



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал
Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси
(Journal of Civil Protection)
Том 7, № 1, 2023

Редакционная коллегия:

главный редактор:

Полевода
Иван Иванович

кандидат технических наук,
доцент

зам. главного редактора:

Гончаренко
Игорь Андреевич

доктор физико-математических наук,
профессор

Платонов
Александр Сергеевич

кандидат физико-математических
наук, доцент

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

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

Адрес редакции: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск
Контактные телефоны: +37517 340-53-93 (главный редактор)
+37517 341-32-99

Сайт Университета гражданской защиты: www.ucsp.by
Email редакции: vestnik@ucsp.by

ISSN 2519-237X (print)
ISSN 2708-017X (online)

© Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

Гончаренко И.А., Ильюшонок А.В., Рябцев В.Н. Измерение поглощенной дозы ионизирующего излучения с помощью оптических волноводных кольцевых резонаторов	5
Кудряшов В.А., Ботян С.С., Коба С.С., Лойко Ю.Л., Королев А.В. Экспериментальное исследование огнестойкости подвесного потолка, выполненного с применением негорючих гипсовых плит	13
Бунто О.В., Жамойдик С.М. Экспериментальные исследования прочностных и деформационных свойств полимерных материалов, рассматриваемых в качестве светопрозрачного заполнения легкобрасываемых конструкций.....	32
Волчецкая Е.А., Дунаев А.А., Жамойдик С.М., Зинкевич Г.Н., Иваницкий А.Г. Экспериментальные исследования по определению давления вскрытия и изменения угла поворота вращаемых легкобрасываемых конструкций при дефлаграционном взрыве топливовоздушной смеси	43
Шумай С.М., Иванов Ю.С., Старовойтов А.А., Шатилов Ю.С. Исследование характеристик специальной защитной обуви спасателей-пожарных при эксплуатационных испытаниях и опытной носке	54
Смиловенко О.О., Малашенко С.М., Абрамович А.О. Модель движения огнетушащей пены в слое нефтепродукта	64
Кобяк В.В., Бабич В.Е., Кессо В.В., Сак С.П., Скорупич И.С. Разработка многофункционального тренажерного комплекса по ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий на электротранспорте	75
Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)	
Кравцов С.Л., Попова А.К., Маркова Д.С., Лепесевич Е.В., Решетник С.В. Совершенствование информационных систем о природных пожарах Республики Беларусь и Российской Федерации	86
Гражданская оборона	
Бордак С.С. Организационные аспекты поддержки принятия решений в интересах гражданской обороны	111
Разное (обзоры)	
Полевода И.И., Камлюк А.Н., Платонов А.С., Осяев В.А. К 75-летию доктора физико-математических наук Валерия Александровича Кузьмицкого	119
Правила предоставления статей	123

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

Goncharenko I.A., Il'yushonok A.V., Ryabtsev V.N. Measurement of absorbed dose of ionizing radiation by means of optical waveguide ring resonators 5

Kudryashov V.A., Botyan S.S., Koba S.S., Korolev A.V., Loyko Yu.L. Experimental study of fire resistance of suspended ceiling made with application of gypsum non-combustible boards 13

Bunto O.V., Zhamoydik S.M. Experimental investigations of strength and deformation properties of polymeric materials considered as a translucent filling of easy-to-reset structures 32

Volchetskaya E.A., Dunaev A.A., Zhamoydik S.M., Zinkevich G.N., Ivanitskiy A.G. Experimental studies to determine the opening pressure and the change of rotation angle of rotatable easy-to-reset structures during a deflagration explosion of an air-fuel mixture 43

Shumay S.M., Ivanov Yu.S., Starovoytov A.A., Shatilov Yu.S. Investigation of the characteristics of special protective footwear for rescuers-firefighters during operational tests and experimental wear 54

Smilovenko O.O., Malashenko S.M., Abramovich A.O. Model of movement of fire extinguishing foam in a layer of oil products 64

Kobyak V.V., Babich V.E., Kesso V.V., Sak S.P., Skorupich I.S. Development of a multifunctional training complex for the elimination of consequences of road accidents in electric transport 75

Safety in emergencies (technical sciences)

Kravtsov S.L., Popova A.K., Markova D.S., Lepesevich E.V., Reshetnik S.V. Improvement of information systems on natural fires in Republic of Belarus and Russian Federation 86

Civil defense

Bordak S.S. Organizational aspects of decision support for the sake of civil defense ... 111

Miscellaneous (reviews)

Palevoda I.I., Kamlyuk A.N., Platonov A.S., Osyayev V.A. To the 75th anniversary of grand PHD in physical and mathematical sciences Valery Alexandrovich Kuzmitsky 119

Rules of submitting articles for publication..... 123

ИЗМЕРЕНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Гончаренко И.А., Ильюшенок А.В., Рябцев В.Н.

Цель. Анализ методов измерения и конструкций датчиков поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе оптических волноводных кольцевых резонаторов.

Методы. Общая методология работы предусматривала использование теоретических методов исследования (анализ, синтез, сравнение).

Результаты. Проведен анализ воздействия ионизирующего излучения на волноводные микрокольцевые резонаторы и оценка возможности их использования в качестве датчиков поглощенной дозы. Показано, что с точки зрения чувствительности перспективными являются датчики на основе микрокольцевых резонаторов на базе кремниевых волноводов, покрытых фторполимером.

Область применения исследований. Результаты обзора и анализа сведений о методах измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения могут послужить базой для создания эффективных дозиметров с высокой чувствительностью на основе оптических волноводных кольцевых резонаторов.

Ключевые слова: оптический волновод, ионизирующее излучение, доза излучения, микрокольцевой резонатор, целевой волновод.

(Поступила в редакцию 2 ноября 2022 г.)

Введение

В технических устройствах, функционирующих в условиях жесткого излучения, например на спутниках или в ядерных реакторах, применяются датчики различных физических величин на основе волноводных резонансных структур (резонаторы Фабри – Перо, микрокольцевые резонаторы) [1]. С одной стороны, воздействие ионизирующего излучения вызывает деградацию материала волновода из-за образования дефектов и эффекта ионизации [2; 3]. Дефекты приводят к изменению оптических свойств материала в результате возникновения полос поглощения и центров окраски [4–6]. С другой стороны, под воздействием ионизирующего излучения изменяется показатель преломления и геометрическая длина резонатора, что приводит к смещению резонансной длины волны или полос интерференционной картины. Это позволяет использовать такие структуры для измерения доз ионизирующего излучения с большой точностью.

В данной работе проведен анализ воздействия ионизирующего излучения на волноводные микрокольцевые резонаторы и оценка возможности их использования в качестве датчиков поглощенной дозы ионизирующего излучения.

Основная часть

В работе [7] исследовано влияние поверхностной пассивации на изменение функции пропускания микрокольцевого резонатора на основе кремниевых полосковых волноводов под воздействием гамма-излучения.

Микрокольцевые резонаторы на основе неспассивированного и спассивированного слоев природного окисла кремниевых волноводов подвергались воздействию гамма-излучения средней мощностью 6 Гр/мин от источника с энергией 662 кэВ в течение 240 мин при общей дозе излучения 1,47 кГр.

Как следует из рисунка 1а, воздействие гамма-излучения на резонатор на неспассивированном волноводе приводит к сдвигу резонансной длины волны на 0,4 нм в область меньших длин волн, что примерно в шесть раз превышает полуширину резонансного пика. Это обусловлено ускорением роста природных окислов. При этом величина функции

пропускания уменьшается более чем на 10 дБ. Это уменьшение объясняется вариациями коэффициентов связи подводящих и кольцевого волноводов.

Резонансная длина волны кольцевого резонатора на основе пассивированного волновода (рис. 1б) после облучения практически не изменилась (сдвиг менее 0,016 нм). Это показывает, что после насыщения поверхности кремния природным окислом воздействие ионизирующего излучения не вызывает дополнительного роста окисла из-за ограничения диффузии разных видов окислителей. Изменений функции пропускания резонатора также не наблюдалось.

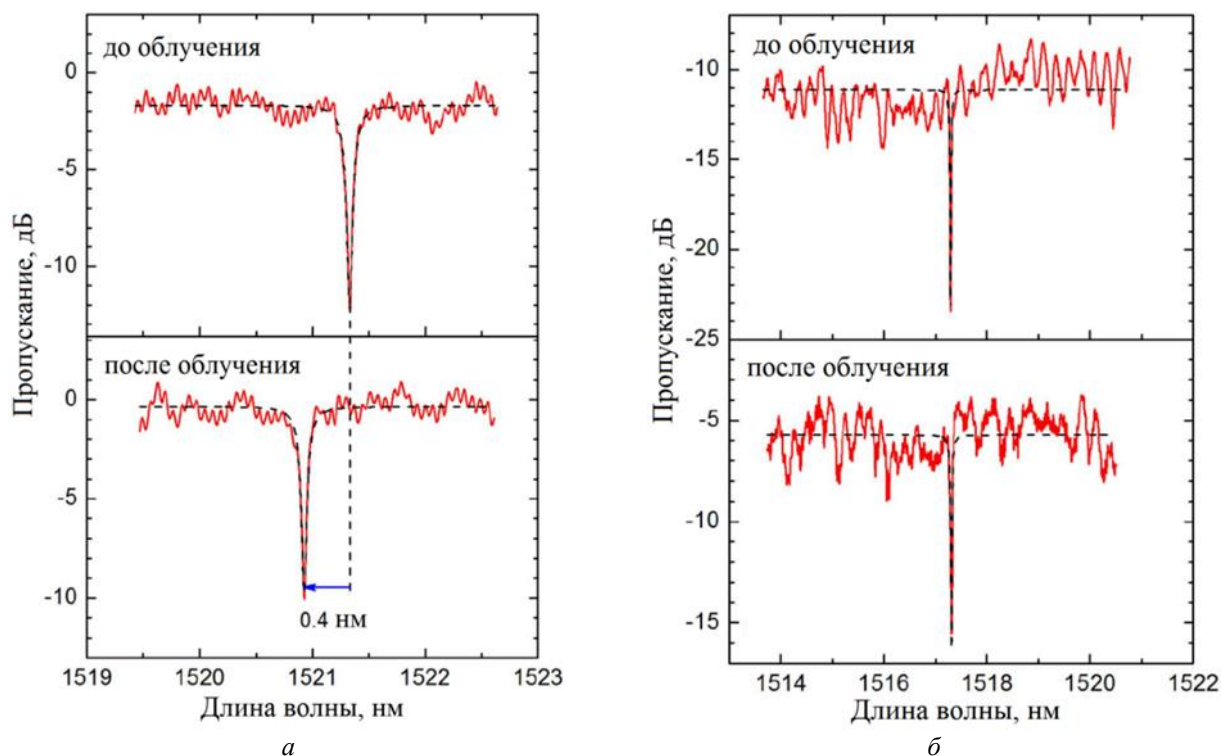


Рисунок 1. – Функция пропускания кварцевого кольцевого резонатора на основе непассивированного (а) и пассивированного (б) волноводов до и после воздействия гамма-излучения [7]

Влияние больших доз гамма-излучения (до 150 кГр) на кольцевые резонаторы на основе двух типов волноводов из аморфного кремния (*a*-Si) экспериментально исследовано в работе [8]. Поперечные сечения волноводов представлены на рисунке 2.

Первый волновод представляет собой слой *a*-Si (показатель преломления $n = 3,48$) толщиной 205 нм, расположенный на кремниевой подложке и с поверхностным покрытием из термического окисла SiO₂ ($n = 1,45$) толщиной 3 мкм. Второй волновод имеет такие же размеры и изготовлен из таких же материалов, как и первый волновод, за исключением покрытия, которое в этом случае представляет собой слой гиперсвязанного фторполимера (ЭП-полимера, $n = 1,38$) также толщиной 3 мкм. Использование покрытия из фторполимера позволяет исключить влияние флуктуаций температуры на выходные параметры резонатора в большом диапазоне длин волн, в отличие от резонатора с покрытием из SiO₂. Термооптический коэффициент полимера отрицательный ($-2,65 \times 10^{-4} \text{ 1}^\circ\text{C}$), в то время как *a*-Si, из которого изготовлена сердцевина волновода, имеет положительный термооптический коэффициент ($2,3 \times 10^{-4} \text{ 1}^\circ\text{C}$). Поскольку около 27 % основной ТН моды волновода сосредоточено в полимерном покрытии, это и обеспечивает атермический режим работы устройства.

Длина кольцевого волновода в обоих случаях одинакова и равна 426 мкм. Добротность кольцевого резонатора на основе волновода, покрытого SiO₂, составила $9,9 \times 10^3$, ширина полосы пропускания по уровню -3 дБ равна 154 пм, коэффициент экстинкции – 14 дБ в резонансе. Добротность кольцевого резонатора из волновода с полимерным покрытием

резонатора составила $1,6 \times 10^4$, ширина полосы пропускания по уровню -3 дБ равна 94 пм, коэффициент экстинкции – 12 дБ, область дисперсии 1,582 нм.

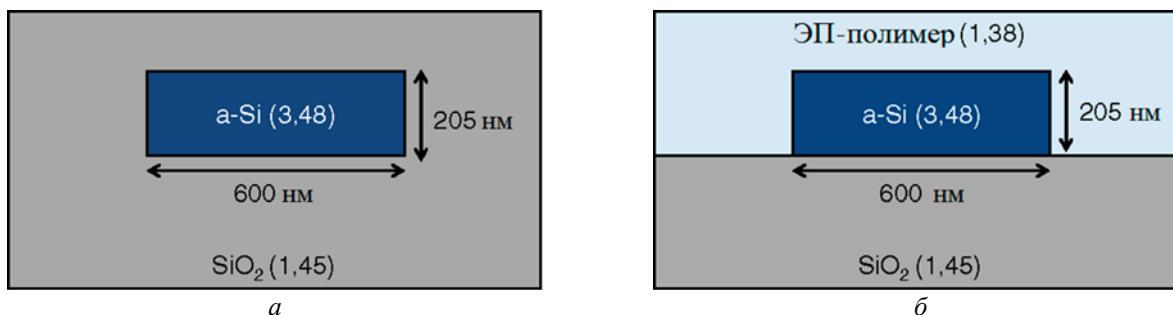


Рисунок 2. – Поперечное сечение a-Si волноводов с покрытиями из SiO₂ (а) и ЭП-полимера (б)

На рисунке 3 представлено сравнение функций пропускания кольцевых микрорезонаторов на основе волноводов с покрытиями из двуокиси кремния и ЭП-полимера [8] до (синие линии) и после (красные линии) облучения гамма-излучением дозой 150 кГр.

Как следует из рисунка 3а, сдвиг резонансной длины волны резонатора на основе волновода, покрытого SiO₂, под воздействием ионизирующего излучения не происходит. Таким образом, эффективный показатель преломления моды кольцевого волновода практически не меняется. Воздействие ионизирующего излучения также не приводит к изменению коэффициента экстинкции и ширины полосы пропускания, т.е. добротность резонатора не меняется. Следовательно, показатель преломления, потери на распространение и рассеяние волноводов на основе аморфного кремния с покрытием SiO₂ после облучения гамма-излучением общей дозой 150 кГр не изменяются.

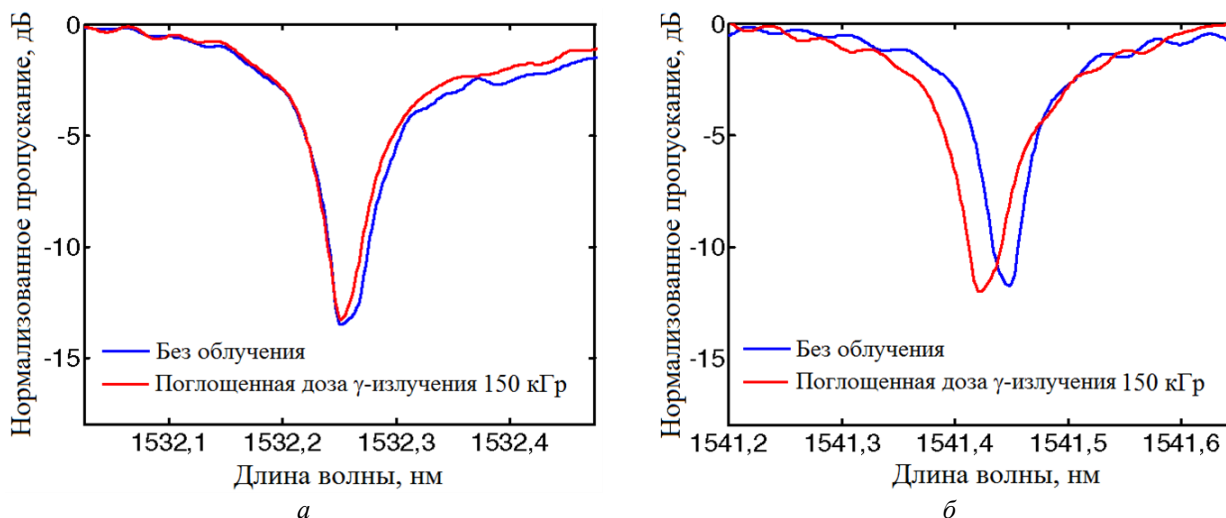


Рисунок 3. – Нормализованные функции пропускания кольцевых микрорезонаторов на базе волноводов с покрытиями из SiO₂ (а) и ЭП-полимера (б) до (синие линии) и после (красные линии) облучения гамма-излучением [8]

Воздействие ионизирующего излучения на кольцевой резонатор на базе волновода с полимерным покрытием приводит к сдвигу его резонансной длины волны на 21 пм в область меньших длин волн (рис. 3б). Такой сдвиг соответствует изменению эффективного показателя преломления моды волновода примерно на $-4,8 \times 10^{-5}$. Поскольку все материалы волновода (аморфный кремний и SiO₂), за исключением покрытия, после облучения остаются неизменными по сравнению с первым случаем (рис. 3а), можно заключить, что сдвиг резонансной длины волны происходит из-за изменений показателя преломления покрывающего волновод полимера.

Ширина полосы пропускания кольцевого микрорезонатора после гамма-облучения возросла до 124 пм, что вызывает уменьшение добротности резонатора на 33 % (до

$1,2 \times 10^4$). При этом область дисперсии резонатора уменьшается только на 0,1 % (0,3 ГГц). Следовательно, увеличение ширины полосы пропускания определяется не увеличением волноводного группового показателя преломления, а изменениями потерь на распространение в волноводе или коэффициентов связи кольцевого и подводящих волноводов.

Влияние ионизирующего излучения на волноводы на основе аморфного кремния (*a*-Si) и нитрида кремния (SiN_x) рассмотрено в работе [9]. Воздействие гамма-излучения приводит к изменению характеристик кольцевого микрорезонатора на базе волноводов из этих материалов, на основе чего определяется изменение их показателя преломления. Облучение устройства производилось в инертной среде (аргон) для определения непосредственного влияния гамма-излучения на показатель преломления материалов волноводов.

В эксперименте использовались по два устройства из каждого материала. Одно из устройств (пробное) подвергалось воздействию гамма-излучения, второе (базовое) – не облучалось, но находилось в одинаковых с пробным резонатором условиях, т.е. при той же влажности, температуре, освещении.

Наведенный ионизирующим излучением сдвиг резонансной длины волны можно рассчитать по формуле:

$$\Delta\lambda = (\lambda_0 - \lambda_{r,0}) - (\lambda_i - \lambda_{r,i}), \quad (1)$$

где λ_0 и λ_i – резонансные длины волн пробного резонатора до и после облучения, мкм;

$\lambda_{r,0}$ и $\lambda_{r,i}$ – резонансные длины волн базового резонатора, измеренные при тех же условиях, мкм.

Измеренные спектры пропускания пробного резонатора на основе волновода из *a*-Si представлены на рисунке 4. Использование базового резонатора позволяет исключить влияние изменения внешних условий на результат эксперимента.

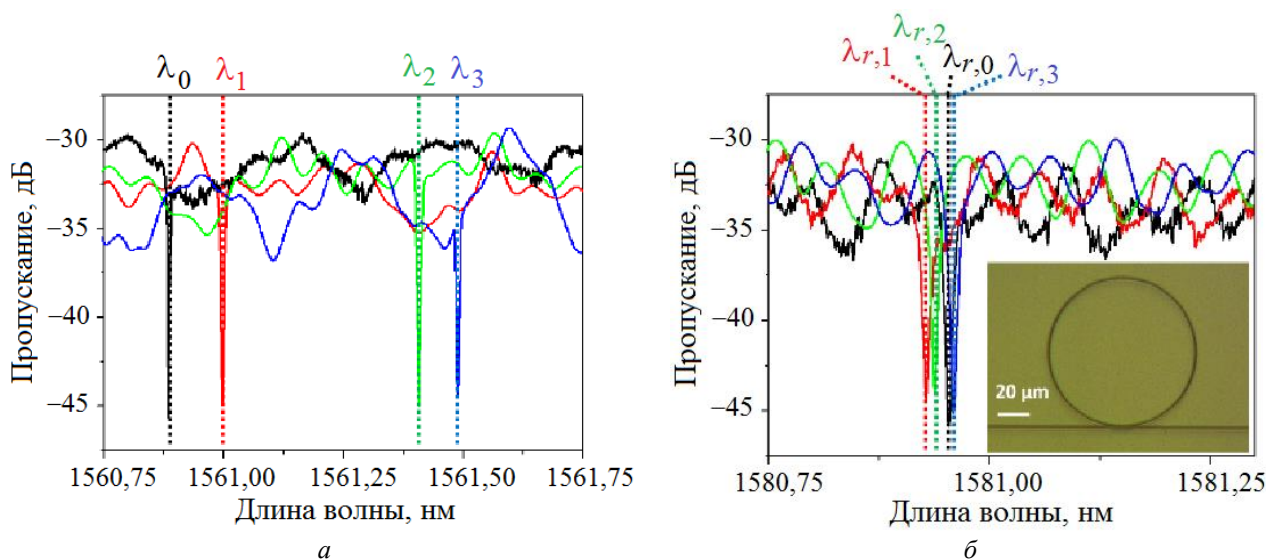


Рисунок 4. – Спектр пропускания пробного резонатора на основе волновода из *a*-Si (а) до облучения (черные линии) и после облучения ионизирующим излучением с дозой 40 кГр (красные линии), 80 кГр (зеленые линии) и 100 кГр (синие линии) и базового резонатора (б) при тех же внешних условиях. На вставке показан вид сверху резонатора на основе *a*-Si [9]

Как видно из рисунка, коэффициент экстинкции и добротность резонатора после облучения гамма-излучением практически не меняются, что указывает на минимальное увеличение оптических потерь. Увеличение дозы ионизирующего излучения с шагом 20 кГр вплоть до дозы 100 кГр проводилось для того, чтобы оценить влияние поверхностного окисления на сдвиг резонансной длины волны. Пропускание резонатора оценивалось до и после каждого сеанса облучения. Наведенный ионизирующим излучением сдвиг резонансной длины волны, рассчитанный с помощью уравнения (1), определялся для двух наборов образцов, каждый из которых включал 5 устройств. Для определения изменений эффективного

показателя преломления моды волновода использовалось среднее значение сдвига резонансной длины волны:

$$\Delta n_{\text{эф}} = \frac{n_{\text{гр}} \Delta \lambda}{\lambda_{\text{рез}}}, \quad (2)$$

где $\overline{\Delta \lambda}$ – среднее значение сдвига резонансной длины волны, мкм;

$\lambda_{\text{рез}}$ – резонансная длина волны, мкм;

$n_{\text{гр}}$ – групповой показатель преломления моды;

$\Delta n_{\text{эф}}$ – изменение эффективного показателя преломления моды волновода. Групповой показатель преломления связан с областью дисперсии (определяется как разнесение между двумя соседними резонансными пиками):

$$n_{\text{гр}} = \frac{\lambda_{\text{рев}}^2}{\text{ОД} \cdot L}. \quad (3)$$

где L – геометрическая длина резонатора, мкм;

ОД – область дисперсии, мкм.

Измеренные с помощью этого метода, наведенные ионизирующим излучением изменения показателя преломления волнопроводов из a -Si и SiN_x представлены на рисунке 5. Интервалы погрешностей на рисунке определены с учетом неопределенности при эксперименте как флуктуаций температуры, так и изменений от образца к образцу. На рисунке 5б интервалы погрешностей малы (менее 10⁻⁵) и неразличимы на графике. Показатели преломления как a -Si, так и SiN_x при облучении их в аргоновой среде монотонно возрастают при увеличении дозы ионизирующего излучения. При этом зависимость показателя преломления для обоих материалов от суммарной дозы ионизирующего излучения примерно линейная. Поскольку возможность наведенной ионизирующим излучением кристаллизации исключена, увеличение показателя преломления наиболее вероятно вызвано уплотнением или сжатием аморфной атомной структуры [10]. Воздействие ионизирующего излучения общей дозой 100 кГр приводит к увеличению эффективного показателя преломления мод волнопроводов примерно на 4×10⁻³ для аморфного кремния и 5×10⁻⁴ для нитрида кремния.

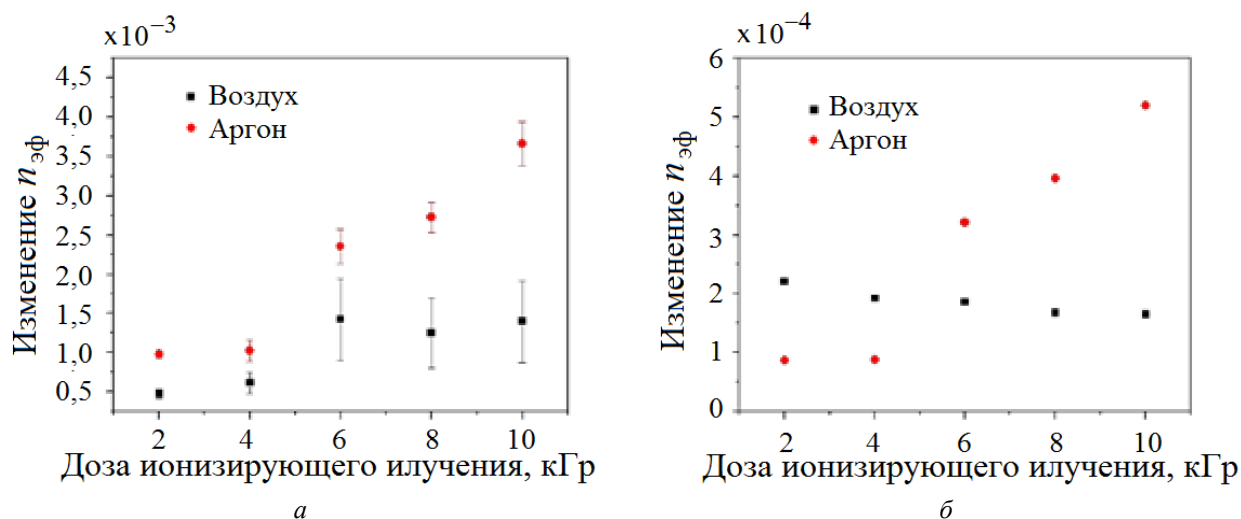


Рисунок 5. – Зависимость изменения эффективного показателя преломления резонаторов на основе волнопроводов из a -Si (а) и SiN_x (б) от суммарной дозы гамма-излучения [9]

При облучении материалов в воздушной среде увеличение показателя преломления замедляется и для a -Si достигает постоянного значения при дозах свыше 60 кГр. Показатель преломления волнопроводов на основе SiN_x слегка уменьшается после начальной дозы 20 кГр. Этот эффект связан с поверхностным окислением, которое препятствует увеличе-

нию показателя преломления, вызванного уплотнением аморфной структуры, поскольку показатель преломления двуоксида кремния имеет более низкое значение, чем $a\text{-Si}$ и SiN_x ($n_{\text{SiO}_2} = 1,45$; $n_{a\text{-Si}} = 3,6$; $n_{\text{SiN}_x} = 2,1$).

Заключение

Таким образом, показатель преломления материала волновода кольцевого микрорезонатора увеличивается под воздействием ионизирующего излучения. В результате происходит смещение резонансной длины волны резонатора пропорционально поглощенной дозе. Наибольшее смещение резонансной длины волны достигается в резонаторах на базе кремниевых волноводов с покрытием из фторполимера или волноводов на основе аморфного кремния и нитрида кремния, облучаемых в инертной среде, для исключения поверхностного окисления материалов. Микрорезонаторы на основе таких волноводов могут быть использованы в качестве сенсорных элементов волноводных оптических дозиметров высокой чувствительности.

Наиболее перспективными с точки зрения достижения высокой чувствительности являются оптические датчики поглощенной дозы ионизирующего излучения на базе кольцевых волноводных резонаторов с полимерным покрытием. При этом для увеличения чувствительности в кольцевых резонаторах можно использовать волноводы с горизонтальными или вертикальными щелями, заполненными полимером, показатель преломления которого изменяется под воздействием ионизирующего излучения [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Van Lint, V.A.J. The physics of radiation damage in particle detectors / V.A.J. Van Lint // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 1987. – Vol. 253, No. 3. – P. 453–459. – DOI: 10.1016/0168-9002(87)90532-8.
2. Johnston, A.H. Radiation effects in optoelectronic device / A.H. Johnston // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2013. – Vol. 60, No. 3. – P. 2054–2073. – DOI: 10.1109/TNS.2013.2259504.
3. Summers, G.P. Damage correlations in semiconductors exposed to gamma, electron and proton radiations / G.P. Summers [et al.] // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 1993. – Vol. 40, No. 6. – P. 1372–1379. – DOI: 10.1109/23.273529.
4. West, R.H. Effects related to dose deposition profiles in integrated optics structures / R.H. West, S. Dowling // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 1996. – Vol. 43, No. 3. – P. 1044–1049. – DOI: 10.1109/23.510753.
5. Girard, S. 14-MeV neutron, gamma-ray, and pulsed X-ray radiation-induced effects on multimode silica-based optical fibers / S. Girard, J. Baggio, J. Bisutti // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2006. – Vol. 53, No. 6. – P. 3750–3757. – DOI: 10.1109/TNS.2006.886222.
6. Berghmans, F. An introduction to radiation effects on optical components and fiber optic sensors / F. Berghmans [et al.] // *Optical Waveguide Sensing and Imaging. NATO Science for Peace and Security Series* / W.J. Bock, I. Gannot, S. Tanev (editors). – Netherlands, Dordrecht: Springer, 2008. – P. 127–165. – DOI: 10.1007/978-1-4020-6952-9_6.
7. Bhandaru, S. Total ionizing dose effects on silicon ring resonators / S. Bhandaru [et al.] // *IEEE Transactions on nuclear science*. – 2015. – Vol. 62, No. 1. – P. 323–328. DOI: 10.1109/TNS.2014. 2387772.
8. Grillanda, S. Gamma radiation effects on silicon photonic waveguides / S. Grillanda [et al.] // *Optics Letters*. – 2016. – Vol. 41, No. 13. – P. 3053–3056. – DOI: 10.1364/OL.41.003053.
9. Du, Q. Gamma radiation effects in amorphous silicon and silicon nitride photonic devices / Q. Du [et al.] // *Optics Letters*. – 2017. – Vol. 42, No. 3. – P. 587–590. – DOI: 10.1364/OL.42.000587.
10. Piao, F. The mechanism of radiation-induced compaction in vitreous silica / F. Piao, W.G. Oldham, E.E. Haller // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2000. – Vol. 276, No. 1–3. – P. 61–71. DOI: 10.1016/S0022-3093(00)00263-5.
11. Goncharenko, I. Electric field sensing with liquid-crystal-filled slot waveguide microring resonators / I. Goncharenko, M. Marciniak, V. Reabtsev // *Applied Optics*. – 2017. – Vol. 56, No. 27. – P. 7629–7635. DOI: 10.1364/AO.56.007629.

**Измерение поглощенной дозы ионизирующего излучения с помощью
оптических волноводных кольцевых резонаторов**

**Measurement of absorbed dose of ionizing radiation by means
of optical waveguide ring resonators**

Гончаренко Игорь Андреевич

доктор физико-математических наук,
профессор

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

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

Email: Ihar02@list.ru

ORCID: 0000-0002-8063-8068

Igor A. Goncharenko

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

Email: Ihar02@list.ru

ORCID: 0000-0002-8063-8068

Ильюшонок Александр Васильевич

кандидат физико-математических наук,
доцент

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

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

Email: ilyushonak@ucp.by

ORCID: 0000-0001-7523-4483

Alexandr V. Il'yushonok

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», Chair
of Natural Sciences, Head of the Chair

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

Email: ilyushonak@ucp.by

ORCID: 0000-0001-7523-4483

Рябцев Виталий Николаевич

кандидат технических наук, доцент

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

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

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

Vitaly N. Ryabtsev

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 Safety Systems,
Head of the Chair

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

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

MEASUREMENT OF ABSORBED DOSE OF IONIZING RADIATION BY MEANS OF OPTICAL WAVEGUIDE RING RESONATORS

Goncharenko I.A., Il'yushonok A.V., Ryabtsev V.N.

Purpose. Analysis of the measuring methods and structures of the sensors of absorbed dose of ionizing radiation on the base of optical waveguide ring resonators.

Methods. The general methodology of the work included the use of theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison).

Findings. The effect of ionizing radiation on waveguide microring resonators are analysed. The possibility of its application as sensor of absorbed dose of ionizing radiation is estimated. It's shown that the sensors comprising microring resonators on the base of silicon waveguides coated with fluoropolymer are the most prospective due to the higher sensitivity.

Application field of research. The results of review and analysis of the information about the methods of measurement of absorbed dose of ionizing radiation can serve as a basis for creating effective optical waveguide dosimeters with higher sensitivity with the use of optical waveguide ring resonators.

Keywords: optical waveguide, ionizing radiation, radiation dose, ring microresonator, slot waveguide.

(The date of submitting: November 2, 2022)

REFERENCES

1. Van Lint V.A.J. The physics of radiation damage in particle detectors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1987. Vol. 253, No. 3. Pp. 453–459. DOI: 10.1016/0168-9002(87)90532-8.
2. Johnston A.H. Radiation effects in optoelectronic device. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2013. Vol. 60, No. 3. Pp. 2054–2073. DOI: 10.1109/TNS.2013.2259504.
3. Summers G.P., Burke E.A., Shapiro P., Messenger S.R., Walters R.J. Damage correlations in semiconductors exposed to gamma, electron and proton radiations. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 1993. Vol. 40, No. 6. Pp. 1372–1379. DOI: 10.1109/23.273529.
4. West R.H., Dowling S. Effects related to dose deposition profiles in integrated optics structures. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 1996. Vol. 43, No. 3. Pp. 1044–1049. DOI: 10.1109/23.510753.
5. Girard S., Baggio J., Bisutti J. 14-MeV neutron, gamma-ray, and pulsed X-ray radiation-induced effects on multimode silica-based optical fibers. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2006. Vol. 53, No. 6. Pp. 3750–3757. DOI: 10.1109/TNS.2006.886222.
6. Berghmans F., Brichard B., Fernandez A.F., Gusarov A., Uffelen M.V., Girard S. An introduction to radiation effects on optical components and fiber optic sensors. In: Bock W.J., Gannot I., Tanev S. (editors) *Optical Waveguide Sensing and Imaging. NATO Science for Peace and Security Series*. Netherlands, Dordrecht: Springer, 2008. Pp. 127–165. DOI: 10.1007/978-1-4020-6952-9_6.
7. Bhandaru S., Hu S., Fleetwood D.M., Weiss S.M. Total ionizing dose effects on silicon ring resonators. *IEEE Transactions on nuclear science*, 2015. Vol. 62, No. 1. Pp. 323–328. DOI: 10.1109/TNS.2014.2387772.
8. Grillanda S., Singh V., Raghunathan V., Morichetti F., Melloni A., Kimerling L., Agarwal A.M. Gamma radiation effects on silicon photonic waveguides. *Optics Letters*, 2016. Vol. 41, No. 13. – Pp. 3053–3056. DOI: 10.1364/OL.41.003053.
9. Du Q., Huang Y., Ogbuu O., Zhang W., Li J., Singh V., Agarwal A., Hu J. Gamma radiation effects in amorphous silicon and silicon nitride photonic devices. *Optics Letters*, 2017. Vol. 42, No. 3. Pp. 587–590. DOI: 10.1364/OL.42.000587.
10. Piao F., Oldham W.G., Haller E.E. The mechanism of radiation-induced compaction in vitreous silica. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2000. Vol. 276, No. 1–3. Pp. 61–71. DOI: 10.1016/S0022-3093(00)00263-5.
11. Goncharenko I., Marciniak M., Reabtsev V. Electric field sensing with liquid-crystal-filled slot waveguide microring resonators. *Applied Optics*, 2017. Vol. 56, No. 27. Pp. 7629–7635. DOI: 10.1364/AO.56.007629.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПОДВЕСНОГО ПОТОЛКА, ВЫПОЛНЕННОГО С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИПСОВЫХ НЕГОРЮЧИХ ПЛИТ

Кудряшов В.А., Ботян С.С., Коба С.С., Лойко Ю.Л., Королев А.В.

Цель. На основании анализа технических решений, применяемых для устройства огнестойких подвесных потолков с использованием гипсовых негорючих плит, разработать типовой образец фрагмента для натуральных испытаний с воздействием огня снизу (со стороны помещения). Провести огневые испытания и определить огнестойкость экспериментального образца, получить температурно-временные зависимости для локальных точек испытываемого фрагмента, наиболее подверженных разрушениям и деформациям в результате нагрева.

Методы. Анализ результатов существующих исследований и методов для достижения целей исследований. Разработка типового образца для испытаний согласно требованиям СТБ EN 1363-1-2009, СТБ EN 1364-2-2009. Разработка методики определения температурно-временных зависимостей при нагреве для локальных точек образца огнестойкого подвесного потолка. Экспериментальные огневые исследования.

