оборонного назначения и др.

После Первой мировой войны ряд мероприятий пассивной противовоздушной обороны нашел свое отражение в принимаемых постановлениях и решениях Реввоенсовета, а в дальнейшем – Совета Народных Комиссаров СССР. Зональный же принцип осуществления защитных мероприятий, показавший высокую эффективность в годы Первой мировой войны, стал основой разрабатываемых документов для местной противовоздушной обороны.

В 1929 г. наиболее важные в военном и экономическом отношении предприятия стали именоваться объектами противовоздушной обороны первой и второй категории.

К первой категории относились крупные промышленные предприятия, электростанции, военные заводы, железнодорожные узлы, базы материально-технического снабжения; ко второй – менее важные в экономическом отношении заводы, фабрики, сооружения и учреждения.

Особое значение имеет принятое 27 августа 1936 г. постановление Совета Народных Комиссаров СССР «Об организации населения для защиты от воздушного нападения на территории СССР» [17]. Указанным документом были созданы условия для совершенствования системы защитных мер местной противовоздушной обороны (далее – МПВО), имевших существенное значение в годы Великой Отечественной войны.

Общеизвестно, что эффективность защиты населения и территорий от опасностей, возникающих в военное время, в значительной степени зависит от полноты и достоверности исходных данных, используемых при планировании. Так, военная доктрина предвоенных лет не допускала отхода Красной Армии вглубь страны и возможности ведения военных действий на своей территории. В связи с этим мероприятия МПВО в полном объеме проводились, как правило, лишь в приграничной зоне СССР на глубину дальности действий бомбардировочной авиации вероятного противника. На остальной же территории страны работа по подготовке населения к противовоздушной и противохимической защите носила фрагментарный и бессистемный характер. В итоге к началу Великой Отечественной войны в ряде районов СССР это привело к целому ряду негативных последствий, обусловленных нехваткой убежищ, отсутствием опыта у формирований МПВО и групп самозащиты жилого сектора в ведении аварийно-спасательных работ, недостаточной подготовленностью граждан к действиям по сигналам тревоги и др.

Тем не менее предвоенная советская военная доктрина верно охарактеризовала будущую войну – моторизованную, маневренную, нацеленную на глубокие наступательные операции, с крайне высокой ролью военно-воздушных сил. Авторы доктрины точно определили роль и значение тыла в вероятной войне, что позволило в минимальное время провести мобилизацию промышленности и экономики, обеспечив требуемый потенциал для ведения боевых действий. МПВО в эти годы приобрела статус общегосударственной системы защиты тыла страны, важнейшего компонента оборонной системы СССР.

После Второй мировой войны военная доктрина СССР стала строиться с учетом нового фактора, фактически перевернувшего все прежние представления о войнах, – оружия массового поражения.

В послевоенные годы с развитием оружия массового поражения, прежде всего ядерного, происходит пересмотр и развитие новых концепций, средств и способов защиты населения, организаций и территорий. Однако до появления баллистических межконтинентальных ракет комплексная защита населения, городов и организаций по-прежнему, как и в период Великой Отечественной войны, планировалась относительно приграничных территорий. За их пределами мероприятия носили, скорее, организационный характер. Предполагалось, что доставка средств поражения стратегическими бомбардировщиками вглубь страны в принципе невозможна, благодаря эффективной системе ПВО, которая уже в начале 1960-х гг. включала более 5000 истребителей-перехватчиков, управляемых автоматизированной системой «Воздух-1» [18].

С принятием в 50-х – начале 60-х гг. XX века на вооружение ведущими армиями мира межконтинентальных ракет (в СССР – Р-7, в США – SM-65 Atlas) стало очевидным, что в зоне вероятного поражения может оказаться вся территория страны. При этом в качестве вероятных целей для нанесения ядерного удара рассматриваются уже не только воюющие армии, но и промышленные центры, жизненно важные элементы инфраструктуры городов. Следовательно, защитные мероприятия, в т. ч. порядок определения вероятных зон опасности, требовали пересмотра и уточнения [18].

В июле 1961 г. постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР принимается Положение о Гражданской обороне СССР, а в ноябре 1963 г. – постановление «О мероприятиях по защите населения страны от оружия массового поражения».

В отличие от МПВО гражданская оборона СССР охватывала всю территорию страны. В качестве главного способа защиты населения принималось его рассредоточение и эвакуация из городов в загородную зону.

С целью дифференцированного планирования защитных мероприятий выделяются зона световой маскировки, загородная зона (эвакуации и рассредоточения) и зоны вероятного поражения (разрушений).

Первые нормы проектирования инженерно-технических мероприятий ГО (ИТМ ГО) разработаны и утверждены Госстроем, Госпланом и Минобороны СССР 1 августа 1966 г.

За 8 лет их существования были созданы благоприятные условия для обеспечения защиты населения в случае войны с применением оружия массового поражения, повышения устойчивости функционирования промышленности, энергетики, транспорта и связи в городах, отнесенных к группам по ГО, и на объектах особой важности вне категорированных городов.

В 1974 г. совместным приказом Госстроя, Госплана и начальника Гражданской обороны СССР вводятся Строительные нормы и правила СНиП II-10-74 «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны», в которые вносятся дополнительные изменения, учитывающие новый принцип установления зон возможных сильных и слабых разрушений. Так, для городов некомпактной планировки они определялись не от геометрического центра, а от границы проектной застройки, что позволяло учитывать динамику ее развития и решение вопросов защиты населения. Дополнения также предусматривали повышение степени защиты убежищ, строящихся в зонах возможных сильных разрушений, уточнялась степень защиты противорадиационных укрытий в зависимости от их удаления от крупных городов и укрываемых в них категорий населения.

В качестве особых зон выделяются крупные города; важнейшие объекты народного хозяйства, расположенные за пределами крупных городов; отдельные инженерно-технические сооружения и системы; некатегорированные города и сельская местность. Перечень и объем защитных мероприятий ГО определялся и конкретизировался в зависимости от отнесения объектов и организаций к соответствующим зонам.

К концу 80-х гг. XX века концепция зонирования вновь потребовала пересмотра. Существенные изменения произошли в советской военной доктрине, которая к 1987 г. приобрела ярко выраженный оборонительный характер. Изменились средства нападения вероятного противника. На вооружении появились ядерные заряды с разделяющимися боеголовками, позволяющие одной ракетой поражать значительные площади. Всего в мире к этому времени насчитывалось около 65 тыс. ядерных боеголовок, способных несколько раз уничтожить Землю [9]. Кроме того, произошедшие в СССР крупные ЧС (катастрофа на Чернобыльской атомной электростанции, землетрясение в Армении и др.) убедительно продемонстрировали недостатки в определении зон опасности для целого ряда производственных объектов, обладающих высоким энергозапасом различных веществ и материалов. Приходит осознание, что катастрофические последствия могут наступить не только в результате применения ядерного оружия, но и в случае применения обычных средств поражения.

На основании действовавших ранее СНиП II-10-74 разрабатываются и принимаются новые Нормы проектирования ИТМ ГО, которые вступают в действие в 1990 г. (далее – СНиП 2.01.51-90).

Отметим, что в сфере проектирования ИТМ ГО СНиП 2.01.51-90 стали одним из лучших советских нормативных правовых актов, актуальность которого сохранялась еще очень долго на всем постсоветском пространстве. Например, в Республике Беларусь они действовали вплоть до 2007 г. (17 лет), в России – до 2014-го (24 года), а в Республике Казахстан актуальны и по сегодняшний день (сентябрь 2019 г.).

Длительный период применения СНиП 2.01.51-90 объясняется высокой проработкой, научной обоснованностью. Во всех без исключения требованиях четко прослеживался дифференцированный подход к планированию защитных мероприятий, созданию условий для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, минимизации ущерба от возможной ядерной угрозы. Вопросы зонирования территорий по степени опасности в документе составляли ключевое значение. Категорированные по ГО города и отдельные объекты особой важности по-прежнему рассматривались в качестве вероятных целей для нанесения ядерного удара [19]. Однако серьезные изменения претерпели подходы по определению вероятных зон опасности.

Относительно объектов особой важности устанавливались границы зон сильных и слабых разрушений, что соответствовало взрыву ядерного боеприпаса мощностью 100 кт:

- сильных – на расстоянии 3 км от проектной застройки организации;
- слабых – на расстоянии 10 км от проектной застройки организации.

Помимо границ разрушений дополнительно выделялись зоны:

– возможного опасного химического заражения – территория, прилегающая к химически опасным объектам (в основе расчета – разрушение емкостей с опасными веществами на предприятии);

– возможного опасного и возможного сильного радиоактивного заражения (загрязнения) – территория, прилегающая к АЭС, размеры которой определялись в зависимости от установленной мощности станции;

– возможного катастрофического затопления – территория, в пределах которой в результате возможного затопления вероятны массовые потери людей, разрушение зданий и сооружений, повреждение или уничтожение других материальных ценностей;

– загородная зона – территория за пределами зон возможных разрушений, возможного катастрофического затопления, возможного опасного химического заражения, возможного опасного радиоактивного заражения (загрязнения), пригодная для жизнедеятельности местного и эвакуируемого населения;

– световой маскировки – территория для осуществления комплекса инженерно-технических и организационных мероприятий, направленных на снижение возможности обнаружения объектов (территорий) при помощи современных средств оптической разведки и систем оптического наведения средств поражения (территория между государственной границей и рубежом, расположенным на удалении до 600 км от нее).

В 2007 г. разрабатываются и принимаются первые национальные требования в сфере проектирования инженерно-технических мероприятий ГО (далее – ТКП 112-2007), которые приходят на смену СНиП 2.01.51-90. В основу новых нормативных требований положен сценарий вооруженного конфликта с применением авиацией обычного неуправляемого оружия по территориям категорированных по ГО объектов. При таком подходе размеры прогнозируемых зон опасности значительно сократились. И прежде всего уменьшение коснулось границ зон возможных разрушений.

Территории организаций, отнесенные к категориям по ГО или обеспечивающие жизнедеятельность категорированных городов и объектов, включая их санитарно-защитные зоны, рассматривались в качестве зон возможных разрушений, на границе которых ожидалась величина избыточного давления во фронте воздушной ударной волны 10 кПа. Внутри выделялись зоны сильных (величина избыточного давления во фронте воздушной ударной волны – более 30 кПа) и слабых разрушений (величина избыточного давления во фронте воздушной ударной волны – от 20 до 30 кПа). При этом порядок картирования зон по степени опасности (установление границ разрушений) никак не определялся, что влияло на однозначность в определении соответствующих границ различными специалистами.

Кроме того, дополнительно устанавливались зоны действия поражающих факторов при авариях на потенциально опасных объектах и транспортных коммуникациях, которые обуславливались:

- выбросом химически опасных веществ;
- выбросом радиоактивных веществ и материалов;
- разрушением гидротехнических сооружений;
- взрывом облаков топливовоздушных (паровоздушных) смесей и конденсированных взрывчатых веществ;
- тепловым излучением огневых шаров и горящих разлитий;
- разлетом обломков зданий и сооружений, образующихся в результате взрывов облаков топливовоздушных (паровоздушных) смесей и конденсированных взрывчатых веществ;
- разлетом осколков, образующихся при взрывах сосудов под давлением.

Территории, расположенные за пределами границ зон возможной опасности и пригодные для жизнедеятельности местного и эвакуируемого населения, образовывали безопасные районы.

В качестве особой зоны выступала зона световой маскировки, в которую попадала вся территория Республики Беларусь. Объем мероприятий по световой маскировке определялся исходя из отнесения организаций и городов к категориям и группам по ГО.

Анализ практики применения требований ТКП 112-2007 позволил выявить ряд проблемных вопросов.

Первое – малообоснованное концептуальное предположение об отнесении территорий организаций, имеющих категорию по ГО или обеспечивающих жизнедеятельность категоризированных городов и объектов, к зонам возможных разрушений с границей избыточного давления взрыва во фронте воздушной ударной волны более 10 кПа.

Действительно, положение об отнесении категоризированных организаций к объектам вероятного поражения сомнений не вызывает. Однако разработчики норм устанавливают не только равную степень поражения всех категоризированных организаций, но и ожидаемый характер разрушений без каких-либо аргументированных доводов. Кроме того, подход, применявшийся ранее в СНиП 2.01.51-90, относительно количественной оценки границ зон возможных разрушений по величине избыточного давления взрыва во фронте воздушной ударной волны в данном случае мало приемлем. Обусловлено это тем, что в СНиП 2.01.51-90 значения избыточного давления взрыва во фронте воздушной ударной волны принимались равномерно снижающимися от эпицентра взрыва исходя из предполагаемой мощности ядерного боеприпаса. Однако для неуправляемых обычных средств поражения принимать границы зон разрушений равномерно изменяющимися от геометрического центра организации необоснованно.

Второе замечание относится к порядку определения вероятных зон опасности в случае аварий на потенциально опасных объектах и транспортных коммуникациях.

ТКП 112-2007 расчет последствий предлагал осуществлять для максимально возможных аварий. Однако существовавшие методики прогнозирования последствий ЧС на момент принятия документа учитывали сценарий, в основе которого – разрушение максимальной единичной емкости с опасными веществами. По мнению авторов, предлагавшийся ранее подход мог быть оправдан лишь в одном случае – оценки последствий ЧС мирного времени. Однако для прогнозирования последствий применения авиацией обычного неуправляемого оружия в расчетном сценарии следует учитывать все количество опасных веществ в организации на военное время.

Тем не менее, несмотря на отмеченные недостатки, следует признать, что ТКП 112-2007 являлся более прогрессивным документом, чем СНиП 2.01.51-90. Впервые за долгое время предпринята попытка переосмыслить перечень и содержание защитных мероприятий исходя из произошедших изменений в характере современных военных конфликтов, снижения угрозы применения ядерного оружия. Кроме того, учет зон опасности, обусловленных ЧС мирного времени, являлся сигналом о необходимости разработки инженерно-технических мероприятий гражданской защиты.

В 2011 г. разработана очередная, нынешняя редакция норм по проектированию ИТМ ГО (далее – ТКП 112-2011).

Детерминированные зоны опасности, как и в предыдущей редакции технического нормативного правового акта, определены исходя из сценария вооруженного конфликта, обусловленного применением авиацией обычного неуправляемого оружия по категоризованным организациям, которые на основании анализа требований документа рассматриваются в качестве площадных целей.

Отличительной особенностью ТКП 112-2011 являются новые подходы к оценке размеров зон возможного поражения и характера разрушений, разделение которых основано на гипотетической зависимости степени поражения от категории организации по ГО.

Документом определены следующие зоны опасности:

- возможных сильных разрушений (охватывает территорию в пределах границ проектной застройки организаций, отнесенных к 1-й категории по ГО);
- возможных слабых разрушений (охватывает территорию в пределах границ проектной застройки организаций, отнесенных ко 2-й категории по ГО);
- возможных разрушений (охватывает территорию на расстоянии от 500 до 1000 м от границ проектной застройки организаций, отнесенных к 1-й категории по ГО; расположенную за пределами границ проектной застройки организаций, отнесенных ко 2-й категории по ГО, на удалении до 500 м от них; в пределах границ проектной застройки организаций, отнесенных к 3-й категории по ГО).

Как и в предыдущей редакции, в действующем ТКП 112-2011 зона возможных сильных разрушений характеризуется избыточным давлением во фронте воздушной ударной волны более 30 кПа; зона возможных слабых разрушений – избыточным давлением во фронте воздушной ударной волны от 20 до 30 кПа; зона возможных разрушений – избыточным давлением во фронте воздушной ударной волны более 10 кПа.

Отличительной особенностью действующих требований является дальнейшая интеграция мероприятий ГО и мероприятий по предупреждению ЧС в мероприятия гражданской защиты. Ранние технические нормативные правовые акты (СНиП 2.01.51-90, ТКП 112-2007), несмотря на предпосылки учета зон ЧС, все же ограничивались исключительно областью ГО. В ТКП 112-2011 уже содержатся прямые указания (см. раздел «Область применения») на предупреждение ЧС мирного времени. Кроме того, в требованиях ТКП 112-2011 декларируется, что объем и содержание ИТМ ГО зависит не только от категорий и групп по ГО, но и определяется с учетом зонирования территорий по уровням риска для населения и территорий при ЧС природного и техногенного характера.

Тем не менее отмеченная особенность ТКП 112-2011 не привела к существенной реструктуризации ранних требований. Разработчики ограничились редкими положениями о необходимости обеспечения защиты населения и территорий в ЧС, при этом не определяя ни путь, ни способ защиты, ни связанные с этим мероприятия. Что касается порядка зонирования территорий по уровням риска ЧС, данное положение в практической деятельности применения не нашло, т. к. в нормах отсутствует не только связь между фактическим уровнем риска и мероприятиями ГО, но и не определен методический инструментарий для его оценки и расчета [20].

Также отметим, что количество дополнительно определяемых зон опасности в требованиях ТКП 112-2011 изменилось в сторону сокращения.