Результаты. Огнестойкий подвесной потолок с применением гипсовых негорючих плит является наиболее простым и распространенным решением для увеличения предела огнестойкости горизонтальных элементов перекрытий и покрытий. Для подтверждения технических решений, применяемых для устройства огнестойких подвесных потолков с применением гипсовых негорючих плит, был разработан типовой экспериментальный образец. Огнестойкий подвесной потолок, сформированный двумя сплошными слоями гипсовых негорючих плит марки Gyproc Fire общей толщиной 25 мм и двумя слоями минеральной ваты марки ISOVER 50/E/K плотностью 14 ± 10 % кг/м³ общей толщиной 100 мм на несущем двухуровневом каркасе из тонкостенных профилей соответствует пределу огнестойкости EI 60 (a←b) согласно СТБ EN 1364-2-2009. Средняя температура на необогреваемой поверхности минераловатных плит составила 170 °С на 65-й минуте испытаний.

Область применения исследований. Полученные результаты огневых испытаний могут быть использованы в численном моделировании нагрева огнестойкого подвесного потолка при высокотемпературном воздействии, а также в практической деятельности как огнезащитное решение для строительных конструкций.

Ключевые слова: огнестойкость, огнезащита, огневые испытания, огнестойкий подвесной потолок, стандартный пожар, гипсовая плита, температурно-временная зависимость, разрушение.

(Поступила в редакцию 13 января 2023 г.)

Введение

При строительстве и реконструкции зданий и сооружений ключевым критерием является сохранение жизни и здоровья людей при пожаре, в том числе сохранность имущества и материальных ценностей. Для достижения этих целей нормативными правовыми актами системы противопожарного нормирования и стандартизации установлены требования к огнестойкости основных строительных конструкций: несущих стен и колонн, навесных элементов наружных стен, элементов перекрытий и покрытий, элементов лестничных клеток. Так, для горизонтальных строительных конструкций, перекрытий и покрытий согласно требованиям СН 2.02.05-2020¹ пределы огнестойкости варьируются от RE(I) 15 до RE(I) 60 (в зависимости от степени огнестойкости здания), а если перекрытие считается противо-

¹ Пожарная безопасность зданий и сооружений. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 2.02.05-2020. – Взамен СН 2.02.01-2019, ТКП 45-2.02-315-2018 (33020). – Введ. 04.04.21. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 70 с.

пожарным (для разделения объемов помещения строительными конструкциями с нормируемым пределом огнестойкости), предел огнестойкости может составлять RE(I) 150. В особых случаях (для высотных зданий²) предел огнестойкости перекрытий может достигать RE(I) 180 и более.

На практике конструкции перекрытий и покрытий не всегда отвечают предъявляемым нормами требованиям (особенно часто при реконструкции и реставрации, технической модернизации объекта с учетом снижения эксплуатационно-прочностных свойств конструкции), вследствие чего возникает необходимость увеличения предела огнестойкости до требуемого значения. И если конструктивное решение либо его параметры изменить невозможно, применяют огнезащиту. В зависимости от вида защищаемых конструкций огнезащита может применяться в виде пропиток и вспучивающихся покрытий (соответственно, для деревянных и стальных конструкций), штукатурных составов и противопожарных экранов³ (для любых видов конструкций). Примечательно, что огнезащитные пропитки и противопожарные экраны являются наиболее старинными способами огнезащиты строительных конструкций^{4, 5, 6, 7}.

Огнестойкие подвесные потолки в ряде случаев являются наиболее простым техническим решением повышения огнестойкости и снижения пожарной опасности перекрытий и покрытий. Исторически первые огнестойкие подвесные потолки выполнялись с применением навесных керамических элементов, однако с развитием гипсовой промышленности и промышленности минераловатных утеплителей преимущество было отдано техническим решениям с применением указанных материалов.

Использование подвесных потолков во многом обусловлено эстетическими и практическими функциями. Эстетическая функция характеризуется стремлением создать необходимое архитектурное оформление помещения, скрыв за подвесным потолком конструкции и коммуникации. Практическая функция – это решение задач акустики и огнезащиты, реже – утепления.

Согласно определению СТБ EN 1364-2-2009⁸ [подвесной, независимый] потолок – это несущий элемент конструкции здания, предназначенный обеспечивать горизонтальное противопожарное разделение. Исходя из конструктивных особенностей он может быть закреплен к конструкции перекрытия с помощью подвесов либо может быть самонесущим. С точки зрения огневого воздействия такая конструкция должна выдержать достаточно высокие температуры пожара (в части нормирования – стандартного пожара согласно ГОСТ 30247.0-94⁹, СТБ EN 1363-1-2009¹⁰, ISO 834-1:1999¹¹), достигающие 1000 °С и более. При этом с необогреваемой стороны конструкции не должны быть достигнуты критические температуры, способные вызвать реакцию пиролиза либо потерю несущей способности элементов перекрытия и покрытия.

² Высотные здания. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 3.02.08-2020. – Взамен ТКП 45-3.02-108-2008 (02250); введ. 24.03.21. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 69 с.

³ В настоящей статье принят термин «противопожарный экран» (англ. fire barrier) в качестве обобщающего термина различных видов конструктивной огнезащиты, выполняемой в виде облицовок, мембран/штор или подвесных потолков. Подобная терминология принята в серии европейских стандартов EN 13381 и ISO 13943.

⁴ Fire proof ceiling: pat. US322873A / P.B. Wight. – Publ. date 21.07.1885.

⁵ Suspended ceiling: pat. US1470728A / E.E. Hall. – Publ. date 16.10.1923.

⁶ Ceiling: pat. US1878812A / L.A. Berger. – Publ. date 20.09.1932.

⁷ Replaceable unit ceiling construction: pat. US2059483A / R.V. Parsons. – Publ. date 03.11.1936.

⁸ Испытания на огнестойкость. Элементы зданий, не несущие нагрузки. Часть 2. Подвесные потолки: СТБ EN 1364-2-2009; введ. 01.01.11. – Минск: Госстандарт, 2010. – 12 с.

⁹ Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0-94. – Взамен СТ СЭВ 1000-78; введ. 01.01.96. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 7 с.

¹⁰ Испытание на огнестойкость. Часть 1. Общие требования: СТБ EN 1363-1-2009; введ. 01.07.10. – Минск: Госстандарт, 2010. – 38 с.

¹¹ Fire-resistance tests. Elements of building construction. Part 1: General requirements: ISO 834-1:1999. – Replaced ISO 834:1975; effect. 15.09.1999. – 25 p.

В соответствии с положениями стандарта EN 13381-1:2014¹² в общем случае критические температуры для различных материалов перекрытия составляют (для воздушного пространства подвешеного потолка):

- 600 °С для железобетонных элементов;
- 530 °С для железобетонных элементов по стальным балкам;
- 450 °С для предварительно напряженных железобетонных элементов;
- 400 °С для сталебетонных элементов;
- 370 °С для тонкостенных холоднокатаных элементов;
- 300 °С для деревянных элементов.

Для поверхности, граничащей с пространством подвешеного потолка:

- 510 °С для железобетонных элементов по стальным балкам;
- 350 °С для тонкостенных холоднокатаных элементов;
- 350 °С для сталебетонных элементов.

Очевидно, что указанные температуры при проведении испытаний совместно с защищаемым перекрытием под нагрузкой могут быть уточнены в каждом индивидуальном случае. При этом следует отметить, что указанный перечень не является исчерпывающим. Например, известно, что некоторые виды стеклопластиковых конструкций могут существенно терять несущую способность уже при 150 °С, как описано в статье В.А. Кудряшова, А.С. Дробыша [1], и применение различных синтетических материалов в нишах над потолком, имеющих температуру размягчения еще ниже, значительно ограничивает использование данных конструктивных решений. Поэтому при испытании огнестойкого подвешеного потолка с неопределенной областью применения (что означает возможность применения в сочетании с любыми конструкциями, в том числе содержащими легковоспламеняемые компоненты, такие как пароизоляция, ветрозащита, гидроизоляция и т.д.) критическая температура может быть значительно ниже той, которая установлена требованиями стандарта СТБ EN 1364-2-2009¹³, критерий наступления предельного состояния по теплоизолирующей способности ограждающих конструкций I – повышение в среднем не более 140 °С либо в любой из точек не более 180 °С, а также требованиями по целостности E .

Таким образом, конструкция подвешеного огнестойкого потолка должна отвечать установленным требованиям при пожаре в условиях экстремального перепада температур – 600–900 °С, при этом должна быть достаточно легкой, технологичной и выразительной в эстетическом плане.

Исторически конструкцию огнестойкого подвешеного потолка выполняли с использованием стального каркаса на подвесах с огнестойким заполнением пространства между несущими элементами. При этом известно, что стальные элементы при нагреве до высоких температур подвержены тепловому изгибу, а в некоторых случаях и высокотемпературной текучести. По этой причине одной из самых сложных задач при разработке огнестойкого подвешеного потолка была разработка стального опорного каркаса и его защита от высокотемпературных воздействий.

В конструкции одного из первых огнестойких подвешенных потолков, запатентованных в 1885 г. Wight P.¹⁴, были использованы керамические плитки-изразцы с выступами-замками, закрывающими и защищающими элементы стального крепления. Плитки-изразцы при установке требовалось оштукатурить с целью дополнительной защиты их поверхности, а также швов и стыковых соединений, как показано на рисунке 1.

¹² Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members. Part 1: Horizontal protective membranes: EN 13381-1:2014; replaced CEN/TS 13381-1:2005; effect. 24.09.2014. – 47 p.

¹³ См. сноску 8.

¹⁴ См. сноску 4.

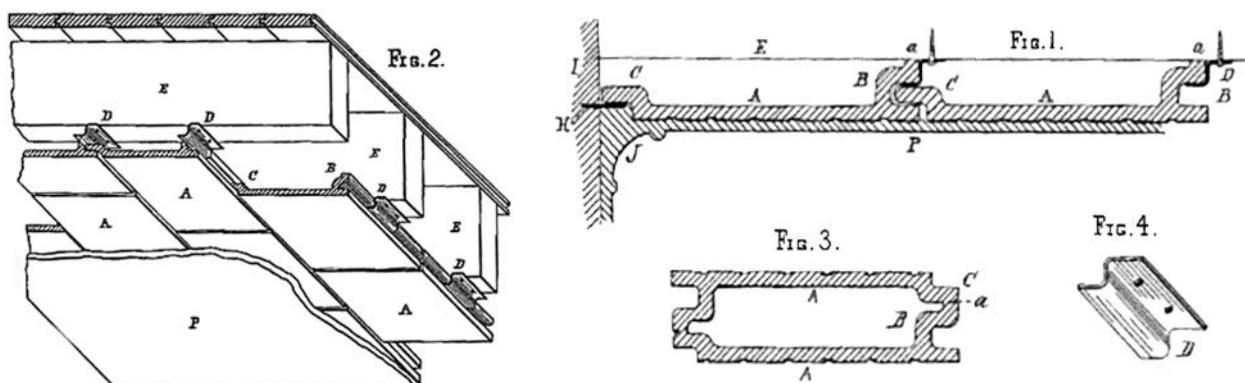


Рисунок 1. – Конструкция огнестойкого подвесного потолка Р.В. Wight, 1885 г.

Однако такое решение было достаточно трудоемким, подвесной потолок подобной конструкции обладал значительным весом. К концу XIX в. были разработаны технологии по изготовлению негорючих прессованных плит из волокнистых материалов (асбест, шлаковолокно, известняковое и базальтовое волокно, позже – стекловолокно), способных за счет своей низкой плотности и инертности к высоким температурам стать основным элементом огнестойкого подвесного потолка, как описано в статье D. Vozsaky [2]. Несмотря на применение инновационных материалов, все еще оставалась проблема температурного расширения и текучести элементов стального каркаса. Поэтому достаточно длительное время исследователи экспериментировали с тепловыми замками и тепловыми компенсаторами. Ряд таких решений дошел и до наших дней ввиду основного достоинства – возможности легкого демонтажа любой из панелей для доступа во внутреннее пространство потолка. Наряду с этим, в первой половине XX в. широкое распространение получил гипсокартон – материал, используемый прежде всего для сухого монтажа легких перегородок¹⁵. Развитие в промышленности гипсокартона постепенно позволило увеличить его прочность на изгиб (в том числе при нагреве – путем добавления стекловолокна в состав сердечника), но одним из ключевых моментов в переходе на гипсовые подвесные потолки стало изобретение огнестойких гипсовых плит на основе стеклополотна¹⁶ – тем самым был исключен наиболее слабый в составе с точки зрения горючести элемент – картон. В итоге проблема теплового нагрева стального каркаса была решена подшивкой огнестойких гипсовых плит снизу, а требуемая теплоизолирующая способность была обеспечена дополнительной теплоизоляцией в виде минераловатных плит низкой плотности. Впервые конструкция такого потолка была запатентована Orals D.L. в 1981 г.¹⁷ и с небольшими доработками успешно применяется и сегодня.

Несмотря на долгую историю развития, значимость и востребованность таких решений, в современной литературе практически не представлены результаты огневых испытаний подобных огнестойких потолков. В статьях J.O. Dirisu и M. Kaftanowicz [3–4] рассмотрена лишь возможность применения подвесных потолков в качестве огнезащиты, а статьи M. Rusinova и А.Ф. Жаркова [5–6] посвящены преимущественно расчетной оценке огнестойких подвесных потолков без проведения сравнительного анализа с экспериментальными данными. В практических руководствах по огнезащите строительных конструкций также упоминаются огнестойкие подвесные потолки [7–9], а в руководстве [10] и сопутствующей научной работе [11] предложена универсальная методика их теплового расчета.

¹⁵ Inside wall covering: pat. US520123A / A. Sackett. – Publ. date 22.05.1894.

¹⁶ Fibre glass covered gypsum board: pat. DE2049603A1 / Gebr. Knauf Westdeutachw Gipswerke. – Publ. date 08.06.1972.

¹⁷ Fire resistant ceiling furring system: pat. US4266384A / D.L. Orals, A. Heights, J.D. Laffoon, D. Plaines. – Publ. date 12.05.1981.

Лишь в статье [12] представлены достаточно подробные данные экспериментальных исследований огнезащитных подвесных потолков при стандартном и углеводородном режимах пожаров, однако без применения гипсовых плит. Так, огнестойкие плиты на основе силикатов кальция марки PROMATECT при стандартном огневом режиме согласно требованиям ГОСТ 30247.0-94¹⁸ и ГОСТ Р 53298-2009¹⁹ показали огнезащитную эффективность (достижение 500 °С на защищаемых стальных балках):

- 2 слоя суммарной толщиной 16 мм – 136–142 мин;
- 2 слоя суммарной толщиной 20 мм – 172–175 мин.

При углеводородном огневом режиме согласно требованиям EN 1363-2:1999²⁰ и ГОСТ Р 53298-2009 огнестойкие плиты показали огнезащитную эффективность: 2 слоя суммарной толщиной 30 мм и дополнительный слой минераловатных плит толщиной 200 мм плотностью 60 кг/м³ – более 155 мин (испытания были остановлены без достижения критической температуры 500 °С на защищаемых стальных балках).

Исходя из данных по температурно-временным зависимостям, рассмотренным в статье, огнестойкость представленных решений – подвесных потолков для любых видов конструкций (в соответствии с принятыми предельными состояниями по теплоизолирующей способности стандарта СТБ EN 1364-2-2009²¹) составляет порядка 30 мин без минераловатной изоляции и 150 мин с ее наличием (принимая во внимание, что углеводородный режим значительно жестче стандартного). Также следует отметить более высокую стоимость плит на основе силикатов кальция по сравнению с гипсовыми плитами.

В ряде других работ [13–15] рассматривают устройство подвесного потолка как инструмент для ограничения распространения опасных факторов пожара и противопожарной защиты помещений. Достаточно много работ по подвесным потолкам посвящены их устойчивости при землетрясениях [16–17].

Таким образом, экспериментальное исследование огнестойких подвесных потолков с использованием гипсовых негорючих плит и минераловатных утеплителей является актуальной задачей.

Основная часть

Как было отмечено ранее, основным стандартным методом испытаний огнестойких подвесных потолков является метод согласно СТБ EN 1364-2-2009²² с использованием установки и огневого режима в соответствии с СТБ EN 1363-1-2009²³. Методика проведения испытаний устанавливает режимы огневого воздействия для огнестойких потолков (с огневым воздействием со стороны помещения и в пространстве над потолком), а также виды предельных состояний для оценки их пределов огнестойкости:

- предельное состояние по теплоизолирующей способности *I* характеризуется превышением температуры с необогреваемой стороны фрагмента образца в среднем более чем на 140 °С или локально (включая передвижную термопару) более чем на 180 °С в сравнении со средней температурой образца до испытаний;
- предельное состояние по потере целостности *E* характеризуется выходом продуктов горения на необогреваемую сторону образца с последующим воспламенением хлопчатобумажного тампона либо образованием на необогреваемой стороне конструкции фрагмента устойчивого пламенного горения.

¹⁸ См. сноску 9.

¹⁹ Потолки подвесные. Метод испытания на огнестойкость: ГОСТ Р 53298-2009. – Введ. 01.01.10. – М.: Стандартинформ, 2009. – 7 с.

²⁰ Fire resistance tests. Part 2: Alternative and additional procedures: EN 1363-2:1999. – Effect. 18.08.1999. – 16 p.

²¹ См. сноску 8.

²² См. сноску 8.

²³ См. сноску 20.

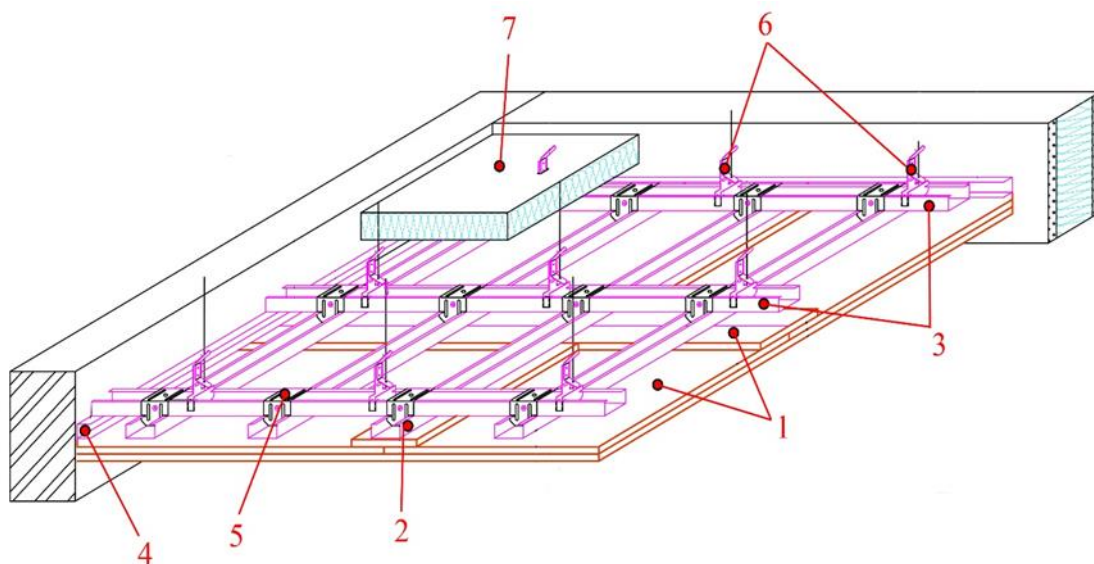
Для проведения испытаний опытный образец монтируют на испытательной печи с дополнительно возведенными ограждающими конструкциями в виде стен для крепления подвесного потолка. Размер фрагмента огнестойкого потолка должен составлять не менее 3000×4000 мм. Технология монтажа подвесного потолка должна полностью воспроизводить технологию на реальных объектах строительства: монтаж несущего каркаса конструкции, укладка теплоизоляционного минераловатного слоя, после чего зашивка гипсовыми негорючими плитами с заделкой швов и стыков.

Несущий каркас фрагмента исходя из конструктивных особенностей может крепиться к имитируемому перекрытию посредством подвесов, высота которых также должна соответствовать реальному проектированию.

Имитацией перекрытия, к которому крепится каркас подвесного потолка, служат двутавровые балки № 14 либо их аналоги, позволяющие в ходе проведения испытаний, а также нагрева образца обеспечить крепление испытываемого фрагмента. В испытательный образец должны быть включены элементы освещения и ревизионные люки доступа в ниши над потолком для планового осмотра и обслуживания инженерных коммуникаций, если таковые применяются на практике.

Огневое воздействие на испытательный образец может осуществляться как со стороны помещения (а←b), так и со стороны пространства над потолком (а→b). В настоящей работе рассмотрен только один случай – пожар со стороны помещения (а←b). Экспериментальная оценка огнестойкости подвесного потолка при пожаре в пространстве над потолком (а→b) является предметом отдельного исследования. Следует отметить, что в такой ситуации применение горючих материалов в нише над потолком должно быть ограничено.

Экспериментальный образец для испытаний был разработан в соответствии с требованиями СТБ EN 1364-2-2009²⁴ (воздействие огня со стороны помещения), принципиальная схема устройства фрагмента представлена на рисунке 2.



1 – гипсовые негорючие плиты; 2 – потолочный профиль первого уровня; 3 – потолочный профиль второго уровня; 4 – направляющий профиль; 5 – двухуровневый соединитель; 6 – подвес; 7 – теплозвукоизоляционная минеральная вата

Рисунок 2. – Принципиальная схема устройства фрагмента огнестойкого подвесного потолка с применением гипсовых негорючих плит марки Gyproc Fire

Фрагмент огнестойкого подвесного потолка размером 3500×4000 мм состоял из направляющего потолочного профиля для гипсокартона UD (ППН) 28-0,6-3000, установленного по периметру проема испытательной печи размером в сечении 27×28×0,6 мм,

²⁴ См. сноску 8.

прикрепленного к кладке из газосиликатных блоков с помощью дюбеля для пенобетона марки ПБ 8х55. Шаг крепления направляющего профиля 400 мм.

На направляющий профиль была уложена обрешетка, состоящая из двух уровней: первый уровень выполнен из основных профилей, расположенных с шагом 750 мм, второй уровень устроен перпендикулярно первому и выполнен из несущих профилей, установленных с шагом 400 мм. Основной и несущий профили выполнены из профиля для гипсокартона CD (ПП) 60-0,6-3000 размером в сечении 60×27×0,6 мм. Первый уровень из основных профилей CD (ПП) 60-0,6-3000 к несущему перекрытию (имитация перекрытия выполнена двутавровыми балками 20 Б1) был закреплен с помощью кронштейна, состоящего из подвесов прямых универсальных марки ППУ 60/27 и профиля CD (ПП) 60-0,6-3000, Республика Беларусь. Шаг установки кронштейнов – 650 мм.

Кронштейн крепился к несущему основанию, представленному балками двутавровыми 20 Б1, с использованием саморезов кровельных размером 5,5х19 мм, крепление кронштейна к основному профилю выполнено с использованием саморезов с цилиндрической головкой со сверлом размером 3,5×9,5 мм. Второй уровень из несущих профилей CD (ПП) 60-0,6-3000 крепился к первому уровню с использованием соединителей двухуровневых с шагом крепления 400 мм с помощью винтов самонарезающих со сверлом размером 3,5×9,5 мм. Наравивание основных профилей было выполнено с помощью продольных соединителей СП 60/27-0,5 мм.

К обрешетке из основных профилей саморезами по гипсокартону размером 3,5×35 мм с шагом 200 мм крепилась полоса размером в сечении 150×12,5 мм. По периметру к направляющему профилю саморезами по гипсокартону размером 3,5×35 мм с шагом 200 мм крепилась полоса размером 50×12,5 мм. Закрепленные полосы выполнены из плиты Гуррос Fire плотностью 890 кг/м³.

После монтажа полос с помощью саморезов по гипсокартону размером 3,5×35 мм с шагом 200 мм закреплен первый слой плит Гуррос Fire (размер листа 2500×1200×12,5). На стыковые швы соединения плит Гуррос Fire, а также на шляпки самонарезающих винтов нанесена шпатлевка гипсовая FB 203 с использованием по стыкам сетки самоклеящейся, армированной ССС шириной 45 мм. Схемы основных узлов монтажа представлены на рисунке 3.

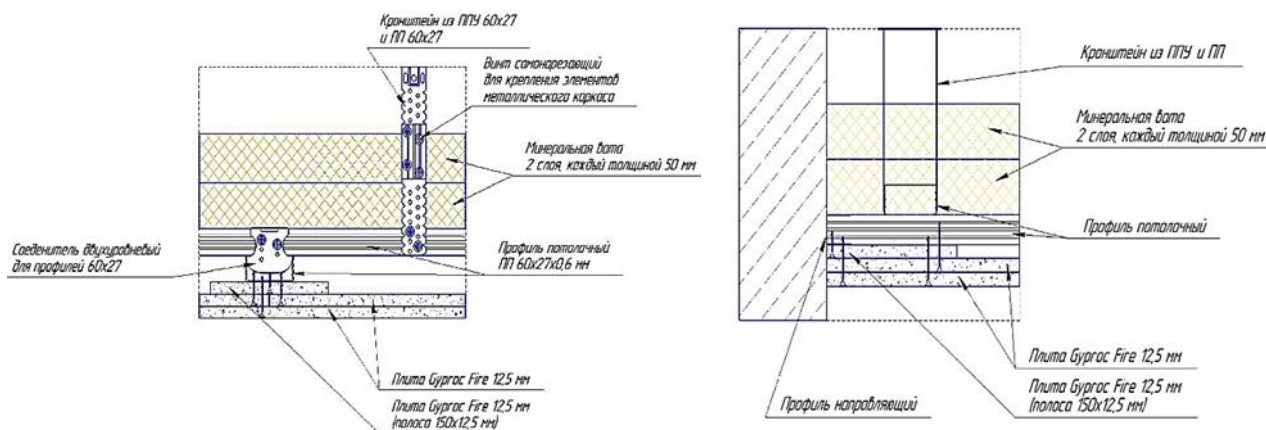


Рисунок 3. – Основные узлы фрагмента огнестойкого подвесного потолка с применением гипсовых негорючих плит марки Гуррос Fire

Поверх первого слоя облицовки каркаса с помощью саморезов по гипсокартону размером 3,5×35 мм с шагом 200 мм крепится второй слой плит Гуррос Fire 12,5 мм. Аналогично первому слою стыковые швы соединения плит, а также на шляпки самонарезающих винтов заделываются шпатлевкой гипсовой FB 203.

На несущий профиль каркаса марки CD (ПП) 60-0.6-3000 мм укладывается тепло-звукоизоляционная плита марки ISOVER, звукозащита 50/Е/К, плотностью 14±10 % кг/м³,

толщиной 50 мм. Теплозвукоизоляционный материал укладывается в 2 слоя, второй слой теплозвукоизоляционного материала укладывается перпендикулярно первому, с разбежкой стыковых соединений, общая толщина звукоизоляционного слоя – 100 мм.

Высота подвеса огнезащитного подвесного потолка (от верхних направляющих двухуровневой обрешетки до стальных опор) составляет 242 мм. Монтаж фрагмента выполнен к кладке из газосиликатных блоков размером 600×250×400, уложенных на клеевом составе, с закладкой армирующего пояса по периметру проема, выполненного из стальной арматуры диаметром 12 мм.

Ввиду того что стандартной методикой предусматривается измерение температуры в 5 точках на необогреваемой поверхности потолка (одна в центре, другие – в четвертях диагоналей), для получения более подробных данных прогрева элементов подвесного потолка и получения температурно-временных зависимостей нагрева наиболее ответственных узлов была разработана методика определения зависимости роста температуры от времени в локальных точках фрагмента огнестойкого подвесного потолка с применением гипсовых негорючих плит Гуркос Fire 12,5 мм при огневом воздействии с нижней стороны (далее – Методика).

Согласно разработанной Методике места установки дополнительных температурных датчиков были определены с учетом особенностей монтажа, расположения стыковых соединений и швов гипсовых негорючих плит, устройства удлиняющих соединителей несущего каркаса и включенных ребер жесткости.

Указанные места в конструкции фрагмента являются наиболее значимыми при огневом воздействии, т.к. позволяют объяснить особенности его функционирования при высокотемпературном воздействии. В ходе огневого воздействия ожидается дегидратация гипсовых негорючих плит, способствующая их сокращению и соответственно раскрытию швов (а также локальному разрушению и выпадению), возможны тепловые деформации несущего стального каркаса и подвесов, способствующие достижению предельных состояний по огнестойкости.

Послойные схемы установки термоэлектрических преобразователей представлены на рисунках 4–6.

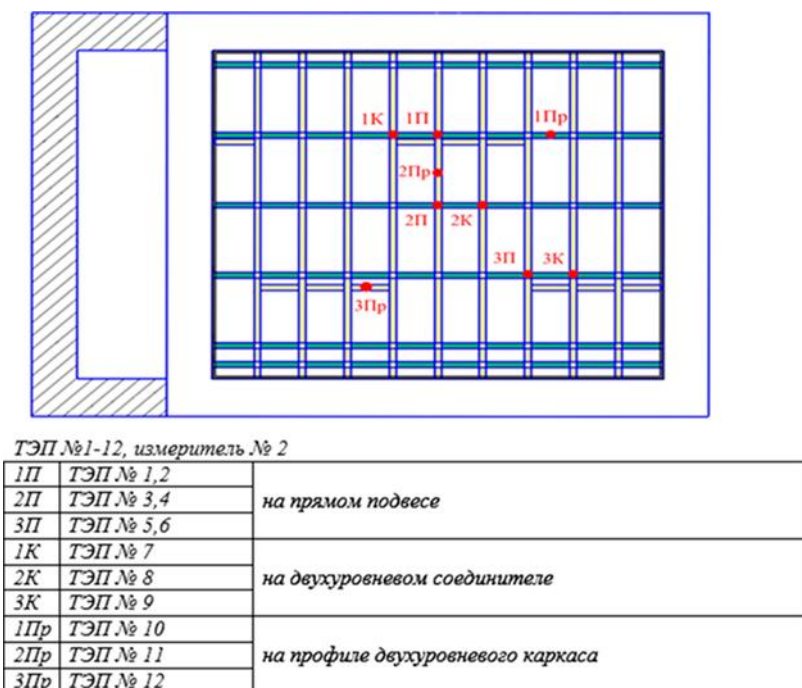
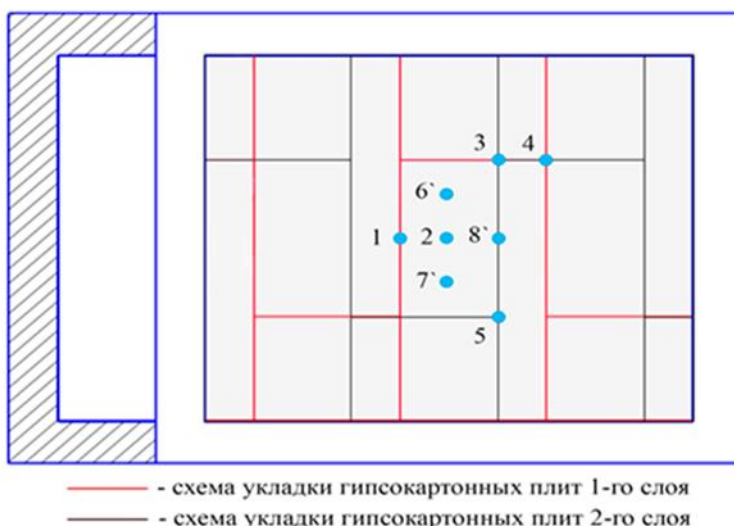


Рисунок 4. – Схема расстановки термоэлектрических преобразователей на подвесах и профилях двухуровневого каркаса



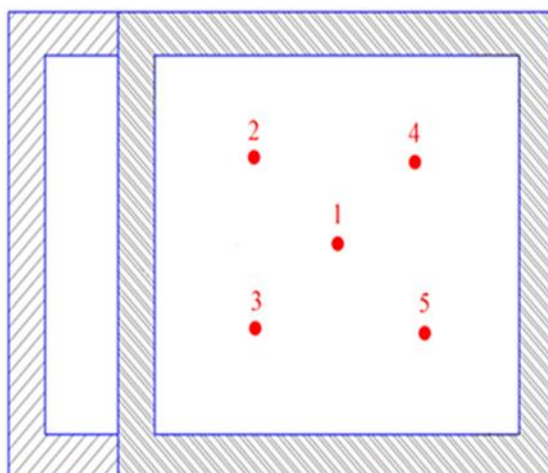
ТЭП №1-13, измеритель № 1

1	ТЭП № 1*	2	ТЭП № 2*	3	ТЭП № 3*	4	ТЭП № 4*
	ТЭП № 9**		ТЭП № 10**		ТЭП № 11**		ТЭП № 12**
5	ТЭП № 5*	6'	ТЭП № 6**	7'	ТЭП № 7**	8'	ТЭП № 8**
	ТЭП № 13**						

* – со стороны огневого воздействия

** – с необогреваемой стороны

Рисунок 5. – Схема расстановки термоэлектрических преобразователей на гипсовых негорючих плитах



ТЭП №14-26, измеритель № 1

1	ТЭП № 14	на поверхности верхнего слоя минеральной ваты*
	ТЭП № 25	между слоями минеральной ваты
	ТЭП № 26	на поверхности гипсовой плиты
2	ТЭП № 15	на поверхности минеральной ваты*
3	ТЭП № 16	
4	ТЭП № 17	
5	ТЭП № 18	

* – без груза для ТЭП

Рисунок 6. – Схема расстановки термоэлектрических преобразователей на минеральной вате с необогреваемой стороны фрагмента (в том числе между слоев минеральной ваты)

Температурный режим при проведении огневых испытаний фрагмента огнестойкого подвесного потолка с учетом допустимых отклонений соответствовал стандартному и представлен на рисунке 7. Температурные отклонения от стандартных значений в объеме испытательной печи, зафиксированные в первые 14 мин испытаний, были вызваны

вследствие интенсивного выделения влаги с обогреваемой стороны испытываемого фрагмента с одновременным значительным поглощением теплового потока гипсовыми негорючими плитами, что привело к снижению измеряемых температур.

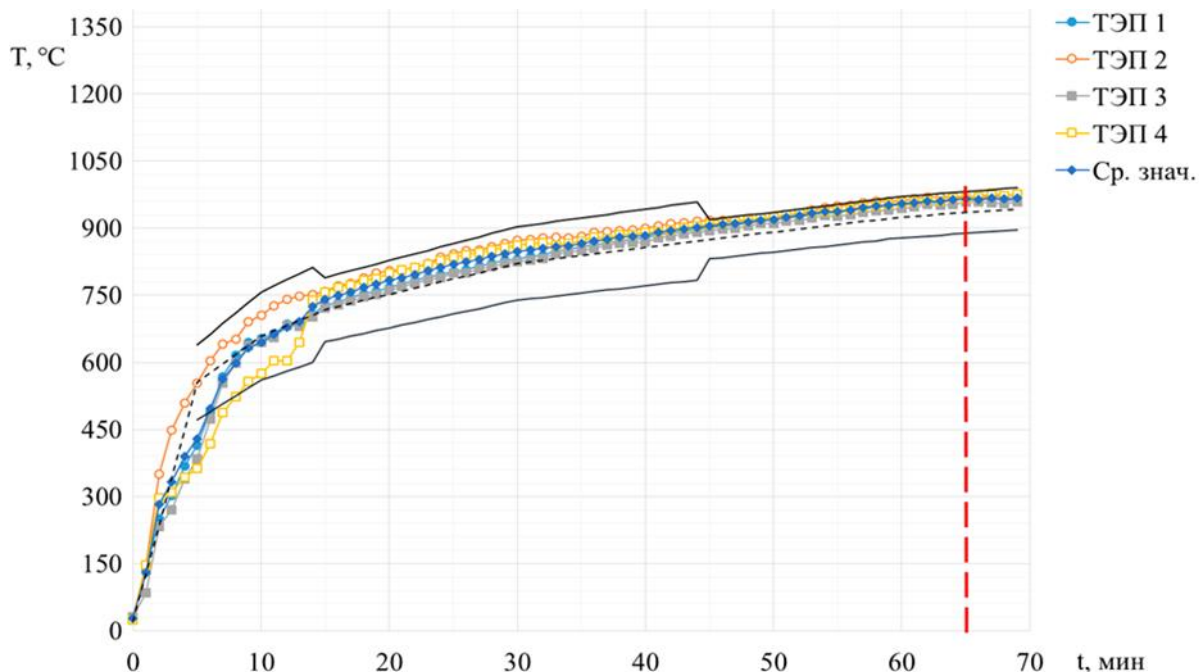


Рисунок 7. – График изменения температурно-временного режима в объеме испытательной печи

Стены для крепления имитации перекрытия и сопряжения подвесного потолка были выполнены ячеисто-бетонной кладкой на клеевом составе. Имитация перекрытия была выполнена 6 стальными двутавровыми балками 20 Б1, уложенными по длинной стороне фрагмента с шарнирным креплением на опорах стены (рис. 8).



Рисунок 8. – Промежуточные результаты монтажа фрагмента огнестойкого подвесного потолка с применением гипсовых негорючих плит

В ходе огневого воздействия на образец, на 12-й минуте испытаний было зафиксировано выделение пара (дыма) с необогреваемой стороны фрагмента в месте сопряжения с ячеисто-бетонной стеной, а после – конденсация пара на несущих двутавровых балках и верхнем слое минеральной ваты (рис. 9).

Полученные графики температурно-временных зависимостей в ходе проведения испытания представлены на рисунках 10–13. На рисунке 10 приведены показания термоэлектрических преобразователей, установленных на обогреваемой поверхности гипсовых негорючих плит. Указанные датчики были закреплены согласно схеме расстановки, представленной на рисунке 5. Спай датчиков крепился к обогреваемой поверхности гипсовых негорючих плит механическим способом через паронитовую прокладку. Представленные на рисунке данные «Ср. значение печных ТЭП» отражают среднеобъемную температуру в огневой камере испытательной печи.