Сохранились:

- зона возможного опасного химического заражения;
- зоны возможного опасного радиоактивного и возможного сильного радиоактивно-го заражения (загрязнения);
- зона возможного катастрофического затопления;
- безопасные районы;
- зона световой маскировки.

Зона возможного опасного химического заражения определяется для сценария, в основе которого – разрушение максимальной единичной емкости, содержащей аварийное химически опасное вещество.

Зоны возможного опасного радиоактивного и возможного сильного радиоактивного заражения (загрязнения) устанавливаются детерминировано.

Зона катастрофического затопления рассчитывается при проектировании водохранилищ и гидроузлов. Безопасные районы определяются за пределами зон возможной опасности.

Анализ требований ТКП 112-2011 и практики его применения позволил выявить ряд проблемных вопросов относительно порядка зонирования:

- 1) несмотря на наличие существенных изменений в подходах к формированию потенциальных зон опасности, принятые допущения нигде не были обоснованы;

2) как и в предыдущей редакции технического кодекса, использование в качестве количественного показателя для определения границ зон разрушений «избыточного давления во фронте ударной волны» является некорректным. На авторский взгляд, более обоснованным для принятой концепции военного конфликта и определения характеристик детерминированных зон разрушений было бы использование критерия «степень поражения», определяемого отношением ожидаемой площади сильных разрушений и площади застройки. Степень поражения не только более точно отражает эффект площадного применения обычных средств поражения, но и потенциально содержит исходные данные для планирования защитных мероприятий ГО (например, определение объемов завалов, расчет необходимого количества сил и средств ГО, уточнение способов инженерной защиты и т. п.);

3) предполагаемый сценарий вооруженного конфликта, а также принятые границы зон разрушений в пределах и за пределами организаций, отнесенных к категориям по ГО, позволяют сделать вывод, что вероятные средства поражения имеют низкую эффективность и точность, что явно не согласуется с положениями существующей Военной доктрины и тактико-техническими характеристиками средств поражения, применявшимися в прошедших войнах и вооруженных конфликтах за последние десятилетия [20]. Так, анализ установленных детерминированных зон разрушений приводит к совершенно абсурдному выводу, что чем ниже у организации категория по ГО, тем выше круговое отклонение вероятных средств поражения;

4) детерминированный характер разрушений, определяемый только категорией по ГО, не может объяснить целевое применение средств поражения. Категория по ГО рассматривается в качестве ожидаемого приоритета объекта тыла для нанесения удара. Однако для того, чтобы степень поражения (разрушения) рассматривать в качестве функции приоритета, необходимо аргументированное объяснение. Иными словами, для разных типов организаций, которым присвоена одна категория по ГО, требуемая степень поражения, например, для полного уничтожения или снижения интенсивности функционирования на период проведения боевой операции, может оказаться совершенно различной;

5) ТКП 112-2011 не учитывает все возможные зоны опасности (ряд зон в новой редакции норм был исключен). Однако вполне ожидаемо, что они могут образоваться в результате поражения потенциально опасных объектов, например, пожаро-, взрывоопасных.

Таким образом, анализ существующих требований норм показал, что концептуальные подходы, используемые для зонирования территорий по степени опасности, сегодня требуют как уточнения, так и объяснения.

В основе зонирования, по мнению авторов, следует применять постулаты Военной доктрины относительно характера современного военного конфликта [21]. Основными положениями в контексте решаемой проблемы могут стать:

1. Широкое использование диверсионных (партизанских) и террористических методов ведения боевых действий.

2. Ведение боевых действий преимущественно в урбанизированной местности в целях установления контроля над населенными пунктами.

3. Применение высокоэффективных систем высокоточного оружия в неядерном снаряжении, в т. ч. основанных на новом использовании физических принципов, предусматривающее нанесение быстрых ударов в условиях глобальной досягаемости и обеспечивающее поражение войск (сил), объектов тыла, экономики, коммуникаций на всей территории противника.

4. Катастрофические последствия поражения (нарушения функционирования) критически важных объектов инфраструктуры Республики Беларусь, включая объекты энергетики, химических и других опасных производств, системы жизнеобеспечения.

Анализ приведенных положений позволяет сформулировать как минимум два варианта определения границ зон возможной опасности: максимально неблагоприятный (пессимистический) и расчетный (вероятностный).

Для максимально неблагоприятного варианта степень поражения организации, отнесенной к категориям по ГО (авторское уточнение – организации, имеющие «средний», «высокий» и «наивысший» приоритеты по работам [7, 8]), должна приниматься «сильной» – при которой гарантированно прекращается ее функционирование. В этом случае не менее 50 % критических элементов либо не менее 50 % площади организации будет разрушено без возможности ее восстановления. Авторы преднамеренно не ограничиваются понятием «площадь разрушений» (характерно для площадных и не потенциально опасных объектов). При применении систем высокоточного оружия планируется поражение именно критических элементов. Поэтому переход от показателя, учитывающего количество пораженных целей, к показателю, в основе которого площадь разрушений, возможен лишь при поражении объектов, не являющихся источником потенциальной опасности.

Кроме того, следует ожидать, что при применении систем высокоточного оружия границы зон разрушений не будут выходить за санитарно-защитную зону. Данное положение является следствием невысокого кругового вероятного отклонения возможных средств поражения (от 2 до 10 м).

Также следует принять во внимание дополнительные зоны опасности, границы которых подлежат расчету. Сценарии вероятных аварий должны учитывать разрушение всего технологического оборудования и установок, в которых содержатся опасные вещества и материалы по условиям военного времени. Данное утверждение следует из положения Военной доктрины о «катастрофических последствиях поражения критически важных объектов инфраструктуры Республики Беларусь».

Достоинством рассмотренного концептуального подхода является то, что связанный объем защитных мероприятий как минимум не может быть занижен. Все объекты и элементы организаций, продолжающие работу в условиях военного времени, требуют надежной и эффективной защиты. Недостатком же может быть то, что в условиях дефицита и ограниченности ресурсов осуществление комплексных защитных мероприятий станет малоэффективным, т. к. приводит к распылению сил и средств.

В качестве основы расчетного варианта по определению границ зон возможной опасности используем сформулированную ранее гипотезу о существовании связи между зонированием и требуемым типом огневого поражения объектов тыла. Решение задачи в такой постановке может оказаться предпочтительнее, т. к. она позволяет приблизиться к реализации Национальной стратегии по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь на 2019–2030 годы (далее – Стратегии). Связь с контекстом рассматриваемой проблемы обуславливается уточненной дефиницией «чрезвычайная ситуация», которая в Стратегии приобретает дополнительное видовое отличие – опасности, возникающие при ведении военных действий или вследствие этих действий.

Основная идея Стратегии состоит в переходе от концепции «нулевого риска» ЧС к концепции «допустимого». В исследуемой проблеме этот переход обусловлен не только выбором организации в качестве приоритетной цели, но и вероятностью уничтожения отдельных критических элементов либо их совокупности после применения высокоточного оружия.

Следует отметить, что понятие «огневого поражения» является одной из важнейших, если не центральных, категорий в военном искусстве, о чем отмечается в ряде исследований и публикаций [22, 23].

Показателем эффективности поражения групповой цели выступает относительный ущерб в виде отношения среднего числа пораженных элементарных целей к их общему числу или площади обобщенной зоны поражения к общей площади групповой цели [24].

Для групповых (площадных) военных объектов применяются три степени поражения [22]:

– уничтожение (А) – вывод из строя не менее 50 % элементарных целей или средней площади обобщенной зоны поражения;

– подавление (В) – вывод из строя не менее 30 % элементарных целей или средней площади обобщенной зоны поражения;

– дезорганизация (С) – вывод из строя не менее 10 % элементарных целей или средней площади обобщенной зоны поражения.

В теории ГО исследование проблем определения требуемого типа огневого поражения объектов тыла остается задачей, до конца не исследованной. Тем не менее ряд шагов в этом направлении был предпринят. Например, в исследовании В.П. Малышева и Э.Я. Богатырева [25] приведены сведения о полигонных нарядах средств поражения потенциального противника, применявшихся и планируемых к применению для воздействия по типовым объектам тыла. Средства поражения дифференцированы для самолетовылетов с неуправляемым высокоточным оружием и крылатых ракет морского базирования. Для прогнозирования обстановки (определения площади сильных, средних и слабых разрушений) авторы публикации предлагают полигонный наряд самолетовылетов на конкретный тип объекта тыла умножать на площадь разрушений от одного типового боеприпаса, содержащего 200 кг взрывчатого вещества. Казалось бы, что, решая обратную задачу, есть шанс определить и требуемый тип огневого поражения. Однако в такой постановке существует риск не увидеть ряд дополнительных, неочевидных на первый взгляд, условий:

– во-первых, полигонный наряд должен определяться исходя из поражения определенной совокупности (критической комбинации) элементарных целей для обеспечения гарантированной вероятности их поражения. Поэтому решать задачу по условию «один боеприпас равен одной цели» по целому ряду случаев некорректно. Обоснование этому положению и соответствующий пример расчета приведены в исследовании [24], где на примере нефтеперерабатывающего завода показано, что при поражении трех критических элементов тремя крылатыми ракетами вероятность поражения составляет 0,22, тогда как использование восьми крылатых ракет по этим же трем целям позволяет достичь вероятности поражения 0,8;

– во-вторых, в большинстве случаев существует несколько критических комбинаций элементарных целей, т. е. на этапе заблаговременного планирования отдать предпочтение какому-либо конкретному сочетанию невозможно. Поэтому все элементарные цели (критические элементы) следует считать равновероятными. А если так, то относительно каждой из них следует определять зоны поражения. При этом количество элементарных целей, очевидно, должно быть меньше расчетного полигонного наряда. Моделирование с использованием [24] показывает, что на одну элементарную цель для ее гарантированного уничтожения (вероятность поражения – более 0,8) может приходиться от 1 до 6 типовых боеприпасов, но чаще – два-три. Например, если в организации имеется 10 критических элементов и каждый в отдельности при разрушении способен привести к прекращению функционирования организации, а для гарантированного поражения любого критического элемента требуется 3 типовых боеприпаса (вероятность – 0,8), то проектная площадь разрушений (площадь, где требуется осуществлять защитные мероприятия) определяется уже не от 3, а от 30 типовых боеприпасов. Такой вывод следует из предположения о равнозначности всех критических элементов. Другим словами, ожидается, что проектная застройка организации после применения обычных средств поражения получит слабые разрушения. Однако учитывая, что вероятной целью является любой из 10 критических элементов, объем защитных мероприятий должен быть определен как для сильных или даже полных разрушений;

– в-третьих, для потенциально опасных объектов следует ожидать, что применение высокоточного оружия будет выступать, скорее, иницирующим событием, при котором сконцентрированный в организации энергозапас образует т. н. вторичные поражающие факторы, которые по своей масштабности, объемности и продолжительности действия могут существенно превосходить последствия самих средств поражения [26]. Данное обстоятельство также является следствием положений Военной доктрины о «катастрофических

последствиях поражения» и закона «зависимости хода и исхода боя (операции) от сосредоточения основных усилий противоборствующих сторон на главном направлении».

Таким образом, как следует из анализа предлагаемого вероятностного подхода, тип поражения является производной величиной. Иными словами, несмотря на единое функциональное назначение нескольких организаций, последние могут отличаться как технологическим процессом (соответственно, количеством критических элементов), так и площадными характеристиками (генеральный план, застройка), что в итоге приведет к различному расчетному типу поражения или степени разрушений.

Указанные обстоятельства позволяют сделать вывод, что такие показатели, как «требуемый тип поражения» или «требуемая степень разрушений», не могут использоваться в качестве основы зонирования, т. к. являются производными характеристиками.

Исходными данными для реализации предлагаемого вероятностного подхода являются: элементарные цели (критические элементы); комбинации элементарных целей, при которых достигаются необходимые условия поражения; требуемая вероятность поражения элементарных целей. При таком подходе общий порядок зонирования территории по степени опасности будет включать следующие этапы:

- определение критических элементов в организации;
- определение условий поражения организации – установление критических элементов и их комбинаций, при уничтожении которых достигается необходимый эффект (уничтожение, приостановка выпуска продукции либо снижение интенсивности работы предприятия);
- нормирование требуемой вероятности поражения элементарных целей (предлагается увязывать с уровнем значимости организаций в интересах ГО: наивысший – не ниже 0,8; высокий – не ниже 0,5; средний – не ниже 0,3);
- расчет требуемого количества типовых боеприпасов для разрушения отдельных элементов либо их комбинации с учетом требуемой вероятности поражения;
- нанесение зон поражения с учетом количества типовых боеприпасов по каждому элементу;
- расчет вторичных зон поражения;
- сравнение первичных и вторичных зон поражения и установление общей границы поражающих факторов.

Следует отметить, что исходные параметры для расчета являются индивидуальными характеристиками конкретной организации, что, в свою очередь, осложняет их заблаговременное нормирование и, соответственно, накладывает ряд ограничений на реализацию вероятностного подхода.

Таким образом, анализ вариантов определения границ зон возможной опасности позволил сформулировать следующие дополнения и изменения в совершенствование процедуры зонирования территорий по степени опасности:

- организации, имеющие средний, высокий и наивысший приоритеты по ГО [7, 8], в результате воздействия систем высокоточного оружия в неядерном снаряжении могут получить сильные разрушения в пределах границ проектной застройки и примыкающей санитарно-защитной зоны;
- на потенциально опасных объектах, имеющих низкий приоритет по ГО, границы зон опасности определяются исходя из аварийного сценария, при котором полностью разрушается максимальная единичная емкость, содержащая опасные вещества и материалы;
- на потенциально опасных объектах, имеющих средний, высокий и наивысший приоритеты по ГО [7, 8], определяются дополнительные границы зон опасности (химического заражения, катастрофического затопления, радиоактивного загрязнения и т. д.) исходя из сценария, в котором участвует максимальный энергозапас опасных веществ и материалов, планируемых в военное время;
- с целью военного-научного обоснования отступлений от требований технических нормативных правовых актов, содержащих мероприятия, проводимые в пределах границ

зон опасности, допускается зонирование осуществлять с использованием расчетного метода, порядок реализации которого предложен в статье. При этом для взрывоопасных объектов дополнительно рассчитываются границы зон сильных разрушений исходя из максимального энергозапаса опасных веществ и материалов на военное время.

Заключение. От глубины и всесторонности осмысления причин возникновения войн, параметров их протекания, результатов, итогов, последствий может зависеть многое [13].

Ранее Н.В. Карпиленя и А.Д. Булва отмечали, что Военная доктрина 2016 г. привнесла ряд дополнительных обстоятельств и условий в организацию обороны государства, которые следует учесть в существующих и разрабатываемых нормативных правовых актах [21]. Комплексная защита организаций и населения от опасностей, возникающих в военное время, не является исключением. Ее основой, по мнению авторов, выступают три базовые теоретические категории – ранжирование организаций в интересах ГО, зонирование территорий по степени опасности и принципы защиты (в частности, принципы инженерно-технических мероприятий ГО).

Исследование вопросов ранжирования, выработка предложений по совершенствованию указанной процедуры представлены в наших работах [7, 8].

В данной статье предпринимается попытка через осмысление теоретической основы военной науки – законов войны, военных доктрин, являющихся их следствием, определить место и роль зонирования в общей системе оборонных мероприятий страны, проанализировать эволюцию концептуальных взглядов на зонирование территорий по степени опасности, а также сформулировать предложения по совершенствованию этой процедуры.

Следующим этапом развития теоретических представлений о мероприятиях комплексной защиты организаций и населения в военное время, по мнению авторов статьи, может стать выработка и обоснование принципов инженерно-технических мероприятий ГО, которые следует рассматривать в качестве основы всех защитных мер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров, В.А. О теории гражданской защиты / В.А. Владимиров // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – Т. 2, № 2. – С. 549–559.
2. Воробьев, Ю.Л. Современные войны и гражданская оборона / Ю.Л. Воробьев // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – № 1. – С. 791–810.
3. Карпиленя, Н.В. О некоторых философско-геополитических выводах и предложениях для формирования многополярного мира: в белорусской проекции / Н.В. Карпиленя // Гуманитарные проблемы военного дела. – 2017. – № 3 (12). – С. 38–50.
4. Дедков, В.К. Управление специальной подготовки народного хозяйства (5-е управление ВНИИ ГО СССР) / В.К. Дедков // ВНИИ ГОЧС: комплексные решения проблем безопасности (40-летию института посвящается): сб. ст.: в 4 т. / Всерос. науч.-исслед. ин-т по проблемам гражд. обороны и чрезв. ситуаций МЧС России; под общ. ред. В.А. Акимова. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – Т. 2. – С. 59–65.
5. Малышев, В.П. Возможные перспективы развития гражданской обороны на период до 2020 года / В.П. Малышев, Н.Н. Долгин // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – Т. 4, № 2. – С. 234–282.
6. Измалков, В.И. Зонирование территорий по видам опасности / В.И. Измалков // Гражданская защита: энциклопедия: в 4 т. / под общ. ред. В.А. Пучкова. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. – Т. 1. – С. 571–573.
7. 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.
8. Булва, А.Д. Методика определения ранга организаций для дифференцированного планирования мероприятий гражданской обороны / А.Д. Булва // Технологии гражданской безопасности. – 2019. – Т. 16, № 2 (60). – С. 70–78.
9. Булва, А.Д. Рэтраспектыўны погляд на беларускую сістэму абароны ад надзвычайных сітуацый: генезіс і эвалюцыя / А.Д. Булва // Вестн. Полесского гос. ун-та. Сер. об-венных и гуманитарных наук. – 2017. – № 1. – С. 3–12.

10. Черкасов, Д.Н. Экономическая история: зарубежные страны и Беларусь: учеб. пособие для студентов / под ред. Т.И. Повалихиной. – Минск: Экоперспектива, 2013. – 202 с.
11. Панов, Б.В. История военного искусства: учебник / Б.В. Панов, В.Н. Киселев, И.И. Картавец [и др.]. – М.: Воениздат, 1984. – 535 с.
12. Лашков, А.Ю. Зарождение, становление и боевая деятельность объектовой противовоздушной обороны России накануне и в годы Первой мировой войны: дис. ... канд. ист. наук: 20.02.22 / А.Ю. Лашков. – М., 2005. – 234 л.
13. Проблемы военной безопасности России в XXI веке (социально-гуманитарный анализ) (навстречу 200-летию академии и 95-летию кафедры гуманитарных дисциплин): монография / под общ. ред. В.П. Беркута, В.С. Пусько. – Балашиха: ВА РВСН им. Петра Великого, 2018. – 255 с.
14. Строков, А.А. Вооруженные силы и военное искусство в Первой мировой войне / А.А. Строков. – М.: Воениздат, 1974. – 616 с.
15. Багдасарян, А.О. Предпосылки зарождения системы гражданской обороны в Первую мировую войну / А.О. Багдасарян // История: факты и символы. – 2016. – № 2. – С. 87–93.
16. Багдасарян, А.О. Разработка мероприятий по защите населения России от нападения с воздуха в годы Первой мировой войны / А.О. Багдасарян // Вестн. Чувашского ун-та. – 2016. – № 4. – С. 18–22.
17. Владимиров, В.А. От МПВО к гражданской защите: ист. очерк / В.А. Владимиров, С.Ф. Левин, В.А. Медведев [и др.]; под ред. С.К. Шойгу. – М.: УРСС, 1998. – 334 с.
18. Черток, Б.Е. Ракеты и люди / Б.Е. Черток. – М.: Машиностроение, 1999. – Изд. 2-е. – 416 с.
19. Булва, А.Д. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны и мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций в составе проектной документации / А.Д. Булва, В.А. Панасевич // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 256–268. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.256.
20. Булва, А.Д. Управление рисками чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь: состояние и перспективы / А.Д. Булва // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. науч. трудов VII Междунар. науч.-практ. конф., посв. 60-летию создания первого в Республике Беларусь научного подразделения в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров, 1 нояб. 2016 г.: в 2 ч. / редкол.: Ю.С. Иванов [и др.]. – Минск: Колорград, 2016. – Ч. 1. – С. 207–220.
21. Карпиленя, Н.В. Военная доктрина как научно-теоретическая основа совершенствования гражданской обороны / Н.В. Карпиленя, А.Д. Булва // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 2. – С. 178–194. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.178.
22. Буравлев, А.И. Критерии оценки эффективности огневого поражения в операции / А.И. Буравлев, В.А. Ерохин // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2007. – Т. 5, № 8. – С. 16–22.
23. Шульгин, В.Е. Еще раз о теории огневого поражения / В.Е. Шульгин, Ю.Н. Фесенко // Военная мысль. – 1994. – № 7. – С. 57–65.
24. Буравлев, А.И. Об оценке эффективности поражения высокоточным оружием объектов военно-экономического потенциала / А.И. Буравлев, В.С. Брезгин // Вооружение и экономика. – 2013. – № 1 (22). – С. 16–20.
25. Малышев, В.П. Оценка военной опасности для организации и ведения гражданской обороны / В.П. Малышев, Э.Я. Богатырев // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – Т. 4, № 1. – С. 643–659.
26. Кондратьев-Фирсов, В.М. Комплексная методика прогнозирования обстановки, объемов аварийно-спасательных и других неотложных работ при воздействии на объекты экономики обычными современными средствами поражения / В.М. Кондратьев-Фирсов, В.П. Малышев, С.И. Турко, В.А. Шевченко // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – Т. 2, № 2. – С. 49–55.

Концептуальные подходы к зонированию территорий по степени опасности
Conceptual approaches to zoning of territories by the degree of danger

Булва Александр Дмитриевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси», кафедра гражданской защиты, доцент

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,
ул. Машиностроителей, 25
e-mail: bulva@list.ru

Aleksandr D. Bulva

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

Address: 220118, Belarus, Minsk,
ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: bulva@list.ru

Карпиленя Николай Васильевич

доктор военных наук, профессор

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», кафедра социальных наук, профессор

Адрес: 220057, Беларусь, г. Минск,
пр-т Независимости, 220
e-mail: karpilenyanv@mail.ru

Nikolay V. Karpilenya

Grand PhD in Military Sciences, Professor

Educational Establishment «Military academy of Republic of Belarus», Chair of Social Sciences, Professor

Address: 220057, Belarus, Minsk,
pr-t Nezavisimosti, 220
e-mail: karpilenyanv@mail.ru

Лебедкин Александр Владимирович

доктор военных наук, профессор

Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь»

Адрес: 220103, Беларусь, г. Минск,
ул. Славинского, 4/3

Aleksandr V. Lebedkin

Grand PhD in Military Sciences, Professor

State Institution «Scientific Research Institute of the Armed Forces of the Republic of Belarus»

Address: 220103, Belarus, Minsk,
st. Slavinsky, 4/3

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.420>

CONCEPTUAL APPROACHES TO ZONING OF TERRITORIES BY THE DEGREE OF DANGER

Bulva A.D., Karpilenya N.V., Lebedkin A.V.

Purpose. The purpose of the article is to analyze the evolution of the concepts of zoning territories according to the degree of danger, prepare a proposal to clarify the existing concept, taking into account the laws of war, the Military Doctrine, and the National Strategy for Reducing the Risk of Emergencies in the Republic of Belarus for 2019–2030.

Methods. General scientific research methods have been used: induction and deduction, analysis and synthesis, comparison and generalization, analogy.

Findings. The article determined the role and place of zoning of territories according to the degree of danger in the system of defense measures of the country, formulated suggestions for improving the requirements of technical regulatory legal acts in the field of civil defense.

Application field of research. The results of the study are a contribution to the development of the theory of civil defense; they can be used in processing the requirements of technical regulatory legal acts in terms of clarifying conceptual approaches to zoning territories according to the degree of danger.

Keywords: civil defense, military doctrine, laws of war, protection, zoning, engineering and technical measures, danger, defeat, emergency.

(The date of submitting: September 24, 2019)

REFERENCES

1. Vladimirov V.A. O teorii grazhdanskoj zashchity [On the theory of civil protection]. *Civil Protection Strategy: Issues & Research*, 2012. Vol. 2, No. 2. Pp. 549–559. (rus)
2. Vorob'ev Yu.L. Sovremennye voyny i grazhdanskaya oborona [Modern wars and civil defense]. *Civil Protection Strategy: Issues & Research*, 2012. No. 1. Pp. 791–810. (rus)
3. Karpilenya N.V. O nekotorykh filosofsko-geopoliticheskikh vyvodakh i predlozheniyakh dlya formirovaniya mnogopolyarnogo mira: v belorusskoy proektsii [On some philosophical and geopolitical conclusions and proposals for the formation of a multipolar world: in the Belarusian projection]. *Journal of Humanitarian issues of warfare*, 2017. No. 3. Pp. 38–50. (rus)
4. Dedkov V.K. Upravlenie spetsial'noy podgotovki narodnogo khozyaystva (5-e upravlenie VNII GO SSSR) [Department of special preparation of the national economy (the 5th department of the All-Union Research Institute of Civil Defense of the USSR)]. *Comprehensive solutions to security problems (dedicated to the 40th anniversary of the institute): collection of articles in 4 parts*. Moscow: Institute for Civil Defence and Emergencies, 2016. P. 2. Pp. 59–65. (rus)
5. Malyshev V.P., Dolgin N.N. Vozmozhnye perspektivy razvitiya grazhdanskoj oborony na period do 2020 goda [Possible prospects for the development of civil defense for the period up to 2020]. *Civil Protection Strategy: Issues & Research*, 2014. Vol. 4, No. 2. Pp. 234–282. (rus)
6. Izmalkov V.I. Zonirovanie territoriy po vidam opasnosti [Zoning of territories by types of danger]. *Civil protection: encyclopedia in 4 parts*. Ed. by V.A. Puchkov. Moscow: Institute for Civil Defence and Emergencies, 2015. P. 1. Pp. 571–573. (rus)
7. Lasuta G.F., Karpilenya N.V., Bulva A.D. 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.
8. Bulva A.D. Metodika opredeleniya ranga organizatsiy dlya differentsirovannogo planirovaniya mero-priyatij grazhdanskoj oborony [Method of determining the rank of organizations for the differentiated planning of civil defense activities]. *Civil Security Technology*, 2019. Vol. 16, No. 2. Pp. 70–78. (rus)
9. Bulva A.D. Retraspektyuny poglyad na belaruskuyu sistemu abarony ad nadzvychaynykh situatsyy: genezis i evalyutsyya [Retrospective look at the Belarusian system of protection from emergency situations: genesis and evolution]. *Vestnik Polesskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya obshchestvennykh i gumanitarnykh nauk*, 2017. No. 1. Pp. 3–12. (bel)
10. Cherkasov D.N. *Ekonomicheskaya istoriya: zarubezhnye strany i Belarus'* [Economic history: foreign countries and Belarus]: tutorial for students. Ed. by T.I. Povalikhina. Minsk: Ekoperspektiva, 2013. 202 p. (rus)

11. Panov B.V., Kiselev V.N., Kartavtsev I.I. [et al.] *Istoriya voennogo iskusstva* [History of military art]: textbook. Moscow: Military publishing, 1984. 535 p. (rus)
12. Lashkov A.Yu. *Zarozhdenie, stanovlenie i boevaya deyatelnost' ob"ektovoy protivovozdushnoy oborony Rossii nakanune i v gody Pervoy mirovoy voyny* [Origin, formation and combat activity of object air defense of Russia before and during the First World War]: PhD hist. sci. diss.: 20.02.22. Moscow, 2005. 234 p. (rus)
13. *Problemy voennoy bezopasnosti Rossii v XXI veke (sotsial'no-gumanitarnyy analiz) (navstrechu 200-letiyu akademii i 95-letiyu kafedry humanitarnykh distsiplin)* [Problems of Russian military security in the 21st century (social and humanitarian analysis) (towards the 200th anniversary of the academy and the 95th anniversary of the department of humanitarian disciplines)]: research. Ed. by V.P. Berkut, V.S. Pus'ko. Balashikha: Peter the Great Military Academy of Strategic Rocket Forces, 2018. 255 p. (rus)
14. Stokov A.A. *Vooruzhennyye sily i voennoye iskusstvo v Pervoy mirovoy voyne* [Armed forces and military art in the First World War]: textbook. Moscow: Military publishing, 1974. 616 p. (rus)
15. Bagdasaryan A.O. Predposylki zarozhdeniya sistemy grazhdanskoj oborony v Pervuyu mirovuyu voynu [Prerequisites for the emergence of a civil defense system in the First World War]. *Journal of History: Facts and Symbols*, 2016. No. 2. Pp. 87–93. (rus)
16. Bagdasaryan A.O. Razrabotka meropriyatiy po zashchite naseleniya Rossii ot napadeniya s vozdukh v gody Pervoy mirovoy voyny [Development of measures to protect the Russian population from air attacks during the First World War]. *Journal of Chuvash University*, 2016. No. 4. Pp. 18–22. (rus)
17. Vladimirov V.A., Vorob'ev Yu.L., Dolgin N.N. [et al.] *Ot MPVO k grazhdanskoj zashchite* [From local air defense to civil defense]: historical essay. Ed. by S.K. Shoygu. Moscow: Editorial URSS, 1998. 334 p. (rus)
18. Chertok B.E. *Rakety i lyudi* [Rockets and people]: textbook. Moscow: Engineering, 1999. 416 p. (rus)
19. Bulva A.D., Panasevich V.A. Engineering and technical activities of civil defense and emergency prevention activities in the composition of design documentation. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 2. Pp. 256–268. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.256.
20. Bulva A.D. Upravlenie riskami chrezvychaynykh situatsiy v Respublike Belarus': sostoyanie i perspektivy [Emergency Risk Management in the Republic of Belarus: Status and Prospects]. *Proc. VII Intern. scientific-practical conf. dedicated to the 60th anniversary of the creation of the first scientific unit in the Republic of Belarus in the field of prevention and liquidation of emergency situations and fires, Minsk, November 1, 2016*. Research Institute of Safety and Emergencies. Ed. by Yu.S. Ivanov. Minsk: Kolorgrad, 2016. Pp. 207–220. (rus)
21. Karpilena N.V., Bulva A.D. Military doctrine as a scientific and theoretical basis for the improvement of civil defense. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 2. Pp. 178–194. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.178.
22. Buravlev A.I., Erokhin V.A. Kriterii otsenki effektivnosti ogneвого porazheniya v operatsii [Criteria for evaluating the effectiveness of fire damage in the operation]. *Journal Information-measuring and Control Systems*, 2007. Vol. 5, No. 8. Pp. 16–22. (rus)
23. Shul'gin V.E., Fesenko Yu.N. Eshche raz o teorii ogneвого porazheniya [Once again about the theory of fire destruction]. *Military thought*, 1994. No. 7. Pp. 57–65. (rus)
24. Buravlev A.I., Brezgin V.S. Ob otsenke effektivnosti porazheniya vysokotochnym oruzhiem ob"ektov voenno-ekonomicheskogo potentsiala [On assessing the effectiveness of the destruction of high-precision weapons of military-economic potential]. *Armament and Economics*, 2013. No. 1. Pp. 16–20. (rus)
25. Malyshev V.P., Bogatyrev E.Ya. Otsenka voennoy opasnosti dlya organizatsii i vedeniya grazhdanskoj oborony [Assessment of military danger for the organization and conduct of civil defense]. *Civil Protection Strategy: Issues & Research*, 2014. Vol. 4, No. 1. Pp. 643–659. (rus)
26. Kondrat'ev-Firsov V.M., Malyshev V.P., Turko S.I., Shevchenko V.A. Kompleksnaya metodika prognozirovaniya obstanovki, ob"emov avariyno-spasatel'nykh i drugikh neotlozhnykh rabot pri vozdeystvii na ob"ekty ekonomiki obychnymi sovremennymi sredstvami porazheniya [A comprehensive methodology for predicting the situation, the volume of emergency rescue and other urgent work when exposed to objects of the economy with conventional modern means of destruction]. *Civil Protection Strategy: Issues & Research*, 2012. Vol. 2, No. 2. Pp. 49–55. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.438>

УДК 614.8.084:614.876:351.861:517.977.5:004.023

ПОДГОТОВКА ЭКСПЕРТИЗЫ АЛГОРИТМА ДЕЙСТВИЙ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ АВАРИИ НА БЕЛОРУССКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Худолеев А.Ф.

Цель. Уточнить содержание подготовки экспертизы алгоритма действий должностных лиц государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при аварии на Белорусской атомной электростанции.

Методы. Анализ порядка организации экспертизы, особенностей функционирования системы предупреждения и ликвидации чрезвычайной ситуации на Белорусской атомной электростанции. Изучение существующих показателей алгоритма действий должностных лиц, участвующих в ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Результаты. Уточнены показатели алгоритма действий должностных лиц государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при аварии на Белорусской атомной электростанции, подвергающиеся экспертной оценке. Сформулированы требования к экспертам, определены возможности применения полученных экспертных оценок.

Область применения исследований. Результаты исследований могут стать основой системы экспертной оценки алгоритма действий должностных лиц государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при аварии на Белорусской атомной электростанции.

Ключевые слова: Белорусская атомная электростанция, экспертиза, экспертная оценка, временные показатели, весовые коэффициенты.

(Поступила в редакцию 14 октября 2019 г.)

Введение. Принятие решений – одна из приоритетных функций управления, требующая умений, знаний и навыков, которыми должно владеть должностное лицо государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при аварии на Белорусской атомной электростанции (БелАЭС).

Высокая степень сложности механизмов управления при планировании и организации ликвидации ЧС на БелАЭС требует тщательной проработки целей и задач государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при аварии на БелАЭС, путей и средств достижения высокой эффективности и качества работы входящих в нее должностных лиц. Однако сложность, недостаточная математическая формализация, отсутствие аналитического описания процессов управления обуславливает применения методов экспертных оценок.

Принятие неоптимальных решений при ликвидации ЧС такого плана приведет не только к уменьшению эффективности действий сил, ответственных за ликвидацию, но и повлечет за собой большие потери среди населения, нанесение вреда различным сферам жизни и экономики страны.