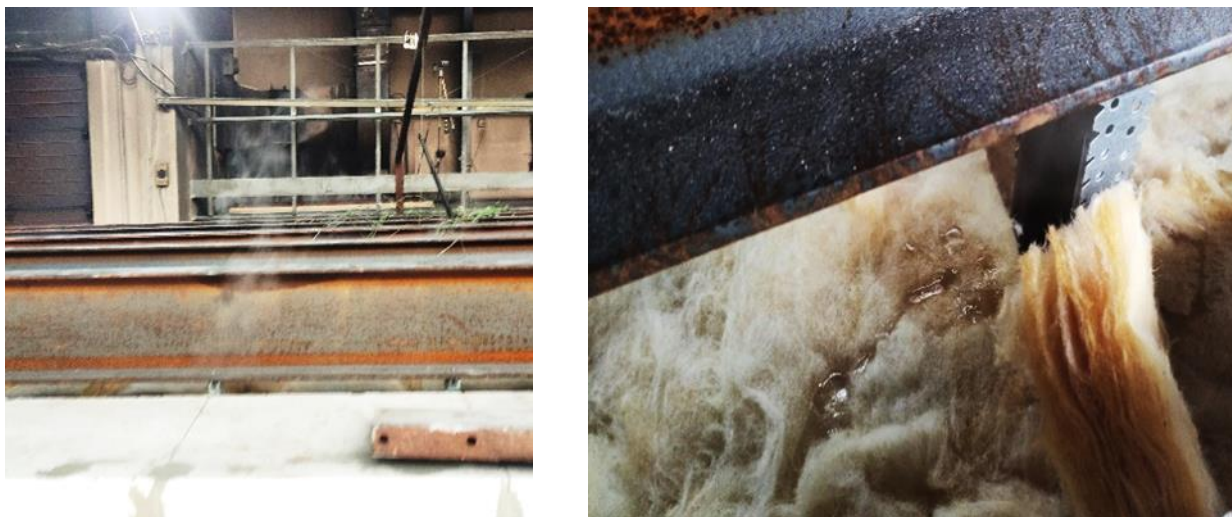


Рисунок 9. – Выход дыма (пара) при испытании фрагмента огнестойкого подвесного потолка, конденсация пара

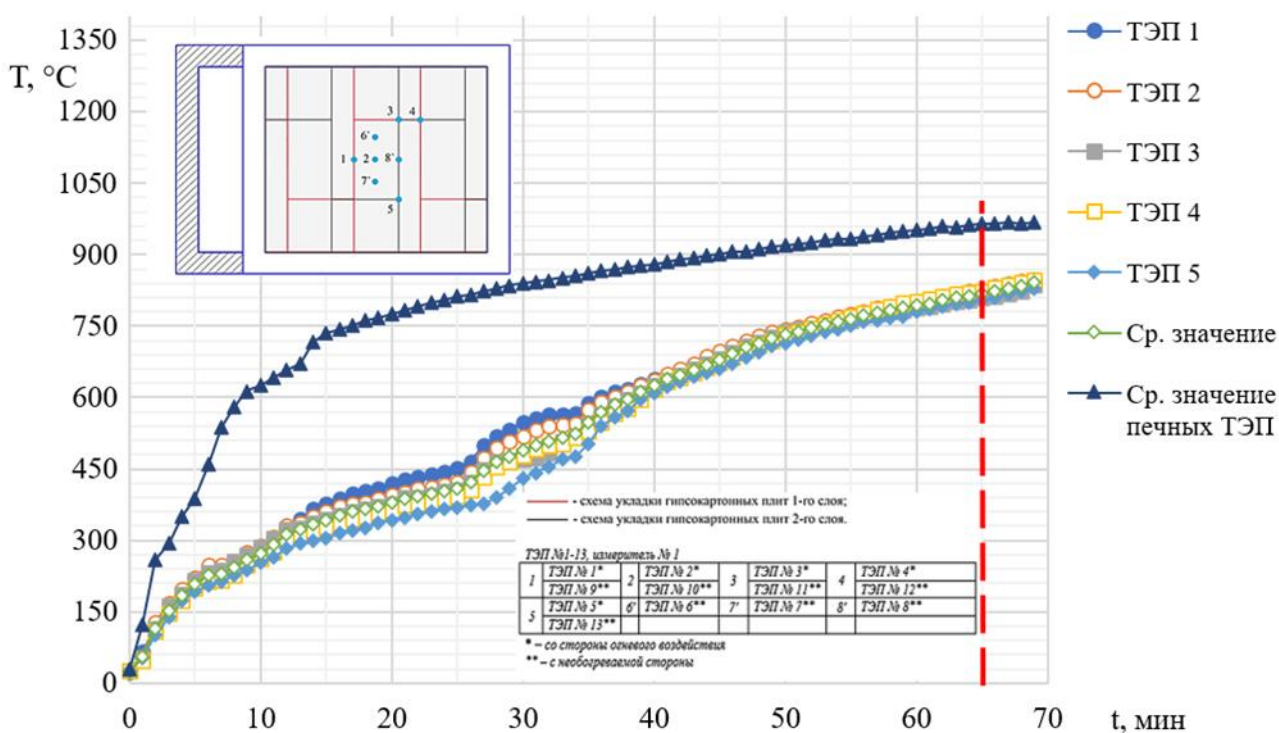


Рисунок 10. – График изменения температурно-временных зависимостей для точек на обогреваемой поверхности гипсовых негорючих плит

График температурно-временных зависимостей, полученный в ходе проведения испытаний (рис. 11), отражает данные с термоэлектрических преобразователей, установленных согласно схеме расстановки, представленной на рисунке 5. Датчики измерения температур были механически закреплены на необогреваемой поверхности гипсовых негорючих плит (под слоем теплоизоляции).

Температурно-временные зависимости для точек на необогреваемой поверхности гипсовых негорючих плит (рис. 11) свидетельствуют о наличии так называемой площадки кипения воды, при которой была зафиксирована практически идентичная температура 80–100 °С. Указанный факт свидетельствует об испарении химически не связанной (свободной) воды, входящей в состав гипса, и о выполнении его основной функции по теплоизоляции. Данное явление наблюдалось вплоть до 40-й мин испытаний, после чего температуры стали резко возрастать.

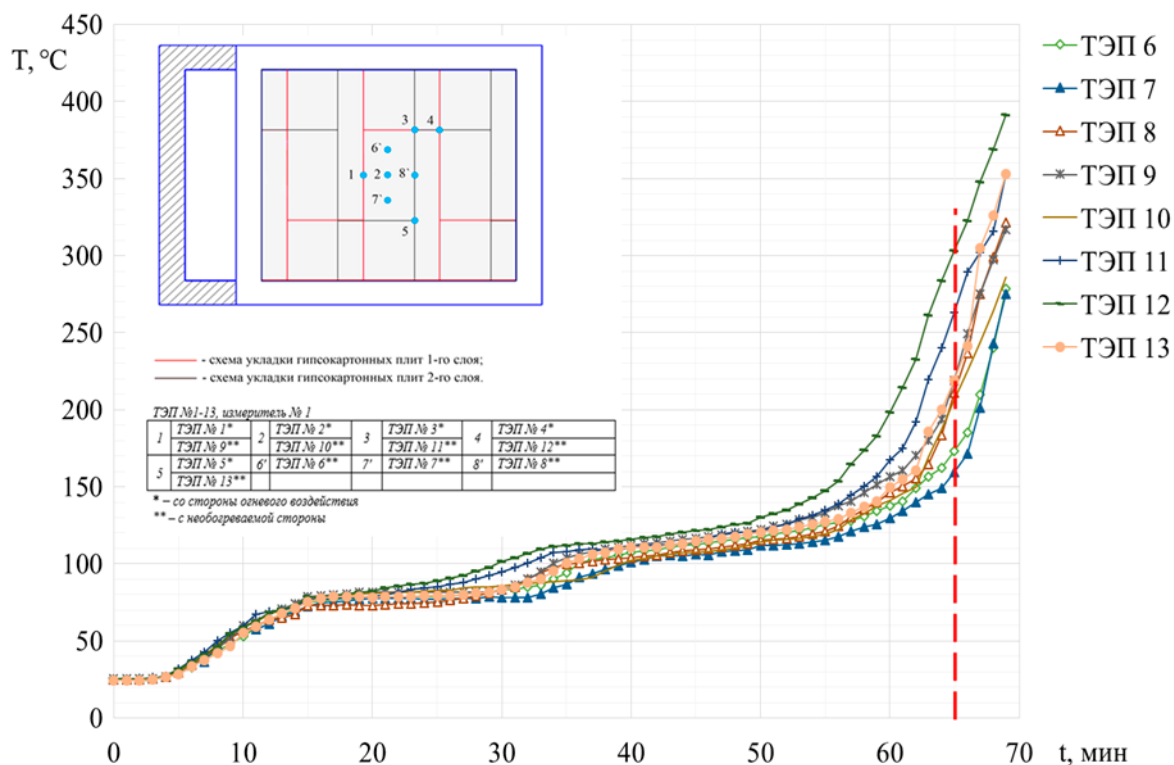


Рисунок 11. – График изменения температурно-временных зависимостей для точек на необогреваемой поверхности гипсовых негорючих плит

О наличии площадки кипения воды также свидетельствуют полученные данные с датчиков, установленных на поверхности теплоизоляции (в том числе в слоях между теплоизоляционными плитами) и элементах каркаса (под теплоизоляционным слоем), представленных на рисунках 12–13. Датчики измерения температур, установленные на теплоизоляционном слое, не имели механического крепления, были свободно уложены на слой теплоизоляции без дополнительного изолирования спаев (концов термопар).

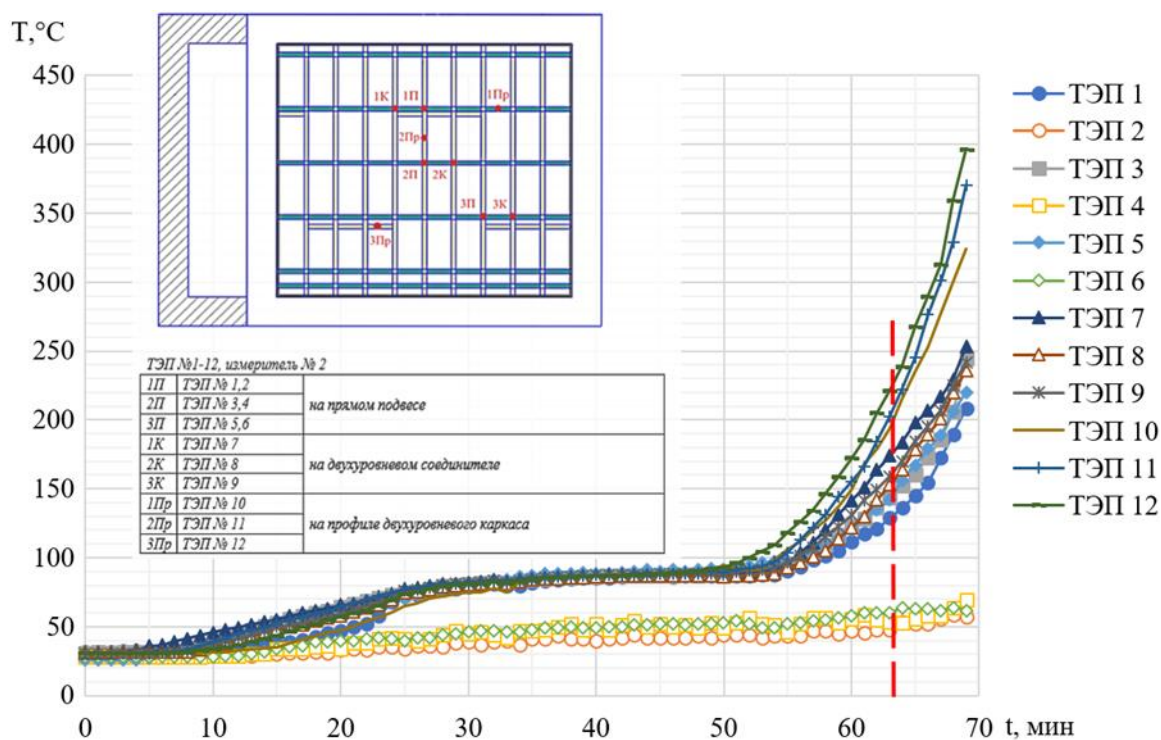


Рисунок 12. – График изменения температурно-временных зависимостей для точек на необогреваемой поверхности элементов каркаса

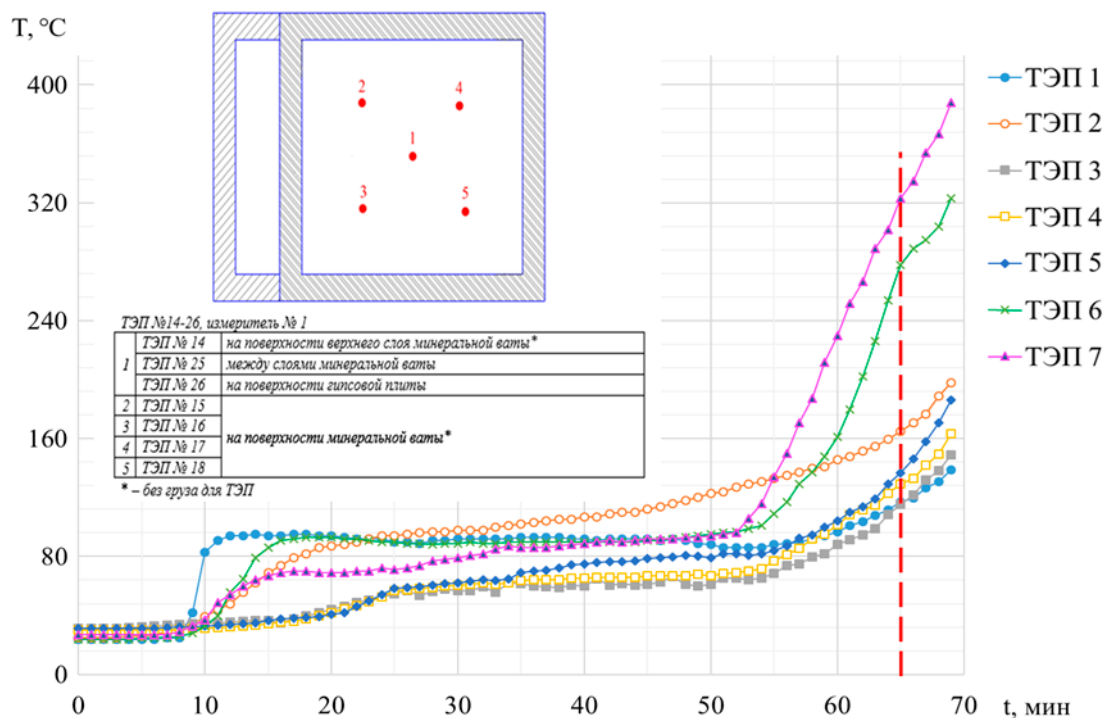


Рисунок 13. – График изменения температурно-временных зависимостей для точек на необогреваемой минеральной вате

К 61-й мин испытаний было зафиксировано изменение цвета верхнего минераловатного слоя в центральной части испытываемого образца; на 69-й мин испытаний – выход продуктов горения на необогреваемой стороне с последующим воспламенением хлопчатобумажного тампона, что свидетельствует о наступлении предельного состояния по потере целостности Е.

Предельное состояние по потере теплоизолирующей способности (достижение критических температур) согласно требованиям СТБ EN 1364-2-2009²⁵ зафиксировано:

- в среднем более 140 °С по сравнению с исходной – на 65-й минуте испытаний;
- одной из локальных точек более 180 °С по сравнению с исходной – на 69-й мин испытаний.

Опыт остановлен по достижении предельных состояний Е1, фактический предел огнестойкости испытываемого фрагмента составляет Е1 60 (а←b).

После остывания технологического оборудования, по истечении 10 ч 30 мин, был проведен осмотр испытанного образца, проведена разборка отдельных узлов фрагмента. По результатам осмотра установлена полная дегидратация и повсеместное растрескивание (разрушение) гипсовых негорючих плит, а также локальная деформация, смятие направляющего профиля, закрепленного к ячеисто-бетонной кладке (рис. 14). Установлено, что смятие направляющего профиля произошло в центральной части, в месте контакта с двухуровневой обрешеткой. Детально осмотрев поврежденный участок, а также узлы крепления профиля к кладке из ячеистых блоков, можно сделать вывод, что в результате нагрева конструкции и ее прогиба, преимущественно в центральной части фрагмента, сопровождающегося тепловым расширением стальных элементов, включенных в образец, произошло точечное механическое воздействие, которое и повлияло на структуру направляющего профиля.

²⁵ См. сноску 8.



Рисунок 14. – Огневая камера печи после проведения испытаний. Локальное разрушение гипсовых негорючих плит, деформация направляющего профиля

Заключение

Огнестойкий подвесной потолок с применением гипсовых негорючих плит является наиболее простым и распространенным решением для увеличения предела огнестойкости горизонтальных элементов перекрытий и покрытий. Для подтверждения технических решений, применяемых для устройства огнестойких подвесных потолков с применением гипсовых негорючих плит, был разработан типовой экспериментальный образец и проведены его натурные испытания с воздействием огня снизу. Огнестойкий подвесной потолок, сформированный двумя сплошными слоями гипсовых негорючих плит марки Gyproc Fire суммарной толщиной 25 мм и двумя слоями минеральной ваты марки ISOVER 50/E/K плотностью 14 кг/м³ суммарной толщиной 100 мм на несущем двухуровневом каркасе из тонкостенных профилей, соответствует пределу огнестойкости EI 60 (a←b) согласно СТБ EN 1364-2-2009²⁶. Средняя температура на необогреваемой поверхности минераловатных плит составила 170 °С на 65-й минуте испытаний. Полученные результаты огневых испытаний могут быть использованы для численного моделирования огнестойкого подвесного потолка при высокотемпературном воздействии, а также в практической деятельности как огнезащитное решение строительных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудряшов, В.А. Результаты экспериментальных исследований огнестойкости полимерных композитных материалов, армированных стекловолокном / В.А. Кудряшов, А.С. Дробыш, А.М. Соловьяничик // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 1 (21). – С. 17–24. – EDN: ТКPYGP.

²⁶ См. сноску 8.

2. Bozsaky, D. The historical development of thermal insulation materials / D. Bozsaky // *Periodica Polytechnica Architecture*. – 2010. – Vol. 41, No. 2. – P. 49–56. – DOI: 10.3311/pp.ar.2010-2.02.
3. Dirisu, J. Thermal emission and transfer characteristics of ceiling materials: a necessity / J.O. Dirisu, O.S.I. Fayomi, S.O. Oyedepo // *Energy Procedia*. – 2019. – Vol. 157. – P. 331–342. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.11.198.
4. Kaftanowicz, M. Multiple-criteria analysis of plasterboard systems / M. Kaftanowicz, M. Krzeminski // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 111. – P. 364–370. – DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.102.
5. Rusinová, M. Behaviour of timber beam structures with suspended ceiling when exposed to fire / M. Rusinová, M. Kalousek, M. Lavický // *International Review of Applied Sciences and Engineering*. – 2019. – Vol. 10, Iss. 1. – P. 71–77. – DOI: 10.1556/1848.2019.0011.
6. Жарков, А.Ф. Огнестойкость покрытий из профлистов с подвесными потолками с воздушной прослойкой / А.Ф. Жарков, Ф.А. Жарков, О.Г. Чеснокова // *Интернет-вестник ВолгГАСУ*. – 2015. – Вып. 4 (40). – Ст. 10. – 17 с. – EDN: VJKEPF.
7. Fire protection for structural steel in buildings. – Association of Specialist Fire Protection Contractors and Manufacturers, Steel Construction Institute, Fire Test Study Group, 2004. – 162 p.
8. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / Ed. M.J. Hurley [et al.] – USA, New York: Springer, 2016. – 3493 p. – DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0.
9. Structural fire protection. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 78. / Edited by T.T. Lie. – New York, American Society of Civil Engineers, 1992. – 241 p.
10. Performance-based design of structural steel for fire conditions: a calculation methodology. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 114 / Edited by D.L. Parkinson, V. Kodur, P.D. Sullivan. – USA, American Society of Civil Engineers, 2009. – 124 p. – DOI: 10.1061/9780784409633.
11. Parkinson, D. Performance based design of structural steel for fire conditions / D.L. Parkinson, V. Kodur // *Structures Congress 2006: Structural Engineering and Public Safety*. – USA, American Society of Civil Engineers, 2009. – P. 1–10. – DOI: 10.1061/40889(201)36.
12. Гравит, М. Огнезащитные подвесные потолки с высокими пределами огнестойкости / М.В. Гравит [и др.] // *Инженерно-строительный журнал*. – 2018. – № 8 (84). – С. 75–85. – DOI: 10.18720/MCE.84.8. – EDN: ZMSPTM.
13. Chou, T-L. Study on Smoke Leakage Performance of Suspended Ceiling System / T-L. Chou, C-H. Tang, Y-J. Chuang, C-Y. Lin // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12, Iss. 18. – Article 7244. – 13 p. – DOI: 10.3390/su12187244.
14. Zhou, X. Time-resolved fire heat release rate under a ceiling based on ceiling layer measurements / X. Zhou // *Fire Safety Journal*. – 2020. – Vol. 111. – 9 p. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102923.
15. Калинин, Е.С. Влияние исполнения подвесного потолка на динамику распространения опасных факторов пожара / Е.С. Калинин // *Сб. материалов VIII науч.-практ. конф. «Ройтмановские чтения»*, Москва, 5 марта 2020 г. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – С. 35–38.
16. Enoki, S. Research on Strength Design of Channel Clips for Suspended Ceilings / S. Enoki [et al.] // *Key Engineering Materials*. – 2018. – Vol. 774. – P. 223–228. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.774.223.
17. Jiang, H. Numerical modeling and experimental validation for suspended ceiling system with free boundary condition / H. Jiang [et al.] // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Vol. 61. – 17 p. – DOI: 10.1016/j.job.2022.105285.

**Экспериментальное исследование огнестойкости подвесного потолка,
выполненного с применением негорючих гипсовых плит**

**Experimental study of fire resistance of suspended ceiling
made with application of gypsum non-combustible boards**

Кудряшов Вадим Александрович

кандидат технических наук, доцент

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

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

Email: vadkud@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4889-1060

Vadim A. Kudryashov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

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

Email: vadkud@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4889-1060

Ботян Сергей Сергеевич

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты МЧС
Беларуси», кафедра пожарной безопасности,
начальник кафедры

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

Email: aseckis@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8593-4413

Sergey S. Botyan

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, Head of Chair

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

Email: aseckis@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8593-4413

Коба Станислав Сергеевич

Учреждение «Научно-исследовательский
институт пожарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций» Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики
Беларусь, отдел полигонных испытаний,
главный специалист

Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, г. Минск, Беларусь

Email: kobastanislav31@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0236-9349

Stanislav S. Koba

Research Institute for Fire Safety and Problems
of Emergencies of the Ministry of Emergency
Situations of the Republic of Belarus,
Field Testing Department,
Chief Specialist

Address: Soltysa str., 183a,
220046, Minsk, Belarus

Email: kobastanislav31@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0236-9349

Королев Александр Владимирович

Иностранное общество с ограниченной
ответственностью «Сен-Гобен Строительная
Продукция Белрус», руководитель
направления проектных продаж

Адрес: ул. Левкова, 41/2, оф. 402,
220007, г. Минск, Беларусь

Email: Aliaksandr.Karaliou@sgcp.by

Aleksandr V. Korolev

Foreign Limited Liability Company
«Saint-Gobain Construction Products Belarus»
Head of Project Sales

Address: Levkova str., 41/2, of. 402,
220007, Minsk, Belarus

Email: Aliaksandr.Karaliou@sgcp.by

Лойко Юрий Леонидович

Иностранное общество с ограниченной
ответственностью «Сен-Гобен Строительная
Продукция Белрус», генеральный директор

Адрес: ул. Левкова, 41/2, оф. 402,
220007, г. Минск, Беларусь

Email: Yury.Loika@sgcp.by

Yuriy L. Loyko

Foreign Limited Liability Company
«Saint-Gobain Construction Products Belarus»
General Director

Address: Levkova str., 41/2, of. 402,
220007, Minsk, Belarus

Email: Aliaksandr.Karaliou@sgcp.by

EXPERIMENTAL STUDY OF FIRE RESISTANCE OF SUSPENDED CEILING MADE WITH APPLICATION OF GYPSUM NON-COMBUSTIBLE BOARDS

Kudryashov V.A., Botyan S.S., Koba S.S., Korolev A.V., Loyko Yu.L.

Purpose. To develop a typical sample of a fragment for full-scale tests with fire from below (from the side of the room) based on the analysis of technical solutions used for the installation of fire-resistant suspended ceilings using gypsum boards. To carry out fire tests and determine the fire resistance of the experimental sample, to obtain temperature-time dependences for local points of the tested fragment, which are most susceptible to destruction and deformation as a result of heating.

Methods. The analysis of the results of existing research and methods to achieve research goals. The development of a type sample for testing in accordance with the requirements of STB EN 1363-1-2009, STB EN 1364-2-2009. The development of a methodology for determining the temperature-time dependences during heating for local points of a sample of a fire-resistant suspended ceiling. Experimental fire research.

Findings. A fire-resistant suspended ceiling using non-combustible gypsum boards is the simplest and most common solution for increasing the fire resistance of horizontal floor and roof elements. To confirm the technical solutions used for the installation of fire-resistant suspended ceilings using gypsum boards, a typical experimental sample was developed.

Fire-resistant suspended ceiling formed by two continuous layers of non-combustible gypsum boards Gyproc Fire brand with a total thickness of 25 mm, and two layers of mineral wool ISOVER 50/E/K brand having the density of 14 kg/m³ and total thickness of 100 mm on a supporting two-level frame from thin-walled profiles corresponds to the fire resistance limit EI 60 (a←b) according to STB EN 1364-2-2009. The average temperature on the unheated surface of mineral wool boards was 170 °C at 65th minute of testing.

Application field of research. The results of fire tests can be used in numerical simulation of the heating of a fire-resistant suspended ceiling under high-temperature exposure, as well as in practice as a fire protection solution for building structures.

Keywords: fire resistance, fire protection, fire tests, fire-resistant suspended ceiling, standard fire, gypsum board, temperature-time dependence, destruction.

(The date of submitting: January 13, 2023)

REFERENCES

1. Kudryashov V.A., Drobysh A.S., Solovyanchik A.M. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy ognestoykosti polimernykh kompozitnykh materialov, armirovannykh steklovoloknom [Results of experimental researches fire resistance of polymer composite materials reinforced with fiberglass]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2015. No. 1 (21). Pp. 17–24. (rus). EDN: TKPYGP.
2. Bozsaky D. The historical development of thermal insulation materials. *Periodica Polytechnica Architecture*, 2010. Vol. 41, No. 2. Pp. 49–56. DOI: 10.3311/pp.ar.2010-2.02.
3. Dirisu J.O., Fayomi O.S.I., Oyedepo S.O. Thermal emission and transfer characteristics of ceiling materials: a necessity. *Energy Procedia*, 2019. Pp. 331–342. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.11.198.
4. Kaftanowicz M., Krzeminski M. Multiple-criteria analysis of plasterboard systems. *Procedia Engineering*, 2015. Vol. 111. Pp. 364–370. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.102.
5. Rusinová M., Kalousek M., Lavický M. Behavior of timber beam structures with suspended ceiling when exposed to fire. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 2019. Vol. 10, Iss. 1. Pp. 71–77. DOI: 10.1556/1848.2019.0011.
6. Zharkov A.F., Zharkov F.A., Chesnokova O.G. Ognestoykost' pokrytiy iz proflistov s podvesnymi potolkami s vozduшной прослойкой [Fire resistance of coatings from profiled sheeting with suspended ceiling with air gap]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2015. Iss. 4 (40). Article 10. 17 p. (rus). EDN: VJKEPF.
7. *Fire protection for structural steel in buildings*. Association of Specialist Fire Protection Contractors and Manufacturers, Steel Construction Institute, Fire Test Study Group, 2004. 162 p.

8. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Ed. M.J. Hurley et al. USA, New York: Springer, 2016. 3493 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0.
9. *Structural fire protection*: ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 78. Edited by T.T. Lie. New York, American Society of Civil Engineers, 1992. 241 p.
10. *Performance-based design of structural steel for fire conditions: a calculation methodology*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 114. Edited by D.L. Parkinson, V. Kodur, P.D. Sullivan. USA, American Society of Civil Engineers, 2009. 124 p. DOI: 10.1061/9780784409633.
11. Parkinson D.L., Kodur V. Performance based design of structural steel for fire conditions. In *Structures Congress 2006: Structural Engineering and Public Safety*. USA, American Society of Civil Engineers, 2009. Pp. 1–10. DOI: 10.1061/40889(201)36.
12. Gravit M.V., Golub E.V., Grigoriev D.M., Ivanov I.O. Ognezashchitnye podvesnye potolki s vysokimi predelami ognestoykosti [Fireproof suspended ceilings with high fire resistance limits]. *Magazine of Civil Engineering*, 2018. No. 8 (84). Pp. 75–85. (rus). DOI: 10.18720/MCE.84.8. EDN: ZMSPTM.
13. Chou T-L., Tang C-H., Chuang Y-J., Lin C-Y. Study on Smoke Leakage Performance of Suspended Ceiling System. *Sustainability*, 2020. Vol. 12, Iss. 18. Article 7244. 13 p. DOI: 10.3390/su12187244.
14. Zhou X. Time-resolved fire heat release rate under a ceiling based on ceiling layer measurements. *Fire Safety Journal*, 2020. Vol. 111. 9 p. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102923.
15. Kalinin E.S. Vliyanie ispolneniya podvesnogo potolka na dinamiku rasprostraneniya opasnykh faktorov pozhara [Influence of the performance of a suspended ceiling on the dynamics of the spread of fire hazards]. *Proc. VIII Scientific-practical conf. «Roitman Readings», Moscow, March 5, 2020*. Moscow: SFA of EMERCOM of Russia, 2020. – Pp. 35–38
16. Enoki S., Shibayama Y., Saito M., Ito J., Nakamura Y., Ohata T. Research on Strength Design of Channel Clips for Suspended Ceilings. *Key Engineering Materials*, 2018. Vol. 774. Pp. 223–228. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.774.223.
17. Jiang H., Huang Y., He L., Wang Y., Wang H. Numerical modeling and experimental validation for suspended ceiling system with free boundary condition. *Journal of Building Engineering*, 2022. Vol. 61. 17 p. DOI: 10.1016/j.jobbe.2022.105285.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, РАССМАТРИВАЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бунто О.В., Жамойдик С.М.

Цель. Путем экспериментальных исследований определить физико-механические свойства полимерных материалов, оказывающих влияние на процесс вскрытия легко-сбрасываемых конструкций.

Методы. Экспериментальные исследования, методы сравнительного анализа.

Результаты. Проведены экспериментальные исследования по определению физико-механических свойств полимерных материалов. По результатам экспериментальных исследований получены данные о прочностных и деформационных свойствах полимерных материалов (модуль упругости и предел прочности при растяжении; модуль упругости и предел прочности при изгибе; коэффициент Пуассона; модуль сдвига). Установлено, что диаграмма растяжения и изгиба органического стекла имеет вид, характерный для хрупкого материала, разрушающегося без проявления текучести при низких относительных удлинениях. Диаграмма растяжения и изгиба монолитного поликарбоната имеет вид, характерный для материала, подверженного вязкому разрушению.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть использованы при разработке конструкции легкосбрасываемого оконного блока или аэрационного фонаря здания с применением полимеров в качестве светопрозрачного заполнения.

Ключевые слова: легкосбрасываемые конструкции, физико-механические свойства, деформация, изгиб, растяжение, экспериментальные исследования.

(Поступила в редакцию 12 января 2023 г.)

Введение

Несмотря на оснащение производственных объектов самыми современными средствами взрывозащиты, предотвращение взрывов не всегда представляется возможным. С учетом тяжести наступающих при взрыве последствий для защиты людей и материальных ценностей от опасных факторов взрыва должен быть предусмотрен комплекс мероприятий по противовзрывной защите. Одним из конструктивных решений по противовзрывной защите является использование легкосбрасываемых конструкций (далее – ЛСК), предназначенных для ограничения максимального давления в защищаемом объеме. В зависимости от способа разрушения данные конструкции делятся на два вида: безынерционные и инерционные [1–6].

Анализ исследований и научных трудов на территории СНГ в области взрывозащиты М.Г. Годжелло, Г.Г. Орлова, В.С. Румянцева, Н.Н. Брушлинского, Л.П. Пилюгина, а также анализ защиты помещений взрывоопасных производств от избыточного давления взрыва на территории Республики Беларусь и стран близлежащего зарубежья показал, что преобладающим видом ЛСК являются безынерционные (разрушающиеся) конструкции. Использование в качестве заполнения разрушающихся ЛСК стекол глухого остекления позволяет получать наиболее дешевые и простые конструктивные решения, отвечающие как требованиям освещения помещения, так и снижения возникающего в нем избыточного давления взрыва. Поэтому преобладающим видом ЛСК является остекление окон и фонарей, как правило, одинарное, установленное в вертикальных конструкциях [1–7].

Остекление имеет ряд недостатков: значительную массу конструкции оконного блока, что вызывает ряд трудностей при доставке и монтаже на верхних этажах здания; низкий

коэффициент сопротивления теплопередаче ($0,13-0,15 \text{ м}^2 \times \text{°C/Вт}$), что при больших оконных проемах приводит к увеличению теплопотерь в течение отопительного периода; образование осколков при разрушении, что может привести к травмированию человека [1–7].

Альтернативой остеклению могут стать полимеры, в частности монолитный поликарбонат и органическое стекло, которые могут использоваться в качестве светопрозрачного заполнения ЛСК как в оконных блоках, так и в аэрационных фонарях зданий, однако опыт их применения в качестве ЛСК не изучен.

Для проверки гипотезы о возможности их применения в качестве ЛСК требуется проведение экспериментальных исследований по определению данных о физико-механических свойствах светопрозрачных полимерных материалов, которые могут оказывать влияние на процесс вскрытия ЛСК при приложении квазистатической нагрузки, образующейся в результате дефлаграционного взрыва.

Таким образом, проведение экспериментальных исследований по определению физико-механических свойств светопрозрачных полимерных материалов (монолитный поликарбонат и органическое стекло) при взрыве является актуальным. Полученные экспериментальные данные в дальнейшем позволят построить модель деформации полимерных элементов.

Основная часть

Основной целью исследования было получение данных о физико-механических характеристиках органического стекла и монолитного поликарбоната для последующего моделирования процессов, происходящих при приложении квазистатической нагрузки при дефлаграционном сгорании взрывоопасных смесей.

Испытания прочностных и деформационных свойств полимерных материалов проводились согласно методикам, изложенным в ГОСТ 11262-2017¹, ГОСТ 34370-2017², ГОСТ 4648-2014³.

В работе проводились испытания монолитного поликарбоната (изготовленного методом фосгенирования бисфенола А) и органического стекла (изготовленного методом экструзии), представляющего собой пластины номинальной толщиной $3,0 \pm 0,1 \text{ мм}$. Все испытания проводились при температуре в помещении 20 °C .

Предел прочности и модуль упругости при растяжении. Для определения модуля упругости и предела прочности при растяжении были проведены испытания выбранного ряда полимерных материалов в соответствии с ГОСТ 11262-2017. Для каждой серии испытаний изготавливалось 5 образцов типа 1В (п. 6.1 ГОСТ 11262-2017). Общий вид образцов представлен на рисунке 1.

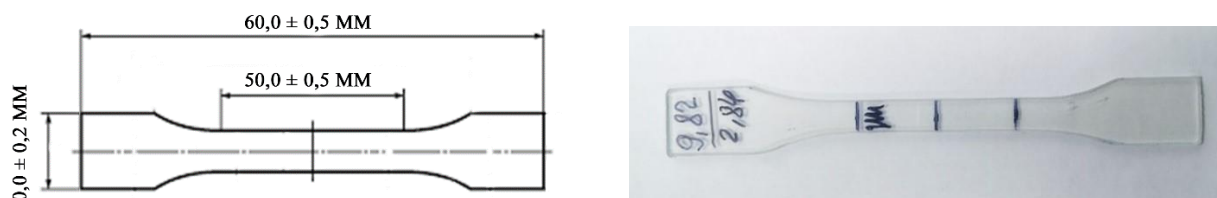


Рисунок 1. – Образцы полимерных материалов для испытаний типа 1В

¹ Пластмассы. Метод испытания на растяжение: ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012). – Введ. 01.10.18. – М.: Стандартинформ, 2018. – 20 с.

² Пластмассы. Определение механических свойств при растяжении. Часть 1. Общие принципы: ГОСТ 34370-2017 (ISO 527-1:2012). – Введ. 30.11.17. – М.: Стандартинформ, 2018. – 20 с.

³ Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб: ГОСТ 4648-2014 (ISO 178:2010). – Введ. 01.03.15. – М.: Стандартинформ, 2016. – 20 с.

Образцы имели рабочую часть длиной $60,0 \pm 0,5$ мм, шириной $10,0 \pm 0,2$ мм и расчетную длину (базу) $50,0 \pm 0,5$ мм. Поперечное сечение рабочей части образцов измеряли с помощью микрометра гладкого МК-25 с точностью 0,01 мм.

Испытания проводились с использованием электромеханической испытательной машины Kason WDW-100 (Jinan Kason Testing Equipment Co., Ltd) имеющей следующие характеристики: максимальная нагрузка 100 кН; точность по нагрузке 0,50 %; точность деформации 1,00 %; разрешение перемещения траверсы – 0,001 мм.

Скорость перемещения подвижного захвата при испытаниях составляла 1 мм/мин, деформации образцов измеряли с помощью осевого электронно-механического экстензометра навесного типа с контактными рычагами с точностью 0,0001 мм. Диаграммы растяжения регистрировались в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения MaxTest (рис. 2).