В связи с этим планирование и организация ликвидации ЧС на стратегически важном объекте должны осуществляться на основе принятия обоснованных решений специалистами, опирающимися на опыт, знания и интуицию.

Основная часть. Все существующие задачи (проблемы), возникающие в ходе процесса принятия решений, можно разделить на три класса [1]:

1) хорошо структурированные, или количественно сформулированные, в которых получают численные оценки;

2) неструктурированные, или качественно выраженные, в которых количественные зависимости между признаками и характеристиками неизвестны;

3) слабо структурированные, или смешанные, содержащие как количественные, так и качественные элементы.

Формирование алгоритма действий должностных лиц государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций осуществлялось на основании знаний, полученных в ходе решения схожих по области действий задач, а также с учетом опыта отечественных и зарубежных специалистов.

Оценка эффективности данного алгоритма была проведена методом критического пути [2]. В результате установлены значения временных показателей реагирования сил, задействованных в ликвидации ЧС. Исследования математической модели процесса ликвидации ЧС на БелАЭС [3] показали, что значения этих показателей требуют уточнения.

Определение значений временных показателей является неструктурированной, или слабо структурированной, задачей в зависимости от оцениваемого пункта алгоритма действий. В некоторых случаях получить количественные зависимости между временными показателями и характеристиками этапов комплекса мероприятий не представляется возможным. Например, невозможно установить функциональную зависимость между временным показателем этапа оказания медицинской помощи в районе аварии на БелАЭС и его характеристиками.

Ликвидация ЧС в рамках исследования операций может рассматриваться как система с высокой степенью неопределенности. Это связано с необходимостью оценки различных параметров алгоритма действий должностных лиц, значение которых невозможно измерить (например, длительность оказания медицинской помощи в районе аварии и т. п.), вычислить по известным аналитическим зависимостям (например, длительность и порядок организации безопасности дорожного движения в районе аварии и т. п.), установить по аналогии со значениями других параметров, схожих с определяемыми значениями, которые известны. В таких случаях единственным способом решения такой проблемы является использование неформальных методов оценивания, основанных на мнении специалистов в соответствующей сфере. Одними из наиболее используемых неформальных методов оценивания являются методы экспертных оценок.

Методы экспертных оценок – это приемы организации работы со специалистами-экспертами и обработки их мнений, которые могут быть выражены частично в количественной, частично в качественной форме [4].

Последовательность и содержание решения задач методами экспертных оценок в самом общем виде могут быть представлены следующим образом [1]:

- постановка задачи;
- обоснование перечня и содержания тех параметров задачи, для определения значений которых целесообразно использовать экспертные оценки;
- обоснование форм и способов экспертных оценок;
- разработка реквизитов (бланков, инструкций и т. п.), необходимых для проведения экспертных оценок;
- подбор (инструктаж) экспертов, привлекаемых для решения задачи;
- организация и обеспечение работы экспертов;
- контроль и первичная обработка экспертных оценок;
- базовая обработка экспертных оценок.

В качестве технологии использования метода экспертных оценок временных показателей реагирования будет применена такая последовательность требуемых операций:

- формирование представительной группы компетентных экспертов;
- выбор способа организации работы с экспертами;
- выбор метода формирования экспертами суждений (оценок) по решаемым вопросам и проведение экспертизы;

– выбор метода обработки оценок группы экспертов.

В общем случае проведение экспертизы может быть представлено в виде схемы (рис. 1).

Постановка задачи на проведение экспертной оценки формулируется исходя из условий чрезвычайной ситуации, описанной в плане защитных мероприятий при радиационной аварии на БелАЭС¹ (внешний аварийный план): в качестве реперного сценария за проектной аварии принята авария с большой течью теплоносителя первого контура с отказом активной части системы аварийного охлаждения зоны и дополнительным наложением полного обесточивания БелАЭС в первые 24 часа. Данная авария приводит к предельному выбросу. Авария сопровождается быстрыми процессами деградации и плавления активной зоны при медленном росте давления в контейнменте с сохранением локализирующих функций двойной защитной оболочки. Подробное описание и развитие ЧС представлено в Положении².

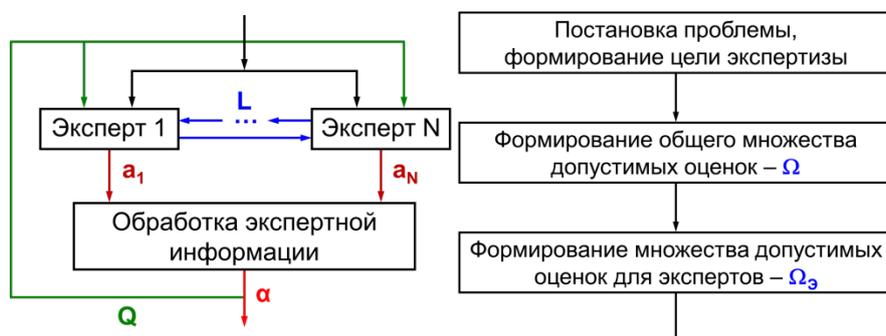


Рисунок 1. – Схема проведения экспертизы

Оцениваемые временные показатели разделены на 12 групп в зависимости от лиц, ответственных за работы по ликвидации ЧС на БелАЭС. В соответствии с матрицей ответственности, описанной в [3], определим лиц, ответственных за проведение экспертной оценки временных показателей:

- заместитель председателя комиссии по ЧС – начальник ПАСС;
- председатель эвакуационной комиссии;
- начальник медицинской службы;
- начальник службы связи;
- начальник службы передачи и распространения информации;
- представитель военного управления;
- начальник службы транспортного обеспечения;
- начальник службы охраны общественного порядка;
- начальник службы сельскохозяйственных животных и растений;
- начальник службы торговли и питания;
- начальник коммунально-технической службы;
- начальник службы обеспечения горючими и смазочными материалами.

В состав множества допустимых оценок для экспертов предлагается включить только те временные показатели реагирования, которые влияют на организацию мероприятий непосредственно в зоне аварии. Экспертная оценка этих показателей должна проводиться опытными и компетентными экспертами, в т. ч. лицом, выполняющим обязанности начальника медицинской службы, а также с учетом различных располагаемых ресурсов и предпо-

¹ Об утверждении Положения об условиях и порядке разработки аварийных планов [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 27 авг. 2010 г., № 1242 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2010.

² См. сн. 1.

лагаемым объемом требуемой медицинской помощи (количеством жертв среди работников БелАЭС, местного населения, спасателей и т. д.).

Наиболее эффективными способами работы с экспертами считаются интервьюирование и анкетирование [3]. При интервьюировании эксперты опрашиваются руководителем экспертизы, при анкетировании каждым экспертом заполняется анкета, разработанная исследователем (руководителем экспертизы) заранее. Преимуществом проведения интервью является возможность уточнения оценки эксперта в процессе, а также формирование уточняющей информации, преимуществом анкетирования – возможность глубокой проработки каждого пункта анкеты самостоятельно экспертом, а также, при необходимости, дополнительное изучение объекта экспертизы.

В рассматриваемой экспертизе в качестве способа работы с экспертами планируется использовать анкетирование, проведение которого будет осуществляться с учетом следующих факторов [1]:

- применение общих системных представлений в процессе формирования анкеты;
- детализация вопросов анкеты будет касаться конкретных экспертов с учетом необходимости указания временных показателей для каждого этапа алгоритма действий должностного лица с учетом матрицы ответственности;

- оптимальный уровень сложности анкеты определяется за счет включения в нее наиболее информативных вопросов, характеризующих объект оценки, выбирается шкала оценок информативности и дается пример ее использования. Для всех временных показателей эксперт должен проставить оценочную продолжительность каждого мероприятия для своей сферы ответственности, рассматривая развитие ситуации – оптимистическое, пессимистическое и наиболее вероятное;

- анкета должна быть логически обоснованной, не допускать двоякого понимания или иной интерпретации вопросов, содержащихся в ней, а также эксперт должен иметь возможность дать ответы на вопросы только в количественной форме, а для тех вопросов, которые требуют открытого развернутого ответа, обладать всей полнотой информации.

Помимо компетентности специалист, включаемый в экспертную группу, должен обладать набором качеств, основными из которых являются:

- креативность (получение решения задачи даже в том случае, когда метод его поиска частично или полностью неизвестен);

- эвристичность (способность, опираясь на собственный опыт, выявлять проблемы неочевидные неопытному специалисту);

- интуиция (предугадывание решения без предоставления его обоснования);

- предикатность (способность предчувствовать или предсказывать решение, полученное в будущем);

- независимость (принятие решения и оценка объекта исследования без опоры на мнение большинства);

- всесторонность (способность рассматривать проблему в комплексе с использованием механизмов системного анализа).

Наиболее предпочтительным является назначение для экспертной оценки не единственного специалиста, а группы экспертов, численность которой должна быть такой, чтобы при обработке полученных от них оценок (суждений) можно было определить статистически устойчивую.

Оценка компетентности специалистов является одним из важных факторов, характеризующих этап выбора группы экспертов. По характеру проведения оценивания компетентности критерии оценки могут быть разделены на две группы³:

- оценки компетентности по эталону;

- взаимные оценки компетентности.

³ См. сн. 1.

Оценка компетентности в численном представлении может выражаться через коэффициент, например, выраженный в 10-балльной шкале.

Оценка компетентности по эталону позволяет определить положение эксперта на некоторой «шкале компетентности», приведенной в абсолютных единицах (баллах), значимость которых можно определить по представлению об абстрактном эталоне компетентности. Такая шкала компетентности обеспечивает возможность использования взвешенных оценок экспертов, которые при изменении группы экспертов будут оставаться устойчивыми. Возможное распределение значимости представлено в таблице [1].

Таблица. – Предлагаемая шкала степени компетентности эксперта

Степень компетентности	Оценка, баллы	Степень компетентности	Оценка, баллы
Высшая	10	Удовлетворительная	5
Достаточная	8	Малая	2

Степень компетентности эксперта определяется путем его анкетирования. Компетентность эксперта определяется множеством факторов, описывающих характеристики эксперта⁴:

- уровень теоретической подготовки;
- уровень квалификации его в области предмета экспертизы;
- практический опыт;
- широкий кругозор;
- острота мышления;
- физическое состояние.

В качестве взаимной оценки компетентности значение коэффициента компетентности определяется коллегами по экспертизе в пределах экспертной группы.

Отметим некоторые источники ошибок, которые могут влиять на результаты экспертизы при проведении субъективной оценки [3]:

- недостаточная информированность эксперта, связанная с неточностью формулировки задач экспертизы, неясностью и неоднозначностью используемой терминологии, недостаточной эффективностью предложенных шкал оценок;
- плохо составленная анкета эксперта;
- недостаточная компетентность эксперта, определяемая слишком высокой степенью сложности задач, недостаточностью совокупности его научных гипотез и конкретных идей относительно характера и поведения объекта экспертизы, малой научной любознательностью;
- недостаточная объективность эксперта вследствие нежелания участвовать в экспертизе, наличия его прямой заинтересованности в некоторых определенных результатах экспертизы, наличия морального давления на эксперта со стороны некоторых лиц, большая трудоемкость заполнения анкет и т. п.;
- недостаточная усредненность мнений экспертов, связанная с ошибками анкетирования, построением процесса экспертизы;
- недостаточное количество экспертов.

Таким образом, мерами для получения достоверных оценок является устранение вышеперечисленных источников ошибок.

Заключение. На основе проведенных исследований уточнены показатели алгоритма действий должностных лиц государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при аварии на Белорусской атомной электростанции, подвергающиеся экспертной оценке. При подготовке экспертизы необходимо оценить временные показатели в зависимости от лиц, задействованных в работе по ликвидации ЧС на БелАЭС в соответствии с матрицей ответственности. Планирование комплекса мероприятий ликвидации ЧС является сложным процессом, каждый этап которого имеет временной показатель реа-

⁴ См. сн. 1.

гирования с неизвестной или слабо формализованной зависимостью между признаками и характеристиками.

Этап подготовки экспертизы имеет целью создание условий для получения объективных и точных оценок различных вариантов временных параметров реагирования, что требует от эксперта таких качеств, как компетентность, креативность, эвристичность, интуиция, предикатность, независимость и всесторонность, которые позволят в полном объеме оценить временные показатели реагирования сил, задействованных в ликвидации ЧС, полученные при исследовании математической модели процесса ликвидации ЧС на БелАЭС [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Мартемьянов, Ю.Ф. Экспертные методы принятия решений: учеб. пособие / Ю.Ф. Мартемьянов, Т.Я. Лазарева. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 80 с.
2. Худолеев, А.Ф. Применение метода сетевого планирования для оценки эффективности алгоритма действий должностных лиц при ликвидации чрезвычайных ситуаций на Белорусской атомной электростанции / А.Ф. Худолеев, И.П. Акулич, М.М. Тихонов, С.В. Акулич // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 59–66. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.59.
3. Акулич, И.П. Применение метода критического пути для оптимизации алгоритма действий должностных лиц при ликвидации чрезвычайной ситуации на Белорусской атомной электростанции / И.П. Акулич, А.Ф. Худолеев, С.В. Акулич, М.М. Тихонов // Сборник научных статей Военной Академии Республики Беларусь. – 2019. – № 36. – С. 55–65.
4. Орлов, А.И. Экспертные оценки: учеб. пособие / А.И. Орлов. – М., 2002. – 31 с.
5. Анохин, А.Н. Методы экспертных оценок: учеб. пособие / А.Н. Анохин. – Обнинск: ИАТЭ, 1996. – 148 с.

Подготовка экспертизы алгоритма действий должностных лиц государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при аварии на Белорусской атомной электростанции

Preparation of algorithm expertise of the actions of officials of state emergency prevention and elimination system in case of an accident at the Belarusian nuclear power plant

Худолеев Александр Федорович

Министерство по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь, Первый заместитель
министра

Адрес: 220030, Беларусь, г. Минск,
ул. Революционная, 5
e-mail: mail@mchs.gov.by

Aleksandr F. Khudoleev

Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus,
First Deputy Minister

Address: 220030, Belarus, Minsk,
ul. Revolyutsionnaya, 5
e-mail: mail@mchs.gov.by

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.438>

PREPARATION OF ALGORITHM EXPERTISE OF THE ACTIONS OF OFFICIALS OF STATE EMERGENCY PREVENTION AND ELIMINATION SYSTEM IN CASE OF AN ACCIDENT AT THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER PLANT

Khudoleev A.F.

Purpose. To clarify the content of the preparation of expertise of the algorithm of actions of the officials of state emergency prevention and elimination system in case of an accident at the Belarusian nuclear power plant.

Methods. Analysis of the procedure for organizing the expertise, the features of the functioning of the system of prevention and elimination of emergency situations at the Belarusian nuclear power plant. Study of existing indicators of the algorithm of actions of the officials involved in emergency response.

Findings. The indicators of the algorithm of the actions of the officials of state emergency prevention and elimination system in case of an accident at the Belarusian nuclear power plant, which are subject to expert evaluation, are specified. Requirements to experts are formulated; the possibilities of application of received expert estimations are defined.

Application field of research. The results of the research can become the basis of the system of expert evaluation of the algorithm of the actions of officials of state emergency prevention and elimination system in case of an accident at the Belarusian nuclear power plant.

Keywords: Belarusian nuclear power plant, expertise, expert assessment, time indicators, weight coefficients.

(The date of submitting: October 14, 2019)

REFERENCES

1. Martem'yanov Yu.F., Lazareva T.Ya. *Ekspertnye metody prinyatiya resheniy* [Expert decision-making methods]: tutorial. Tambov: Tambov State Technical University, 2010. 80 p. (rus)
2. Khudoleyev A.F., Akulich I.P., Tikhonov M.M., Akulich S.V. Application of the method of network scheduling for assessment of effectiveness of the algorithm of actions of officials at emergency response on the Belarusian nuclear power station. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 1. Pp. 59–66. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.59.
3. Akulich I.P., Khudoleyev A.F., Akulich S.V., Tikhonov M.M. Primenenie metoda kriticheskogo puti dlya optimizatsii algoritma deystviy dolzhnostnykh lits pri likvidatsii chrezvychaynoy situatsii na Belorusskoy atomnoy elek-trostantsii [Application of the critical path method to optimize the algorithm of actions of officials in emergency response at the Belarusian nuclear power plant]. *Sbornik nauchnykh statey Voennoy Akademii Respubliki Belarus'*, 2019. No. 36. Pp. 55–65. (rus)
4. Orlov A.I. *Ekspertnye otsenki* [Expert estimates]: tutorial. Moscow, 2002. 31 p. (rus)
5. Anokhin A.N. *Metody ekspertnykh otsenok* [Methods of expert assessments]: tutorial. Obninsk Institut for Nuclear Power Engineering, 1996. 148 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.446>

УДК 614.8:551.583

НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И УГРОЗЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

Левчук О.В.

Цель. Анализ происходящих на планете климатических изменений, определение степени их воздействия на Республику Беларусь, а также выработка основных направлений по смягчению их неблагоприятных последствий.

Методы. Анализ статистических данных об опасных и неблагоприятных природных явлениях на территории Беларуси, а также зарубежного опыта по противодействию неблагоприятным климатическим явлениям. Синтез направлений и мер по смягчению неблагоприятных последствий чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Беларуси на основе проведенного анализа.

Результаты. Представлен анализ обстановки с природными чрезвычайными ситуациями на территории Республики Беларусь с 2008 по 2017 год. Показано, что изменение климата определенным образом влияет на статистику чрезвычайных ситуаций природного характера, вызывая неблагоприятные явления, которые ранее на территории Республики Беларусь не наблюдались (например, ураганные ветры). Отмечено увеличение экономического ущерба от типичных для белорусских широт погодных проявлений при незначительном росте количества чрезвычайных ситуаций, вызванных климатическими изменениями и опасными метеорологическими явлениями. Проведен анализ зарубежного опыта по противодействию неблагоприятным климатическим явлениям. Предложены меры по смягчению неблагоприятных последствий чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Беларуси.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть применены при разработке планов и рекомендаций по смягчению неблагоприятных последствий чрезвычайных ситуаций природного характера.

Ключевые слова: природная чрезвычайная ситуация, климатические изменения, потепление, опасное природное явление, метеорологическое явление, статистика чрезвычайных ситуаций.

(Поступила в редакцию 30 августа 2019 г.)

Введение. На протяжении XX века на планете отмечалась тенденция глобального изменения климата, фиксировалось повышение среднегодовой температуры воздуха. Это стало причиной целого ряда природных катастроф, которые в свою очередь нередко провоцируют и техногенные чрезвычайные ситуации.

Повышение концентрации углекислого газа в атмосфере, в т. ч. и в результате антропогенной деятельности, ведет к потеплению атмосферы, изменению режима выпадения осадков, температурным аномалиям и увеличению частоты ураганов, наводнений и засух.

Потепление климата в той или иной мере коснется всех стран, независимо от климатических зон, в которых они расположены. Уже сегодня отмечается смещение климатических поясов. Изменения погоды становятся более резкими (сильные морозы, сменяющиеся внезапными оттепелями зимой, рост числа аномально жарких дней летом). Увеличится частота и сила аномальных явлений, таких как засухи и наводнения. Ученые обнаружили следы потепления при изучении тропических циклонов в Тихом океане, необычно высоких летних температур в Европе, Китае, Корее и Аргентине, а также лесных пожаров в американском штате Калифорния. Климатические изменения послужили также катализатором засухи в Африке и на Ближнем Востоке, снежных бурь в Непале и наводнений в Канаде и Новой Зеландии. Происходящие процессы влияют в т. ч. и на изменение климата в Республике Беларусь.

В связи с этим целью данного исследования является анализ происходящих на планете климатических изменений, определение степени их воздействия на Республику Беларусь, а также выработка основных направлений по смягчению их неблагоприятных последствий. При проведении настоящего аналитического исследования использованы термины и определения согласно действующим нормативным документам [1–3].

Обстановка с природными чрезвычайными ситуациями на территории Республики Беларусь (с 2008 по 2017 год). Климат в Беларуси умеренный, переходный от морского к континентальному, более прохладный на севере и относительно теплый на юге.

Возникающие на территории страны чрезвычайные ситуации природного характера связаны с опасными или неблагоприятными метеорологическими явлениями. Как правило, частота и интенсивность возникновения таких явлений напрямую зависят от климатических условий. В одних регионах республики это выражается в бесснежных зимах, отсутствии осадков в теплое время года, в других наоборот – провоцирует проливные дожди, сильные снегопады, метели и ураганные ветры. При этом перепады температуры, особенно частые «переходы» температуры воздуха и почвы «через ноль» нарушают работу транспорта, ухудшают условия работы на открытом воздухе, вызывают гололедицу, снежные заносы, налипание льда и снега на проводах и инженерных сооружениях, что приводит к повреждению линий связи и электропередач, негативно отражается на состоянии дорог.

Для белорусских широт негативные последствия климатических изменений менее заметны, однако определенные риски все же присутствуют. К таким рискам относятся:

- увеличение частоты, интенсивности и продолжительности засух в одних регионах, экстремальных осадков, наводнений, случаев опасного для сельского хозяйства переувлажнения почвы – в других;

- повышение пожарной опасности в лесах и на торфяниках;

- нарушение экологического равновесия, вытеснение одних биологических видов другими;

- поражение флоры и фауны новыми, ранее нехарактерными заболеваниями.

В период с 2008 по 2017 год на территории Беларуси наблюдалось 13 видов опасных метеорологических явлений, которые из-за своей интенсивности или продолжительности могут нарушать работу сельского хозяйства, промышленных предприятий, наносить значительный ущерб экономике, приводить к гибели людей. К таким явлениям относятся сильные ветры, шквалы, смерчи, туманы, сильный град, грозы, обильные осадки в виде дождя и снега, метели, засухи, очень низкие и очень высокие температуры воздуха.

За последние 10 лет в республике зарегистрировано 355 опасных (неблагоприятных) метеорологических явлений, в результате которых погибли 368 человек и 8449 были травмированы. Также указанные явления нанесли значительный материальный ущерб экономике.

Следует отметить, что в целом частота возникновения опасных метеорологических явлений в Республике Беларусь имеет тенденцию к сокращению (за последнее десятилетие количество таких ситуаций снизилось на 26 %, с 35 в 2008 году до 26 в 2017-м). В исследуемом периоде наблюдалось устойчивое снижение количества природных чрезвычайных ситуаций. В 2017 году их произошло в три с половиной раза меньше, чем в 2008-м (5 против 18).

Основная доля регистрируемых природных чрезвычайных ситуаций относится именно к метеорологическим явлениям (52 чрезвычайные ситуации, или 49 %). На их долю приходится и наибольший материальный ущерб. Этот показатель за указанный период составил более 363 млн долл. США (погибли 3 человека, травмированы – 55).

Общий ущерб от природных чрезвычайных ситуаций в 2008 году составил 0,023 % от ВВП (14 млн долл. США), в 2017-м – 0,002 % от ВВП (0,8 млн долл. США).

Сельское хозяйство является наиболее погодозависимой отраслью экономики, поэтому неблагоприятные природные явления наносят ему наибольший ущерб, что чревато определенными рисками для продовольственной безопасности республики.

С 2008 по 2017 год произошло 184 опасных метеорологических явления, связанные с сильным ветром. Анализ данных ситуаций за последние 10 лет показывает, что материальный ущерб может быть нанесен уже при скорости ветра 9 м/с. Ущерб от таких явлений составил 149,6 млрд неденоминированных белорусских рублей. Иногда вследствие падения деревьев или обрушений строительных конструкций, вызванных сильным ветром, происходит гибель людей. Однако такие случаи регистрируются редко. За анализируемый период погибли 8 и травмированы 83 человека. От сильного ветра пострадало 7111 населенных пунктов. Ветровыми нагрузками повреждено 16 862 здания, из них 57 % – сельскохозяйственные объекты, 39 % – жилые и 4 % – производственные и социокультурные.

Каждый раз ощутимый ущерб наносится энергетической отрасли. За исследуемый период ураганскими и шквалистыми ветрами повреждено более 290 км линий электропередач. Как результат, в 11 488 населенных пунктах республики происходили отключения электричества.

Однако следует отметить, что указанные явления наступали в разные периоды времени, носили локальный характер, поэтому их последствия быстро устранялись.

Вместе с тем возникновение таких последствий, как правило, влечет не только прямые, но и значительные косвенные потери для населения и субъектов хозяйствования, поскольку в каждом случае помимо расходов на восстановление поврежденных строений и коммуникаций образуется ущерб в виде невыпущенной продукции или недополученной прибыли из-за простоев производства или остановки транспорта.

Наиболее масштабные потери от воздействия ветровых нагрузок приходятся на лесные насаждения и сельскохозяйственные посевы. По данным ведомственного учета Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, за последние 10 лет уничтожено 18 тыс. га (0,2 %) полезных лесных насаждений, а согласно обзору Национального статистического комитета Республики Беларусь, подготовленному к Международному дню лесов, только в 2016 году из-за неблагоприятных погодных условий погибло 24,5 тыс. га леса. Наибольшая площадь уничтоженных лесных насаждений пришлась на Минскую область (14,4 тыс. га).

Также от сильного ветра ежегодно гибнет около 5,5 тыс. га посевов зерновых культур, что наносит ощутимые потери сельскому хозяйству республики.

Анализ неблагоприятных метеорологических явлений, связанных с сильным ветром, показал, что большинство из них регистрируется на территории Могилевской и Минской областей.

За рассматриваемый период в меньшей степени изменились климатические характеристики режима осадков. Среднегодовой показатель вырос незначительно, при этом наблюдается неравномерность выпадения осадков.

За последние 10 лет сильные ливни отмечались 110 раз, из-за чего пострадало 193 населенных пункта. Прямой ущерб составил 1,6 млрд неденоминированных белорусских рублей. Поражено 6,1 тыс. га сельскохозяйственных растений, погибло 15 голов скота. Подтоплено 1366 зданий (в т. ч. 279 жилых домов), 2267 подворий, повреждено 49 участков дорог, 9 дамб, 2 моста. Сильные дожди оказывают негативное влияние на транспортное обеспечение. За указанный период в городах 710 раз происходила остановка общественного транспорта. Отметим, что простой на линии одного трамвая, автобуса или троллейбуса оборачивается для транспортного предприятия ущербом около 20 руб. в час.

За анализируемый период значительных изменений пиковых проявлений температуры воздуха (более +35 °С) не наблюдалось. Однако за последние 28 лет (1989–2016 гг.) на территории Беларуси среднегодовая температура воздуха в среднем превысила клима-

тическую норму на 1,3 °С. Как результат – усыхание лесов, снижение урожайности грибов и ягод, миграция зверей, птиц и насекомых.

Отмечается образование новой агроклиматической зоны, охватывающей Дрогичинский, Лунинецкий, Малоритский и Столинский районы Брестской области, а также Лельчицкий, частично Житковичский, Брагинский, Наровлянский районы Гомельской области (климатические условия в этой зоне уже сравнимы с севером Украины).

По оценке специалистов за последние три десятилетия вероятность возникновения засух и их продолжительность увеличились как из-за глобального потепления, так и за счет антропогенного воздействия на природную среду (мелиорация земель, нарушение естественного растительного покрова, водоотведение, урбанизация и др.). Длительное отсутствие осадков является причиной ряда неблагоприятных последствий. Так, например, в 2018 году хозяйства понесли значительные убытки в связи с тем, что были вынуждены пересевать десятки тысяч гектаров. Площадь пострадавших посевов составила 368,9 тыс. га, из которых 138 тыс. га погибло (в Брестской области – 22,2 тыс. га; Витебской – 19,0; Гомельской – 69,1; Гродненской – 9,8; Минской – 7,5; Могилевской – 10,4).

В Беларуси температура воздуха выше +25 °С считается неблагоприятной для развития растений. Больше всего таких дней отмечается на юго-востоке страны – до 64 дней в году, меньше всего на севере – около 30.

Составляемые модельные прогнозы позволяют с определенной долей вероятности предположить, что температурный режим на территории республики будет расти, а его периодичность сокращаться.

Одними из последствий сильной жары являются пожары в природных экосистемах. В анализируемый период произошло 4865 лесных пожаров на площади 6188,4 га и 3572 торфяных пожара на площади 1013,4 га.

Кроме того, потепление климата приводит к замедлению роста хвойных лесов. Главную опасность здесь представляет скорость изменения средней температуры.

Следует отметить, что потепление климата приводит к возникновению крупных природных пожаров на юге республики уже в марте-апреле, а в 2019 году отдельные очаги загорания травы и кустарников были отмечены даже в феврале. Этому способствуют повышение температуры воздуха и нетипично долгое для данного времени года отсутствие осадков.

Также повышение температуры приводит к интенсивному размножению вредителей леса и, как следствие, – его гибели. Так, площадь очагов вредителей и болезней лесов к началу 2018 года составляла 172 493 га. Больше всего их в Гомельской области (36,2 % – 62 423 га), значительный процент в Минской (21,5 % – 37 107 га), меньше всего в Витебской (2,2 % – 3729 га). Три другие области – Гродненская, Брестская и Могилевская – имеют сравнимые площади очагов: в пределах 18–28 тыс. га, или соответственно 10,5 %, 13,5 % и 16,1 %.

Наряду с аномально высокой температурой воздуха в летнее время на территории республики отмечается понижение средней температуры воздуха в зимний период. Также наблюдается увеличение длительности периодов воздействия такого явления (в 2009 году при регистрируемой средней температуре –32 °С период воздействия составлял 11 дней, в 2017-м при температуре –12 °С – 71). Такие явления происходят не каждый год, однако они представляют опасность не только для жилищно-коммунальной сферы, но и для населения. Именно с сильными продолжительными морозами связана гибель наибольшего количества людей. Так, с 2009 по 2018 год в результате обморожений 352 человека погибли и 8 тыс. травмированы.

Как правило, при установлении сильных морозов отмечаются сбои в работе электроснабжения, теплоснабжения и водоснабжения, особенно в сельской местности. Кроме того, морозная погода при отсутствии снежного покрова представляет опасность для озимых культур.

Значительно уменьшилось количество опасных метеорологических явлений в виде сильного снегопада. Если с 2008 по 2012-й в среднем за год регистрировалось около четырех таких явлений, то с 2013 по 2017-й – всего два. Вместе с тем отмечается увеличение ущерба от снегопадов, особенно за последние пять лет. Такие явления возникают внезапно, что непосредственно связано с процессами изменения климата. К тому же они являются трудно прогнозируемыми. По результатам анализа многолетних наблюдений можно предположить, что сильных снегопадов в республике будет меньше. Ущерб от таких неблагоприятных проявлений регистрировался только с 2013 года и составил 27,3 млрд неденоминированных белорусских руб. Отметим, что в начале весны 2013 года при перемещении циклона «Хавьер» на большей территории страны прошел один из самых сильных снегопадов. В результате было затруднено движение на 30 участках автомобильных дорог, обесточено 1688 населенных пунктов, 334 здания и 5224 трансформаторных подстанции. 15 марта был закрыт Национальный аэропорт Минск. Под тяжестью снега были повреждены крыши домов. Похожие явления наблюдались и 12 января 2016 года, когда по северной половине республики отмечался сильный продолжительный снег. Во многих районах страны за один день выпало около половины месячной нормы осадков.

Таким образом, изменение климата оказывает определенное влияние на обстановку с чрезвычайными ситуациями природного характера, вызывая неблагоприятные явления, которые ранее на территории Республики Беларусь не наблюдались (например, ураганные ветры). Также увеличивается экономический ущерб от типичных для белорусских широт погодных проявлений.

В связи с этим государственным органам, предприятиям и организациям необходимо планировать и осуществлять хозяйственную деятельность с учетом повышения вероятности природных чрезвычайных ситуаций. Требуется создание дополнительных запасов материальных и финансовых ресурсов для устранения возможных негативных последствий.

Анализ зарубежного опыта по противодействию неблагоприятным климатическим явлениям. В Республике Беларусь изучается зарубежный опыт прогнозирования и реагирования на природные чрезвычайные ситуации, а также ликвидации их последствий. В первую очередь речь идет о странах, для которых характерны такие же природные явления, как и в Республике Беларусь [4–24].

Общей проблемой являются природные пожары в лесах и на торфяниках.

В мировой практике к факторам предупреждения лесных пожаров, возникающих в результате удара молнии, относятся ограничение количества горючих материалов, например, сухого подлеска или быстро загорающих деревьев, недопущение строительства в пожароопасных районах и раннее выявление лесных пожаров. Эффективность раннего выявления пожаров в последнее время возросла благодаря внедрению системы инфракрасного слежения.

Профилактические противопожарные мероприятия в разных странах мира носят типовой характер и подразделяются на три основные группы:

- предупреждение возникновения лесных пожаров;
- оперативное обнаружение лесных пожаров и лесонарушений;
- мероприятия, направленные на предупреждение распространения лесных пожаров и создание условий для их успешного тушения.

Проводится разъяснительная работа с населением и организациями, осуществляющими хозяйственную деятельность на территории лесного фонда по вопросам сбережения лесов и соблюдения природного законодательства.

Осуществляется наземное и воздушное патрулирование лесного фонда с целью раннего обнаружения возгораний и лесонарушений.

Кроме того, на территории лесного фонда создаются системы противопожарных разрывов для ограничения распространения пожаров, а также лесных дорог и водоемов для

обеспечения оперативной ликвидации возгораний. Например, в Греции и Испании разрывы выполняются в виде просек шириной 25 м. В США в крупных лесных массивах в качестве противопожарных разрывов устраивают сети лесных дорог шириной около 8 м. В России, Украине, Германии и Франции широкое применение получили минерализованные полосы по границам наиболее опасных зон.

В России разработана система мониторинга пожарной опасности леса по условиям погоды. В системе происходит обработка данных, прогнозирование лесных пожаров с учетом таксационных параметров лесных массивов, отображение степени пожарной опасности участков лесного хозяйства на лесопожарной карте региона.