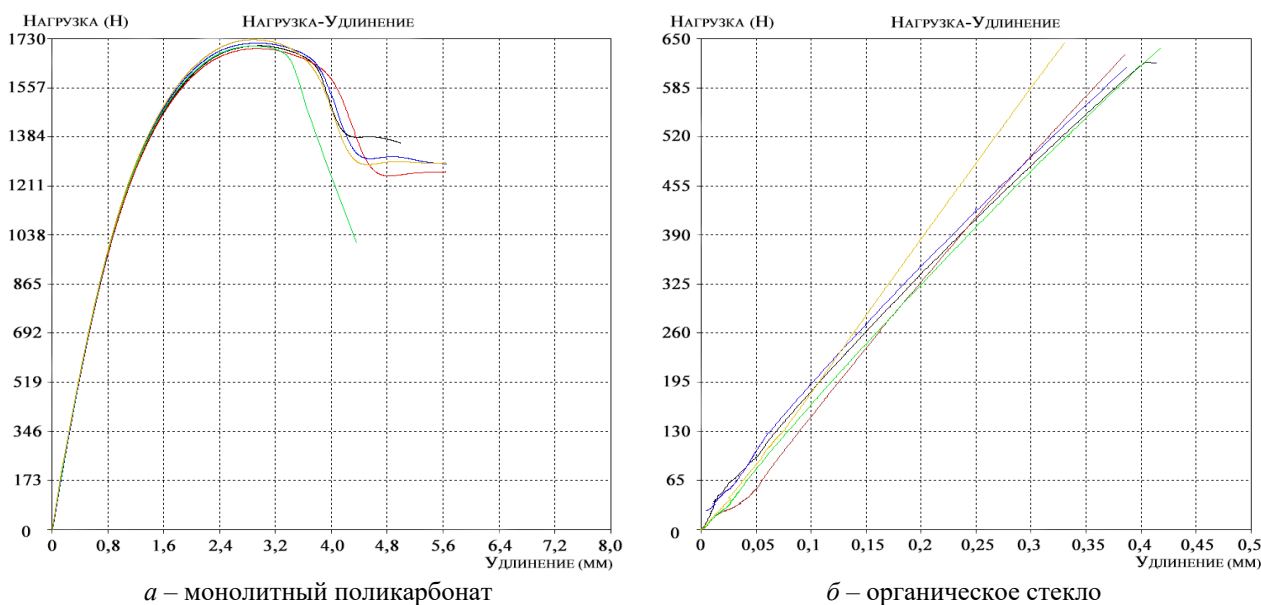


Рисунок 2. – Диаграммы растяжения монолитного поликарбоната и органического стекла

Диаграммы растяжения образцов монолитного поликарбоната (рис. 2а), органического стекла (рис. 2б) построены в соответствии с ГОСТ 11262-2017⁴ и ГОСТ 34370-2017⁵. После достижения предела текучести растягивающая нагрузка в монолитном поликарбонате падает и выходит на сравнительно стабильный уровень (продольные деформации сильно увеличиваются практически без изменения нагрузки, наблюдается пластическая деформация), а на рабочем участке образцов образуется шейка, и дальнейшие деформации образцов происходят в этой области. Для органического стекла диаграмма растяжения имеет вид, характерный для хрупкого материала, разрушающегося без проявления текучести при низких относительных удлинениях. Удлинение определяется на участке, равном базе измерителя деформации, и составляет $50,0 \pm 0,5$ мм. Растягивающая нагрузка отображалась автоматически, по ней в соответствии с ГОСТ 11262-2017 вычислялась прочность при растяжении $\sigma_{рн}$ (МПа) образцов по формуле:

$$\sigma_{рн} = F_{рн} / A_0,$$

где $F_{рн}$ – растягивающая нагрузка, Н;

$A_0 = 27 \pm 0,5$ мм² – начальная площадь поперечного сечения.

⁴ См. сноску 1.

⁵ См. сноску 2.

Экспериментально полученное значение прочности монолитного поликарбоната при растяжении $\sigma_{\text{рм ср}} = 59,6 \pm 1,2$ МПа находится в диапазоне данных [8] (52–72 МПа) и меньше справочных данных [9] (70 МПа) на 14,8 %. Здесь и далее доверительные интервалы измеряемых величин вычислялись с надежностью 0,95. Экспериментальное значение прочности органического стекла – $\sigma_{\text{рм ср}} = 24,8 \pm 2,4$ МПа значительно ниже справочных данных [9] (40–72 МПа) и [10] (38–76 МПа) и более чем в два раза меньше данных [11] (75 МПа). Это может быть обусловлено наличием дефектов структуры образцов, микротрещин и микропузырьков газа, которые становятся различимы при десятикратном и более увеличении, а также множеством вариантов химического состава и технологии изготовления.

Для дальнейших расчетов в экспериментальных точках в соответствии с п. 10.2.2.2 ГОСТ 34370-2017 вычислялось относительное удлинение образцов ε_l . Согласно п. 10.3.3 этого норматива для определения модуля упругости допускается использование наклона линии регрессии, подобранной для части кривой «нагрузка – относительное удлинение» в интервале относительных удлинений $0,001 \leq \varepsilon_l \leq 0,003$.

На основании полученных экспериментальных данных для зависимости нагрузки от относительного удлинения образца строился график регрессии – линейного уравнения вида $y = kx$, в котором коэффициент k численно равен модулю упругости при растяжении (E_t , МПа). Для расчетов и построений брали не менее пяти экспериментальных точек диапазона $0,0005 \leq \varepsilon_l \leq 0,003$. Полученные графики линейной регрессии для одного образца монолитного поликарбоната и одного образца органического стекла представлены на рисунке 3.

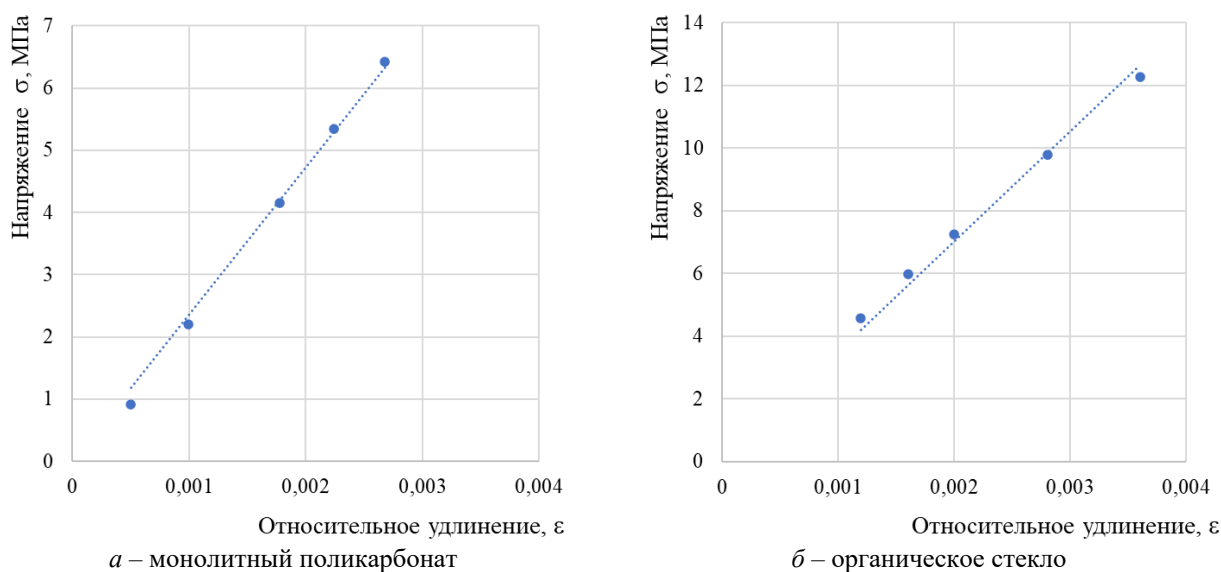


Рисунок 3. – Графики линейной регрессии для определения E_t методом наименьших квадратов образца монолитного поликарбоната и органического стекла

Экспериментально полученное значение модуля упругости монолитного поликарбоната при растяжении $E_{t \text{ ср}} = 2464,9 \pm 31,3$ МПа находится в диапазоне справочных данных [8; 11] (2000–2600 МПа) и [12] (2400–2800 МПа). Экспериментальное значение модуля упругости органического стекла $E_{t \text{ ср}} = 3514,6 \pm 71,6$ МПа превышает справочные данные [9; 12] (2870...3300 МПа) и [10] (1600...3300 МПа) на 6,5 %, а также данные источника [11] (3000 МПа) на 17 %. Необходимо отметить, что модуль упругости при растяжении органического стекла в целом соответствует данным, опубликованным в источниках, а предел прочности существенно ниже. Это может объясняться тем, что модуль упругости определяется на начальных стадиях нагружения образцов, в области действия закона Гука, и наличие дефектов структуры не сказывается на получаемых результатах.

Предел прочности при изгибе. Испытания выбранного ряда полимерных материалов при изгибе проводились в соответствии с ГОСТ 4648-2014⁶ (метод А) по трехточечной схеме нагружения (радиусы верхней и нижних опор – 5 мм, расстояние между опорами – 64 мм).

Испытательные образцы имели длину $l = 80,00 \pm 2,00$ мм, ширину $b = 15,00 \pm 1,00$ мм и толщину $h = 2,85 \pm 0,01$ мм (рис. 4). Для испытаний использовали пять образцов. Испытания проводили с использованием электромеханической испытательной машины Kason WDW-100. Перед проведением испытаний проводилась коррекция испытательной машины на податливость с помощью программного обеспечения, т.к. перемещение траверсы включает не только прогиб самого образца, но также вдавливание в образец нагружающего наконечника, опор.

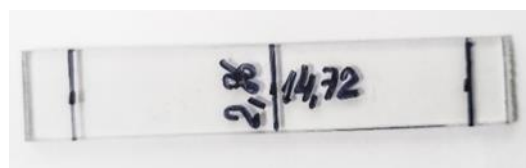
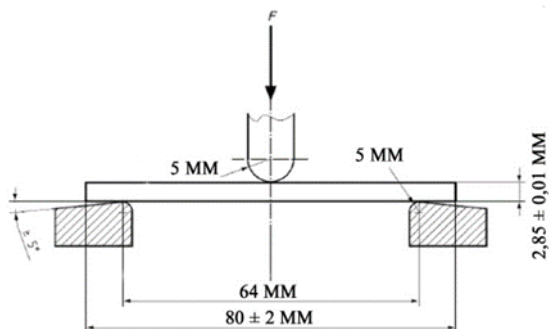
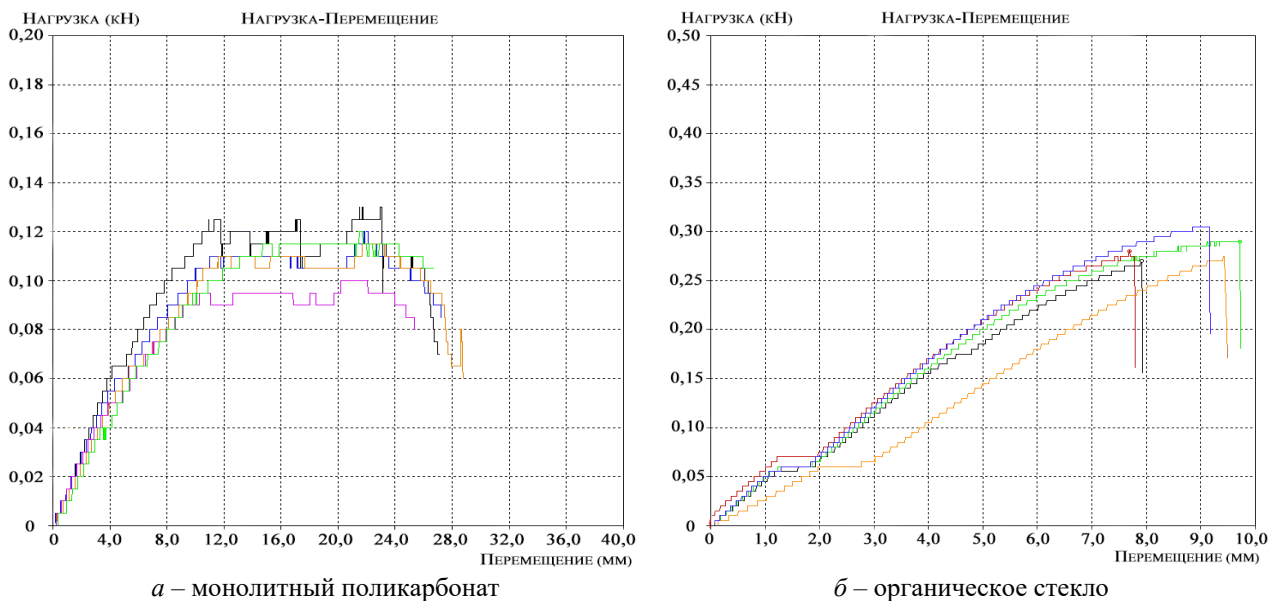


Рисунок 4. – Образцы полимерных материалов для испытаний на изгиб

Диаграммы изгиба (зависимости величины прогиба образцов от изгибающего усилия) регистрировались в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения MaxTest. Особенностью полученных диаграмм изгиба являлось то, что они регистрировались ступенчато с шагом в 5 Н (рис. 5).



а – монолитный поликарбонат
б – органическое стекло
Рисунок 5. – Диаграммы изгиба монолитного поликарбоната и органического стекла

Представленные на рисунке 5 диаграммы изгиба образцов монолитного поликарбоната и органического стекла в целом соответствуют ГОСТ 4648-2014, т.е. после достижения изгибающего напряжения при максимальной нагрузке ($\sigma_{f\max}$, МПа) изгибающая нагрузка выходит на сравнительно стабильный уровень (изгибающая нагрузка практически не увеличивается по отношению к перемещению траверсы), а в точке приложения нагрузки

⁶ См. сноску 3.

от нагружающего наконечника на образце образуется некоторое подобие шейки – участка образца с нарушенной структурой, наблюдаемого невооруженным глазом. Дальнейшие деформации образцов происходили в этой области, они приобретали V-образную форму: для поликарбоната – нагружающий наконечник постепенно начинал проталкивать образцы между опорами (горизонтальные участки со скачками нагрузки на диаграммах); для органического стекла – происходило хрупкое разрушение образца.

Прочность при изгибе σ_f , (МПа) определялась в соответствии с ГОСТ 4648-2014 по формуле:

$$\sigma_f = \frac{3F_f L}{2bh^2},$$

где F_f – нагрузка при изгибе, Н;

L – расстояние между опорами, мм;

b – ширина образца, мм;

h – толщина образца, мм.

В численных значениях прочности при изгибе, рассчитанных по данной формуле, не учитывается величина прогиба самого образца.

Экспериментально полученное значение прочности органического стекла при изгибе $\sigma_{f\text{cp}} = 115 \pm 7$ МПа оказалось в диапазоне справочных данных [9; 11] (105...140 МПа). Экспериментально полученное значение прочности монолитного поликарбоната при изгибе $\sigma_{f\text{cp}} = 84 \pm 4$ МПа оказалось в диапазоне справочных данных [8] (80...97 МПа) и [13] (80...110 МПа), но меньше справочных данных [9] (105 МПа) на 20 %.

Коэффициент Пуассона и модуль сдвига. Определение коэффициента Пуассона проводилось в соответствии с ГОСТ 34370-2017⁷ на образцах типа 1В (п. 6.1 ГОСТ 11262-2017⁸).

Испытания проводились с использованием электромеханической испытательной машины MTS Criterion 43 (MTS Systems Corporation), имеющей следующие характеристики: максимальная нагрузка 50 кН; точность по нагрузке 0,5 %; точность перемещения траверсы 0,2 % от заданной скорости. Скорость перемещения подвижного захвата при испытаниях составляла 1 мм/мин, деформации образцов измеряли с помощью двухосного электронно-механического экстензометра навесного типа с контактными рычагами (база 25,40 мм) с точностью 0,000001 мм по продольной деформации и 0,00000001 мм по поперечной. Диаграммы растяжения регистрировались в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения MTS TestSuite.

Для определения коэффициента Пуассона измеряли уменьшение ширины образцов. Образцы нагружали растягивающими нагрузками до 110...120 Н и регистрировали 80...90 экспериментальных точек продольных и соответствующих им поперечных деформаций.

На основании показаний экстензометра в области до достижения образцом предела текучести был построен график зависимости ширины образца от его расчетной длины. Затем в интервале, следующем за областью влияния изменения скорости испытания, строился график зависимости относительного изменения ширины образца ϵ_b от относительного изменения его расчетной длины ϵ_l . В проведенном эксперименте указанный интервал имел вид $0,0001 \leq \epsilon_l \leq 0,0016$. Согласно п. 10.4 ГОСТ 34370-2017 наклон линии регрессии, подобранной методом наименьших квадратов для построенной зависимости ϵ_b от ϵ_l , численно равен коэффициенту Пуассона. Полученные графики линейной регрессии для одного образца монолитного поликарбоната и одного образца органического стекла представлены на рисунке 6.

⁷ См. сноску 2.

⁸ См. сноску 1.

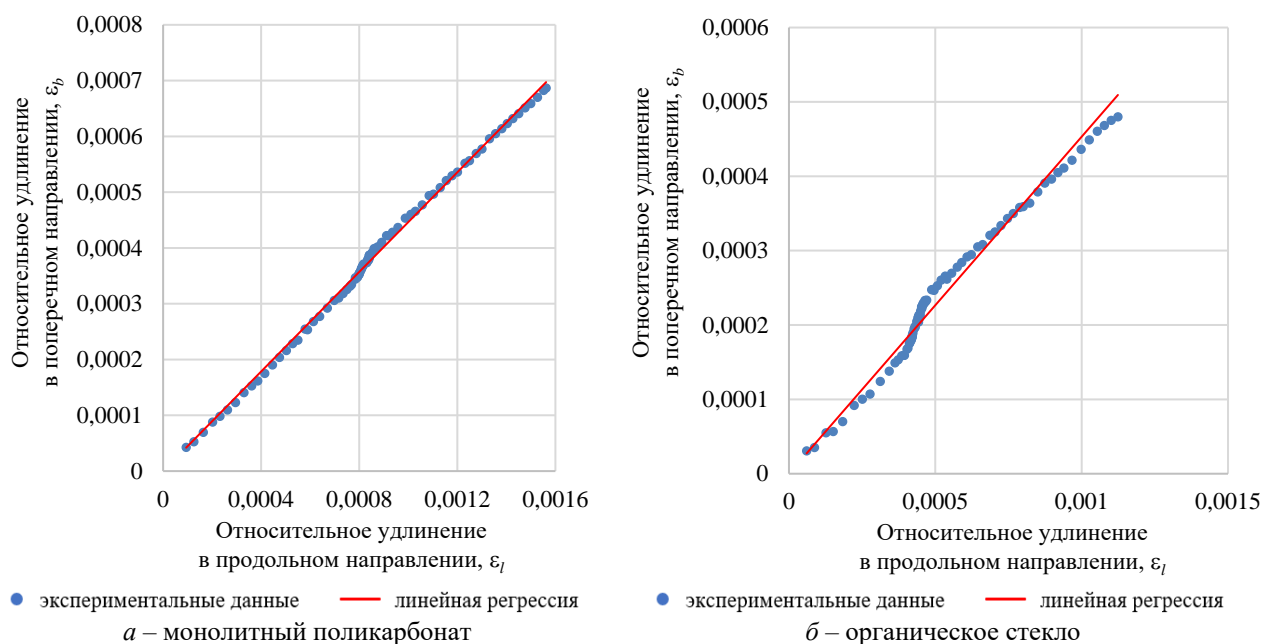


Рисунок 6. – Графики линейной регрессии для определения E_t методом наименьших квадратов образца монолитного поликарбоната и органического стекла

Коэффициент Пуассона для монолитного поликарбоната $\mu_{\text{cp}} = 0,4620 \pm 0,0003$ для органического стекла – $\mu_{\text{cp}} = 0,4819 \pm 0,0008$.

Модуль сдвига G (модуль упругости при сдвиге) для однородных изотропных материалов, которыми являются монолитный поликарбонат и органическое стекло, связан с модулем упругости E_t и вычисляется через коэффициент Пуассона μ :

$$G = \frac{E_t}{2(1 + \mu)}.$$

Модуль сдвига для монолитного поликарбоната $G = 843 \pm 11$ МПа для органического стекла – $G = 1186 \pm 24$ МПа.

Заключение

Проведение экспериментальных исследований позволило получить данные о прочностных и деформационных свойствах полимерных материалов, диаграммы растяжения и изгиба оргстекла и монолитного поликарбоната. Определены следующие характеристики для монолитного поликарбоната: предел прочности монолитного поликарбоната при растяжении $59,6 \pm 1,2$ МПа, модуль упругости при растяжении 2465 ± 31 МПа, предел прочности при изгибе 84 ± 4 МПа, коэффициент Пуассона $0,4620 \pm 0,0003$, модуль сдвига 843 ± 11 МПа. Для органического стекла: предел прочности при растяжении 25 ± 2 МПа, модуль упругости при растяжении 3515 ± 72 МПа, предел прочности при изгибе 115 ± 7 МПа, коэффициент Пуассона $0,4819$, модуль сдвига 1186 ± 24 МПа.

Анализ диаграмм изгиба и растяжения показал, что после достижения предела текучести растягивающая нагрузка в монолитном поликарбонате падает и выходит на сравнительно стабильный уровень, а на рабочем участке образцов образуется шейка, и дальнейшие деформации образцов происходят в этой области. Для органического стекла диаграмма растяжения характерна для хрупкого материала, разрушающегося без проявления текучести при низких относительных удлинениях. При изгибе для поликарбоната разрушения не происходило, нагружающий наконечник проталкивал сложенные образцы между опорами, для органического стекла происходило хрупкое разрушение образца.

Полученные результаты будут использованы для расчета значения коэффициентов вскрытия легкобросаемых конструкций с использованием полимерных материалов; для

получения алгебраических уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние оконного блока со светопрозрачным заполнением при воздействии со стороны защищаемого объема равномерно распределенной нагрузки в зависимости от геометрических размеров, физико-механических характеристик применяемого полимерного материала и величины прилагаемой нагрузки.

Результаты исследований получены в рамках выполнения научно-исследовательской работы при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект T21M-103).

ЛИТЕРАТУРА

1. Dust explosion venting protective systems: EN Standard 14491 vs. VDI Guideline 3673 [Electronic resource] // Norma Europea: UNI EN 14491. – Mode of access: https://www.mvtplant.com/wp-content/uploads/2015/01/UNI-EN-14491_2012-Sistemi-di-protezione-sfogo-esplosione-polveri.pdf. – Date of access: 05.03.2022.
2. Guide for Venting of Deflagrations: NFPA 68 [Electronic resource]: 2002 Edition. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2002. – 66 p. – Mode of access: http://www.hysafe.org/img/NFPA68_2002.pdf. – Date of access: 05.03.2022.
3. Моделирование пожаров и взрывов / под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000. – 482 с.
4. Пилюгин, Л.П. Конструкции сооружений взрывоопасных производств (теоретические основы проектирования) / Л.П. Пилюгин. – М.: Стройиздат, 1988. – 316 с.
5. Пенязьков, О.Г. Определение избыточного давления вскрытия оконных блоков при дефлаграционном взрыве в замкнутом объеме / О.Г. Пенязьков [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2007. – № 1 (5). – С. 65–74. – EDN: SMTLBN.
6. Бунто, О.В. Анализ вопроса защиты зданий и сооружений при внутреннем взрыве газопылевоздушной смеси / О.В. Бунто, А.С. Миканович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2022. – Т. 1, № 51. – С. 31–40. – DOI: 10.54422/1994-439X.2022.1-51.31-39. – EDN: SHPVWZ.
7. Бунто, О.В. Анализ существующих требований, предъявляемых к светопрозрачному заполнению оконных блоков легкобросываемых конструкций в части сопротивления теплопередаче, светопропускной способности / О.В. Бунто, А.С. Миканович, С.М. Жамойдик // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2022. – Т. 1. – № 51. – С. 48–58. – DOI: 10.54422/1994-439X.2022.1-51.48-57. – EDN: DJEBCG.
8. Поликарбонат [Электронный ресурс] // Литье пластмасс: справочник по литьевым термопластичным материалам / И.А. Барвинский. – Режим доступа: http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_PC.htm. – Дата доступа: 05.03.2022.
9. Физические величины: справочник / А.П. Бабичев [и др.]; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
10. Полиметилметакрилат, сополимеры метилметакрилата [Электронный ресурс] // Литье пластмасс: справочник по литьевым термопластичным материалам / И.А. Барвинский. – Режим доступа: http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_PMMA.htm. – Дата доступа: 05.03.2022.
11. Оргстекло: тепловые и механические характеристики [Электронный ресурс] // Thermalinfo.ru – справочник по свойствам веществ и материалов: плотность, теплопроводность, теплоемкость, вязкость и другие физические свойства веществ в таблицах в зависимости от температуры и давления. – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/plastmassa-i-plastik/orgsteklo-teplovyue-i-mehanicheskie-harakteristiki>. – Дата доступа: 05.03.2022.
12. Кацнельсон, М.Ю. Пластические массы. Свойства и применение: справочник / М.Ю. Кацнельсон, Г.А. Балаев. – 3-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1978. – 384 с.
13. Поликарбонат [Электронный ресурс] // Машиностроительное проектирование: проектно-информационный портал alexfl.pro. – Режим доступа: https://alexfl.pro/katalog/katalog_polikarbon.html. – Дата доступа: 05.03.2022.
14. Крыжановский, В.К. Технические свойства полимерных материалов: учеб.-справ. пособие / В.К. Крыжановский [и др.]. – СПб.: Профессия, 2007. – 240 с.

Экспериментальные исследования прочностных и деформационных свойств полимерных материалов, рассматриваемых в качестве светопрозрачного заполнения легкобрасываемых конструкций

Experimental investigations of strength and deformation properties of polymeric materials considered as a translucent filling of easy-to-reset structures

Бунто Оксана Викторовна

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: lyubimova.oksana94@inbox.ru
ORCID: 0000-0002-5807-3347

Oksana V. Bunto

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

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: lyubimova.oksana94@inbox.ru
ORCID: 0000-0002-5807-3347

Жамойдик Сергей Михайлович

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: zhamoidik.kii@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0407-5176

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, Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: zhamoidik.kii@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0407-5176

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF POLYMERIC MATERIALS CONSIDERED AS A TRANSLUCENT FILLING OF EASY-TO-RESET STRUCTURES

Bunto O.V., Zhamoydik S.M.

Purpose. By means of experimental studies to determine the physical and mechanical properties of polymeric materials that affect the process of opening easily ejected structures.

Methods. Experimental research, comparative analysis methods.

Findings. Experimental studies were carried out to determine the physical and mechanical properties of polymeric materials. Based on the results of experimental studies, the data were obtained on the strength and deformation properties of polymeric materials (modulus of elasticity and ultimate tensile strength; modulus of elasticity and ultimate strength in bending; Poisson's ratio; shear modulus). It has been established that the diagram of tension and bending of plexiglass is characteristic for a brittle material that breaks down without yielding at low relative elongations. The tensile and bending diagram of monolithic polycarbonate has a form typical for a material subject to ductile fracture.

Application field of research. The results obtained can be used in the development of the design of an easily ejected window unit or aeration lantern of a building using polymers as a translucent filling.

Keywords: easy-to-reset structures, physical and mechanical properties, deformation, bending, tension, experimental research.

(The date of submitting: January 12, 2023)

REFERENCES

1. *Dust explosion venting protective systems: EN Standard 14491 vs. VDI Guideline 3673.* Norma Europea: UNI EN 14491. Available at: https://www.mvtplant.com/wp-content/uploads/2015/01/UNI-EN-14491_2012-Sistemi-di-protezione-sfogo-esplosione-polveri.pdf (accessed: 05.03.2022).
2. *Guide for Venting of Deflagrations: NFPA 68: 2002 Edition.* Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2002. 66 p. Available at: http://www.hysafe.org/img/NFPA68_2002.pdf (accessed: 05.03.2022).
3. *Modelirovanie pozharov i vzryvov [Modeling of fires and explosions]* under total ed. N.N. Brushlinskiy, A.Ya. Korol'chenko. Moscow: Pozhnauka, 2000. 482 p. (rus)
4. Pilyugin L.P. *Konstruktsii sooruzheniy vzryvoopasnykh proizvodstv (teoreticheskie osnovy proektirovaniya) [Structures of explosive industries: (theoretical foundations of design)].* Moscow: Stroyizdat, 1988. 316 p. (rus)
5. Penyaz'kov O.G., Shabunya S.I., Usov A.M., Tereshenkov V.I., Mikanovich A.S. *Opreделение избыточного давления вскрытия оконных блоков при дефлаграционном взрыве в замкнутом объеме [Determination of excessive pressure of opening window blocks during a deflagration explosion in a closed volume].* *Vestnik Komandno-inzhenerного института MChS Respubliki Belarus'*, 2007. No. 1 (5). Pp. 65–74. (rus). EDN: SMTLBN.
6. Bunto O.V., Mikanovich A.S. *Analiz voprosa zashchity zdaniy i sooruzheniy pri vnutrennem vzryve gazo-pylevozdushnoy smesi [Analysis of buildings protection from the impact of internal explosion of the gas- dust- air mixture].* *Emergency situations: prevention and elimination*, 2022. No. 1 (51). Pp. 31–40. (rus). DOI: 10.54422/1994-439X.2022.1-51.31-39. EDN: SHPVWZ.
7. Bunto O.V., Mikanovich A.S., Zhamoydik S.M. *Analiz sushchestvuyushchikh trebovaniy, pred'yavlyaemykh k svetoprozrachnomu zapolneniyu okonnykh blokov legkosbrasyvaemykh konstruktsiy v chasti soprotivleniya teploperedache, svetopropusknoy sposobnosti [Analysis of existing requirements for a translucent filling of window blocks of explosion relief structures in part of resistance to heat transfer, light transmission].* *Emergency situations: prevention and elimination*, 2022. No. 1 (51). Pp. 48–58. (rus). DOI: 10.54422/1994-439X.2022.1-51.48-57. EDN: DJEBCG.
8. *Polikarbonat [Polycarbonate].* In Barvinskiy I.A. *Lit'e plastmass [Plastic molding]: guide of thermoplastics for injection molding.* Available at: http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_PC.htm (accessed: March 05, 2022). (rus)
9. Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkovskiy A.M. et al. *Fizicheskie velichiny [Physical quantities]: handbook.* Ed. by I.S. Grigor'ev, E.Z. Meylikhov. Moscow: Energoatomizdat, 1991. 1232 p. (rus)

10. Polimetilmetakrilat, sopolimery metilmetakrilata [Polymethyl methacrylate, methyl methacrylate copolymers]. In Barvinskiy I.A. *Lit'e plastmass* [Plastic molding]: *guide of thermoplastics for injection molding*. Available at: http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_PMMA.htm (accessed: March 05, 2022). (rus)
11. Orgsteklo: teplovye i mekhanicheskie kharakteristiki [Plexiglas: thermal and mechanical characteristics]. *Thermalinfo.ru – a guide to the properties of substances and materials: density, thermal conductivity, heat capacity, viscosity, and other physical properties of substances in tables depending on temperature and pressure*. Available at: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/plastmassa-i-plastik/orgsteklo-teplovye-i-mekhanicheskie-harakteristiki> (accessed: March 05, 2022). (rus)
12. Katsnel'son M.Yu., Balaev G.A. *Plasticheskie massy. Svoystva i primeneniye* [Plastic masses. Properties and application]: handbook. 3-ed. Leningrad: Khimiya, 1978. 384 p. (rus)
13. Polikarbonat [Polycarbonate]. *Mashinostroitel'noe proektirovanie: proektno-informatsionnyy portal alexfl.pro* [Engineering design: design and information portal alexfl.pro]. Available at: https://alexfl.pro/katalog/katalog_polikarbon.html (accessed: March 05, 2022) (rus)
14. Kryzhanovskiy V.K., Burlov V.V., Panimatchenko A.D., Kryzhanovskaya Yu.V. *Tekhnicheskie svoystva polimernykh materialov* [Technical properties of polymeric materials]: tutorial. St. Petersburg: Professiya, 2007. 240 p. (rus)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДАВЛЕНИЯ ВСКРЫТИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА ПОВОРОТА ВРАЩАЕМЫХ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЕФЛАГРАЦИОННОМ ВЗРЫВЕ ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Волчецкая Е.А., Дунаев А.А., Жамойдик С.М., Зинкевич Г.Н., Иваницкий А.Г.

Цель. Экспериментальное определение величины давления вскрытия запорных устройств и изменения угла поворота вращаемых легкобрасываемых конструкций при дефлаграционном взрыве топливовоздушной смеси в замкнутом объеме.

Методы. На испытательном полигоне Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь проведены испытания по определению давления вскрытия запорных устройств вращаемых легкобрасываемых конструкций. В качестве объекта исследований использовался опытный образец ворот с тремя вариантами крепления запорного устройства.

Результаты. В ходе проведенных экспериментальных исследований определены значения давления вскрытия запорных устройств и изменения угла поворота полотен ворот при дефлаграционном взрыве. По результатам анализа данных экспериментальных исследований установлено влияние вида и количества крепежных элементов на величину максимального избыточного давления взрыва в помещении, давления вскрытия запорных устройств, а также изменения угла поворота вращаемой легкобрасываемой конструкции.

Область применения исследований. Результаты проведенных исследований в дальнейшем могут быть использованы при разработке математической модели процесса вскрытия вращаемых легкобрасываемых конструкций, методики определения давления вскрытия запорных устройств таких конструкций с последующим внесением изменений в действующие технические нормативные правовые акты системы противопожарного нормирования и стандартизации Республики Беларусь.

Ключевые слова: взрыв, избыточное давление, вращаемая легкобрасываемая конструкция, запорное устройство, давление вскрытия.

(Поступила в редакцию 13 января 2023 г.)

Введение

В настоящее время развитие различных отраслей промышленности требует современных и экономически обоснованных подходов к обеспечению безопасности пожаро-взрывоопасных объектов. На каждом таком объекте во взрывопожароопасных производственных и складских помещениях, как правило, имеются двери и ворота, которые возможно использовать в качестве вращаемых легкобрасываемых конструкций, особенно при недостатке имеющейся площади оконных проемов. Однако при расчете необходимой площади для защиты таких помещений возникают трудности, связанные с определением давления вскрытия запорных устройств данных конструкций [1].

В СН 2.02.05-2020¹ с учетом запросов активно развивающейся строительной отрасли установлена допустимость использования в качестве легкобрасываемых конструкций любых технических решений, подтвержденных испытаниями. Однако проведение испытаний нередко требует значительно больших временных и материальных затрат в сравнении с расчетными методами.

¹ Пожарная безопасность зданий и сооружений: СН 2.02.05-2020. – Введ. 12.11.20. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 70 с.

Для определения механизма взаимодействия опасных факторов взрыва топливовоздушной смеси с вращаемыми легкобрасываемыми конструкциями проведены экспериментальные исследования, позволяющие определить избыточное давление взрыва, а также поведение объекта испытания с учетом его характеристик.

Анализ литературных источников показал, что результаты ранее проведенных экспериментальных исследований [2; 3] касаются отдельных случаев использования вращающихся легкобрасываемых конструкций с заданными параметрами (масса, вариант запорного устройства, вид крепления) и не устанавливают общих зависимостей вскрытия их узлов крепления. В связи с этим возникает необходимость проведения экспериментальных исследований поведения различных вариантов запорных узлов ворот для последующего обобщения данных и определения общих зависимостей.

Методика исследования

Экспериментальные исследования проводились в следующей последовательности: разработана общая методика и определены основные параметры средств измерений; разработана конструкция и изготовлен объект испытаний; подготовлена экспериментальная установка; проведены испытания по определению давления вскрытия запорных устройств вращаемых легкобрасываемых конструкций; обработаны экспериментальные данные.

Общая методика проведения экспериментальных исследований разработана на основании СТБ 1762-2007².

В качестве объекта испытаний был изготовлен опытный образец стальных ворот для установки в проеме размерами 1500×1500 мм, состоящий из двух полотен размерами 763×1560 мм каждое. Масса одного полотна составила 26,8 кг. Ворота изготовлены из стали марки 08КП по ГОСТ 1050³ толщиной 2,5 мм.

Количество приборов регистрации параметров, устанавливаемых на объекте испытаний и позволяющих определять действующие значения воздействующего давления и изменение угла поворота полотна, определено исходя из условий необходимости получения экспериментальных значений для его различных частей.

В частности, для экспериментального определения механизма воздействия избыточного давления взрыва на ворота, используемые в качестве вращаемых легкобрасываемых конструкций, возникла необходимость изучить динамические характеристики поведения полотен, поэтому использовались датчики, расположенные в углах воротных полотен на расстоянии 5 см от края полотна, в месте размещения запорного устройства и в центре масс. Датчики фиксировали величину его перемещения и изменение угла поворота. Для проведения испытаний использовали датчики на основе микроэлектромеханических систем с цифровым процессором, которые вместе с источником питания и картой памяти размещались в едином корпусе на воротном полотне.

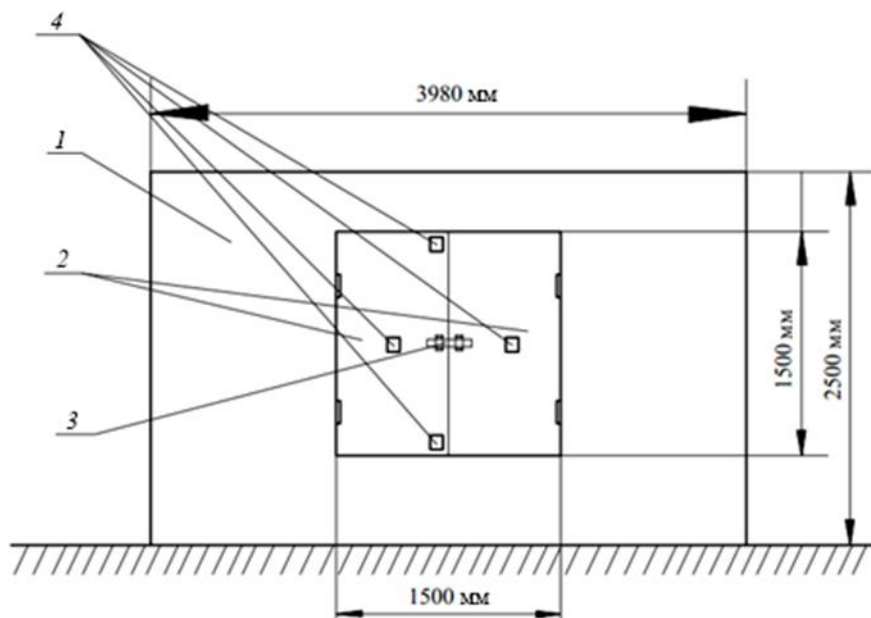
Основная часть

При проведении испытаний в Научно-исследовательском институте пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь использовалась сертифицированная установка размерами 800×3980×2500 мм и рабочим объемом 4,32 м³ в соответствии с требованиями СТБ 1762-2007. Ее схема и крепление образца испытаний на ней приведены на рисунках 1 и 2. В камеру подавалась пропан-бутановая смесь в объеме, достаточном для получения стехиометрической концентрации с воздухом.

² Конструкции легкобрасываемые. Метод определения избыточного давления вскрытия: СТБ 1762-2007. – Введ. 18.07.07. – Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2007. – 10 с.

³ Металлопродукция из легированных конструкционных качественных и специальных сталей: ГОСТ 1050-2013. – Введ. 03.12.13. – М.: Стандартинформ, 2014. – 36 с.

При испытаниях проводилось измерение двух параметров, характеризующих срабатывание запорных устройств ворот: давление вскрытия запорного устройства и углы поворота воротных полотен. В состав системы измерения входили следующие устройства: датчики MPU9255 с источниками питания и картами памяти, персональный компьютер.



1 – испытательная установка; 2 – экспериментальный образец ворот; 3 – испытуемое запорное устройство ворот; 4 – места размещения датчиков MPU9255 с источниками питания и картами памяти

Рисунок 1. – Схема взрывной камеры и закрепление на ней испытуемого образца ворот



Рисунок 2. – Общий вид испытательной камеры и ворот перед взрывом

Поведение испытуемого образца при взрыве фиксировалось видеокамерой. Начало движения воротных полотен фиксировалось по записям видеокамеры.

Для расчетной оценки параметров изменения избыточного давления взрыва в герметичном объеме испытательной установки, а также при наличии открытого проема проведено моделирование процесса сгорания топливовоздушной смеси с использованием программного средства FLACS_v.9.0 (рис. 3).

Для подтверждения воспроизводимости и достоверности результатов измерения, недопустимости повреждения измерительного оборудования и испытательной установки

перед испытаниями проводились контрольные взрывы ворот без запорных устройств. На рисунке 4 приведен график изменения давления при четырех контрольных взрывах: давление достигает максимума через 0,4 с и составляет от 0,9 до 1,0 кПа. График приведен с доверительными интервалами, определенными в результате обработки данных экспериментальных исследований по ГОСТ 8.207⁴.

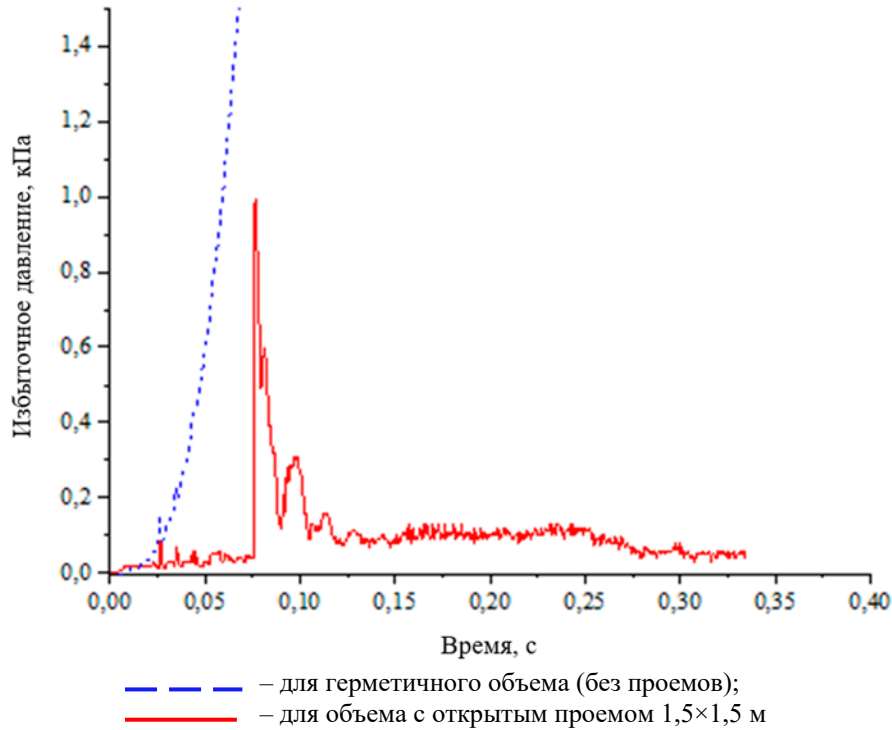


Рисунок 3. – Динамика изменения расчетного избыточного давления взрыва внутри испытательной камеры

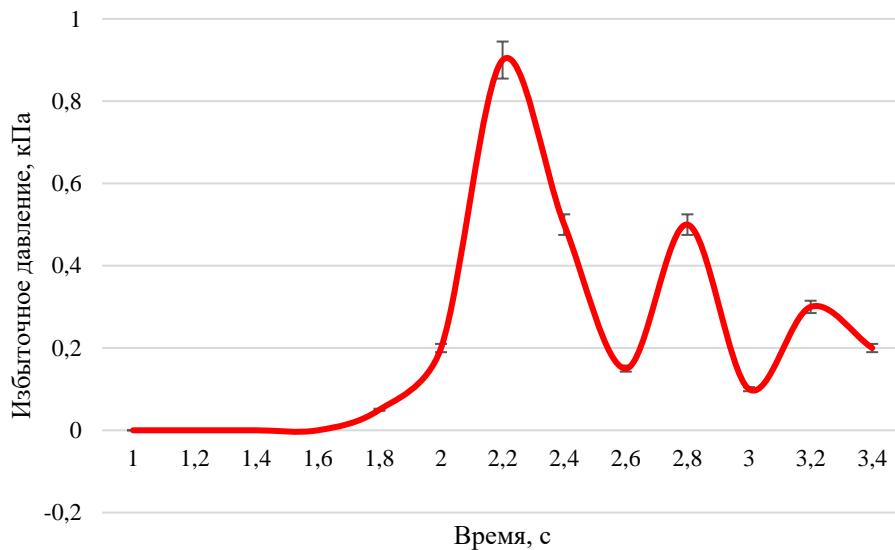


Рисунок 4. – Динамика изменения давления вскрытия воротных полотен без запорных устройств (результат обработки данных по четырем контрольным взрывам)

⁴ Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8-207-76. – Введ. 15.03.76. – М.: Стандартинформ, 2006. – 7 с.

Запорные устройства № 1, 2 и 3 крепились к воротным полотнам четырьмя, восемью и двенадцатью вытяжными алюминиевыми заклепками по ISO 15980⁵ размерами 3,2×8,0 мм соответственно (рис. 5 а, б, в). При взрыве в камере при росте избыточного давления начиналось движение воротных полотен, а вместе с ними, растягивая заклепки, сдвигался стальной засов размерами 200×50×4 мм. Момент инерции покоя одного полотна составил 15,6 кг·м². Усилие растяжения заклепок и последующий отрыв головок в четырех, восьми и двенадцати местах представляет собой то препятствие, которое должно преодолеть избыточное давление, возникающее при дефлаграционном сгорании топливовоздушной смеси.

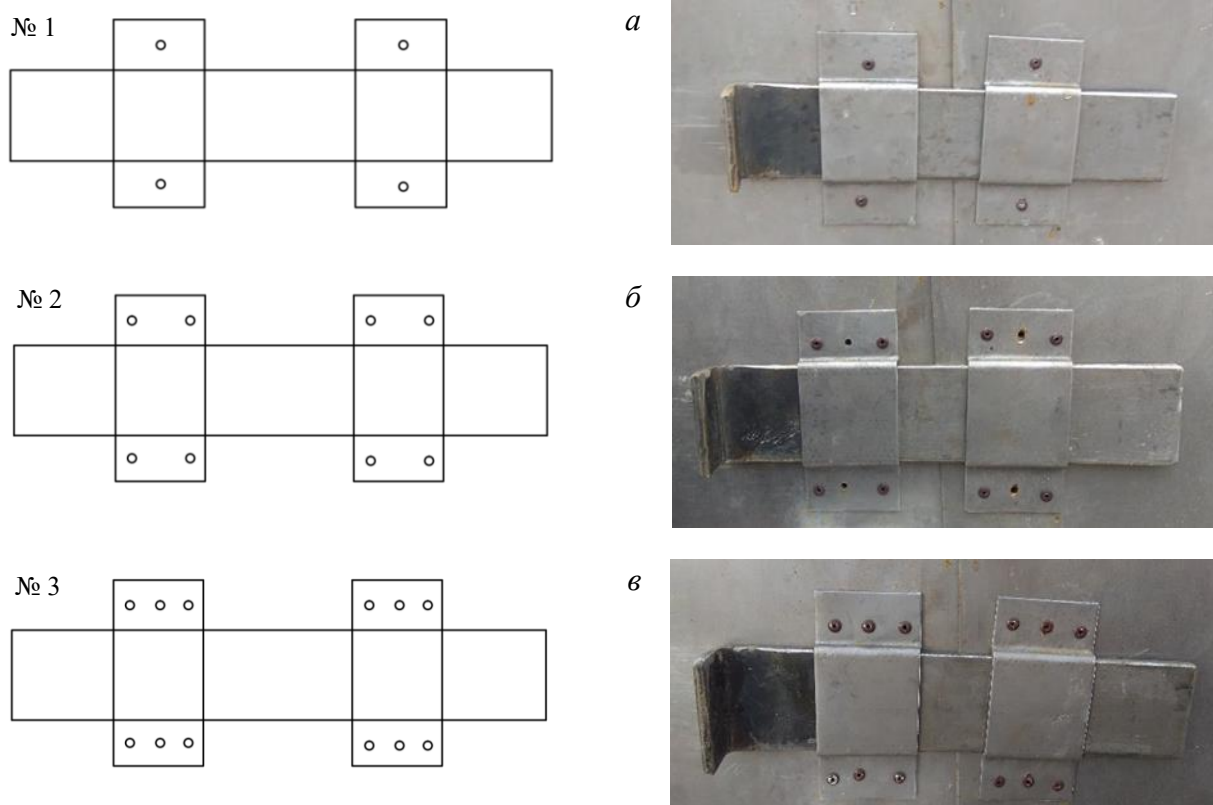


Рисунок 5. – Схемы испытуемых креплений запорных устройств к воротным полотнам

На рисунке 6 приведены кадры видеозаписи движения полотен ворот при взрыве. Запорное устройство во всех местах крепления отрывалось практически одновременно. После воспламенения газозвушной смеси давление в закрытой камере начинало расти. После вскрытия полотен и последующего достижения максимального значения наблюдались затухающие колебания давления в камере.

При испытаниях трех образцов запорного устройства № 1, 2 и 3 в камере регистрировалось максимальное избыточное давление 1,25, 1,40 и 1,50 кПа соответственно. При этом средняя величина давления вскрытия крепежных элементов № 1, 2 и 3 составила 1,08, 1,32 и 1,43 кПа соответственно.

Полученные при испытаниях легкобросываемых конструкций данные сведены в графики, представленные на рисунках 7–9, которые совместно с описанием проведенных экспериментальных исследований дают представление об их результатах. Они свидетельствуют о том, что давление вскрытия ворот зависит от вариантов креплений запорных устройств к полотнам, в нашем случае от количества заклепочных соединений. При этом зафиксированные максимальные значения величины избыточного давления взрыва в каме-

⁵ Заклепки слепые с открытым торцом, с сердечником размыкающим натяжным и головкой потайной. St/St (стальной стержень / стальной сердечник): ISO 15980:2002. – Введ. 01.11.02. – Минск, 2002. – 12 с.

ре при проведении испытаний не превышают предельно допустимое, установленное техническими нормативными правовыми актами, в частности ТКП 45-2.02-38-2006⁶.



а – 0,05 с от начала воспламенения смеси



б – 0,1 с от начала воспламенения смеси



в – 0,3 с от начала воспламенения смеси



г – 0,5 с от начала воспламенения смеси

Рисунок 6. – Процесс вскрытия экспериментального образца ворот при взрыве

⁶ Конструкции легкобрасываемые. Правила расчета: ТКП 45-2.02-38-2006. – Введ. 01.01.07. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2006. – 30 с. – (Национальный комплекс технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства).

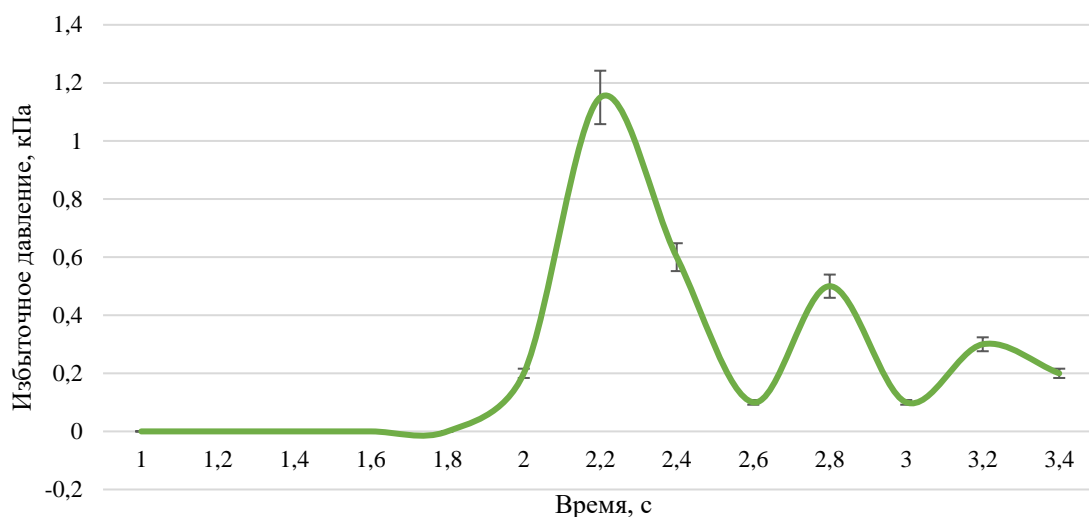


Рисунок 7. – График изменения величины избыточного давления взрыва в камере при вскрытии запорного устройства № 1 (результат обработки данных по четырем контрольным взрывам)

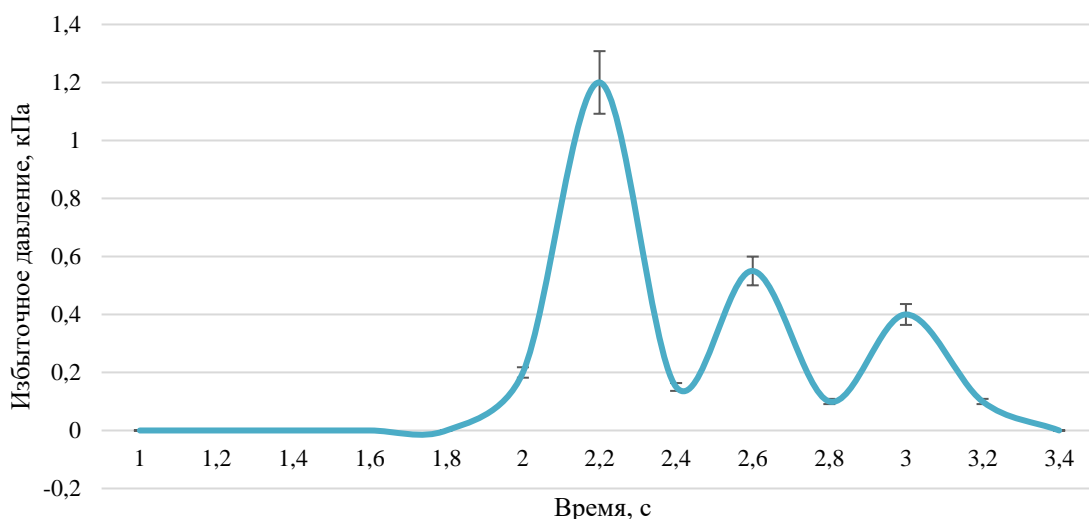


Рисунок 8. – График изменения величины избыточного давления взрыва в камере при вскрытии запорного устройства № 2 (результат обработки данных по четырем контрольным взрывам)

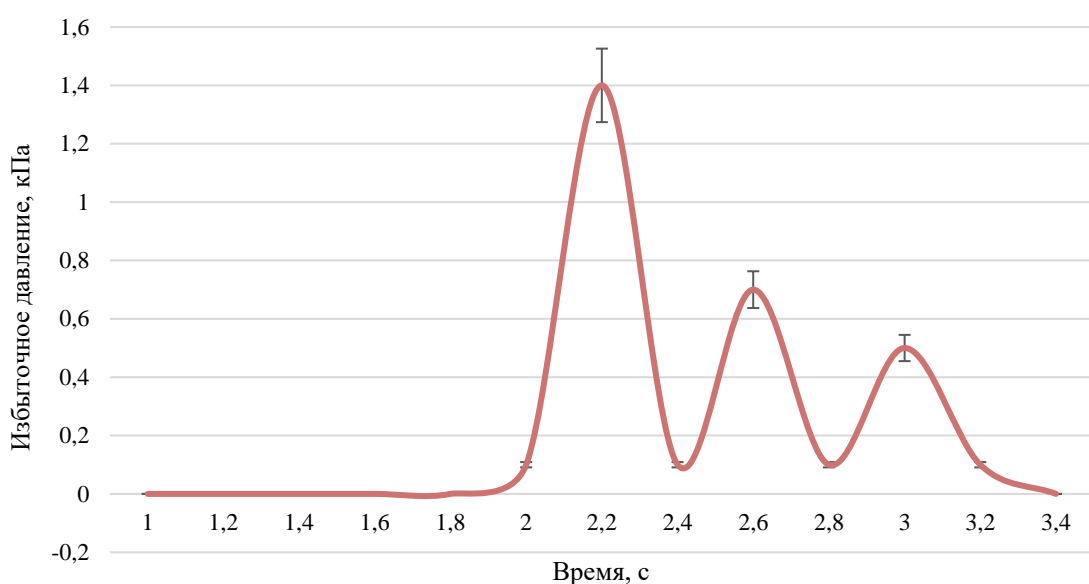


Рисунок 9. – График изменения величины избыточного давления взрыва в камере при вскрытии запорного устройства № 3 (результат обработки данных по четырем контрольным взрывам)

Изменение угла поворота воротных полотен при вскрытии испытуемых запорных устройств представлено на рисунке 10.

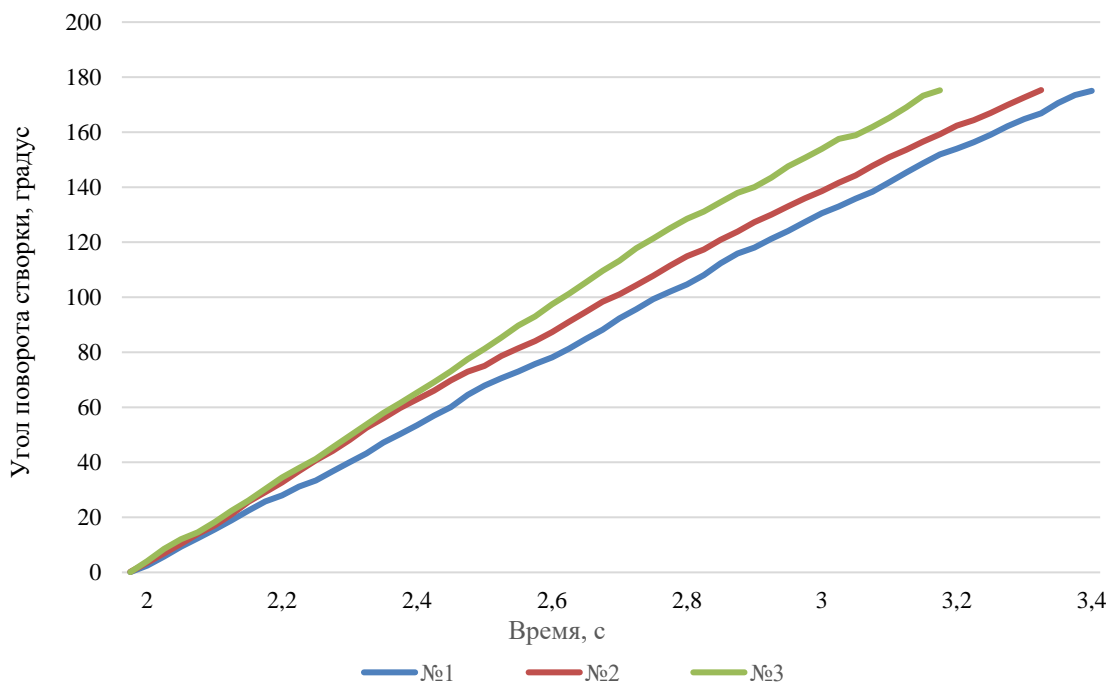


Рисунок 10. – Графики изменения угла поворота воротного полотна при вскрытии запорных устройств № 1, 2 и 3

Заключение

В результате экспериментальных исследований определены значения максимально избыточного давления дефлаграционного взрыва в камере, давления вскрытия запорных устройств и изменения угла поворота полотен ворот. Полученные результаты свидетельствуют, что применение ворот в качестве вращаемых легкобрасываемых конструкций допустимо и зависит в первую очередь от характеристик воротных полотен, вида и крепления запорных устройств. В связи с тем что на данный момент в литературных источниках [1; 4] отсутствуют сведения об уравнениях, описывающих развитие взрыва при вскрытии запорных устройств ворот, возникает необходимость исследования механизма разрушения заклепок, разработки математической модели процесса вскрытия вращаемых ЛСК и сопоставления результатов экспериментальных исследований с расчетными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Годжелло, М.Г. Расчет площади легкобрасываемых конструкций для зданий и сооружений взрывоопасных производств / М.Г. Годжелло. – М.: Стройиздат, 1981. – 48 с.
2. Орлов, Г.Г. Легкобрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий / Г.Г. Орлов. – М.: Пожнаука, 2000. – 224 с.
3. Взрывные явления. Оценка и последствия: в 2 кн. / У. Бейкер [и др.]; под ред. Я.Б. Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. – Кн. 1. – М.: Мир, 1986. – 319 с.
4. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович [и др.]. – М.: Наука, 1980. – 478 с.

**Экспериментальные исследования по определению давления вскрытия
и изменения угла поворота вращаемых легкобрасываемых конструкций
при дефлаграционном взрыве топливовоздушной смеси**

**Experimental studies to determine the opening pressure and the change of rotation angle
of rotatable easy-to-reset structures during a deflagration explosion of an air-fuel mixture**

Волчецкая Елена Александровна

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

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

Email: petriko_lena@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6129-8216

Elena A. Volchetskaya

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

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

Email: petriko_lena@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6129-8216

Дунаев Александр Андреевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», отдел технических
средств и информационных технологий,
старший инженер-программист

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

Email: tsit@ucp.by

Aleksandr A. Dunaev

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Department of Technical Means and Information
Technologies, Senior Software Engineer

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

Email: tsit@ucp.by

Жамойдик Сергей Михайлович

кандидат технических наук, доцент

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

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

Email: zhamoidik.kii@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0407-5176

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, Professor

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

Email: zhamoidik.kii@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0407-5176

Зинкевич Геннадий Николаевич

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

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

Email: zingenna@mail.ru

Gennadiy N. Zinkevich

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

Email: zingenna@mail.ru

Иваницкий Александр Григорьевич

кандидат технических наук, доцент

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

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

Email: a.ivanitski@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1219-962X

Aleksandr G. Ivanitskiy

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, Senior Lecturer

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

Email: a.ivanitski@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1219-962X

**EXPERIMENTAL STUDIES TO DETERMINE THE OPENING PRESSURE
AND THE CHANGE OF ROTATION ANGLE OF ROTATABLE EASY-TO-RESET
STRUCTURES DURING A DEFLAGRATION EXPLOSION OF AN AIR-FUEL MIXTURE**

Volchetskaya E.A., Dunaev A.A., Zhamoydik S.M., Zinkevich G.N., Ivanitskiy A.G.

Purpose. Experimental determination of the magnitude of the excess pressure of the explosion in the room when opening the locking devices of rotatable easy-to-reset structures and the study of their behavior during the deflagration explosion in a confined volume.

Methods. At the test site of the Research Institute of Fire Safety and Problems of Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, the tests were carried out to determine the opening pressure of locking devices of rotating structures planned for use as easy-to-reset. A prototype gate with three options for fastening the locking device was used as the object of research.

Findings. In the course of the conducted experimental studies the values of the opening pressure of the locking devices and the change in the angle of rotation of the gate leaves during a deflagration explosion were determined. Based on the results of the analysis of data from experimental studies, the influence of the type and number of fasteners on the magnitude of the excess pressure of opening locking devices, as well as the rate of change in the angle of rotation of the rotating structure, was established.

Application field of research. The results of the studies carried out can later be used in the development of a mathematical model of the opening process of rotating easy-to-reset structures and of the methods for determining the opening pressure of locking devices of such structures, followed by amendments to the current technical regulatory legal acts of the system of fire safety regulation and standardization of the Republic of Belarus.

Keywords: explosion, overpressure, rotatable easy-to-reset structure, locking device, opening pressure.

(The date of submitting: January 13, 2023)

REFERENCES

1. Godzhello M.G. *Raschet ploshchadi legkosbrasyvayemykh konstruksiy dlya zdaniy i sooruzheniy vzryvoopasnykh proizvodstv* [Calculation of the area of easy-to-reset structures for buildings and structures of explosive industries]. Moscow: Stroyizdat, 1981. 48 p. (rus)
2. Orlov G.G. *Legkosbrasyvayemye konstruksii dlya vzryvozashchity promyshlennykh zdaniy* [Easy-to-reset structures for explosion protection of industrial buildings]. Moscow: Pozhnauka, 2000. 224 p. (rus)
3. Baker W.E., Cox P.A., Westine P.S., et al. *Vzryvnyye yavleniya. Otsenka i posledstviya* [Explosive phenomena. Assessment and consequences]: in 2 books, translation from English. Moscow: Mir, 1986. Book 1. 319 p. (rus)
4. Zel'dovich Ya.B. *Matematicheskaya teoriya goreniya i vzryva* [Mathematical theory of combustion and explosion]. Moscow: Nauka, 1980. 478 p. (rus)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБУВИ СПАСАТЕЛЕЙ-ПОЖАРНЫХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ И ОПЫТНОЙ НОСКЕ

Шумай С.М., Иванов Ю.С., Старовойтов А.А., Шатилов Ю.С.

Цель. Оценить функциональность специальной защитной обуви, связанную с необходимостью обеспечения безопасности при работе, комфорта в носке и эргономичности.

Методы. Проведение эксплуатационных испытаний специальной защитной обуви, включающих непосредственно эксплуатационные испытания и опытную носку при тушении пожаров и выполнении аварийно-спасательных работ.

Результаты. Эксплуатационные испытания дополнили характеристики обуви, определенные при проведении лабораторных исследований, и позволили оценить качество обуви в условиях реальной эксплуатации. По результатам эксплуатационных испытаний определена конструкция обуви с улучшенными эксплуатационными свойствами по влагонепроницаемости и стойкости к механическим повреждениям.

Область применения исследований. Результаты проведенных исследований использованы при разработке образцов специальной защитной обуви спасателей-пожарных облегченной конструкции, предназначенных для защиты ног от механических воздействий, теплового потока, агрессивных сред и воды, а также неблагоприятных климатических воздействий при проведении работ по тушению пожаров и аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: специальная защитная обувь спасателя-пожарного, экипировка, эксплуатационные испытания.

(Поступила в редакцию 6 января 2023 г.)

Введение

Опыт ликвидации чрезвычайных ситуаций последнего времени показывает, что успех боевой работы достигается не только за счет создания и оснащения органов и подразделений высокоэффективными образцами пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательной техники, но и путем совершенствования экипировки спасателя-пожарного, комплектов взаимосвязанных элементов его защиты от различных опасных факторов, а также вспомогательного оборудования.

В МЧС постоянно ведется работа по совершенствованию и модификации экипировки с учетом специфики выполняемых подразделениями задач, с учетом необходимости повышения уровня безопасности, улучшения маневренности, комфорта и удобства эксплуатации, возможности применения в различных климатических условиях, а также совместимости с другим аварийно-спасательным оборудованием и снаряжением. Анализ показывает, что это позволяет выполнять поставленные задачи с меньшим риском для здоровья и в более комфортных условиях, что способствует повышению эффективности деятельности подразделений.

Для реализации данной задачи разработана Концепция создания перспективной экипировки (далее – Концепция), целью которой является объединение наработок в области увеличения производительности и эффективности отдельно взятого спасателя-пожарного на основе современных технологических достижений с помощью использования усовершенствованной специальной защитной одежды и снаряжения [1].

Концепция предполагает оснащение спасателя-пожарного специальной экипировкой, которая уменьшит физическую и психологическую нагрузку и тем самым сведет стресс и риски человеческого фактора при работе в условиях чрезвычайной ситуации

к минимуму и оптимизирует эффективность проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ. Ее реализация повысит уровень готовности органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь к действиям по обеспечению эффективного реагирования на чрезвычайные ситуации.

Концепция основана на соблюдении трех принципов (составляющих):

- 1) защита – применение средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ) с установленными требованиями безопасности, соответствующих данным требованиям;
- 2) эргономичность – применение СИЗ с улучшенными антропометрическими и гигиеническими свойствами;
- 3) экономичность – обеспечение необходимой функциональности при заданных ограничениях на стоимость создания и эксплуатации.

Соблюдение указанных принципов (составляющих) направлено на повышение эффективности ликвидации чрезвычайных ситуаций путем решения следующих задач:

- снижение нагрузки на спасателя-пожарного за счет уменьшения массы СИЗ, расширения размерного ряда, использования конструкции СИЗ, не мешающей выполнению работ;
- расширение защитных функций отдельных СИЗ;
- снижение объемов вывозимого снаряжения;
- внесение изменений в тактику ликвидации чрезвычайных ситуаций с учетом особенностей новых СИЗ для обеспечения более безопасных условий работы.

Для оценки качества и возможности применения современных элементов экипировки спасателей-пожарных в соответствующих технических нормативных правовых актах определены технические требования, которые должны подтверждаться результатами лабораторных испытаний. Вместе с тем лабораторные испытания часто не позволяют в полном объеме оценить эксплуатационные характеристики элементов экипировки и их возможное поведение в боевых условиях. Такого рода оценку позволяют, как правило, сделать результаты эксплуатационных испытаний. Проведение эксплуатационных испытаний элементов экипировки спасателей-пожарных является важным элементом оценки ее защитных свойств.

Функциональность защитной экипировки связана с необходимостью обеспечения безопасности при работе, ее комфортности в носке и эргономичности. Специальная защитная обувь как элемент защитной экипировки может оказывать на стопу значительную тепловую нагрузку. Анализ показателей качества, предъявляемых к кожаной обуви, показал, что наиболее важными эксплуатационными характеристиками специальной защитной обуви будут ее защитные свойства.

Основными показателями для проведения опытной эксплуатации обуви спасателя-пожарного будут эргономичность (удобство и скорость надевания, комфорт при выполнении специальных заданий), а также обеспечение основных защитных свойств при выполнении работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций (влагозащита, теплозащита и защита от механических повреждений).

Эксплуатационные испытания, в свою очередь, дополняют характеристики обуви, определенные при проведении лабораторных исследований, и позволят оценить ее качество в условиях реальной эксплуатации.

С учетом международного опыта в проведении эксплуатационных испытаний, отраженного в стандартах ГОСТ Р 12.4.295-2017¹ и EN ISO 20344-2021², нами разработана программа и методика проведения эксплуатационных испытаний средств индивидуальной защиты ног пожарного.

¹ Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты ног. Методы испытаний: ГОСТ Р 12.4.295-2017. – Введ. 26.12.17. – М.: Стандартинформ, 2018. – 58 с.

² Personal protective equipment – Test methods for footwear [Electronic resource]: EN ISO 20344:2021. – Mode of access: <https://www.iso.org/ru/standard/73221.html>. – Date of access: 03.11.2022.

Основная часть

Эксплуатационные испытания специальной защитной обуви проводятся в 2 этапа и включают эксплуатационные испытания и непосредственно опытную носку при тушении пожаров и выполнении аварийно-спасательных работ, не связанных с тушением пожара.

Испытания проводят в рамках практико-теоретических занятий, тактико-специальных занятий, а также во время несения боевого дежурства работниками органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям.

К проведению испытаний допускаются лица, имеющие практический опыт проведения испытаний или тушения пожаров, со стажем работы в органах и подразделениях Министерства по чрезвычайным ситуациям не менее трех лет и допущенные по состоянию здоровья.

Эксплуатационные испытания проводятся в целях:

- определения фактических защитных и эргономических свойств специальной защитной обуви;
- установления с целью дальнейшей корректировки конструктивных особенностей специальной защитной обуви, снижающих эргономические и защитные свойства;
- сравнения специальной защитной обуви различных марок и производителей.

Испытания проводят путем выполнения работниками комплекса упражнений (работ). Последовательность выполнения упражнений (работ) определяют в соответствии с программой испытаний.

Этапы выполнения эксплуатационных испытаний включают:

- предварительный осмотр;
- удобство надевания;
- комфортность и удобство при выполнении работ и упражнений;
- оценку водонепроницаемости;
- устойчивость к воздействию открытого пламени (имитация нахождения в очаге пожара);
- устойчивость к прокалыванию.

При **предварительном осмотре** дается оценка конструктивной составляющей обуви, а также оценка на предмет отсутствия острых и жестких краев и других элементов, способных привести к повреждению кожи и вызвать дискомфорт при носке.

Удобство надевания определяется при сдаче норматива № 1 по пожарной аварийно-спасательной подготовке и боевому развертыванию для работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Дается оценка удобству и скорости надевания обуви, которое должно выполняться без посторонней помощи. Фиксируется время надевания каждой пары. Каждый задействованный работник должен выполнить норматив на время 3 раза. В отчете указываются все результаты времени надевания обуви, а также фиксируются замечания работника по удобству надевания и комфортности.

Оценка комфортности и удобства дается по результатам выполнения следующих работ и упражнений:

- спокойная ходьба – 2 мин;
- ходьба с переноской груза – 5 мин;
- подъем по штурмовой лестнице в окно 4-го этажа учебной башни – каждый испытуемый выполняет упражнение по 2 раза;
- норматив № 10 «Сбор и выезд отделения по сигналу “Тревога!”» – каждый испытуемый выполняет упражнение по 2 раза;
- боевое развертывание – упражнение выполняется 3 раза.

По результатам испытаний проводится анкетирование и дается общая оценка комфортности и удобства обуви.

Испытание по **оценке водонепроницаемости** обуви заключается в прохождении испытуемым определенного количества шагов в ванне, заполненной водой до установленной глубины. Водонепроницаемость оценивают визуальным и органолептическим способами. Если проникновение воды произошло, обозначают его местоположение и площадь.

Испытательное оборудование – горизонтальная водонепроницаемая ванна (рис. 1).

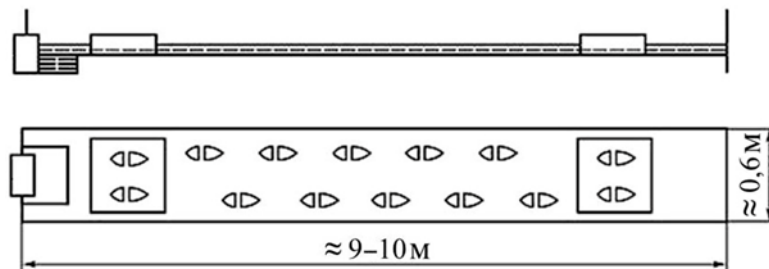
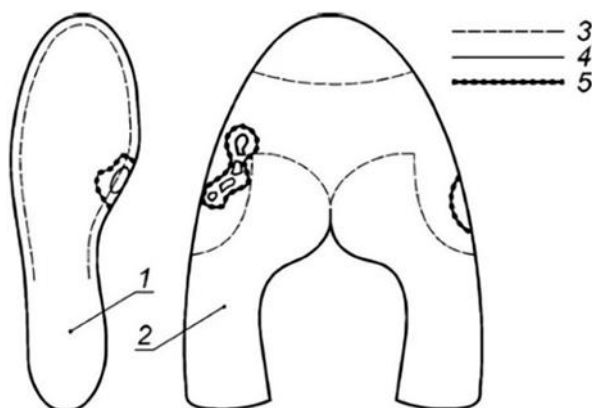


Рисунок 1. – Схема горизонтальной водонепроницаемой ванны

Ванна по краям должна быть оснащена платформами, находящимися выше уровня воды и позволяющими испытуемому делать разворот для следующего прохода. Длина ванны должна быть достаточной для того, чтобы испытуемый мог сделать 10 нормальных шагов в воде между платформами. Ширина ванны – не менее 0,6 м.

Платформы размещают в ванне так, чтобы испытуемый сделал 11 шагов нормальной длины от одного конца до другого (т.е. так, чтобы каждая нога наступала на дно ванны пять раз). Заполняют ванну водой на глубину (30 ± 3) мм. Убеждаются, что обувь абсолютно сухая. Для предотвращения захлестывания воды внутрь на верхнюю часть обуви надевают водонепроницаемые рукава. Испытуемый проходит в воде расстояние, равное 100 длинам ванны, используя платформы для разворота. Испытуемый идет в медленном темпе с предпочтительной скоростью один шаг в секунду. После прохождения расстояния, равного 100 длинам ванны, испытуемый выходит из ванны, аккуратно снимает обувь. Затем тщательно исследуют внутреннюю поверхность обуви (визуально и органолептически) для выявления признаков проникновения воды. Если проникновение произошло, обозначают его местоположение и площадь (рисунок 2 показывает примерную форму обозначения) для каждого испытуемого образца. Повторяют испытание с другими образцами.