Также в системе мониторинга пожарной опасности составляются перечни возможных действий подразделений, обеспечивающих пожарную безопасность лесных угодий. При повышении степени пожарной опасности ограничивается лесохозяйственная деятельность, рассчитываются оптимальные маршруты облета лесных массивов для наблюдения за пожароопасной обстановкой.

Для Республики Беларусь проблема лесных пожаров наиболее актуальна, т. к. лес является важной составляющей в экономике страны. В связи с этим вопросам защиты лесов от пожаров уделяется большое внимание. Осуществляется круглогодичный мониторинг лесных массивов, проводится авиационное патрулирование с помощью воздушных судов и беспилотных летательных аппаратов, устанавливаются вышки с системами видеонаблюдения для обнаружения очагов возгораний. Для тушения пожаров используются вертолеты Ми-8 и Ми-26. В составе лесных хозяйств созданы пожарно-химические станции, оснащенные необходимой техникой и оборудованием.

Поскольку в большинстве случаев причиной пожаров является человеческий фактор, в жаркую сухую погоду местные органы власти практикуют введение запретов на посещение лесов.

Главными мерами по предотвращению человеческих жертв при ураганах, циклонах, тропических штормах являются выявление метеорологических предвестников этих явлений, отслеживание путей их движения и возможного разрастания, раннее оповещение для обеспечения своевременной эвакуации, установление порядка землепользования и повышенных требований строительных норм в районах высокого риска.

Защитные мероприятия при ураганах, бурях, смерчах по времени подразделяются на две группы:

- заблаговременные (предупредительные) мероприятия и работы;
- оперативные защитные мероприятия, проводимые после объявления неблагоприятного прогноза непосредственно перед данным ураганом (бурей, смерчем).

К заблаговременным мероприятиям относятся:

- ограничение в землепользовании в районах частого прохождения ураганов, бурь и смерчей;
- ограничение в размещении объектов с опасными производствами;
- демонтаж некоторых устаревших или непрочных зданий и сооружений;
- укрепление строений;
- проведение инженерно-технических мероприятий по снижению риска опасных производств в условиях сильного ветра, в т. ч. повышение физической стойкости хранилищ и оборудования с опасными веществами;
- создание материально-технических резервов;
- подготовка населения и персонала спасательных служб.

К защитным мероприятиям, проводимым после получения штормового предупреждения, относят:

- прогнозирование пути прохождения и времени подхода к различным районам урагана (бури, смерча), а также его последствий;

- оперативное увеличение размеров материально-технического резерва, необходимого для ликвидации последствий урагана (бури, смерча);
- частичную эвакуацию населения;
- подготовку убежищ для защиты населения;
- перемещение в прочные или заглубленные помещения уникального и особо ценного имущества;
- подготовку к восстановительным работам и мерам по жизнеобеспечению населения.

Важным направлением деятельности по снижению ущерба является обеспечение устойчивой работы линий связи, сетей электроснабжения, городского и междугороднего транспорта. Основным способом повышения устойчивости в этом случае является их дублирование временными и более надежными в условиях сильного ветра средствами.

Для Республики Беларусь ураганные ветры (более 29 м/с) являются редким явлением. Вместе с тем именно такие чрезвычайные ситуации наносят наибольший ущерб субъектам хозяйствования и частным постройкам. Кроме того, в последнее время регистрируются повреждения зданий и сооружений и при менее сильном ветре. Это объясняется износом конструкций, а также ошибками, допущенными при строительстве.

Для возмещения ущерба требуется создание и обновление резервов материальных и денежных средств. Следует предусматривать в строительных нормах запас прочности сооружений, рассчитанный на высокие ветровые нагрузки, и осуществлять качественный надзор за строительством.

С повышением температуры на планете все большее число стран сталкивается с проблемой засушливой погоды. Наряду с жаркой погодой ситуация нередко усугубляется длительным отсутствием осадков. В связи с этим представляет интерес опыт других стран по борьбе с таким явлением.

Для борьбы с засухой китайские метеорологи распыляют йодистое серебро [21]. Этот реагент рассеивается из специальных пушек или распыляется с самолетов, сосредоточиваясь в облаках. Там йодистое серебро «цепляется» к очень мелким и легким частицам замерзшей воды, заставляя их достигать критической массы и выпадать на землю в виде крупных снежных хлопьев. Йодистое серебро является своеобразным ускорителем для «созревания» снегопада. При этом снегопад сопровождается снижением температуры и сильным ветром, что, по мнению экспертов, частично нейтрализует последствия засухи.

В России применяют кристаллизующие реагенты СК-1 и СК-1-10 с порогом кристаллизующего действия $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ для средства засева облаков, а также устройства для сброса гранул твердой углекислоты и распыления жидкого азота ГМЧЛ-А.

Российская технология увеличения атмосферных осадков внедрена в Сирии и Иране.

Кроме того, в России в борьбе с засухой осуществляются такие мероприятия, как:

- правильная система обработки почвы (черные и ранние пары, зябь, пожнивное лущение стерни, раннее весеннее боронование, весенняя культивация, посев ранних яровых культур в ранние сроки, высокое качество сельскохозяйственных работ);
- полезащитные лесные полосы;
- применение сортов сельскохозяйственных культур, более экономно расходующих влагу;
- искусственное орошение;
- снегозадержание;
- задержка стока дождевых и талых вод.

Проблема засушливой погоды актуальна и для Беларуси. В отдельных регионах все чаще стали регистрироваться периоды, в течение которых не выпадают дожди на протяжении более чем двух месяцев. Это негативно отражается на сельском хозяйстве, повышает пожарную опасность лесов и торфяников.

Эффективных методов борьбы с засухой в Республике Беларусь пока не выработано, поскольку такие погодные условия в нашей стране отмечаются нечасто. Вместе с тем даже при непродолжительной жаре принимаются меры по обеспечению пожарной безопасности лесов, торфяников и сельскохозяйственных посевных площадей, на которых выращиваются зерновые культуры.

К инженерным методам защиты от наводнений и паводков в России относится строительство водохранилищ. Они способны трансформировать половодья и паводки, аккумулируя часть паводкового стока в водохранилищах с последующей отдачей задержанного объема меньшими (допустимыми) расходами воды, т. е. используется перераспределение во времени максимального стока. Кроме того, проводится ограждение территорий дамбами.

Еще один метод – увеличение пропускной способности речного русла. Он заключается в расширении или расчистке русел рек, что ограничивает возможности выхода воды на пойму и затопление прилегающих территорий.

Также применяется повышение отметок защищаемой территории или переброска стока (отвод) паводковых вод в другой бассейн. Практикуется строительство обводных каналов.

В соответствии с прогнозами проводятся предупредительные защитные мероприятия от наводнений. По характеру воздействия на стихию они бывают интенсивными и экстенсивными.

Комплекс интенсивных мер, основу которого составляют инженерные мероприятия, включает:

- регулирование стока рек (перераспределение максимального стока между водохранилищами, переброска стока между бассейнами и внутри речного бассейна);
- ограждение территорий дамбами (системами обвалования);
- увеличение пропускной способности речного русла (расчистка, углубление, расширение, спрямление русла);
- повышение отметок защищаемой территории (устройство насыпных территорий, свайных оснований, подсыпка на пойменных землях при расширении и застройке новых городских территорий).

К экстенсивным мерам относятся:

- изменение характера хозяйственной деятельности на затапливаемых территориях, контроль за хозяйственным использованием опасных зон;
- вынос объектов с затапливаемых территорий;
- проведение защитных работ в период паводка;
- эвакуация населения и материальных ценностей из зон затопления;
- ликвидация последствий наводнения.

В Индии с наводнениями борются при помощи сооружения подземных водохранилищ. Для этого бурят скважину глубиной 30–100 м с отверстиями по бокам для стока воды. В верхней части сооружают колодцы шириной 1–2,5 м и глубиной 0,5–1 м. Такие водохранилища обычно располагаются в низинах.

Для Беларуси также актуальны вопросы защиты от наводнений и весенних паводков. В результате разлива рек и таяния снега затоплению подвержены большие территории, в т. ч. населенные пункты и участки дорог.

Данное явление носит не чрезвычайный, а прогнозируемый и во многом предсказуемый характер, что облегчает подготовку защитных мероприятий и ликвидацию неблагоприятных последствий.

Большое значение для урегулирования паводковой ситуации имеет взаимодействие с водопользователями разливающихся рек на территории Украины. Например, для Брестской и Гомельской областей требуется постоянный обмен информацией с украинской стороной о предполагаемых объемах сброса паводковых вод на территорию Беларуси по рекам Припять и Горынь.

В последние годы интенсивность паводков заметно снизилась. Последнее масштабное половодье зарегистрировано в 1999 году. Причинами являются обмеление рек и водоемов, а также понижение уровня грунтовых вод.

Наряду с половодьем опасность наводнений может исходить от искусственных водоемов. В республике 29 населенных пунктов расположено ниже уровней находящихся неподалеку водохранилищ. Это несет угрозу подтопления городов и поселков в случае прорыва дамб. Наибольшую опасность представляют Вилейское водохранилище (площадь – 73,6 кв. км, емкость – 260 млн куб. м) и Заславское водохранилище (площадь – 34,45 кв. км, емкость – 119,4 млн куб. м).

Для смягчения последствий половодья и наводнений в каждой области разработаны планы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в которых предусмотрен комплекс мер по обеспечению жизнедеятельности населения и устойчивому функционированию предприятий и организаций.

Заключение. В Республике Беларусь не отмечается значительного роста количества чрезвычайных ситуаций, вызванных климатическими изменениями и опасными метеорологическими явлениями.

Вместе с тем проявляется тенденция к увеличению частоты и продолжительности засушливых периодов, что в определенной степени угрожает стабильной работе отдельных отраслей экономики. Наибольшее количество таких явлений приходится на ветровые нагрузки и сильные дожди. Данные явления могут быть последствиями повышения среднегодовой температуры воздуха из-за изменения климата, что наглядно демонстрирует формирующаяся новая климатическая зона на юге Беларуси.

С повышением среднегодовой температуры воздуха существует определенный риск увеличения интенсивности некоторых опасных метеорологических явлений (смерчи, шквалы, ливни, град и т. п.), что может привести к неблагоприятным последствиям и материальному ущербу.

Также одним из рисков является создание благоприятных условий для размножения насекомых – вредителей леса из-за климатических изменений, связанных с повышением среднегодовой температуры воздуха.

Наибольшие риски представляют пожары в экосистемах – в лесах и на торфяниках, а также загорания травы и кустарников на больших площадях вблизи сельхозугодий и населенных пунктов. При этом просматривается тенденция увеличения пожароопасного периода с апреля по сентябрь.

Распределение нагрузок от регистрируемых опасных метеоявлений по территории республики в целом равномерно. Их воздействию наиболее подвержены Минская, Могилевская и Гомельская области. Однако, если образовавшаяся новая климатическая зона будет смещаться на север, частота и масштабы возникающих природных чрезвычайных ситуаций могут возрасти.

На сегодняшний день доля чрезвычайных ситуаций природного характера в общем объеме пожаров, аварий и других происшествий невысока. В то же время степень готовности Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций достаточна не только для своевременного реагирования внутри страны, но и для оказания помощи другим странам.

Следует отметить, что во многих случаях негативное влияние погодных условий на хозяйственную деятельность является не следствием изменения климата, а результатом недостаточной приспособленности быстро развивающейся экономики к погодным условиям. Например, во многих случаях причиной возникновения транспортных коллапсов является не столько влияние обильных осадков, сколько увеличение количества автомобилей, недостаточная ширина дорог, нерациональная организация дорожного движения. А нарушение электроснабжения от падения деревьев на провода при сильном ветре может являться след-

ствием несвоевременной вырубki или недостаточной ширины просек в местах прохождения линий электропередач.

Кроме того, для смягчения последствий чрезвычайных ситуаций необходимо ведение постоянного мониторинга за климатическими изменениями в регионе, своевременное предупреждение населения о рисках чрезвычайных ситуаций, применение новых технологий при строительстве на территориях, подвергающихся постоянным наводнениям, восстановление системы депонированных грузов, что позволило бы избежать больших затрат при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Требуется проведение фундаментальных и прикладных исследований в области климата и смежных областях науки, применение результатов исследований для оценки рисков и выгод, связанных с последствиями изменений климата, а также возможности адаптации к этим последствиям.

В связи с вышеизложенным большое значение имеет обучение граждан, руководителей органов власти и предприятий действиям при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций природного характера. Для этого необходимо разрабатывать учебные программы и периодически проводить с населением информационно-образовательные мероприятия по защите от чрезвычайных ситуаций.

Следует уделять внимание созданию базы материальных ресурсов для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ГСМ, стройматериалы, медикаменты и т. д.) и своевременному оповещению населения об опасностях возникновения чрезвычайных ситуаций.

В качестве мер по адаптации к изменяющимся климатическим условиям Республики Беларусь предлагается рассматривать:

- проведение анализа по отраслям экономики в части определения степени зависимости их производственной деятельности от климатических условий;
- разработку мероприятий в различных отраслях экономики по адаптации к формирующимся погодным условиям;
- внедрение передовых технологий мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций;
- совершенствование Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в целях обеспечения эффективной защиты населения и территорий;
- развитие национальной системы мониторинга окружающей среды;
- совершенствование нормативной правовой базы в сфере экологической безопасности, в т. ч. в системе платежей за пользование природными ресурсами и компенсации ущерба, причиненного природной среде;
- проведение ответственными госорганами работы со СМИ, включающее популяризацию проблемы изменения климата и последствий климатических изменений;
- повышение уровня грамотности населения по обеспечению безопасности и правилам поведения в чрезвычайных ситуациях;
- снижение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере и сбросах в водные источники путем ужесточения норм и стандартов;
- совершенствование строительных норм и правил.

В некоторых сферах хозяйственной деятельности Республики Беларусь, наиболее зависимых от климатических природных условий, рекомендуется обеспечить:

- в сельском хозяйстве:
 - учет агроклиматических условий при планировании сельскохозяйственного производства по регионам страны;
 - увеличение доли теплолюбивых, ветроустойчивых и засухоустойчивых культур;
 - проведение противоэрозионных и почвозащитных мероприятий;
 - селекцию новых сортов и гибридов;
 - планирование и корректировку сроков сева и уборки урожая;
 - восстановление систем орошения, а также улучшение водного менеджмента;
 - развитие системы страхования рисков от неблагоприятных погодных явлений;

- разработку новых мер защиты сельскохозяйственных культур от вредителей с учетом климатических изменений;
- увеличение эффективности использования удобрений;
- развитие биотехнологий;
- повышение уровня информированности специалистов агропромышленного комплекса по проблеме изменения климата;
- в лесном хозяйстве:
 - оптимизацию видов древесных пород с учетом лесорастительных условий;
 - выравнивание возрастной структуры леса за счет регулирования лесопользования, проведения рубок ухода за лесом;
 - проведение мероприятий по восстановлению и возобновлению лесов;
 - рекультивацию нарушенных земель, непригодных для использования в сельском хозяйстве, и их последующее облесение;
 - внедрение быстрорастущих пород;
 - внедрение рациональных способов рубок и более совершенных технологий лесозаготовительных процессов;
 - совершенствование системы охраны и защиты лесных насаждений от пожаров и вредителей;
 - повышение устойчивости лесов к возгораниям;
 - поддержание действующих и восстановление недействующих мелиоративных систем;
 - восстановление осушенных торфяников путем их повторного заболачивания;
 - расширение сети лесохозяйственных дорог с целью эффективного освоения лесных ресурсов на избыточно-увлажненных территориях.

Проведенный анализ показал, что основными организационно-управленческими мероприятиями по противодействию неблагоприятным климатическим происшествиям в зарубежных странах являются осуществление соответствующих профилактических мероприятий, а также своевременное оповещение населения о возможной чрезвычайной ситуации.