1 – стелька; 2 – верх СИЗНП; 3 – швы на верху СИЗНП и стельке;
4 – место проникновения; 5 – область намокания

Рисунок 2. – Пример обозначения места проникновения и области намокания

Устойчивость обуви к воздействию открытого пламени (имитация нахождения в очаге пожара). Перед проведением испытания участники должны ознакомиться с методикой, а также убедиться, что обувь сухая снаружи и внутри. Испытания проводятся в присутствии как минимум одного ассистента для оказания помощи испытуемому в случае

необходимости. В непосредственной близости должны находиться первичные средства пожаротушения, медицинская аптечка.

Температура воздуха, при которой допускается проводить испытания, от -5 до $+25$ °С. Не допускается проводить испытания во время выпадения осадков, в противном случае место проведения испытания должно быть защищено навесом из негорючих материалов.

В квадратном металлическом поддоне с толщиной стенок ($5 \pm 0,5$) мм, внутренней длиной борта (500 ± 5) мм, высотой борта не менее ($50 \pm 0,5$) мм имитируется очаг пожара с помощью бруса деревянного сечением (40 ± 1) мм, длиной (480 ± 5) мм – 12 шт. на 1 испытание. В поддон укладывают брус и заливают бензином в количестве 3 л на 1 испытание. Содержимое поддона поджигают и выдерживают (300 ± 1) с. Испытатель поочередно левой и правой ногой ступает внутрь поддона на (5 ± 1) с в течение (300 ± 5) с.

Дается оценка комфортности нахождения в условиях имитации очага пожара. Фиксируются повреждения обуви (при их наличии).

Устойчивость обуви к прокалыванию. Перед проведением испытания участники должны ознакомиться с методикой. Испытания проводятся в присутствии как минимум одного ассистента для оказания помощи испытателю в случае необходимости. В месте проведения испытания должна находиться медицинская аптечка. Вес испытателя в экипировке не должен превышать 120 кг (нагрузка прокола кевларовой стельки одним гвоздем).

Из пиломатериала обрезного шириной (275 ± 5) мм, толщиной (25 ± 1) мм и длиной (1000 ± 5) мм и гвоздей диаметром ($4 \pm 0,2$) мм, длиной (50 ± 5) мм с конической шляпкой в количестве 72 шт. на 1 испытание изготавливают доску испытательную согласно схеме, представленной на рисунке 3.

Испытатель поочередно левой и правой ногой становится на испытательную доску в течение (300 ± 5) с.

Дается оценка комфортности при проведении испытания. Фиксируются повреждения обуви.

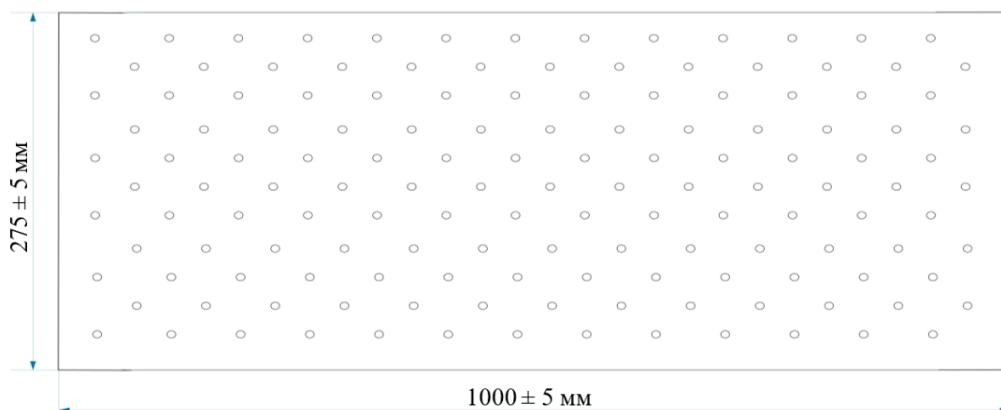


Рисунок 3. – Схема изготовления испытательной доски для определения устойчивости СИЗНП к прокалыванию

На рисунке 4 представлены испытания по оценке водонепроницаемости и устойчивости обуви к воздействию открытого пламени и прокалыванию.

Методика опытной носки в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям заключается в следующем. Пара обуви выдается работнику ОПЧС для несения боевого дежурства. В процессе эксплуатации оцениваются следующие параметры: удобство бега, удобство подъема/спуска по лестничному маршу, удобство ходьбы с оборудованием, удобство приседания/принятия положения стоя на колене, удобство подъема по выдвижной лестнице/автолестнице, водонепроницаемость. Результаты опытной носки оцениваются путем анкетирования испытателей.



Рисунок 4. – Эксплуатационные испытания обуви

С целью выбора улучшенной конструкции специальной защитной обуви и оценки ее эргономических показателей организовано изготовление опытной партии в количестве 12 пар ботинок мужских с завышенными берцами специальных защитных пожарных производства ООО «Управляющая компания холдинга «Белорусская кожевенно-обувная компания «Марко», их опытная эксплуатация в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям и проведение лабораторных испытаний на соответствие требованиям ГОСТ 34734-2021³.

Данные исследования позволили выявить как положительные свойства разработки, так и отрицательные.

При предварительном осмотре установлено наличие выступающих элементов, а именно петель для дополнительной фиксации шнурков, что снижает обеспечение безопасности работника при аварийно-спасательных работах (разборка завалов, расчистка маршрутов, устройство проездов к завалам и т.д.).

По удобству надевания замечания испытателей отсутствовали.

Оценка комфортности и удобства при выполнении работ и упражнений выявила необходимость уменьшения обхвата обуви в районе голени для лучшего прилегания обуви и лучшей фиксации на ноге.

Оценка водонепроницаемости опытных образцов по методике эксплуатационных испытаний показала наличие протекания воды примерно у половины испытанных полупар.

³ Средства индивидуальной защиты ног пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний: ГОСТ 34734-2021. – Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 24.01.21. – Введ. 01.07.24. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 20 с.

Испытания на устойчивость к воздействию открытого пламени (имитация нахождения в очаге пожара) и проколу образцы обуви выдержали без замечаний.

Результаты опытной носки представлены на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5. – Эксплуатационные испытания обуви

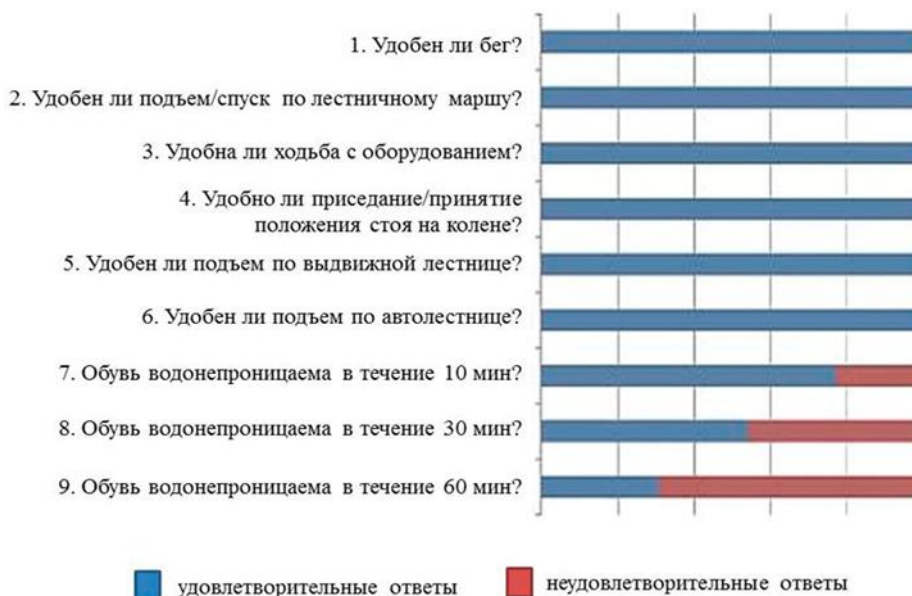


Рисунок 6. – Эксплуатационные испытания обуви

Заключение

По отзывам, полученным в ходе эксплуатационных испытаний, а также по результатам испытаний на соответствие стандарту ГОСТ 34734-2021 сделаны выводы о необходимости:

– уменьшить обхват обуви в районе голени для лучшего прилегания обуви и лучшей фиксации на ноге;

– минимизировать наличие выступающих элементов для обеспечения безопасности работника при аварийно-спасательных работах (разборка завалов, расчистка маршрутов, устройство проездов к завалам и т.д.);

– улучшить водонепроницаемые свойства обуви;

– увеличить внутренний безопасный зазор в носочной части обуви при деформации в момент удара.

Результаты опытной эксплуатации, включающей эксплуатационные испытания и опытную носку при тушении пожаров и выполнении аварийно-спасательных работ, не связанных с тушением пожара, позволили определить конструкцию обуви с улучшенными эксплуатационными свойствами по влагонепроницаемости и стойкости к механическим повреждениям.

По результатам исследований совместно с УП «Вердимар» подготовлено техническое описание на ботинки кожаные специальные пожарные модель 490011 (ГО ВУ 29119354.064-2020) облегченной конструкции, предназначенные для защиты ног спасателя-пожарного от механических воздействий, теплового потока, агрессивных сред и воды, а также от неблагоприятных климатических воздействий при проведении работ по тушению пожаров и аварийно-спасательных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, Ю.С. Концепция создания перспективной экипировки пожарного-спасателя / Ю.С. Иванов, О.Д. Навроцкий, Я.А. Романенко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2017. – № 1 (41). – С. 138–142. – EDN: YSOZXP.

Исследование характеристик специальной защитной обуви спасателей-пожарных при эксплуатационных испытаниях и опытной носке

Investigation of the characteristics of special protective footwear for rescuers-firefighters during operational tests and experimental wear

Шумай Сергей Михайлович

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, начальник института

Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, г. Минск, Беларусь

Email: niipb@mchs.gov.by
ORCID: 0000-0002-0074-1584

Sergey M. Shumay

Institution «Scientific and Research Institute of Fire Safety and Emergency Situations» of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus,
Head of the Institute

Address: Soltysa str., 183a,
220046, Minsk, Belarus

Email: niipb@mchs.gov.by
ORCID: 0000-0002-0074-1584

Иванов Юрий Сергеевич

кандидат технических наук

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, первый заместитель начальника института

Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, г. Минск, Беларусь

Email: ivanov@112.by
ORCID: 0000-0002-6548-9922

Yuriy S. Ivanov

PhD in Technical Sciences

Institution «Scientific and Research Institute of Fire Safety and Emergency Situations» of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus,
First Deputy Head of the Institute

Address: Soltysa str., 183a,
220046, Minsk, Belarus

Email: ivanov@112.by
ORCID: 0000-0002-6548-9922

Старовойтов Андрей Александрович

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, научно-исследовательский центр в области ликвидации чрезвычайных ситуаций, начальник центра

Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, г. Минск, Беларусь

Email: and_star1979@mail.ru
ORCID: 0000-0003-2660-6599

Andrey A. Starovoytov

Institution «Scientific and Research Institute of Fire Safety and Emergency Situations» of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Research Center in the Field of Emergency Elimination,
Head of the Center

Address: Soltysa str., 183a,
220046, Minsk, Belarus

Email: and_star1979@mail.ru
ORCID: 0000-0003-2660-6599

Шатилов Юрий Сергеевич

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, отдел исследований средств и технологий ликвидации чрезвычайных ситуаций, начальник отдела

Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, г. Минск, Беларусь

Email: ushatilov@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8687-9989

Yuriy S. Shatilov

Institution «Scientific and Research Institute of Fire Safety and Emergency Situations» of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Department of Research of Means and Technologies for Emergency Elimination,
Head of the Department

Address: Soltysa str., 183a,
220046, Minsk, Belarus

Email: ushatilov@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8687-9989

**INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF SPECIAL PROTECTIVE
FOOTWEAR FOR RESCUERS-FIREFIGHTERS DURING OPERATIONAL TESTS
AND EXPERIMENTAL WEAR**

Shumay S.M., Ivanov Yu.S., Starovoytov A.A., Shatilov Yu.S.

Purpose. To evaluate the special protective boots functionality that related to the need to ensure safety, comfort and ergonomics during work.

Methods. Carrying out operational tests of special protective boots including direct operational tests and experimental wearing during extinguishing fires and performing rescue operations.

Findings. Operational tests completed the characteristics of boots, that was determined in laboratory studies, and allowed to evaluate the quality of boots in real use. Based on the results of operational tests, a shoe design with improved performance properties in terms of moisture resistance and resistance to mechanical damage was determined.

Application field of research. The results of the research were used in the development of samples of special protective footwear for rescuers-firefighters of lightweight design aimed at protecting the legs from mechanical stress, heat flow, aggressive media and water, as well as adverse climatic influences during fire extinguishing and rescue operations.

Keywords: special protective boots of firefighter, equipment, operational tests.

(The date of submitting: January 6, 2023)

REFERENCES

1. Ivanov Yu.S., Navrotsky O.D., Romanenko Ya.A. Kontseptsiya sozdaniya perspektivnoy ekipirovki pozharnogo-spasatelya [The concept of creating advanced equipment of a firefighter-rescuer]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2017. – No. 1 (41). – Pp. 138–142. (rus). EDN: YSOZXP.

МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ОГNETУШАЩЕЙ ПЕНЫ В СЛОЕ НЕФТЕПРОДУКТА

Смиловенко О.О., Малащенко С.М., Абрамович А.О.

Цель. Прогнозирование эффективности тушения пожаров подслоинным методом в резервуарах с нефтепродуктами путем расчета времени всплытия пены для резервуаров различных объемов.

Методы. В исследовании использован теоретический метод математического моделирования процесса подъема огнетушащей пены в горючей жидкости, а также экспериментальный метод, заключающийся в наблюдении и измерении параметров процесса в специально созданных контролируемых условиях.

Результаты. Разработанная математическая модель дает возможность прогнозирования времени подъема пены путем математических вычислений с использованием коэффициента подъема пены в зависимости от плотности пены, плотности жидкости, находящейся в резервуаре, и высоты резервуара.

Область применения исследований. Расчет времени тушения пожара в резервуарах с нефтепродуктами позволит уменьшить вероятность распространения пожара на соседние резервуары и снизить неоправданный расход огнетушащих средств.

Ключевые слова: резервуар, огнетушащая пена, подслоинный метод тушения нефтепродуктов, время тушения, математическая модель.

(Поступила в редакцию 6 октября 2022 г.)

Введение

Резервуары занимают лидирующее место по хранению нефти и нефтепродуктов и остаются наиболее пожароопасными объектами, аварии на которых приводят к значительному экономическому и экологическому ущербу.

На территории Беларуси находятся резервуары самых разнообразных конструктивных решений. Всего на территории республики более 700 резервуаров общим объемом около 1,5 млн м³. Стальные наземные резервуары емкостью до 5000 м³ используются для хранения нефтепродуктов. Такие резервуары наиболее часто применяют для складских целей на территории Республики Беларусь. По нормативам СНБ 3.02.01-98¹ не требуется оборудовать такой тип резервуаров стационарными устройствами пожаротушения.

При возникновении пожара тушение производится подачей пены средней кратности на поверхность нефтепродукта от мобильной пожарной техники (рис. 1). Пена производится генератором пены. Однако генераторы пены не могут подавать ее на расстояние, которое бы обеспечило безопасность персонала, занятого на тушении.

Анализ ситуации, складывающейся при тушении пожаров в резервуарах штатными средствами и способами, показывает необходимость использования новых систем тушения пожаров, обладающих высокой огнетушащей эффективностью и меньшим риском для персонала, занятого в тушении. Применение пены низкой кратности позволяет использовать подслоинный способ тушения, который является наиболее безопасным для пожарного расчета [1]. Подслоинный способ тушения пожаров в резервуарах с нефтепродуктами активно внедряется в зарубежных странах, а также в России и Беларуси.

¹ Склады нефти и нефтепродуктов: СНБ 3.02.01-98. – Введ. 01.01.99. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1998. – 55 с.



Рисунок 1. – Тушение пожаров в резервуарах от передвижной пожарной техники

Для подслоного тушения применяют пену из фторсодержащих пленкообразующих пенообразователей, что является необходимым условием для реализации данного способа тушения, т.к. такая пена меньше подвержена разрушению и насыщению парами углеводородов по сравнению с пеной, полученной на основе обычных пенообразователей. Пленка, образуемая из фторсодержащей пены, способствует быстрой изоляции от кислорода воздуха горячей поверхности, растекаясь по ней, т.к. имеет поверхностное натяжение ниже, чем поверхностное натяжение горючего вещества, хранящегося в резервуаре.

Оснащение существующих резервуаров системой автоматического пожаротушения может быть осуществлено только в период строительства или капитального ремонта, что влечет дополнительные финансовые вложения. Однако подача пены низкой кратности подслоным способом возможна не только через пенопроводы системы пожаротушения, но и через технологические коммуникации (нефтепродуктопроводы, линии размывки донных отложений), расположенные в нижней части резервуара. Для этой цели разработано и изготовлено устройство оперативной врезки (УОВИ) для выполнения отверстий в технологических коммуникациях и последующей подачи через него огнетушащей воздушно-механической пены низкой кратности в слой горючего [2].

Основная часть

Эксперимент по исследованию подъема огнетушащей пены в горючей жидкости. При подслоном тушении пожара в резервуаре время тушения можно условно разделить на два этапа. Первый этап – это подъем пены через слой жидкости, которой заполнен резервуар, а второй – растекание пены по поверхности этой жидкости и прекращение горения за счет создания изолирующего слоя, перекрывающего доступ кислорода в зону пожара. Второй этап – растекание пены по поверхности нефтепродукта – достаточно хорошо изучен и описан. Скорость растекания пены может быть определена по формулам, приведенным в трудах В.В. Шароварникова. Что касается процесса подъема пены в жидкости, то он исследован мало, хотя по продолжительности сопоставим с растеканием пены по поверхности.

Проведен эксперимент по подъему пены, для которого была разработана и собрана экспериментальная стендовая установка (рис. 2 и 3). В состав стенда входит: герметичная емкость 1 для сбора и хранения пены; эластичная трубка 2 для подвода пены от емкости для сбора под слой жидкости; эластичная трубка 3 для подачи воздуха от компрессора; резервуар 4 объемом 50 дм³, высота которого составляет 0,5 м; компрессор 5; кран 6, открывающий и перекрывающий подачу пены. Давление воздуха на выходе из компрессора составляет (0,6±0,01) МПа при производительности от 0,2 до 1,0 дм³/с.

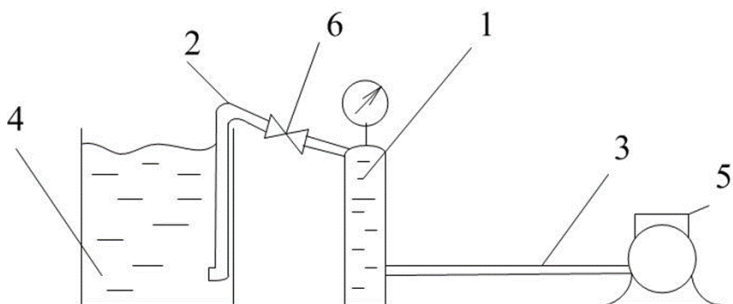


Рисунок 2. – Схема установки



Рисунок 3. – Экспериментальная установка

Методика эксперимента. Целью эксперимента является определение скорости подъема огнетушащей пены в жидкости и диаметра струи при ее подъеме.

Сущность эксперимента заключалась в следующем.

Раствор для получения пены был приготовлен из воды и пенкообразующего пенообразователя, в качестве которого использовали «Барьер-пенкообразующий», разработанный и произведенный в Республике Беларусь. Затем определяли кратность пены по методике, приведенной в ГОСТ Р 50588-2012². Опыт повторяли три раза.

Раствор пенообразователя приготавливали в заданной концентрации. После чего заливали этот раствор в емкость для сбора и хранения пены. После создания перед модельным генератором рабочего давления, которое фиксировали по манометру, открывали перекрывной кран. Подготовленную емкость объемом $10,0 \pm 0,1$ л заполняли пеной. Кратность пены – величина, равная отношению объемов пены и раствора пенообразователя (ГОСТ 4.99-83³).

Кратность пены K_n рассчитывали по формуле

$$K_n = V_n / V, \quad (1)$$

где V_n – объем пены, дм^3 ;

V – объем раствора пенообразователя, получившийся после оседания пены, дм^3 .

Данные трех опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Кратность пены при расходе $0,4 \text{ дм}^3/\text{с}$

№	Объем раствора пенообразователя после оседания пены, дм^3	Кратность пены
1	0,196	5,1
2	0,135	7,4
3	0,217	4,6

Как видно из результатов эксперимента, показатели кратности пены существенно отличаются даже при одинаковых давлениях компрессора, характеристиках генератора пены и концентрациях рабочего раствора. Пена является нестабильной субстанцией, что от-

² Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 50588-2012. – Введ. 01.09.12. – М.: Стандартинформ, 2012. – 29 с.

³ Система показателей качества продукции. Пенообразователи для тушения пожаров. Номенклатура показателей: ГОСТ 4.99-83. – Введ. 30.06.84. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 11 с.

мечено и в источниках. Выявить зависимость кратности (и плотности) пены от расхода не представляется возможным. Ориентироваться в этом случае возможно только на паспортные данные оборудования.

Далее приступали к выполнению эксперимента по подъему пены в слое жидкости. Резервуар заполнили бензином, предварительно определив его плотность – 759 кг/м^3 . В емкости для сбора пены создавали давление $0,6 \text{ МПа}$, его контролировали манометром. Открывая перекрывной кран, выпускали пену из емкости для сбора и хранения через трубопровод в резервуар, заполненный бензином. Выход пены из шланга осуществлялся в нижней части резервуара, имитируя процесс подслоного тушения. Когда пенный поток достигал поверхности жидкости, заполняющей резервуар, подачу пены прекращали, закрывая шаровой кран. Подъем пены в слое бензина регистрировали фотокамерой. Параметры эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Параметры эксперимента

Эксперимент	Расход, $\text{дм}^3/\text{с}$	Жидкость	Количество опытов
№ 1	0,4	бензин	3

На рисунке 4 представлены отдельные этапы подъема пены в резервуаре, заполненном бензином. На приведенных фотографиях границы передней стенки модельного резервуара совпадают с границами рисунка, задняя стенка резервуара – четкий прямоугольник, на фоне которого поднимается пена.

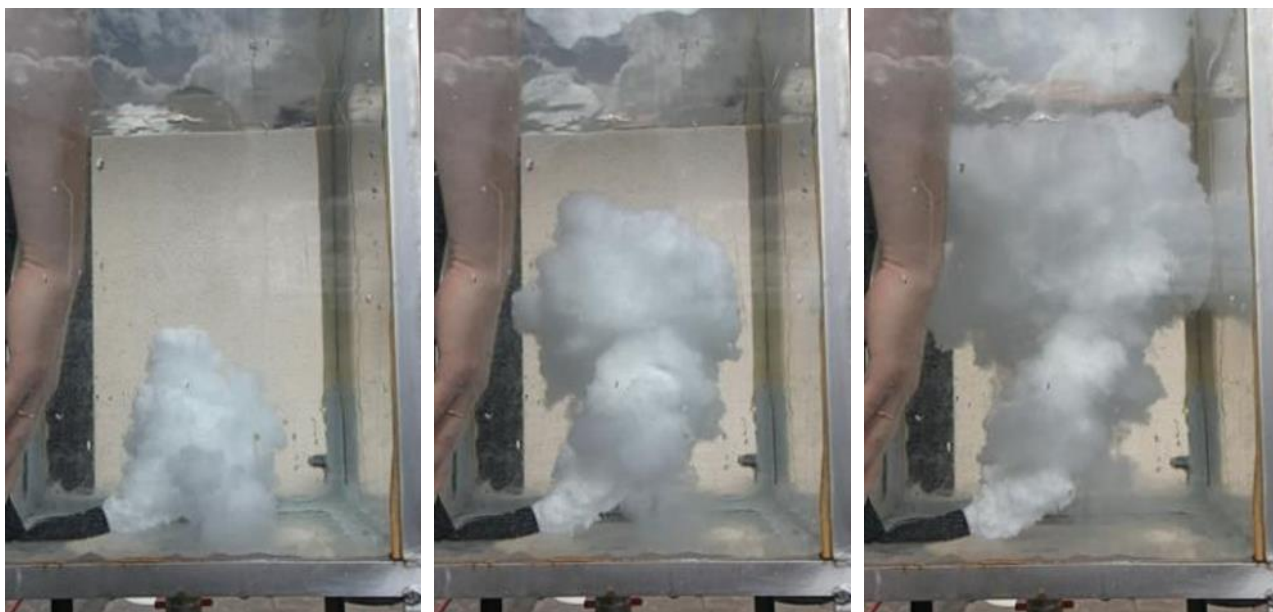


Рисунок 4. – Этапы подъема пены в жидкости (бензине)

Процесс подъема пены в небольшом резервуаре является кратковременным. Зарегистрировать его показатели путем прямых измерений не представляется возможным. Для определения таких характеристик, как диаметр верхнего основания поднимающегося конуса пены и скорость его подъема применен покадровый просмотр видеозаписи данного процесса. Для определения характеристик пены введены масштабные коэффициенты в ортогональных координатах, по вертикальной и горизонтальной осям. В выбранной системе координат начало отсчета выбрано в точке О (точка О, рис. 5). Таким образом, ордината совпадает с вертикальной стенкой резервуара, а абсцисса – с основанием трубопровода, т.е. шланга, из которого поступает в резервуар пена.

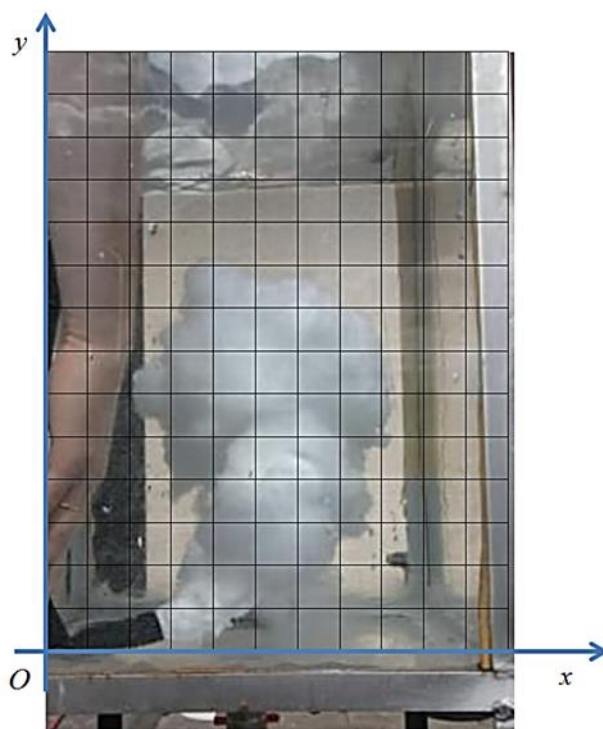


Рисунок 5. – Координатная сетка на фотографии резервуара

Чтобы получить данные по высоте подъема пены и диаметру верхней линзы пенного конуса, было найдено соотношение реальных размеров резервуара (высоты и ширины вертикальной стенки) и его графического изображения [3].

Вычислен коэффициент соответствия k_v вертикального размера резервуара h_p и размера его графического изображения по вертикали h_n по формуле

$$k_v = h_p / h_n. \quad (2)$$

Так как высота налива бензина в модельном резервуаре составляла 483 мм, вертикальный размер клетки на масштабной сетке графического изображения соответствует 37,14 мм высоты резервуара.

Вычислен коэффициент соответствия k_r горизонтального размера резервуара b_p и размера его графического изображения по горизонтали b_n по формуле

$$k_r = b_p / b_n. \quad (3)$$

Горизонтальный размер клетки на масштабной сетке графического изображения соответствует 28,18 мм ширины резервуара.

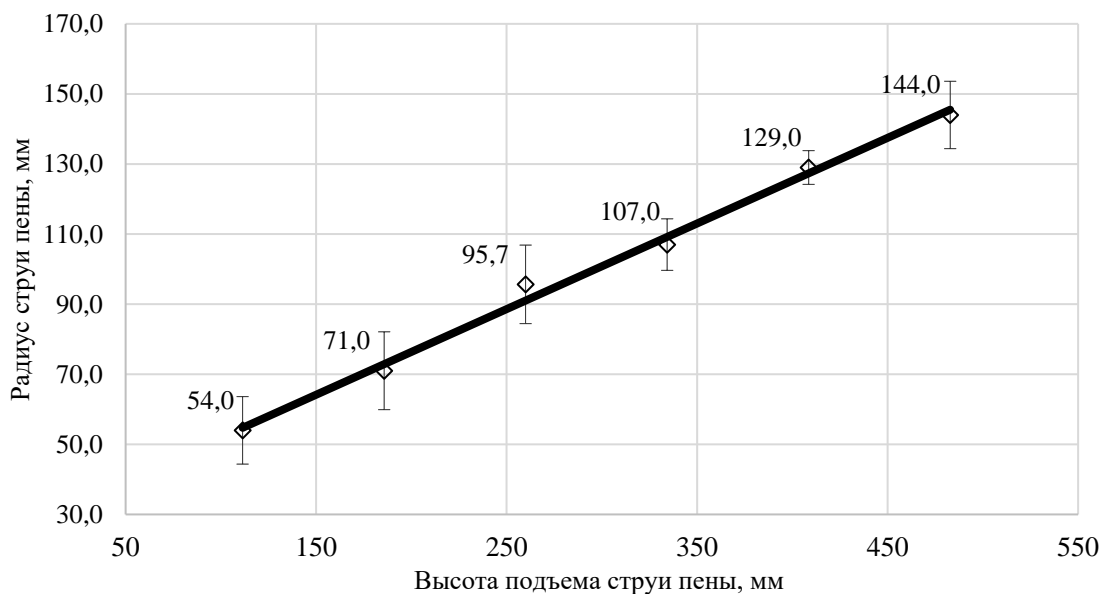
Для получения данных о диаметре конгломерата пены и скорости ее подъема проводили анализ и замеры графического изображения пены на этапах ее движения при достижении количества клеток на изображении 3; 5; 7; 9; 11; 13 и умножали соответствующее количество клеток на горизонтальный или вертикальный коэффициент.

Результаты эксперимента

Результаты эксперимента по определению радиуса верхней линзы – основания перевернутого конуса пены в бензине с плотностью 750 кг/м^3 при расходе $0,4 \text{ дм}^3/\text{с}$ приведены (среднее по результатам трех экспериментов) в таблице 3 и на рисунке 6. Погрешность измерения высоты подъема составляет 0,1 мм. Для радиуса струи пены вычислены доверительные интервалы, полуширины которых приведены в таблице 3 (третий столбец).

Таблица 3. – Результаты эксперимента по бензину при расходе 0,4 дм³/с

Отметка высоты (количество клеток)	Высота подъема, мм	Средний радиус струи, мм
3	111,4	54 ± 10
5	185,7	71 ± 11
7	260,0	97 ± 11
9	334,3	107 ± 7
11	408,5	129 ± 5
13	482,8	144 ± 10

Рисунок 6. – Зависимость радиуса верхнего основания перевернутого конуса пены от высоты подъема в бензине при расходе 0,4 дм³/с

Анализ движения пены при проведении эксперимента по ее подъему и визуализация этого процесса позволили разделить процесс движения пены на несколько этапов. Первый этап – это горизонтальный участок движения струи пены, выходящей с соответствующей установленной величиной расхода из трубы в резервуар, заполненный жидкостью. На некотором расстоянии от выхода в резервуар скорость пены падает до нуля и происходит накопление определенного объема пены. Второй этап – образование перевернутого конуса пены и подъем его верхнего основания до выхода на поверхность.

Конечно, упомянутые этапы не имеют четко очерченных и определенных геометрических и временных границ, однако повторяемость процесса при проведении эксперимента в воде и бензине с различными расходами позволяет отметить именно эти особенности. Длина горизонтального участка увеличивалась при подаче пены с большим (0,8 дм³/с) значением расхода, что соответствует большей горизонтальной скорости струи при одинаковом сечении трубопровода.

Зависимость величины радиуса верхнего основания конуса от высоты подъема аппроксимирована как линейная по уравнению

$$R = 0,244h + 27,502, \quad (4)$$

где R – радиус верхнего основания пенного конуса; h – высоты подъема струи.

Значение «0,244» в уравнении (4) представляет собой безразмерный коэффициент пропорциональности, назовем его коэффициентом подъема пены K . Этот коэффициент получен экспериментально при определенных значениях плотностей пены и жидкости, содержащейся в резервуаре, и может быть использован для расчета времени подъема пены в резервуарах различной высоты, если плотности пены и горючей жидкости близки к экспериментальным.

Разработка математической модели движения пены в слое нефтепродукта

Как видно из приведенных рисунков 4 и 5, верхняя часть поднимающейся пены может быть представлена в виде сферического сегмента («зонтика») и в вертикальной плоскости его движение является приблизительно установившимся. Нижняя часть конгломерата пены в виде конуса формируется постоянным подводом пены из генератора.

Согласно исследованиям Дж. Бэтчера [4, с. 585–587] в установившемся движении жидкости скорость подъема верхней сферической поверхности пенного пузыря вычисляется по формуле

$$v(h) = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}})}{\rho_{\text{ж}}} R(h)} \quad \text{или} \quad v(h) = 2\gamma \sqrt{R(h)}, \quad (5)$$

где $R(h)$ – радиус кривизны пузыря на высоте h , м;

$\rho_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{п}}$ – плотности жидкости и пены, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Отметим, что в формуле (4) величина

$$\gamma = \frac{1}{3} \sqrt{g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}})/\rho_{\text{ж}}} \quad (6)$$

является постоянной для конкретных жидкости и пены.

Данные проведенных экспериментов показали, что $R(h)$ линейно зависит от высоты подъема пузыря (рис. 6 и уравнение (4))

$$R(h) = Kh + R_0, \quad (7)$$

где K – безразмерный коэффициент пропорциональности;

R_0 – начальный радиус пенного пузыря.

С учетом (5) и (7) из основного соотношения $dh = v dt$ получим обыкновенное дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными

$$dh = 2\gamma \sqrt{Kh + R_0} dt,$$

проинтегрировав которое, найдем время подъема пенного пузыря на поверхность жидкости

$$t_{\text{под}} = \frac{1}{\gamma K} \left(\sqrt{KH + R_0} - \sqrt{R_0} \right),$$

где H – высота столба жидкости, м.

В силу (6) последнее выражение принимает вид

$$t_{\text{под}} = \frac{3\sqrt{\rho_{\text{ж}}}}{K\sqrt{g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}})}} \left(\sqrt{KH + R_0} - \sqrt{R_0} \right). \quad (8)$$

С учетом данных, полученных при экспериментальных исследованиях, значение коэффициента K составляет $K = 0,244 \pm 0,031$ (надежность доверительного интервала 0,95).

Прогнозирование времени подъема пены в резервуаре объемом 2000 м³. На основе разработанной математической модели построены зависимости времени подъема пены от высоты жидкости в резервуаре (рис. 7) и времени подъема пены от ее плотности (рис. 8). Начальный радиус R_0 при прогнозных расчетах принят равным радиусу технологического трубопровода, через который подается пена в резервуар. Следует отметить, что рассчитанное по математической модели время подъема пены в резервуаре объемом 2000 м³ получено близким к экспериментальному значению, которое приведено в источнике [1].

В вышеупомянутой статье приведено время подъема пены в воде (28–33 с), которое определено в ходе натурального эксперимента на учебном резервуаре РВС-2000, расположенном на территории полигона ПАСО-1 на объектах ОАО «Нафтан» и Новополоцкой ТЭЦ, при апробации подслоного способа тушения пожаров с помощью устройства оперативной врезки. Параметры резервуара РВС-2000 по СНБ 3.02.01-98⁴: диаметр – 15,2 м, высота – 12 м, радиус технологического трубопровода – 75 мм.

При прогнозных расчетах плотность бензина принята в области реальных значений, т.е. 750 кг/м³ (плотность бензина составляет 725–780 кг/м³ по ГОСТ 32513-2013⁵), а плотность пены – 250 кг/м³.

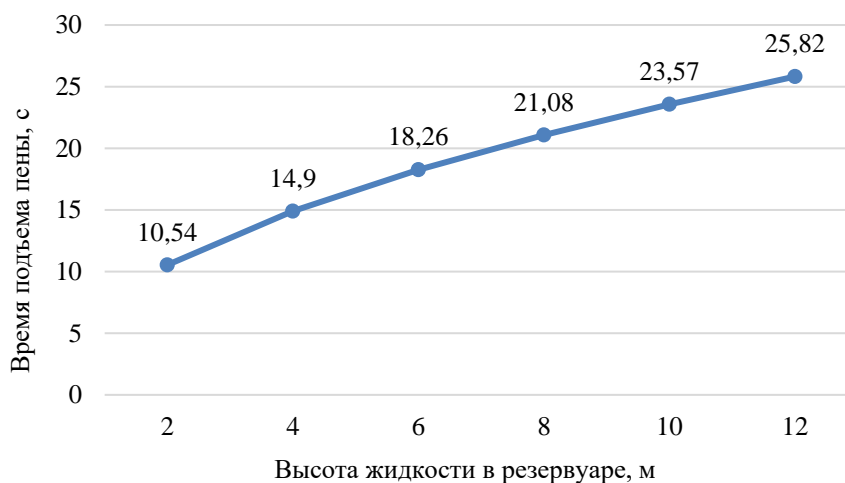


Рисунок 7. – Зависимость времени подъема пены от высоты жидкости в резервуаре

Так как имеются данные о подслоном тушении пеной с кратностью до 12, то и график зависимости времени подъема пены от ее плотности (рис. 8) охватывает такой диапазон изменения кратности. Выявлено, что время подъема пены отличается в среднем на 2 с при крайних значениях плотности огнетушащей пены. Таким образом, при прогнозировании времени тушения возможно ориентироваться на паспортные данные оборудования.

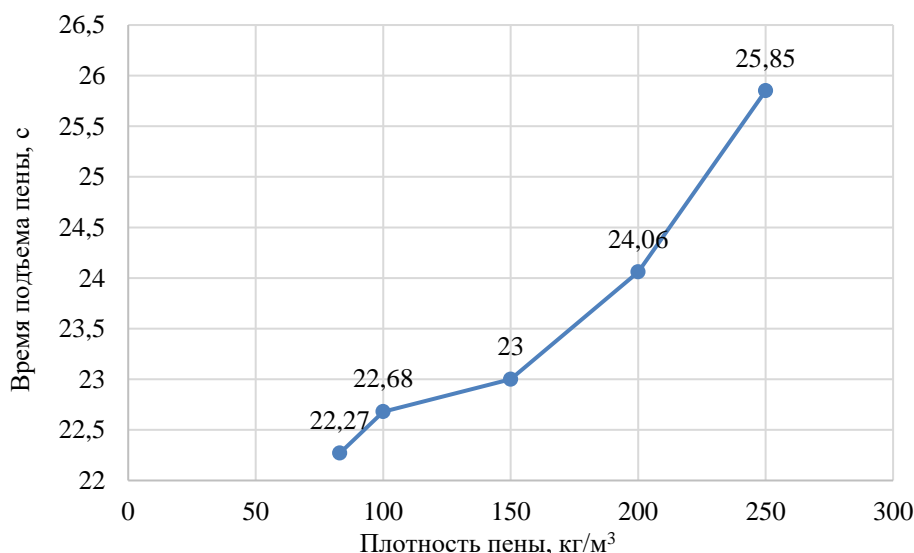


Рисунок 8 – Зависимость времени подъема пены от ее плотности

⁴ См. сноску 1.

⁵ Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия: ГОСТ 32513-2013. – Введ. 01.01.15. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.

Заключение

Анализ ситуации, складывающейся при тушении пожаров в резервуарах штатными средствами и способами, показывает необходимость использования новых систем тушения пожаров, обладающих высокой огнетушащей эффективностью и меньшим риском для персонала, занятого в тушении пожара. Альтернативным решением является подслоный способ тушения пожара, при котором низкократная пена подается по трубопроводу в нижнюю часть резервуара непосредственно в слой горючего.

Выполнены экспериментальные исследования по подъему пены в модельном резервуаре. Разработана методика проведения эксперимента и обработки данных наложением координатной сетки. Построена зависимость радиуса пенного конуса от высоты всплытия пены. Установлен коэффициент подъема пены $K = 0,244$, который может быть использован для расчета времени подъема пены в резервуарах различной высоты, если плотности пены и горючей жидкости близки к экспериментальным.

Разработана математическая модель движения пены при подслоном тушении резервуаров, включающая время подъема пены в резервуаре, высоту жидкости в резервуаре, плотность жидкости и плотность пены. Получена зависимость времени подъема от параметров пены и жидкости. С учетом данных, полученных при экспериментальных исследованиях, значение коэффициента K составляет $K = 0,244$. Подтверждена достаточно высокая степень сходимости теоретических и экспериментальных данных.

По разработанной математической модели возможно прогнозировать время подъема пены путем математических вычислений с использованием коэффициента подъема пены, выведенного по результатам эксперимента, в зависимости от плотности пены, плотности жидкости, находящейся в резервуаре, и высоты резервуара. Показано, что расчетное время подъема пены для резервуара РВС-2000 получено близким к экспериментальному, которое определено при натурном эксперименте.

Расчет времени тушения пожара в резервуарах с нефтепродуктами подслоным способом позволит снизить вероятность распространения пожара на соседние резервуары и снизить неоправданный расход огнетушащих средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минкин, Д.Ю. Повышение эффективности подслоного тушения резервуаров с нефтепродуктами / Д.Ю. Минкин, С.М. Малашенко, О.О. Смиловенко // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2016. – № 1 (37). – С. 47–55. – EDN: VWPVSH.
2. Малашенко, С.М. Устройство врезки в продуктопровод для подачи воздушно-механической огнетушащей пены в горящий резервуар / С.М. Малашенко, О.О. Смиловенко, В.К. Емельянов, О.В. Черневич // Bezpieczenstwo i technika pozarnicza. – 2014. – № 34. – С. 115–123. – DOI: 10.12845/bitp.34.2.2014.11. – EDN: SGWCZB.
3. Малашенко, С.М. Экспериментальное исследование процесса подъема огнетушащей пены в горючей жидкости / С.М. Малашенко, О.О. Смиловенко, Д.С. Миканович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2020. – № 1 (47). – С.236–244. – EDN: BVJTUT.
4. Бэтчелор, Дж. Введение в динамику жидкости / Дж. Бэтчелор; пер. с англ., под ред. Г.Ю. Степанова. – М.: Мир, 1973. – 778 с.

Модель движения огнетушащей пены в слое нефтепродукта
Model of movement of fire extinguishing foam in a layer of oil products

Смиловенко Ольга Олеговна

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
промышленной безопасности, профессор
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: olgasmilovenko@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1612-9573

Olga O. Smilovenko

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 Industrial Safety, Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: olgasmilovenko@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1612-9573

Малашенко Сергей Михайлович

Учреждение «Научно-исследовательский
институт пожарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций» Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики
Беларусь, отдел научно-технической
информации и маркетинга, начальник отдела
Адрес: ул. Солтыса, 183а,
220046, г. Минск, Беларусь
Email: n3889739@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5960-2415

Sergey M. Malashenko

Research Institute for Fire Safety and Problems
of Emergencies of the Ministry of Emergency
Situations of the Republic of Belarus,
Department of Scientific and Technical
Information and Marketing,
Head of Department
Address: Soltysa str., 183a,
220046, Minsk, Belarus
Email: n3889739@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5960-2415

Абрамович Алена Олеговна

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
техносферной безопасности, курсант
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: olgasmilovenko@gmail.com

Alena O. Abramovich

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Technosphere Safety Faculty, cadet
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: olgasmilovenko@gmail.com

MODEL OF MOVEMENT OF FIRE EXTINGUISHING FOAM IN A LAYER OF OIL PRODUCTS

Smilovenko O.O., Malashenko S.M., Abramovich A.O.

Purpose. Forecasting the effectiveness of extinguishing fires by the underlayer method in tanks with oil products by calculating the time of foam lifting for tanks of various volumes.

Methods. The study used a theoretical method of mathematical modeling of the process of lifting fire-extinguishing foam in a combustible liquid, as well as an experimental method which consists in observing and measuring process parameters under specially created controlled conditions.

Findings. The developed mathematical model makes it possible to predict the foam lifting time by mathematical calculations using the foam lifting coefficient depending on the density of the foam, the density of the liquid in the tank, and the height of the tank.

Application field of research. The calculation of the time for extinguishing a fire in tanks with oil products will reduce the likelihood of fire spreading to neighboring tanks and reduce the unjustified consumption of fire extinguishing agents.

Keywords: reservoir, fire-extinguishing foam, underlayer method of extinguishing oil products, extinguishing time, mathematical model.

(The date of submitting: October 6, 2022)

REFERENCES

1. Minkin D.Yu., Malashenko S.M., Smilovenko O.O. Povyszenie effektivnosti podsloynogo tusheniya rezervuarov s nefteproduktami [Improving the efficiency of subsurface extinguishing of tanks with oil products]. *Problems of risk management in the technosphere*, 2016. No. 1 (37). Pp. 47–55. (rus). EDN: VWPVSH.
2. Malashenko S.M., Smilovenko O.O., Emel'yanov V.K., Chernevich O.V. Ustroystvo vrezki v produktoprovod dlya podachi vozdušno-mekhanicheskoy oagnetushashchey peny v goryashchiy rezervuar [A device for cutting holes in the pipelines in order to supply a burning storage tank with air-mechanical firefighting foam]. *Bezpieczenstwo i technika pozarnicza*, 2014. No. 34. Pp. 115–123. (rus). DOI: 10.12845/bitp.34.2.2014.11. EDN: SGWCZB.
3. Malashenko S.M., Smilovenko O.O., Mikanovich D.S. Eksperimental'noe issledovanie protsessa pod"ema oagnetushashchey peny v goryuchey zhidkosti [An experimental study of the process of raising fire extinguishing foam in a combustible liquid]. *Emergency situations: prevention and elimination*, 2020. No. 1 (47). Pp. 236–244. (rus). EDN: BVJTUT.
4. Batchelor G.K. Vvedenie v dinamiku *zhidkosti* [An Introduction to Fluid Dynamics]: translation from English. Moscow: Mir, 1973. 778 p. (rus)

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ПО ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТЕ

Кобяк В.В., Бабич В.Е., Кессо В.В., Сак С.П., Скорупич И.С.

Цель. Разработать требования к многофункциональному тренажерному комплексу (далее – МТК) для подготовки спасателей-пожарных к действиям по ликвидации чрезвычайных ситуаций и последствий дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП) на легковом автомобильном транспорте с электроприводом.

Методы. Теоретический анализ.

Результаты. Представлен обзор способов тушения автомобильного транспорта с электроприводом, описаны основные требования к аппаратной и программной частям, предъявляемые к МТК по ликвидации чрезвычайных ситуаций и последствий ДТП на легковом электромобиле.

Область применения исследований. Результаты работы могут послужить базой для создания МТК по подготовке специалистов аварийно-спасательных служб к действиям по ликвидации последствий ДТП с участием легкового электромобиля.

Ключевые слова: электромобиль, аккумулятор, батарея, многофункциональный тренажерный комплекс, чрезвычайная ситуация, пожар, тушение.

(Поступила в редакцию 11 января 2023 г.)

Введение

Анализ в области инфраструктуры электротранспорта показал, что мировой тенденцией в настоящее время является переход на автомобили с электродвигателями. Этому переходу способствует энергоэффективность, более высокая производительность, сокращение выбросов парниковых газов и вредных веществ, снижение уровня загрязнения воздуха, оздоровление городской среды.

В 2018 г. по всему миру было продано около 1,3 млн транспортных средств (ТС) с электродвигателем (без учета гибридов)¹. С каждым годом электромобили набирали популярность, и уже к концу 2021 г. число их продаж составило около 16,5 млн единиц. По прогнозам Международного энергетического агентства, к 2030 г. мировой парк электромобилей может вырасти до 145 млн [1]².

Данные Министерства энергетики Республики Беларусь свидетельствуют о растущей популярности электромобилей среди автовладельцев. Так, в 2015 г. в стране насчитывалось 27 электромобилей, 2020 г. – около 1,6 тыс., 2022 г. – уже более 2 тыс.³ По данным ГАИ МВД, в сентябре 2022 г. количество зарегистрированных легковых электромобилей Беларуси уже превысило 3230 единиц и продолжает стремительно расти. По оценкам экспертов, к 2025 г. страна может приблизиться к отметке около 100 000 единиц электротранспорта, а к 2030-му примерно 20 % парка автомобилей белорусов будет на электротяге.

Наиболее распространенными моделями таких ТС являются: MITSUBISHI I-MIEV, NISSAN LEAF-1, NISSAN E-NV200, BMW i3 и i8, TESLA (все модели), CHEVROLET VOLT, AUDI E-TRON, BYD, CITROEN C-ZERO, FIAT 500, FORD FOCUS, GEELY GEOMETRY A и т.д.

¹ Электромобили (мировой рынок) [Электронный ресурс] // TAdviser: портал выбора технологий и поставщиков. – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электромобили_\(мировой_рынок\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Электромобили_(мировой_рынок)) – Дата доступа: 11.01.2023.

² К 2030 году в мире будет 145 млн электромобилей [Электронный ресурс] // Коммерсантъ: последние новости России и мира. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/4799230>. – Дата доступа: 11.01.2023.

³ Электротранспорт: стимулы начинают давать результат [Электронный ресурс] // Экономическая газета. – Режим доступа: <https://neg.by/novosti/otkrytj/elektrotransport-v-belarusi/>. – Дата доступа: 11.01.2023.

Ключевым фактором развития автотранспорта с электроприводом в Республике Беларусь являются современные мировые тенденции, направленные на электрификацию технических средств, а также принятие Указа Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы»⁴, постановления Совета Министров Республики Беларусь от 9 апреля 2021 г. № 213 «О Комплексной программе развития электротранспорта на 2021–2025 годы»⁵ и и утверждение Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 г. [2].

Утверждение Указа Президента Республики Беларусь от 12 марта 2020 г. № 92 «О стимулировании использования электромобилей» создало благоприятные условия для ввоза электротранспорта для личного пользования⁶. Данным Указом был предоставлен ряд налоговых льгот, действующих до 31 декабря 2025 г.: освобождение покупателей от взимания государственной пошлины при ввозе электромобилей на территорию Беларуси, применение к ввозимым электромобилям, предназначенным для личного пользования, нулевой ставки НДС, предоставление юридическим лицам права на применение инвестиционного вычета в размере 100 % от стоимости приобретенного электромобиля и 100 % от стоимости зарядных устройств и т.д.

Основная часть

Сегодня электрический автомобильный транспорт представляет интерес не только для потребителей нашей страны, но и для пожарных аварийно-спасательных подразделений. Данная техника несет особенности и новшества как конструктивного характера, так и технологического. В частности, необходим особый подход при тушении электрических ТС, при извлечении из них пострадавших в случае проведения аварийно-спасательных работ. При этом проведение данных работ связано с безопасностью как самих заблокированных пассажиров, так и спасателей. Это объясняется наличием аккумуляторов с особо опасными веществами и материалами, которые при горении могут выделять вредные газы, способные к воспламенению и взрыву, высоковольтного оборудования (силовые батареи) напряжением более 600 В, электродвигателей, инверторов и другого силового оборудования, представляющего опасность поражения электрическим током.

Установлено, что основные происшествия (возгорания) с электромобилями возникают как при движении, дорожно-транспортных происшествиях (ДТП), так и при стоянках, в том числе в местах зарядки.

В настоящее время проблемными вопросами по ликвидации последствий ДТП с участием электромобилей является отсутствие:

- нормативной базы (алгоритмов) ликвидации последствий ДТП;
- тренажерной базы по отработке действий работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям (далее – ОПЧС) по ликвидации чрезвычайных ситуаций с наличием электромобилей;
- образовательных программ по обучению и переподготовке лиц рядового и начальствующего состава ОПЧС в учебных заведениях МЧС Беларуси;

⁴ О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 7 мая 2020 г., № 156 // Официальный сайт Президента Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-no-156-ot-7-maya-2020-g>. – Дата доступа: 14.12.2022.

⁵ О Комплексной программе развития электротранспорта на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 9 апр. 2021 г., № 213 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22100213>. – Дата доступа: 14.12.2022.

⁶ О стимулировании использования электромобилей [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 12 марта 2020 г., № 92 // Официальный сайт Президента Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-92-ot-12-marta-2020-g-23228> – Дата доступа: 14.12.2022.

– информационно-технической поддержки и методических рекомендаций по ликвидации последствий ДТП с участием электромобилей.

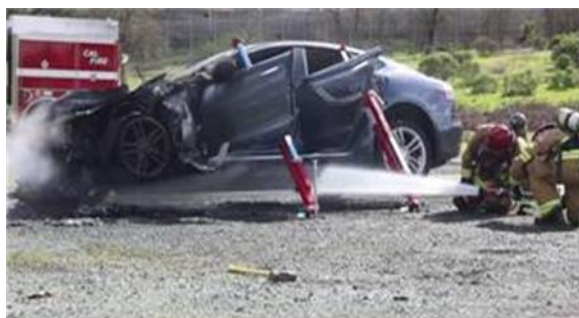
В отличие от автомобиля с двигателем внутреннего сгорания электромобиль, имеющий литий-ионную батарею, горит намного мощнее и дольше, соответственно, локализовать пожар сложнее. Легковой автомобиль сгорает за 5–10 мин, при этом языки пламени, как правило, не превышают 2 м в высоту и 1 м в ширину. С электромобилями сложнее: пламя во время возгорания литий-ионных аккумуляторных батарей электромобилей может достигать до 5–7 м. Также отметим, что испарения в процессе горения литий-ионных батарей намного более опасны, чем при сгорании обычного автомобиля, работающего на двигателе внутреннего сгорания. Температура горения литий-ионных батарей электромобилей достигает и 1300 °С.

При тушении электромобиля следует руководствоваться аварийными правилами производителя автомобиля. Возможные варианты тушения электромобиля:

- погружение в контейнер с водой;
- использование огнетушителей;
- укрытие электромобиля специальным противопожарным полотнищем, которое должно выдерживать температуру свыше 1500 °С;
- охлаждение и тушение обильным количеством воды и возможные другие альтернативные методы.

Кроме того, при транспортировке электромобилей, особенно поврежденных, их следует расценивать как груз повышенной опасности. Эвакуировать такое ТС следует только вертикальным способом, а буксировка запрещена, т.к. при вращении колес начинает вырабатываться электричество, которое в случае повреждения электромобиля может привести к его повторному возгоранию.

Процесс тушения в подавляющем большинстве случаев заключается в подаче на горящий электромобиль большого количества воды (от 5 до 15 т) и (или) погружении в специальную емкость с водой.



а – охлаждение силовой батареи



б – окунание в емкость с водой

Рисунок 1. – Способы тушения (охлаждения) силовой батареи

Однако в современной мировой практике пожаротушения существуют и другие способы борьбы с пожарами на данных ТС. Например, проблема трудного доступа к аккумуляторным элементам компанией Rosenbauer была решена разработкой пробивного ствола, который состоит из отдельных блоков пожаротушения и управления. Конструкция ствола позволяет спасателям-пожарным охлаждать аккумуляторные батареи с помощью воды и тушить возгорание с безопасного расстояния в 7 м (рис. 2).

В США для тушения электротранспорта применяют изолирующий раствор F-500 Encapsulator Agent ([F-500 EA] литий-ионный противопожарный раствор). Он представляет собой смачиватель, который при взаимодействии с водой быстро охлаждает, изолирует углеводороды и прерывает цепную реакцию свободных радикалов и, соответственно, подходит для тушения возгораний литий-ионных аккумуляторов (рис. 3). Ключом к прекращению возгорания литий-ионной батареи в данном случае является быстрый отвод тепла и прекращение реакции материалов электрода с другими компонентами батареи. Использо-

вание данного раствора позволяет сократить подачу воды на 20–25 % без повторного его возгорания. При этом он не является электрическим проводником пожарного ствола и 350-вольтовых литий-ионных автомобильных аккумуляторов [3].



Рисунок 2. – Использование пробивного ствола при пожаротушении электромобилей



Рисунок 3. – Устройство для подачи раствора F-500 Encapsulator Agent

На рисунке 4 представлен алгоритм ликвидации последствий ДТП на электротранспорте и отличительные особенности проведения данных работ на ТС с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

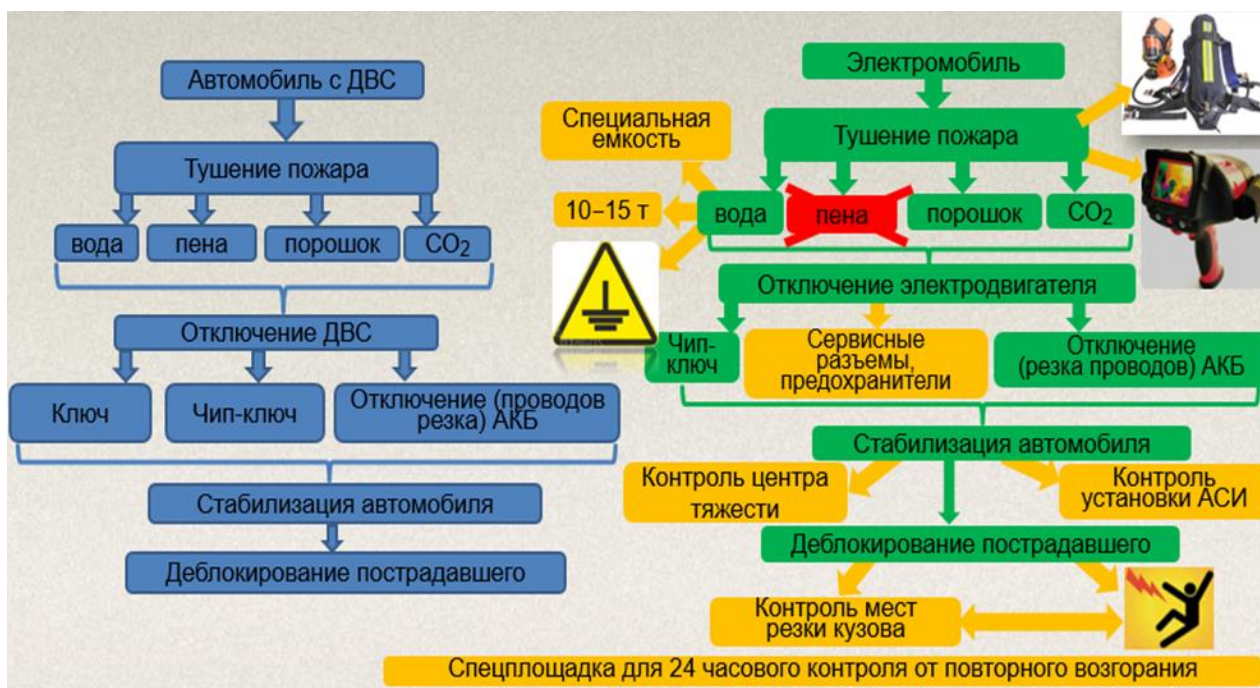


Рисунок 4. – Отличительные особенности тушения пожаров на электротранспорте и ТС с ДВС

Таким образом, основными проблемами при ликвидации последствий ДТП с электротранспортом являются:

- возможность поражения электрическим током (необходимость заземления приборов тушения и использования диэлектрического комплекта);
- возможность отравления продуктами горения (необходимость использования аппаратов на сжатом воздухе);
- использование тепловизора для определения нагрева силовой батареи;
- использование большого количества воды для охлаждения силовой батареи;
- необходимость хранения электромобиля в специально отведенных местах на протяжении 24 ч после ДТП для контроля возможного самовозгорания силовой батареи.

На сегодня самым распространенными в Беларуси среди легковых электромобилей является Nissan Leaf первого поколения, компоновка основных узлов и агрегатов которого представлена на рисунке 5.

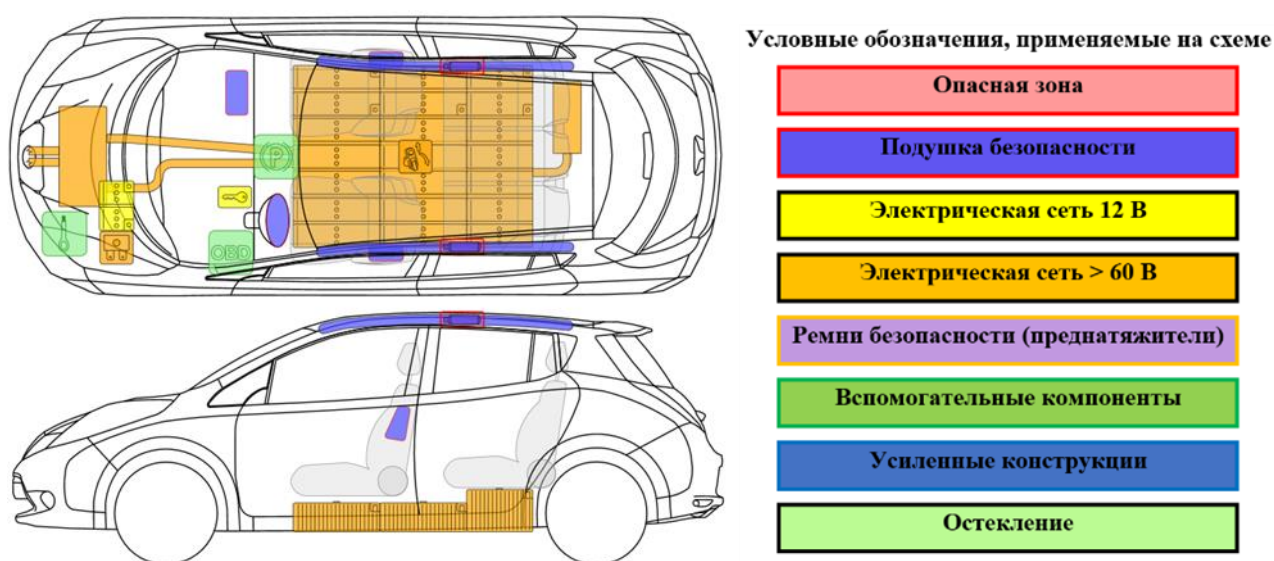


Рисунок 5. – Принципиальная схема автомобиля NISSAN LEAF (первое поколение)

Университетом гражданской защиты начата разработка тренажера для отработки навыков действий аварийно-спасательных работ с участием электротранспорта в рамках выполнения научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по заданию 9 «Разработать многофункциональный тренажерный комплекс для подготовки спасателей-пожарных к действиям по ликвидации чрезвычайных ситуаций на легковом автомобильном транспорте с электроприводом» государственной научно-технической программы «Современные технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» на 2021–2025 гг. За основу взяты шасси одной из наиболее распространенных в Беларуси моделей легкового автомобиля с электроприводом.

Благодаря многофункциональному тренажерному комплексу (МТК) обучающиеся смогут увидеть все опасные зоны, которые находятся в электромобиле: электродвигатель, инвертор, высоковольтные провода, силовые батареи и АКБ, сервисные разъемы и предохранители, а также другие компоненты, представляющие угрозу поражением электрическим током. При выполнении работ на таком тренажере предполагается наличие световой и звуковой индикации, сигнализирующей о правильности или ошибочности действий работников ОПЧС. При выполнении аварийно-спасательных и других видов работ будут отработаны все возможные варианты развития событий, которые могли бы произойти в случае ДТП, а поврежденный в ходе работы аварийно-спасательным инструментом автомобиль будет легко восстанавливаться для отработки навыков другими обучающимися.

Основные требования к аппаратной части МТК:

– возможность перестановки муляжей (в зависимости от модели электромобиля) силовых модулей, представляющих повышенную опасность поражения электрическим током (инверторы, конвекторы, литий-ионные аккумуляторы), в соответствии с общими принципами компоновки современных электромобилей;

– возможность изменения мест нахождения муляжей аккумуляторных батарей 12 В (далее – АКБ) и способов их отключения в зависимости от модели электромобиля;

– возможность визуализации мест нахождения сервисных разъемов и предохранителей в зависимости от модели электромобиля;

– возможность визуализации мест нахождения силовых электрических линий в зависимости от модели электромобиля, а также возможных цветов их окраски с возможностью их беспрепятственной замены после отработки действий по обесточиванию электромобиля;

– возможность индикации (световой и (или) звуковой) при отработке действий по обесточиванию транспортного средства, а именно при проведении процедуры по извлечению из автомобиля смартфона либо чип-ключа зажигания на безопасное расстояние и при обрезке электрических кабелей в установленных местах;

– обзор конструкции силовой батареи (из салона автомобиля);

– обзор конструкции электродвигателя;

– обзор конструкции инвертора;

– наличие буксировочного крюка для погрузки на эвакуатор;

– наличие исправной тормозной системы и стояночного тормоза;

– перемещение водительского и пассажирских сидений в горизонтальной плоскости с электрическим или механическим приводом;

– имитация возгорания, сопровождающегося задымлением, в различных местах (2–3 места) электромобиля (в подкапотном пространстве и салоне).

Общие требования к программному обеспечению МТК. Управление компонентом программного обеспечения МТК будет осуществляться на операционных системах Android и iOS. Содержащаяся в приложении информация будет оптимально краткой, содержать интуитивно понятные условные обозначения и необходимые ссылки с пояснениями. Иметь простую навигацию, учитывающую возможность использования приложения пожарными-спасателями в пути следования (т.е. элементы навигации должны быть читаемы и удобно расположены). Также данное мобильное приложение должно иметь возможность редактирования и загрузки материалов с учетом обновления и изменения модельного ряда ТС.

Базовое программное обеспечение будет включать:

– информацию о широком модельном ряде транспортных средств (MITSUBISHI I-MIEV, NISSAN LEAF, NISSAN E-NV200, BMW i3, TESLA (весь модельный ряд CHEVROLET VOLT, CHEVROLET SPARK и др.) с фотографией автотранспортного средства и годом выпуска модели;

– информацию о типе тяговой аккумуляторной батареи (литий-ионная, никель-металлогидридная и т.д) и о типе привода (электрический, гибридный, на топливных элементах);

– визуализацию автотранспортного средства в двухмерной и (или) трехмерной плоскостях. 3D-визуализация должна быть представлена двумя наиболее популярными транспортными средствами из предложенного ранее модельного ряда;

– встроенный голосовой помощник для работы с транспортным средством (поиск отдельных силовых элементов);

– возможность масштабирования всего транспортного средства и его отдельных элементов, представляющих практический интерес при работе с аварийно-спасательным оборудованием (места резки, установки домкратов и т.д.).

Требования к визуализации программного продукта. Для удобства пользователя программного обеспечения информация будет визуализирована в виде пиктограмм везде, где это возможно. Работающее на мобильном устройстве приложение будет включать следующие интерактивные блоки:

«Легенда» – информация об условных графических изображениях, применяемых в программном обеспечении;

«Технические характеристики транспортного средства» – информация о габаритах, массе, мощности силовой установки и т.д.;

«Идентификация транспортного средства» – эмблема электромобиля и другие признаки внешней и внутренней идентификации модели транспортного средства, идентификация модели транспортного средства по номеру государственной регистрации с помощью фотофиксации, идентификация типа батареи (химическое семейство, класс напряжения, расположение в автомобиле);

«Конструкция кузова транспортного средства» – выделение в цветовой гамме основных конструктивных элементов кузова (лонжероны, стойки, петли и замки дверей);

«Подушки безопасности» – информация о местах расположения всех подушек безопасности и преднатяжителей ремней;

«Стабилизация транспортного средства» – информация о местах размещения селектора переключения передач, ручного тормоза, разрешенные/запрещенные точки стабилизации-подъема электромобилей;

«Деактивация электроопасностей» – информация о наличии смарт-ключа, месте расположения замка зажигания, блоков предохранителей и сервисных разъемов, перекусывания проводов, зарядной розетки, расположения силовых электрических линий (послойно или с выделением в цветовой гамме), низковольтной цепи 12 В вместе с АКБ, оборудования, представляющего опасность поражения электрическим током (электродвигатель, инвертор, силовая батарея). Необходимо указать, осуществляется ли данный процесс с (без) использованием(-я) средств индивидуальной защиты;

«Доступ к пассажирам» – информация о местах открытия капота, багажника, регулировки рулевой колонки, водительского и пассажирских сидений, кнопки центральной блокировки дверей, нахождения дверных защелок, безопасного вскрытия и резки конструктивных элементов кузова (крыши, дверей, стоек кузова и т.д.);

«Действие спасателей» – информация о последовательном порядке (алгоритме) стабилизации транспортного средства, отключения прямых опасностей (основные способы и альтернативные методы отключения), проведении аварийно-спасательных работ при деблокировании пострадавших, при тушении транспортного средства, при погружении транспортного средства в специальную емкость с водой, при тушении транспортного средства, находящегося на зарядке (на специализированных станциях и в домашних условиях);

«Остекление транспортного средства» – информация о местах нахождения стекол транспортного средства и мест их резки (вскрытия), определения типа остекления (многослойное и закаленное);

«Буксировка/транспортировка» – информация о местах крепления/размещения буксирного крюка, способах буксировки/транспортировки и хранения электромобиля;

«Правила безопасности» – информация о соблюдении правил безопасности, отраженных в руководящих документах, при проведении аварийно-спасательных работ;

«Вопрос – ответ» – дополнительная информация, связанная с электротранспортом.

Алгоритм действий обучающихся при проведении занятий на МТК:

- 1) идентификация ТС;
- 2) стабилизация ТС;
- 3) приведение электрических приводов оборудования ТС в необходимое положение (стеклоподъемники, системы регулировки сидений);
- 4) отключение линий низкого и высокого напряжения ТС;

- 5) проведение деблокирования с учетом конструктивных особенностей ТС;
- 6) ликвидация возгорания;
- 7) проведение мероприятий по предотвращению возможного возгорания ТС.

Отработка данного алгоритма действий на МТК будет производиться в тесной связи с разрабатываемым приложением. Последовательность действий будет состоять из нескольких этапов.

На первом этапе с момента получения информации о ДТП обучающийся узнает данные о модели электромобиля и его техническом состоянии. До прибытия к месту вызова изучает аварийную карточку транспортного средства, которая находится на планшете или другом Android-устройстве (разрабатываемый программный продукт). В данной карточке в зависимости от модели электромобиля будет находиться информация о расположении основных его компонентов (тяговой батареи, инвертора, силовых кабелей, предохранителей, АКБ), местах аварийного отключения питания, а также местах непосредственного проведения работ по вскрытию конструктивных элементов транспортного средства для деблокирования пострадавших.

На втором этапе обучающийся будет отрабатывать алгоритм проведения аварийно-спасательных работ, включающий правильность стабилизации транспортного средства и отключение электропитания (снятие контактов с АКБ, обрезка провода минусовой клеммы, снятие предохранителей), имитацию работы с гидравлическим инструментом по деблокированию пострадавшего из салона транспортного средства.

Заключение

На основании анализа способов тушения и ликвидации последствий ДТП на ТС с электроприводом установлены требования (критерии) к аппаратным и программным частям МТК по подготовке специалистов аварийно-спасательных служб к действиям по ликвидации последствий ДТП с участием легкового электромобиля. Также разработан алгоритм действий обучающихся при проведении практических занятий на МТК при реализации программ получения общего высшего образования и в рамках программ переподготовки, повышения квалификации, обучающих курсов и курсов целевого назначения, реализуемых Университетом гражданской защиты и его филиалами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Global EV Outlook 2021. Accelerating ambitions despite the pandemic [Electronic resource] // Technology report of International Energy Agency. – France, April 2021. – 101 p. – Mode of access: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>. – Date of access: 14.12.2022.
2. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года [Электронный ресурс] // Министерство экономики Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObbugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf>. – Дата доступа: 14.12.2022.
3. F-500 Encapsulator Agent (EA) [Electronic resource] // Hazard Control Technologies. – Mode of access: <https://hct-world.com/products/chemical-agents/f-500-encapsulator-agent/>. – Date of access: 14.12.2022.

Разработка многофункционального тренажерного комплекса по ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий на электротранспорте

Development of a multifunctional training complex for the elimination of consequences of road accidents in electric transport

Кобяк Валерий Викторович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра ликвидации чрезвычайных ситуаций, доцент
Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: valkobkii@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5989-5465

Valeriy V. Kobyak

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 Emergency Elimination, Associate Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: valkobkii@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5989-5465

Бабич Виталий Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент
Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации» государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», начальник филиала
Адрес: д. Светлая Роща, 1, 222515, Борисовский р-н, Минская обл., Беларусь
Email: babich83@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8118-5339

Vitaliy E. Babich

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
Branch «Institute for Retraining and Professional Development» of the State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Head of Branch
Address: Svetlaya Roshcha village, 1, 220515, Borisov district, Minsk region, Belarus
Email: babich83@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8118-5339

Кессо Владислав Викторович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», факультет подготовки руководящих кадров, магистрант
Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: pppppppo.2011@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7020-5755

Vladislav V. Kesso

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»,
Administration Training Faculty, graduate student
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: pppppppo.2011@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7020-5755

Сак Семен Петрович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра ликвидации чрезвычайных ситуаций, старший преподаватель
Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: sak_rosn@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3515-7089

Semen P. Sak

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Emergency Elimination, Senior Lecturer
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: sak_rosn@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3515-7089

Скорупич Илья Сергеевич

Филиал «Институт переподготовки
и повышения квалификации»
государственного учреждения образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
специальной подготовки, преподаватель

Адрес: Борисовский р-н, д. Светлая Роща, 1,
202135, Минская область, Беларусь

Email: skorupich97@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0523-7261

Ilya S. Skorupich

Branch «Institute of Retraining and Professional
Development» of the State Educational
Establishment «University of Civil Protection
of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus»,
Chair of Special Training, Lecturer

Address: Borisov district, Svetlaya Roscha, 1,
202135, Minsk region, Belarus

Email: skorupich97@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0523-7261

**DEVELOPMENT OF A MULTIFUNCTIONAL TRAINING COMPLEX
FOR THE ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF ROAD ACCIDENTS
IN ELECTRIC TRANSPORT**

Kobyak V.V., Babich V.E., Kesso V.V., Sak S.P., Skorupich I.S.

Purpose. Developing the requirements for a multifunctional training complex (hereinafter referred to as MTC) for the training of firefighters to respond to emergency situations and the consequences of road traffic accidents (hereinafter referred to as road accidents) in electric cars.

Methods. Theoretical analysis.

Findings. An overview of methods for extinguishing electric vehicles is presented, the main requirements for hardware and software for the MTC for the elimination of emergencies and the consequences of an accident on a passenger electric vehicle are described.

Application field of research. The results of the work can serve as a basis for the creation of an MTC to train emergency response specialists for actions to eliminate the consequences of an accident involving an electric car.

Keywords: electric car, accumulator, battery, multifunctional training complex, emergency, fire, extinguishing.

(The date of submitting: January 11, 2023)

REFERENCES

1. *Global EV Outlook 2021. Accelerating ambitions despite the pandemic.* Technology report of International Energy Agency. France, April 2021. 101 p. Available at: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021> (accessed: December 14, 2022).
2. *Natsional'naya strategiya ustoychivogo razvitiya Respubliki Belarus' do 2035 goda* [National Strategy of Sustainable Development of the Republic of Belarus until 2035]. Ministry of Economy of the Republic of Belarus. Available at: <https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf> (accessed: December 14, 2022). (rus)
3. F-500 Encapsulator Agent (EA). *Hazard Control Technologies.* Available at: <https://hct-world.com/products/chemical-agents/f-500-encapsulator-agent/> (accessed: December 14, 2022).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ О ПРИРОДНЫХ ПОЖАРАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кравцов С.Л., Попова А.К., Маркова Д.С., Лепесевич Е.В., Решетник С.В.