Разработка новых систем раннего оповещения населения о чрезвычайных ситуациях предполагает создание преимущественно автоматизированных систем гидрометеорологических наблюдений (наземных, авиационных, радарных и спутниковых), сопряженных с системами сбора и передачи данных по современным средствам связи, автоматической обработки данных наблюдений и выпуска прогнозов, своевременного доведения прогнозной информации до различных потребителей, в первую очередь до населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 5 мая 1998 г. № 141-3 // Информационной-аналитическая поддержка бухгалтеров, юристов и руководителей от экспертов iLex. – Режим доступа: <https://ilex.by>. – Дата доступа: 18.08.2019.
2. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения: ТКП 17.10-06-2008 (02120). – Введ. 01.01.09 (с отменой на территории Респ. Беларусь «Наставления по службе прогнозов»). – Минск: РУП «Бел НИЦ «Экология», 2009. – 38 с.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения: ГОСТ 22.0.03-97. – Введ. 01.07.99. – Минск: Госстандарт, 1999. – 16 с.
4. Акимов, В.А. Глобальные и национальные приоритеты снижения риска бедствий и катастроф / В.А. Акимов, Ю.И. Сколов, И.В. Сосунов. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 396 с.
5. Сардановский, С.Ю. Зарубежный опыт борьбы с бедствиями и катастрофами / С.Ю. Сардановский // Технологии гражданской безопасности. – 2014. – № 4 (42). – С. 4–9.
6. SAIP: Systèmed' alerteetd' information des populations [Электронный ресурс] / Accueil Les services de l'État dans le Jura. – Режим доступа: <http://www.jura.gouv.fr/Politiques-publiques/Securite/>

- Defense-et-Protection-Civiles/Prevention-des-risques/SAIP-Systeme-d-alerte-et-d-information-des-populations. – Дата доступа: 18.08.2018.
7. GAR. Глобальный аналитический доклад о мерах по уменьшению опасностей бедствий [Электронный ресурс] / PreventionWeb – Knowledge platform for disaster risk reduction. – Режим доступа: https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/gar-pdf/GAR15_Pocket_RU.pdf. – Дата доступа: 20.08.2018.
 8. Общероссийская комплексная система информирования и оповещения населения в местах массового пребывания людей (ОКСИОН) [Электронный ресурс] / Главное управление МЧС России по Санкт-Петербургу. – Режим доступа: <http://78.mchs.gov.ru/folder/1343259>. – Дата доступа: 19.08.2018.
 9. Иностраный опыт: 5 реагентов в борьбе с гололедом [Электронный ресурс] / The Village – Новости, люди, места, события. – Режим доступа: <https://www.the-village.ru/village/city/abroad/111529-vstrechaem-ldom-i-solyu-5-sposobov-izbavitsya-ot-snega>. – Дата доступа: 19.08.2018.
 10. В США с гололедом борются при помощи свекольного сока, сыра и патоки [Электронный ресурс] / NEWSru.com – Самые быстрые новости. Фото и видео дня. Лента новостей в России и в мире. – Режим доступа: <https://www.newsru.com/world/08jan2014/freezesyrupusa.html>. – Дата доступа: 19.08.2018.
 11. Эксперт: бороться с наводнениями мы можем без привлечения зарубежных коллег [Электронный ресурс] / Аргументы и факты: Новости России и мира. – Режим доступа: <http://www.aif.ru/society/nature/1008052>. – Дата доступа: 19.08.2018.
 12. Разливы рек: причины и способы предотвращения. Справка [Электронный ресурс] / РИА Новости – события в Москве, России и мире: темы дня, фото, видео, инфографика, радио. – Режим доступа: <https://ria.ru/eco/20100302/211769538.html>. – Дата доступа: 20.08.2018.
 13. Как бороться с паводками? [Электронный ресурс] / Последние новости Казахстана и мира – Аналитический интернет-журнал Власть. – Режим доступа: <https://vlast.kz/obsshestvo/23053-kak-borotsya-s-pavodkami.html>. – Дата доступа: 20.08.2018.
 14. Бороться с паводками предлагают индийским способом – казахские СМИ [Электронный ресурс] / 365info.kz – Аналитика. Расследования. Новости. – Режим доступа: <https://365info.kz/2018/08/borotsya-s-pavodkami-predlagayut-indijskim-sposobom-kazahskie-smi>. – Дата доступа: 20.08.2018.
 15. China's new forests aren't as green as they seem [Электронный ресурс] / Nature News & Comment. – Режим доступа: <http://www.nature.com/news/2011/110921/full/477371a.html>. – Дата доступа: 13.09.2019.
 16. Sacande, M. Community participation and ecological criteria for selecting species and restoring natural capital with native species in the Sahel / M. Sacande, N. Berrahmouni // Restoration Ecology. – 2016. – Vol. 24 (4). – Pp. 479–488. DOI: 10.1111/rec.12337.
 17. Погодные катаклизмы [Электронный ресурс] / ИПС «Кодекс». – Режим доступа: <http://base.safework.ru/iloenc?print&nd=857100068&nh=0&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857000170%26listid%3D010000000100%26listpos%3D3%26lsz%3D10%26nd%3D857000170%26nh%3D1%26>. – Дата доступа: 20.08.2018.
 18. Мониторинг лесных пожаров [Электронный ресурс] / ООО «ОКБ Бурстройпроект». – Режим доступа: http://www.burstroy.ru/monitoring/monitoring_fire.html. – Дата доступа: 20.08.2018.
 19. Смерчи: причины возникновения и способы прогнозирования [Электронный ресурс] / РИА Новости – события в Москве, России и мире: темы дня, фото, видео, инфографика, радио. – Режим доступа: <https://ria.ru/spravka/20130522/938889062.html>. – Дата доступа: 20.08.2018.
 20. Прогнозы шквалов и смерчей [Электронный ресурс] / CollectedPapers. – Режим доступа: <https://collectedpapers.com.ua/ru/tornadoes-and-squalls/progozi-shkvaliv-ta-smerchiv>. – Дата доступа: 20.08.2018.
 21. Китайские метеорологи испытывают новый метод борьбы с засухой [Электронный ресурс] / Новости Владивостока и Приморского края – PrimaMedia. – Режим доступа: <https://primamedia.ru/news/110256>. – Дата доступа: 20.08.2018.
 22. Национальный доклад: Уязвимость и адаптация к изменению климата в Беларуси [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Otsenka-ujazvimosti-Belarusi-Rus.pdf>. – Дата доступа: 13.09.2019.

23. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата в рамках разработки национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf>. – Дата доступа: 13.09.2019.
24. Климатический хаос. Чем грозит человечеству потепление, и что делать для предотвращения катастрофы [Электронный ресурс] / Новости в России и мире – ТАСС. – Режим доступа: <https://tass.ru/spec/climate>. – Дата доступа: 13.09.2019.

**Новые вызовы и угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций
в Республике Беларусь в связи с изменением климата**

**New challenges and threats of emergency situations
in the Republic of Belarus in connection with climate change**

Левчук Олег Васильевич

Государственный секретариат
Совета Безопасности Республики Беларусь,
координационно-инспекторское управление,
главный советник

Адрес: 220016, Беларусь, г. Минск,
ул. Карла Маркса, 38

Oleg V. Levchuk

State Secretariat of the Security Council
of Belarus, Coordinating and Inspection
Department, Chief Adviser

Address: 220016 , Belarus, Minsk,
ul. Karla Marksa, 38

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.446>

NEW CHALLENGES AND THREATS OF EMERGENCY SITUATIONS IN THE REPUBLIC OF BELARUS IN CONNECTION WITH CLIMATE CHANGE

Levchuk O.V.

Purpose. Analysis of the climate changes taking place on the planet, determination of the degree of their impact on the Republic of Belarus as well as development of the main directions for mitigating their adverse effects.

Methods. Analysis of statistical data on dangerous and adverse natural phenomena in Belarus as well as foreign experience in coping with adverse climatic phenomena. Synthesis of directions and measures to mitigate the adverse effects of natural emergencies in Belarus based on the analysis.

Findings. The analysis of the situation with natural emergencies in the Republic of Belarus from 2008 to 2017 is presented. It is shown that climate change has a certain impact on the situation with natural emergencies causing adverse events that were not previously observed in the Republic of Belarus (for example, hurricane winds). An increase in the economic damage from the weather manifestations typical for the Belarusian latitudes with an insignificant change in the number of emergencies caused by climatic changes and dangerous meteorological phenomena was noted. The analysis of foreign experience in coping with adverse climatic phenomena is carried out. Measures to mitigate the adverse effects of natural emergencies in Belarus are proposed.

Application field of research. The obtained results can be applied in the development of plans and recommendations for mitigating the adverse effects of natural emergencies.

Keywords: natural emergency, climate change, warming, natural hazard, meteorological phenomenon, emergency statistics.

(The date of submitting August 30, 2019)

REFERENCES

1. *O zashchite naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera* [On the protection of the population and territories from natural and man-made emergencies]: *Law of the Republic of Belarus, May 5, 1998, No. 141-Z*. Informatsionnoy-analiticheskaya podderzhka bukhgalterov, yuristov i rukovoditeley ot ekspertov ilex, available at: <https://ilex.by> (accessed: August 18, 2019). (rus)
2. *Okhrana okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovanie. Hidrometeorologiya. Pravila sostavleniya kratkosrochnykh prognozov pogody obshchego naznacheniya: TKP 17.10-06-2008 (02120)* [Environmental protection and nature management. Hydrometeorology. Rules for the preparation of short-term general weather forecasts: Technical Code of Practice 17.10-06-2008 (02120)]. Affirmed January 1, 2009. Minsk: Republican Research Unitary Enterprise «Bel NIC «Ecology», 2009. 38 p. (rus)
3. *Bezopasnost' v chrezvychaynykh situatsiyakh. Prirodnye chrezvychaynye situatsii. Terminy i opredeleeniya: GOST 22.0.03-97* [Safety in emergency situations. Natural emergencies. Terms and definitions: State standard 22.0.03-97]. Affirmed April 16, 1998. Minsk: The State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 1999. 16 p. (rus)
4. Akimov V.A., Skolov Yu.I., Sosunov I.V. *Global'nye i natsional'nye priority snizheniya riska bedstviy i katastrof* [Global and national disaster and disaster risk reduction priorities]. Moscow: Institute for Civil Defence and Emergencies, 2016. 396 p. (rus)
5. Sardanovskiy C.Yu. *Zarubezhnyy opyt bor'by s bedstviyami i katastrofami* [Foreign experience of disaster and emergency management]. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti*, 2014. Vol. 11, No. 4(42). Pp. 4–9. (rus)
6. *SAIP: Systèmed' alerteetd' information des populations*. Accueil Les services de l'État dans le Jura, available at: <http://www.jura.gouv.fr/Politiques-publiques/Securite/Defense-et-Protection-Civiles/Prevention-des-risques/SAIP-Systeme-d-alerte-et-d-information-des-populations> (accessed: August 18, 2018). (fra)
7. *GAR. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. PreventionWeb – Knowledge platform for disaster risk reduction, available at: https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/gar-pdf/GAR15_Pocket_EN.pdf (accessed: August 20, 2018).

8. *Obshcherossiyskaya kompleksnaya sistema informirovaniya i opoveshcheniya naseleniya v mestakh massovogo prebyvaniya lyudey (OKSION)* [All-Russian complex system of informing and warning the population in places of mass stay of people]. Main Department of EMERCOM of Russia in St. Petersburg, available at: <http://78.mchs.gov.ru/folder/1343259> (accessed: August 19, 2018). (rus)
9. *Inostrannyi opyt: 5 reagentov v bor'be s gololedom* [Foreign experience: 5 reagents in the fight against ice-custed ground]. The Village, available at: <https://www.the-village.ru/village/city/abroad/111529-vstrechaem-ldom-i-solyu-5-sposobov-izbavitsya-ot-snega> (accessed: August 19, 2018). (rus)
10. *V SShA s gololedom boryutsya pri pomoshchi svekol'nogo soka, syra i patoki* [In the USA, they fight ice-custed ground with beetroot juice, cheese and molasses], available at: <https://www.newsru.com/world/08jan2014/freezesyrupusa.html> (accessed: August 19, 2018). (rus)
11. *Ekspert: borot'sya s navodneniyami my mozhem bez privilecheniya zarubezhnykh kolleg* [Expert: we can deal with floods without involving foreign colleagues]. Argumenty i fakty, available at: <http://www.aif.ru/society/nature/1008052> (accessed: August 19, 2018). (rus)
12. *Razlivy rek: prichiny i sposoby predotvrashcheniya. Spravka* [River spills: causes and methods of prevention. Manual]. RIA Novosti, available at: <https://ria.ru/eco/20100302/211769538.html> (accessed: August 20, 2018). (rus)
13. *Kak borot'sya s pavodkami?* [How to deal with floods?]. Analytical online magazine Vlast, available at: <https://vlast.kz/obsshestvo/23053-kak-borotsya-s-pavodkami.html> (accessed: August 20, 2018). (rus)
14. *Borot'sya s pavodkami predlagayut indijskim sposobom – kazahskie SMI* [To deal with floods is offered in the Indian way – Kazakh mass media]. 365info.kz, available at: <https://365info.kz/2018/08/borotsya-s-pavodkami-predlagayut-indijskim-sposobom-kazahskie-smi> (accessed: August 20, 2018). (rus)
15. *China's new forests aren't as green as they seem*. Nature News & Comment, available at: <http://www.nature.com/news/2011/110921/full/477371a.html> (accessed: September 13, 2019).
16. Sacande M., Berrahmouni N. Community participation and ecological criteria for selecting species and restoring natural capital with native species in the Sahel. *Restoration Ecology*, 2016. Vol. 24, iss. 4. Pp. 479–488. DOI: 10.1111/rec.12337.
17. *Pogodnye kataklizmy* [Weather disasters]. Legal information system «Kodeks», available at: <http://base.safework.ru/iloenc?print&nd=857100068&nh=0&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857000170%26listid%3D01000000100%26listpos%3D3%26lsz%3D10%26nd%3D857000170%26nh%3D1%26> (accessed: August 20, 2018). (rus)
18. *Monitoring lesnykh pozharov* [Monitoring of forest fires]. OKB Burstroyproekt Ltd., available at: http://www.burstroy.ru/monitoring/monitoring_fire.html (accessed: August 20, 2018). (rus)
19. *Smerchi: prichiny vozniknoveniya i sposoby prognozirovaniya* [Tornadoes: causes and methods of forecasting]. RIA Novosti, available at: <https://ria.ru/spravka/20130522/938889062.html> (accessed: August 20, 2018). (rus)
20. *Prognozy shkvalov i smerchey* [Forecasts of squalls and tornadoes]. CollectedPapers, available at: <https://collectedpapers.com.ua/ru/tornadoes-and-squalls/prognozi-shkvaliv-ta-smerchiv> (accessed: August 20, 2018). (rus)
21. *Kitayskie meteorologi ispytyvayut novyy metod bor'by s zasukhoj* [Chinese meteorologists are testing a new method of dealing with drought]. PrimaMedia: news of Vladivostok and Primorsky Krai, available at: <https://primamedia.ru/news/110256> (accessed: August 20, 2018). (rus)
22. *Natsional'nyy doklad: Uязvimost' i adaptatsiya k izmeneniyu klimata v Belarusi* [National report: Vulnerability and adaptation to climate change in Belarus]. Ministry of natural resources and environmental protection of the Republic of Belarus, available at: <http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Otsenka-ujazvimosti-Belarusi-Rus.pdf> (accessed: September 13, 2019). (rus)
23. *Agroklimaticheskoe zonirovanie territorii Belarusi s uchetom izmeneniya klimata v ram-kakh razrabotki natsional'noy strategii adaptatsii sel'skogo khozyaystva k izmeneniyu klimata v Respublike Belarus'* [Agroclimatic zoning of the territory of Belarus taking into account climate change in the framework of developing a national strategy for adapting agriculture to climate change in the Republic of Belarus]. Ministry of natural resources and environmental protection of the Republic of Belarus, available at: <http://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf> (accessed: September 13, 2019). (rus)
24. *Klimaticheskij kaos. Chem grozit chelovechestvu poteplenie, i chto delat' dlya predotvra-shcheniya katastrofy* [Climatic chaos. Why warming threatens humanity, and what to do to prevent a catastrophe]. TAAS: Russian news agency, available at: <https://tass.ru/spec/climate> (accessed: September 13, 2019). (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.462>

УДК 006.91:[614.8:796]

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКЕ СПАСАТЕЛЕЙ

Радьков И.А., Самсоник А.Р., Федькович В.А.

Цель. Обоснование необходимости введения новых нормативов с контролем времени при выполнении приемов и упражнений по дисциплине «Работа с пожарно-техническим вооружением и аварийно-спасательным оборудованием».

Методы. Анализ специальной научно-методической литературы, сплошное статистическое наблюдение, анализ результатов исследования с использованием методов математической статистики.

Результаты. Проведен педагогический эксперимент по определению оптимального времени выполнения приемов и упражнений при работе с пожарно-техническим вооружением и аварийно-спасательным оборудованием. На основании эксперимента разработаны новые нормативы с контролем времени выполнения приемов и упражнений.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть использованы в образовательном процессе Университета гражданской защиты МЧС Беларуси при изучении дисциплины «Работа с пожарно-техническим вооружением и аварийно-спасательным оборудованием», а также в процессе профессиональной подготовки работников подразделений МЧС при проверке их кумулятивных знаний и умений.

Ключевые слова: метрология, измерения, аварийно-спасательная подготовка, норматив по времени.

(Поступила в редакцию 17 сентября 2019 г.)

Введение. Оптимизация методов обучения, внедрение новых методик и их активное использование являются важным направлением повышения качества учебного процесса. Использование новых форм контроля умений и навыков способствует формированию профессионализма будущего специалиста, особенно если от качества его подготовки зависит жизнь других людей.

Профессия спасателя сопряжена с работой в сложных экстремальных условиях, и данное положение не зависит от того, происходит ли моделирование чрезвычайной ситуации в процессе обучения или это реальная обстановка, связанная с ликвидацией последствий стихийных бедствий. Одним из таких условий является работа в полной экипировке при выполнении задач, связанных с преодолением препятствий при разрушении конструкций и сооружений, работа в задымленных помещениях, где ограничена зона видимости; с пожарно-техническим вооружением (ПТВ) и аварийно-спасательным оборудованием (АСО); на высоте.

Все это требует от спасателя развития таких профессионально важных физических качеств, как ловкость, сила, выносливость, скорость, координация движений, быстрота реакции. Данные качества формируются у будущих специалистов по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций с первых дней обучения в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси.

Актуальность и цель исследуемого вопроса. Процесс обучения в Университете связан не только с общей физической подготовкой, но и со специальной подготовкой, которая играет определяющую роль в профессиональной деятельности будущего спасателя. Содержание учебных планов по дисциплинам «Аварийно-спасательная подготовка» и «Работа с ПТВ и АСО» включает работу с ПТВ и подъемными механизмами, со спасательно-страховочными устройствами и приспособлениями, с АСО. Полученные знания, умения и навыки являются неотъемлемой частью профессии, однако их формирование сопряжено с рядом трудностей. Обучающиеся часто сталкиваются с проблемами при выполнении слож-

нокоординационных движений в работе при воздействии одного или нескольких экстремальных факторов. Т. к. методикой преподавания рекомендовано многие упражнения и элементы движений контролировать на правильность без учета времени выполнения, преподаватель не имеет возможности оперативно и объективно оценить умения и навыки личного состава всего взвода [1].

Основным направлением педагогического поиска является сбалансированное использование учебного времени для отработки и контроля профессиональных умений и навыков как индивидуально, так и в составе группы. Это направление актуально не только для развития профессиональных качеств обучающихся Университета, но и для проведения спортивных сборов, получения допусков к работе, подтверждения и повышения квалификации работников МЧС.

Обоснование выбранного метода исследования. Ценность исследования определяется целостностью его результатов. Одним из этических оправданий исследований с привлечением людей в качестве испытуемых может служить общественная полезность получаемых результатов, позволяющих существенно улучшить методы профессиональной подготовки и усовершенствовать систему учебно-тренировочных занятий.

Контроль в специальной подготовке начинается с измерений, для этого нужно знать, что измерять, как измерять и какие измеряемые показатели являются наиболее информативными. Кроме того, нужно знать и уметь пользоваться методами математической статистики для обработки полученных результатов. Изучаемыми величинами являются, как правило, варьирующие признаки. За основу можно взять подходы в спортивной метрологии.

Предметами спортивной метрологии как части общей метрологии являются измерения и контроль в спорте. Термин «измерение» в спортивной метрологии трактуется в самом широком смысле и понимается как установление соответствия между изучаемыми явлениями и числами. В современной теории и практике спорта измерения широко используются для решения самых разнообразных задач управления подготовкой спортсменов. Адаптированные подходы спортивной практики применяются в специальной подготовке обучающихся университета.

Основной задачей общей метрологии является обеспечение единства и точности измерений. Спортивная метрология как научная дисциплина представляет собой часть общей метрологии. К ее основным задачам относятся:

1. Разработка новых средств и методов измерений.
2. Регистрация изменений состояния занимающихся под влиянием различных физических нагрузок.
3. Сбор массовых данных, формирование систем оценок и норм, проверка полученных результатов на достоверность при том или ином уровне значимости.
4. Обработка полученных результатов измерений с целью организации эффективно-го контроля и управления учебно-тренировочным процессом.
5. Прогноз спортивных результатов [4].

Установление нормативов времени выполнения упражнений и приемов в специальных дисциплинах позволяет испытуемым сконцентрироваться на важности выполнения задачи, а контролируемой стороне – определить стабильность уровня мастерства и учитывать возможные отклонения от его оптимального уровня. Эти отклонения в пожарной аварийно-спасательной подготовке могут быть достаточно большими, т. к. в отличие от измерений в спорте влияние непостоянных внешних факторов усилено. Спасатель-профессионал должен выполнить поставленную задачу при любых внешних условиях и обстановке. Поэтому при проведении практических занятий основное внимание обращается на:

- приобретение устойчивых умений и навыков работы с ПТВ и АСО;
- расширение, с учетом приобретаемого опыта, диапазона применяемых спасательных технологий;
- повышение физической и психологической подготовки;

- доведение приемов и способов работы до автоматизма с учетом правильности принимаемых решений;
- повышение уровня рабочей скоростной выносливости в любых возможных экстремальных условиях;
- соблюдение правил и мер безопасности при проведении поисковых и аварийно-спасательных работ.

При контроле полученных умений и навыков на основе профессиональных знаний преподаватель должен оценивать не только правильность, но и скорость выполнения упражнений. Установление временного диапазона для выполнения задания позволит преподавателю рационально использовать время учебного занятия, объективно и беспристрастно оценивать уровень мастерства обучающихся, а последних мотивировать к четкости выполнения приема.

На учениях и тренировках при отработке вопросов взаимодействия подразделений по чрезвычайным ситуациям с иными государственными органами и организациями выполнение нормативов по пожарной аварийно-спасательной подготовке может являться особой частью мониторинга.

Описание эксперимента. Практические умения и навыки при работе с пожарной техникой, основными видами ПТВ и АСО являются главными квалификационными характеристиками профессии спасатель. В настоящее время уровень профессионализма работников боевых подразделений МЧС регламентируется «Нормативами по пожарной аварийно-спасательной подготовке и боевому развертыванию для работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», которые утверждаются приказом МЧС Республики Беларусь «Об организации физической и пожарной аварийно-спасательной подготовки в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь». По итогам семинара с ведущими специалистами подразделений МЧС, а также анализа мнений работников боевых подразделений МЧС, стаж профессиональной деятельности которых превышает 15 лет, сделан вывод, что на современном этапе подготовки спасателей МЧС выполнение многих боевых приемов и упражнений из этих нормативов неактуально. Их необходимо перенести в разряд упражнений, квалификационным требованием которых является правильность выполнения.

Сущность предлагаемого подхода заключается в установлении новых, адаптированных к современным требованиям, нормативов по пожарной аварийно-спасательной подготовке с контролем времени. Рекомендованный оптимальный диапазон времени выполнения боевых заданий обосновывается методами математической статистики.

В течении 2018–2019 учебного года преподавателями кафедры пожарной аварийно-спасательной подготовки было проведено сплошное выборочное наблюдение времени выполнения обучающимися упражнений и приемов с ПТВ. В эксперименте приняли участие 160 обучающихся Университета. Полученные массивы данных были проанализированы и проверены с помощью приемов и методов математической статистики для научного обоснования возможности массового использования результатов исследования.

Мониторинг проводился по упражнениям, навыки и умения по которым являются основанием для текущей аттестации обучающихся 1-го и 2-го курсов по дисциплине «Работа с ПТВ и АСО»:

- сматывание рабочей линии из двух рукавов $\varnothing 51$ мм «восьмеркой» на руки;
- сматывание магистральной линии из одного и двух рукавов $\varnothing 77$ мм «восьмеркой» на руки;
- закрепление веревки за конструкцию при помощи узлов: «Булинь», «Штыковой».

По выборочным данным каждого упражнения были рассчитаны показатели описательной статистики, каждая совокупность данных была проверена на соответствие нормальному закону распределения.

В качестве примера ниже рассмотрена проверка гипотезы о нормальном распределении случайной величины – «Время сматывания рабочей линии из двух рукавов \varnothing 51 мм «восьмеркой» на руки» (СРЛ), которая проводилась по показателям формы распределения: асимметрии и эксцессу. Результаты описательной статистики пакета MS Excel представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты описательной статистики случайной величины СРЛ

СРЛ	
Среднее	21,9
Стандартная ошибка	0,079
Медиана	21,96
Мода	22,12
Стандартное отклонение	0,832
Дисперсия выборки	0,693
Эксцесс	0,0303
Асимметричность	0,117
Интервал	4,96
Минимум	19,9
Максимум	24,86
Сумма	2437,19
Счет	110

В симметричных рядах распределения значения моды и медианы совпадают со средней величиной ($x_{cp} = M_e = M_o$), а в умеренно асимметричных они соотносятся таким образом: $3(x_{cp} - M_e) \approx x_{cp} - M_o$. Согласно полученным результатам выбранный показатель относится к умеренно асимметричным рядам.

Наиболее точным и распространенным показателем асимметрии является моментный коэффициент асимметрии

$$A_s = \frac{\mu_3}{S^3},$$

где μ_3 – центральный момент третьего порядка; S – среднеквадратическое отклонение:

$$\mu_3 = 7,41 / 110 = 0,0673; \quad A_s = 0,117.$$

Положительная величина указывает на наличие правосторонней асимметрии. Оценка существенности показателя асимметрии дается с помощью средней квадратической ошибки коэффициента асимметрии, в нашем случае она равна $S_{A_s} = 0,6172$. Выполняется соотношение $|A_s| / S_{A_s} < 3$, следовательно, асимметрия несущественная, ее наличие объясняется влиянием различных случайных обстоятельств.

Чаще всего эксцесс оценивается с помощью показателя

$$E_x = \frac{\mu_4}{S^4} - 3,$$

где μ_4 – центральный момент четвертого порядка:

$$E_x = 0,0303.$$

Чтобы оценить существенность эксцесса, рассчитывают статистику E_x / S_{E_x} , где S_{E_x} – средняя квадратическая ошибка коэффициента эксцесса. В нашем случае $S_{E_x} = 0,5968$. Поскольку $E_x / S_{E_x} < 3$, то отклонение от нормального распределения считается несущественным [2].

Проверим гипотезу о том, что случайная величина – «Время сматывания рабочей линии из двух рукавов \varnothing 51 мм «восьмеркой» на руки» – распределена по нормальному закону с помощью показателей A_S и E_X . В случае нормального распределения справедливо следующее условие: $|A_S| < 3 S_{A_S}$, $|E_X| < 3 S_{E_X}$, т. е. распределение считается достоверно нормальным, если абсолютная величина показателей асимметрии и эксцесса меньше их ошибок репрезентативности в три и более раз.

Проверим выполнение этого условия для наших данных:

$$S_{A_S} = 0,6172, S_{E_X} = 0,5968, A_S = 0,117, E_X = 0,0303,$$

тогда

$$|0,117| < 3 \cdot 0,6172 = 1,8516; \quad |0,0303| < 3 \cdot 0,5968 = 1,7905.$$

Из этих неравенств следует, что время выполнения упражнения распределено по нормальному закону.

Аналогичный результат дает и проверка по критерию Пирсона $K_{кр} = \chi^2(3; 0,05) = 7,81473$; $K_{набл} = 7,35$. Наблюдаемое значение статистики Пирсона не попадает в критическую область: $K_{набл} < K_{кр}$, поэтому нет оснований отвергать основную гипотезу. Справедливо предположение о том, что данные выборки имеют нормальное распределение [3].

По предложенному алгоритму проанализировано время выполнения других упражнений и приемов и рассчитаны нормативные диапазоны времени выполнения упражнений.

Полученные результаты. В результате проведения педагогического эксперимента по определению нормативов времени выполнения приемов и упражнений при работе с пожарно-техническим вооружением и аварийно-спасательным оборудованием были получены массивы данных времени выполнения по каждому виду упражнений и приемов. Полученные данные были проанализированы с применением методов математической статистики. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Предлагаемый диапазон времени выполнения упражнений

№ п/п	Наименование упражнений	Диапазоны времени, с
1	Сматывание рабочей линии из двух рукавов \varnothing 51 мм «восьмеркой» на руки	20,0–25,0
2	Сматывание магистральной линии из одного рукава \varnothing 77 мм «восьмеркой» на руки	9,0–11,0
3	Сматывание магистральной линии из двух рукавов \varnothing 77 мм «восьмеркой» на руки	24,0–37,0
4	Закрепление веревки за конструкцию при помощи узла «Булинь»	5,0–8,0
5	Закрепление веревки за конструкцию при помощи узла «Штыковой»	6,0–9,0

Заключение.

1. Изучение научно-методической литературы, а также анализ особенностей профессиональной деятельности специалистов спасательного ведомства позволяет утверждать, что совершенствование методов обучения, основанное на применении новых форм контроля профессионально значимых качеств спасателей, позволит повысить качество образовательного процесса в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси и окажет положительное воздействие на организацию профессиональной подготовки в системе МЧС в целом.

2. Исследования, основанные на применении метрологического подхода, позволили сформировать систему оценок уровня подготовленности участников образовательного процесса под влиянием физических нагрузок специальной направленности.

3. Результаты математической обработки полученных результатов позволили установить временные диапазоны при выполнении заданных двигательных действий и объективно оценить степень развития профессионально значимых качеств спасателей.

Кафедра пожарной аварийно-спасательной подготовки выражает благодарность кафедре естественных наук Университета гражданской защиты Беларуси за помощь в анализе экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аварийно-спасательная подготовка: учебник / Э.Р. Бариев [и др.]; под ред. Э.Р. Бариева. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 316 с.
2. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1999. – 400 с.
3. Лагутин, М.Б. Наглядная математическая статистика: учеб. пособие / М.Б. Лагутин. – 3-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 472 с.
4. Трифонова, Н.Н. Спортивная метрология: учеб. пособие / Н.Н. Трифонова, И.В. Еркомайшвили. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 112 с.

Метрологический подход в профессиональной подготовке спасателей

Metrological approach to the professional training of rescuers

Радьков Игорь Анатольевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», заместитель начальника университета по службе

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: radkov.igor@mail.ru

Igor' A. Rad'kov

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: radkov.igor@mail.ru

Самсоник Андрей Ростиславович

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: samsonik.a@yandex.ru

Andrey R. Samsonik

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Rescue and Firefighting Training, Head of the Chair

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: samsonik.a@yandex.ru

Федькович Виталий Александрович

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: vitalik-fedkovic@mail.ru

Vitaliy A. Fed'kovich

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

Address: 220118, Belarus, Minsk, ul. Mashinostroiteley, 25
e-mail: vitalik-fedkovic@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2019.3-4.462>

METROLOGICAL APPROACH TO THE PROFESSIONAL TRAINING OF RESCUERS

Rad'kov I.A., Samsonik A.R., Fed'kovich V.A.

Purpose. Substantiation of the need of implementation of new regulatory requirements with time control while performing exercises on the discipline «Work with fire-technical and rescue equipment».

Methods. Analysis of special scientific and methodological literature, continuous statistical observation, analysis of research results using methods of mathematical statistics.

Findings. A pedagogical experiment has been carried out to determine the optimal time for the exercising and implementation of techniques when working with fire-technical and rescue equipment at heights. Based on the experiment, new standards have been developed with control over the time of performing techniques and exercises.

Application field of research. The results of the research can be used in the educational process of training the university students on the discipline «Work with fire-technical and rescue equipment» and in testing the cumulative knowledge and skills of acting employees of the Ministry of emergency situations.

Keywords: metrology, measurements, emergency and rescue training, time standard.

(The date of submitting September 17, 2019)

REFERENCES

1. Bariev E.R., et al. *Avariyno-spasatel'naya podgotovka* [Emergency and rescue training]: textbook. Minsk: Informatsionno-vychislitel'nyy tsentr ministerstva finansov respubliky belarus', 2014. 316 p. (rus)
2. Gmurman V.E. *Rukovodstvo k resheniyu zadach po teorii veroyatnostey i matematicheskoy statistike* [Guide to the solving of problems on the probabilities theory and mathematical statistics]: tutorial. Moscow: Vysshaya Shkola, 1999. 400 p. (rus)
3. Lagutin M.B. *Naglyadnaya matematicheskaya statistika* [Visual mathematical statistics]: tutorial. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2007. 472 p. (rus)
4. Trifonova N.N., Erkomayshvili I.V. *Sportivnaya metrologiya* [Sport metrology]: tutorial. Yekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2016. 112 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 нормативно-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: <http://vestnik.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 мене 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 в себя 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: <http://vestnik.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 основное содержание статьи. Рукописи отклоненных статей авторам не возвращаются.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

Факультет заочного обучения

Подготовка по специальности:

1-94 01 01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» с присвоением квалификации «Инженер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Заочная форма обучения: сокращенная – 3 года; полная (только для иностранных граждан) – 5 лет. Дистанционная форма обучения (только для иностранных граждан): сокращенная – 3 года; полная – 5 лет.

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

Факультет безопасности жизнедеятельности

Переподготовка 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 непроемкой 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 автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Проектирование систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией»;
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Промышленная безопасность» (заочная (дистанционная) форма обучения).

Обучающие курсы для лиц, имеющих профессионально-техническое и общее среднее образование, по образовательным программам:

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Пожарно-технический минимум».

Семинары по образовательным программам:

- «Первая помощь пострадавшим в чрезвычайных ситуациях»;
- «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 непроемкой сферы».

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,

тел./факс: (017) 340-71-89 (ФЗО), тел.: (017) 340-69-55, факс: (017) 340-35-58 (ФБЖ).

Дополнительная информация размещена на сайте института: <http://ucsp.by>.

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 3, № 4, 2019

Редактор-корректор О.М. Павлюченко
Технический редактор М.В. Лапина
Дизайн обложки И.А. Розенталь

Подписано в печать 18.11.2019.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 13,7. Уч.-изд. л. 12,33.
Тираж 110 экз. Заказ 073-2019.

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.