Цель. Достижение информационными системами о природных пожарах (ИСПП) Республики Беларусь и Российской Федерации современного уровня (как по степени автоматизации вычислений, так и по качеству представляемой информации) в ситуации уже изменившихся и ожидаемых погодных условий.

Методы. Качественно новый результат предлагается получить путем внедрения передовых технологий, основанных на обработке разнородных данных (наземных, спутниковых и т.д.) за длительный период времени, – подхода больших данных.

Результаты. Проведен анализ функционирующих в настоящее время ИСПП показавший, что существующие ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации, основанные на разработанных в 50-х гг. XX в. комплексных метеорологических показателях и созданные отдельно друг от друга без единого видения облика системы, осуществляют прогнозный мониторинг пожарной опасности на недостаточном для современных условий уровне, существенно уступая зарубежным аналогам.

Сформулированы предложения по совершенствованию ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации таким образом, чтобы они представляли собой комплексные системы, охватывающие полный цикл прогнозного мониторинга пожарной опасности: от предупреждения и подготовки к природным пожарам до анализа причиненного ими ущерба. Для более полного отражения картины пожарной опасности и учета особенностей изменившихся погодных условий предлагается перейти от комплексных метеорологических показателей Н.А. Диченкова (принят в Республике Беларусь) и В.Г. Нестерова (принят в Российской Федерации) к индексу пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI (Fire Weather Index, FWI). Это также позволит гармонизировать оценку пожарной опасности на территории Республики Беларусь, Российской Федерации и прилегающих стран.

Область применения исследований. Изложенные предложения могут быть использованы при совершенствовании ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации.

Ключевые слова: природные пожары, информационная система, автоматизация вычислений, качество информации, изменение погодных условий.

(Поступила в редакцию 8 ноября 2022 г.)

Введение

Были проанализированы следующие функционирующие ИСПП:

- Канадская система оценки опасности лесных пожаров CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System, CFFDRS) – Канада (табл. 1);
- Европейская информационная система о лесных пожарах EFFIS (The European Forest Fire Information System, EFFIS) – Европейский союз;
- информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации (ИСДМ-Рослесхоз) – Российская Федерация;
- ИСПП Республики Беларусь.

Все проанализированные ИСПП при оценке пожарной опасности исходят из следующих предположений: 1) рельеф местности: простой плоский; 2) растительный покров: однородный (для систем CFFDRS и EFFIS – насаждения зрелой сосны). Различия рельефа местности и растительного покрова учитываются лишь при прогнозе развития природных пожаров и оценке причиненного ими ущерба.

Все проанализированные ИСПП при оценке пожарной опасности используют данные с метеостанций. ИСПП Республики Беларусь основана на комплексном метеорологическом показателе Н.А. Диченкова (разработанном в 1970 г.), ИСПП Российской Федерации – на комплексном метеорологическом показателе В.Г. Нестерова (разработанном в 1949 г.). В результате: 1) поскольку указанные комплексные метеорологические показатели сочетают много эффектов, одно и то же их значение может быть достигнуто многими различными комбинациями факторов. Это указывает на невозможность раскрытия полной картины пожарной опасности в единственном показателе; 2) комплексные метеорологические показатели не учитывают влияние ветра и относительной влажности воздуха на влажность горючих материалов и скорость распространения природных пожаров; 3) после нескольких суток без осадков и с ростом температуры воздуха большая часть страны классифицируется как зона повышенной пожарной опасности, вследствие чего возможно введение ограничений доступа в лесные насаждения и требуются значительные ресурсы для мониторинга [1]. Пожарная опасность уменьшается только при выпадении осадков. Это значит, что в случае повышенной пожарной опасности комплексные метеорологические показатели не способны выявить аномалии во влажности горючих материалов, вероятности возгорания или в повышении потенциальной скорости распространения природных пожаров из-за сильных сухих ветров.

Таблица 1. – Результаты сравнения информационных систем о природных пожарах

Наименование системы	Составляющие информационных систем о природных пожарах		
	Оценка пожарной опасности	Прогноз развития природных пожаров	Оценка ущерба от природных пожаров
CFFDRS (Канада)	Индекс пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI, содержащий 5 компонент: 1) код влажности верхнего слоя лесной подстилки, состоящего из мелких частиц FFMC (Fine Fuel Moisture Code, FFMC); 2) код влажности среднего слоя лесной подстилки, состоящего из лесного материала средних размеров DMC (Duff Moisture Code, DMC); 3) код засухи DC (Drought Code, DC); 4) индекс начального распространения ISI (Initial Spread Index, ISI); 5) индекс объединения BUI (Buildup Index, BUI)	Прогноз направления развития, размера и вида (верховой, низовой) природного пожара	Оценка распространения дыма от природных пожаров, площади выгоревших участков
	Лесная подстилка представлена тремя слоями (верхний слой глубиной 1–2 см, средний слой глубиной 5–10 см, нижний слой глубиной 10–20 см), на свойства которых влияют различные метеорологические факторы (включая продолжительность светлого времени суток). Соответствующие слоям компоненты индекса FWI (коды топлива FFMC, DMC и DC) характеризуются скоростью высыхания/увлажнения и раскрывают разные аспекты пожарной опасности. Разработаны 7 классов пожарной опасности. Все это позволило адекватно отразить такие изменения погодных условий, как потепление климата и волны тепла. Единый мощный математический базис (десятки взаимосвязанных уравнений, откалиброванных по информации базы данных природных пожаров, включая тестовые)		Собственный математический базис
	Высокая степень автоматизации, например прогноз развития природных пожаров проводится в автоматическом режиме с использованием метеорологических данных, результатов вычисления компонент индекса и самого индекса FWI, а также предварительно подготовленных геопространственных данных (базы данных типов топлива). Обеспечено единое и постоянное научное сопровождение функционирования и совершенствования системы		

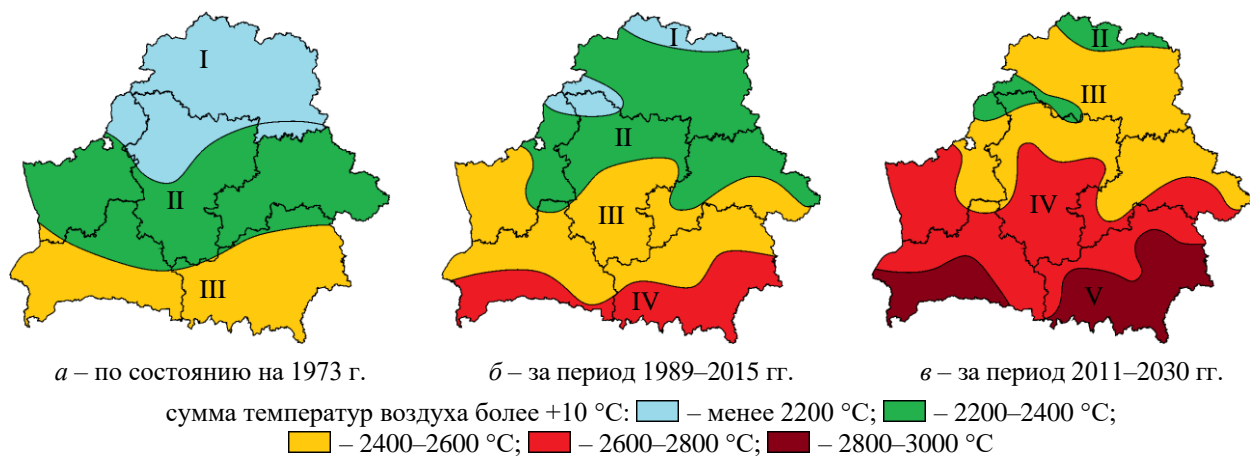
Продолжение таблицы 1

Наименование системы	Составляющие информационных систем о природных пожарах		
	Оценка пожарной опасности	Прогноз развития природных пожаров	Оценка ущерба от природных пожаров
EFFIS (Европейский союз)	Индекс пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI, содержащий 5 компонент (как и в системе CFFDRS). Дополнительно 2 индекса, характеризующие экстремальность условий: 1) индекс экстремального прогноза EFI (Extreme Forecast Index, EFI); 2) индекс сдвига окончаний SOT (Shift of Tails, SOT)	Прогноз направления развития, а также размера природного пожара	Оценка площади выгоревших участков, выбросов в атмосферу, восстановления растительности, эрозии почвы
	Оценка пожарной опасности и прогноз развития природных пожаров проработаны, как и в системе CFFDRS. Дополнительно индексы EFI и SOT характеризуют локальную изменчивость – экстремальность (необычность), что улучшает адекватность отражения таких изменений погодных условий, как потепление климата и волны тепла		Собственный математический базис
	Высокая степень автоматизации, как и в системе CFFDRS		
ИСДМ-Рослесхоз (Российская Федерация)	Комплексный метеорологический показатель В.Г. Нестерова (единственный показатель – компоненты отсутствуют)	Прогноз направления развития, а также размера природного пожара	Оценка площади выгоревших участков
	Лесная подстилка представлена одним слоем, на который оказывает влияние весьма ограниченное количество метеорологических факторов. Разработаны 5 классов пожарной опасности. В результате учет таких изменений погодных условий, как потепление климата и волны тепла как минимум затруднен. Математический базис представляет собой одно уравнение	Адаптированная к российским условиям и имеющимся в ИСДМ-Рослесхоз данным модель развития природного пожара из системы CFFDRS	Собственный математический базис
	Высокая степень автоматизации, например оценка площади выгоревших участков проводится в автоматическом режиме по результатам идентификации «горячих» точек. Обеспечено единое и постоянное научное сопровождение функционирования и совершенствования системы		
ИСДМ-Рослесхоз (Российская Федерация)	Комплексный метеорологический показатель Н.А. Диченкова (единственный показатель – компоненты отсутствуют)	Прогноз направления развития, а также размера природного пожара	Оценка площади выгоревших участков
	Оценка пожарной опасности осуществляется подобно системе ИСДМ-Рослесхоз	Собственный математический базис	Собственный математический базис [2]
	Низкая степень автоматизации, например при прогнозе развития природного пожара необходимые исходные данные задаются оператором (тип топлива, источник возгорания, направление, скорость ветра и др.) [3]. Отсутствуют как единое, так и постоянное научное сопровождение функционирования и совершенствования ИСПП		

В основу систем CFFDRS и EFFIS заложен единый мощный математический базис (десятки взаимосвязанных уравнений, откалиброванных по информации базы данных природных пожаров, включая тестовые). Это позволило создать CFFDRS и EFFIS как единые взаимосвязанные системы (от прогноза пожарной опасности и оценки развития природных пожаров до анализа вызванного ими ущерба), использующие предварительно подготовленные (базу данных типов топлива) и свободнодоступные (автоматически скачиваемые) данные в совокупности с результатами дистанционного мониторинга. В результате удалось добиться высокой степени автоматизации работы каждой из систем и соответственно по-

высить объективность и снизить зависимость от человеческого фактора. Напротив, отдельные составляющие ИСПП Республики Беларусь создавались без единого видения облика системы. Как следствие, достигнута минимальная степень взаимосвязи, что, в свою очередь, обусловило низкую степень автоматизации работы системы. Кроме того, результаты работы составляющих ИСПП Республики Беларусь характеризуются высокой зависимостью от человеческого фактора – цена неверных решений очень высока. По степени автоматизации ИСПП Российской Федерации близка к системам CFFDRS и EFFIS.

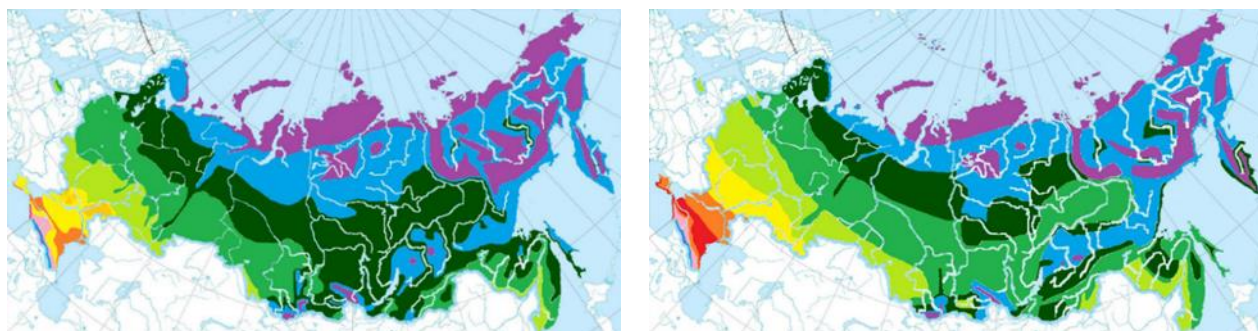
Ситуация усугубляется непрекращающимся ростом среднегодовой температуры воздуха (вследствие изменения климата). Действительно, в Республике Беларусь с 1989 г. зафиксировано увеличение средней температуры воздуха на 1,3 °С и учащение засух на 40 %. Прогнозы показывают, что эта тенденция сохранится, и дополнительный рост средних температур воздуха составит 1 °С к 2030 г., 2 °С к 2060 г. и до 4,4 °С к 2099 г. В результате потепления климата происходит изменение и смещение границ агроклиматических зон (основанных на сумме температур воздуха более +10 °С). Так, в 1973 г. (рис. 1а [4]) в Республике Беларусь было три агроклиматические зоны: северная (наиболее холодная – около 40 % территории страны), центральная и южная. В период с 1989 по 2015 г. (рис. 1б [4]) размер северной зоны уменьшился до 10–12 %, центральная и южная зоны остались в тех же размерах, но сместились на север. При этом появилась новая, четвертая агроклиматическая зона. Согласно прогнозам к 2030 г. северная зона исчезнет, новая четвертая зона расширится, на юге появится еще более теплая пятая зона (рис. 1в [4]), а с 2041 по 2060 г. от южной зоны останется лишь маленький островок на севере, остальные зоны сместятся на север, на юге страны появится еще более теплая агроклиматическая зона.



Агроклиматические зоны: I – северная; II – центральная; III – южная; IV, V – новые агроклиматические зоны

Рисунок 1. – Прогноз изменения агроклиматических зон на территории Республики Беларусь

Возросшие в последние годы в Российской Федерации количество и масштабность лесных пожаров (начали активно гореть даже леса в зоне вечной мерзлоты) в значительной степени объясняются глобальными изменениями климата. При этом рост среднегодовой температуры воздуха в Российской Федерации происходит в 2,5 раза быстрее [5], чем в глобальном измерении. Изменение климата проявляется не только в увеличении среднегодовых температур (рис. 2 [б]), но и в смещении лесных пожаров в более удаленные районы Крайнего Севера. Увеличение количества и площади лесных пожаров в этих районах приобрело системный характер. Масштабные лесные пожары в Сибири наблюдались в 2020 г. и в 2021 г. При этом пожары в Сибири – это не только следствие глобального изменения климата, но и его причина (выброс диоксида углерода, оседание черного углерода на льдах). Фактически наблюдается замкнутый круг.



а – по состоянию на 1964 г.

б – за период 2001–2016 гг.

Сумма температур воздуха более +10 °С: ■ – менее 400 °С; ■ – 400–1000 °С; ■ – 1000–1600 °С; ■ – 1600–2200 °С; ■ – 2200–2800 °С; ■ – 2800–3400 °С; ■ – 3400–4000 °С; ■ – более 4000 °С; ■ – резкая смена агроклиматических зон в горах

Рисунок 2. – Изменение агроклиматических зон на территории Российской Федерации

Развитие глобального потепления дополнительно приводит к учащению глобальных волн тепла (превышение не менее чем на 5 °С нормы температуры воздуха не менее чем за 3–5 суток подряд). Согласно анализу ученых университета штата Вашингтон метеорологических данных за 1979–2010 гг. оказалось, что частота волн тепла с 1980-х увеличилась в 7 раз, их интенсивность – на 17 %, а географическая протяженность – на 46 %. Волны тепла и засухи, усугубляемые потеплением климата, делают природные пожары более разрушительными, частыми и трудными для борьбы. Засухи, волны тепла – такие явления уже нельзя считать чем-то необычным для территорий Республики Беларусь и Российской Федерации. Это новая реальность, в которой предстоит жить.

Таким образом, ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации существенно уступают зарубежным аналогам (в частности, системам CFFDRS и EFFIS). В настоящее время уже оказывается невозможным осуществлять прогнозный мониторинг пожарной опасности на современном уровне без совершенствования ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации.

Основная часть

Общая характеристика лесного и торфяного фондов

Республика Беларусь. Лесной фонд Республики Беларусь по состоянию на 1 января 2022 г. составляет 9707 тыс. га, общий запас насаждений – 1879,1 млн м³, средний возраст насаждений – 57 лет [7]. Лесистость территории страны составляет 40,1 % (8333 тыс. га). Максимальная лесистость наблюдается в Гомельской области (46,9 %), наименьшая лесистость – в Гродненской (36,0 %) и Брестской (36,4 %) областях. Подверглось загрязнению радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции (АЭС) 17,6 % лесного фонда. Доля насаждений хвойных пород (сосна, ель) в лесном фонде составляет 58,4 %, мягколиственных пород (береза, ольха, осина) – 37,7 %, твердолиственных пород (дуб, ясень, граб) – 4,0 %.

В Республике Беларусь известно 9192 торфяника суммарной площадью 2939 тыс. га (14,2 % площади страны), из них болот – 926,8 тыс. га. Геологические запасы торфа составляют около 4000 млн т, извлекаемые запасы – от 600 до 800 млн т. Около 15 % торфяников содержат промышленные запасы торфа. В настоящее время эксплуатируется около 400 месторождений, разрабатываемый торфяной фонд составляет 98,8 тыс. га (ежегодно добывается от 1,7 до 3,2 млн т). Наибольшее количество крупных торфяных месторождений (с полезной площадью в несколько тысяч гектаров) расположено на территориях Брестской, Гомельской и Минской областей [8].

Преобладают торфяные болота низинного типа, на которые приходится около 82 % общей площади торфяного фонда страны [8]. Влажность торфяного болота верхового типа

в естественном насыщенном водой состоянии составляет от 89 до 94 %, низинного – от 89 до 92 %. При этом нижние слои торфа даже в жаркое сухое время остаются насыщенными водой. Поэтому неосушенные торфяники горят крайне редко, пожары на них бывают лишь беглыми, затрагивающими только поверхностный торфяной слой.

Российская Федерация. По состоянию на 2022 г. площадь земель лесного фонда Российской Федерации составила 1,19 млрд га (46,4 % площади страны) – более 20 % всех лесов планеты. Общий запас насаждений составил 82 500,1 млн м³ [9]. Наибольшие объемы древесины в Российской Федерации представлены лиственницей, сосной, березой и елью. Сосна, ель и лиственница относятся к наиболее ценным породам. Доля насаждений хвойных пород составляет 519,7 млн га, мягколиственных пород – 152,5 млн га, твердолиственных – 18,5 млн га. Регионами с максимальной лесистостью являются Иркутская область (82,3 %), Приморский край (77,6 %), Костромская область (73,4 %), Коми (72,7 %) и Пермский край (71,3 %).

По данным государственного земельного учета торфяниками занято 140,8 млн га (более 8 % площади всей страны). Общая площадь торфяных месторождений в Российской Федерации в границах промышленной залежи торфа (более 0,7 м) составляет 47,6 млн га с запасами торфа 188,9 млрд т на 46 805 торфяных месторождениях. Особенно много торфяных месторождений в Западной Сибири. Здесь учтено 5004 месторождения, общие ресурсы которых составляют более 100 млрд т, т.е. более 20 % мировых и более 50 % российских запасов [10].

Проблема природных пожаров на территории Республики Беларусь и Российской Федерации

В целом погодные условия Республики Беларусь и Российской Федерации не благоприятствуют возгораниям и распространению природных пожаров, территория в основном характеризуется простым плоским рельефом. Несмотря на это, природные пожары на территории стран возникают ежегодно, полностью исключить их невозможно.

Республика Беларусь. На территории лесного фонда страны на протяжении 1959–2021 гг. возникло более 139 тыс. лесных пожаров на общей площади около 231,3 тыс. га, в том числе в 2021 г. – 470 лесных пожаров на площади 523 га [11; 12]. Средняя площадь лесного пожара за этот период, которая является показателем оперативности его обнаружения и ликвидации, составила 1,53 га. В Республике Беларусь на протяжении 2015–2021 гг. возникло 1897 торфяных пожаров (в том числе в 2021 г. – 83) и 18 845 пожаров травы и кустарников (в том числе в 2021 г. – 2123) [7; 13]. Среднегодовое количество торфяных пожаров за этот период составило 271, пожаров травы и кустарников – 2692. Средняя площадь торфяного пожара составила 1,3 га. Наибольшая площадь торфяников (1355 га) была пройдена пожарами в 2002 г. [14]. В случае экстремальных погодных условий (например, сильной засухи и аномальной жары в критический период вегетации) даже относительно небольшое количество природных пожаров может привести к значительным выгоревшим площадям, как это произошло в 2015 г. – по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [15; 16] при 1219 лесных пожарах общая пройденная пожарами площадь составила 16 948,9 га (средняя площадь лесного пожара – 13,9 га, что в 9,1 раза больше, чем за период 1959–2021 гг.).

Особую опасность представляют трансграничные природные пожары, что проявилось в экстремально пожароопасном 2015 г., когда количество природных пожаров резко возросло. При этом более половины пройденной пожарами площади находилось на юге страны – на приграничных с Украиной территориях [7] – образовалось в результате трансграничных пожаров.

Природные пожары по количеству и суммарному ущербу занимают одну из лидирующих позиций среди чрезвычайных ситуаций природного характера. Так, по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь за 2016–2021 гг. [17], сред-

негодовой ущерб только лишь от лесных пожаров составил 255,8 тыс. долларов США, среднегодовые расходы на тушение и ликвидацию последствий лесных пожаров – 250,1 тыс. долларов США.

Российская Федерация. По данным ИСДМ-Рослесхоз, на территории лесного фонда страны на протяжении 2018–2022 гг. возникло около 148,5 тыс. лесных пожаров на общей площади около 76,2 млн га [18–22] (около 4,5 % площади всей страны). Средняя площадь лесного пожара за этот период составила 513,4 га, средняя площадь лесных пожаров за год – 15,2 млн га.

Наибольшая пройденная пожарами площадь наблюдалась в 2021 г. – более 18,8 млн га [18] (для сравнения: площадь Республики Беларусь составляет 20,76 млн га). Более 10,5 млн га из них пришлось на Якутию, крупные очаги также находились в Иркутской и Тюменской областях. Всего в стране за год было зарегистрировано около 27,5 тыс. лесных пожаров, дым от горящих лесов впервые за историю спутниковых наблюдений достиг Северного полюса.

Лидером (по относительному количеству природных пожаров и пройденной ими площади на 1 млн га) в Российской Федерации за 2011–2021 гг. оказалась Еврейская автономная область, где за этот период природные пожары охватили 64,7 % от площади.

По данным Рослесхоза, средний размер ущерба от лесных пожаров в год составляет около 300 млн долларов США, из них от 45,2 до 75,3 млн долларов США – ущерб лесному хозяйству (потери древесины). Остальные потери – расходы на тушение и последующую расчистку выгоревших участков, ущерб от гибели животных и загрязнения продуктами горения, затраты на восстановление лесных насаждений.

Рекордный ущерб принесли природные пожары 2010 г., которые затронули всю территорию европейской части страны. Было зафиксировано более 34,8 тыс. природных пожаров, в том числе более 1 тыс. торфяных пожаров. Всего от пожаров и вызванного ими смога пострадали 17 регионов, более 2,5 тыс. семей остались без крова, более 60 человек погибли в огне и от отравления продуктами горения [23], ущерб был оценен в 2,1 млрд долларов США (в 7 раз больше, чем в среднем за год).

Особенностью Российской Федерации является наличие *зон контроля лесных пожаров* – территорий (расположенных в труднодоступных и удаленных областях с низкой плотностью населения при отсутствии крупных объектов экономики), где прогнозируемые затраты на тушение природных пожаров превышают ожидаемый ущерб, который может быть ими причинен. Природные пожары в зонах контроля находятся под наблюдением посредством авиационных и (или) космических средств. В настоящее время зоны контроля существуют в 18 регионах, их площадь составляет 505,4 млн га (около 42,5 % общей площади лесного фонда). Значительная часть зон контроля расположена в Сибири и на Дальнем Востоке.

Пожары на территориях зон контроля часто достигают огромных размеров. Например, в 2021 г. только один из пожаров в зоне контроля на территории Якутии разросся более чем на миллион гектаров.

Гигантские масштабы российских лесов, наличие огромных малонаселенных удаленных лесных территорий, отсутствие инфраструктуры и отношение населения (привыкшего к неисчерпаемости лесных богатств) в совокупности с изменением климата привели к тому, что в Российской Федерации отмечается статистически значимая тенденция роста частоты, площади и интенсивности лесных пожаров. Прогнозируется, что при сохранении существующих уровня охраны от лесных пожаров и скорости изменения погодных условий ежегодная пройденная пожарами площадь в отдельных регионах Российской Федерации к концу XXI в. возрастет приблизительно в 2 раза [6].

Предлагаемая структура усовершенствования информационных систем о природных пожарах Республики Беларусь и Российской Федерации

Усовершенствованные ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации должны представлять собой комплексные системы, охватывающие полный цикл прогнозного мониторинга пожарной опасности: от предупреждения и подготовки к природным пожарам до анализа вызванного ими ущерба. Усовершенствованные ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации должны содержать следующие основные модули (по аналогии с [24], рис. 3): оценки пожарной опасности, обнаружения активных природных пожаров, новостей о природных пожарах, оперативной оценки ущерба от природных пожаров, сезонной оценки ущерба от природных пожаров, базы данных о природных пожарах, долгосрочного прогнозирования погодных условий, типов топлива.

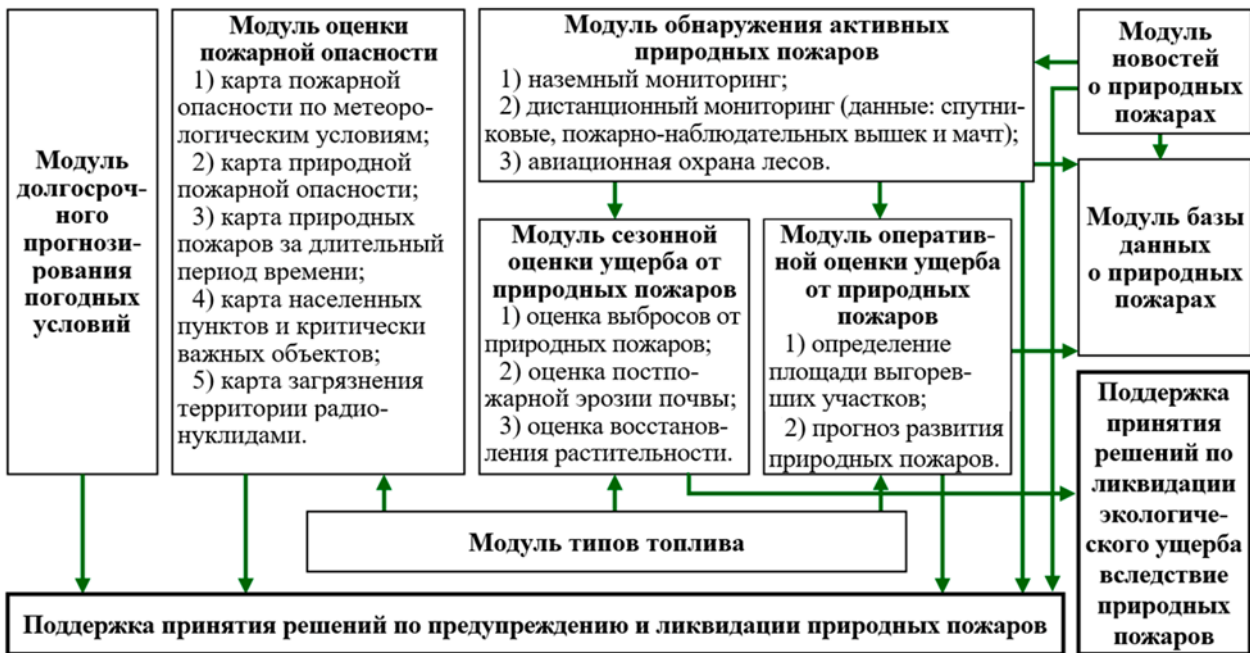


Рисунок 3. – Общая структура усовершенствованных информационных систем о природных пожарах Республики Беларусь и Российской Федерации

Модуль оценки пожарной опасности. Оценку пожарной опасности целесообразно проводить на основе совместного пространственного анализа (в геоинформационной системе) следующих карт (рис. 4): пожарной опасности по метеорологическим условиям, природной пожарной опасности, природных пожаров за длительный период времени, населенных пунктов и критически важных объектов, загрязнения территории радионуклидами.

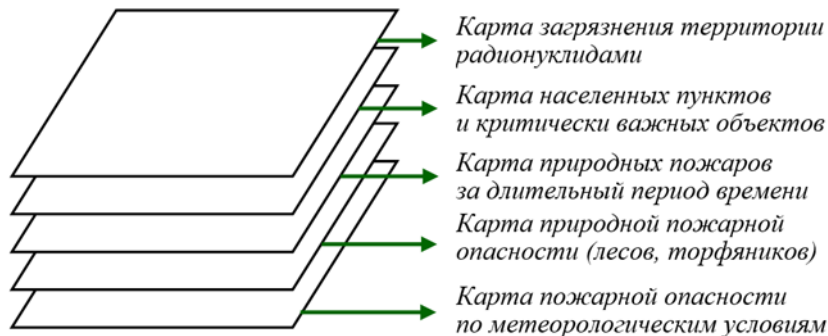


Рисунок 4. – Структура оценки пожарной опасности

На этапе совместного пространственного анализа данных могут быть применены алгоритмы искусственного интеллекта, например, для отслеживания динамики «горячих» точек, определения зон риска возникновения природных пожаров, оценки сложности

тушения и объема работ, которые предстоит проделать в случае возгорания. При этом дополнительно к перечисленным могут использоваться такие данные за длительный период времени, как погодные условия; типы топлива; характеристики объектов на земной поверхности; расстояние до ближайших дорог, населенных пунктов, водных объектов; рельеф; параметры других природных пожаров на той же территории.

Карта оценки пожарной опасности по метеорологическим условиям. Недостатков комплексных метеорологических показателей Н.А. Диченкова и В.Г. Нестерова лишен индекс пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI, который используется в системах CFFDRS и EFFIS. В связи с этим целесообразно сосредоточить усилия на адаптации индекса FWI с целью гармонизированной оценки пожарной опасности на территории Республики Беларусь, Российской Федерации и прилегающих стран. FWI зависит исключительно от ежедневно получаемых метеорологических данных [25]: температуры и относительной влажности воздуха, скорости ветра и количества осадков. При этом в действительности FWI представляет пожарную опасность на своем пике в середине дня (обычно 16:00 ч).

FWI состоит из пяти компонент (рис. 5 [26]). Первые три характеризуют изменения содержания влаги в трех видах топлива лесной подстилки в насаждениях зрелой сосны [25] с разными скоростями высыхания:

- первая компонента – код влажности верхнего слоя лесной подстилки FFMC: представляет собой оценку содержания влаги в подстилке и других видах топлива (иголах, мхе, веточках диаметром менее 1 см);
- вторая компонента – код влажности среднего слоя лесной подстилки, состоящего из лесного материала средних размеров DMC: представляет собой содержание влаги в слабо уплотненных, разлагающихся органических материалах;
- третья компонента – код засухи DC: индикатор содержания влаги в глубоких, компактных слоях органического материала.

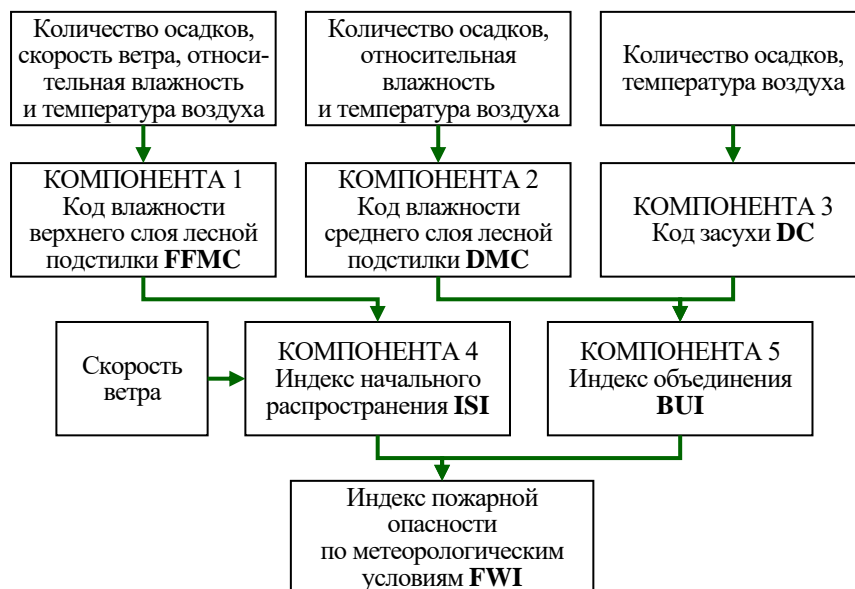


Рисунок 5. – Схема вычисления индекса пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI

Считается, что каждый вид топлива высыхает в геометрической прогрессии. Надлежащей мерой скорости высыхания является время задержки (т.е. время потери около 2/3 свободной влаги выше равновесного состояния при температуре в полдень +21,1 °С, относительной влажности воздуха 45 % и скорости ветра 13 км/ч) (табл. 2 [26; 27]).

Таблица 2. – Свойства кодов влажности топлива

Код	Индикатор пожарной опасности	Время задержки, сут.	Емкость воды, мм	Требуемые параметры	Глубина топлива, см	Сухая масса топлива, кг/м ²
FFMC	Легкость возгорания	2/3	0,6	T, H, W, r	1–2	0,25
DMC	Вероятность возгорания вследствие гроз, скорость сгорания топлива среднего слоя лесной подстилки	12	15	T, H, r, Mo	5–10	5
DC	Сложность тушения, скорость сгорания топлива глубоких органических материалов	52	100	T, r, Mo	10–20	25

Примечание. T – температура воздуха, H – относительная влажность воздуха, W – скорость ветра, r – количество осадков, Mo – месяц.

На основе значений трех кодов влажности и скорости ветра формируются два промежуточных индекса, которые, в свою очередь, объединяются для получения непосредственно значения FWI [25–27]:

– четвертая компонента – индекс начального распространения ISI: комбинация скорости ветра и FFMC, которая представляет собой скорость распространения природного пожара без учета влияния переменного количества топлива;

– пятая компонента – индекс объединения BUI: комбинация DMC и DC, которая представляет собой общее количество топлива, доступное для распространяющегося природного пожара;

– индекс пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI: комбинация ISI и BUI, которая представляет собой интенсивность распространяющегося природного пожара как мощность выхода энергии на единицу длины фронта природного пожара.

Каждая отдельная компонента индекса FWI зависит только от метеорологических данных и представляет собой индекс, раскрывающий различные аспекты пожарной опасности [26]. FWI обладает рядом положительных свойств. В частности, его относительно просто реализовать, он основан на надежных научных принципах и несет важную информацию, которую можно напрямую соотнести с поведением природных пожаров, и поэтому его легко интерпретировать.

Пороговые величины компонент и самого индекса FWI для каждого класса пожарной опасности, а также количество классов пожарной опасности применительно к условиям Республики Беларусь и Российской Федерации должны быть установлены на основе анализа условий, наблюдавшихся во время природных пожаров. Учитывая различие климатических условий в пределах территории Республики Беларусь и Российской Федерации, целесообразно дополнительно вычислять показатели (такие как индекс экстремального прогноза EFI и индекс сдвига окончаний SOT) локальной изменчивости условий по сравнению с данными за длительный период времени (20–30 лет) – экстремальность (необычность).

Карта природной пожарной опасности

Природная пожарная опасность лесов. В силу своего породного, возрастного и структурного состава, а также антропогенного воздействия все лесные насаждения являются потенциально пожароопасными – со средним классом природной пожарной опасности (согласно шкале И.С. Мелехова) 2,6 для территории Республики Беларусь [28] и 2,72 для территории Российской Федерации [29]. Природная пожарная опасность оценивается по результатам составления лесоустроительных проектов, обновляемых не реже одного раза в 10 лет.

В лесном фонде Республики Беларусь насаждения I класса природной пожарной опасности занимают 6,7 %, II класса – 26,1 %, III класса – 34,5 %, IV класса – 25,7 % и V класса – 7,0 %. Это обусловлено преобладанием хвойных (сосновых и еловых) пород, которые относятся к высокому и среднему классу природной пожарной опасности и на долю

которых приходится 58,4 % лесного фонда страны. Среди сосновых насаждений легковозгораемые типы составляют 37,3 %, средневозгораемые – 42,6 %, трудновозгораемые – 20,1 %; среди еловых соответственно – 1,3; 80,1 и 18,6 %.

Выполненный в работе [11] анализ свидетельствует, что 88,3 % от общей пройденной пожарами площади в лесном фонде Республики Беларусь находится в сосновых, 6,7 % – в березовых, 2,7 % – в еловых, 1,8 % – в черноольховых насаждениях. В других лесных насаждениях доля пройденной пожарами площади составляет около 0,5 % от общей площади. Значительная часть (46,7 %) пройденной пожарами площади находится в наиболее распространенных и пожароопасных в лесном фонде мшистых и вересковых сосновых насаждениях.

Природная пожарная опасность на территории Российской Федерации распределена неравномерно – большая часть лесных насаждений Центрального (1,76), Южного и Северо-Кавказского (2,07) и Заволжского (1,95) федеральных округов характеризуется низким и средним уровнями природной пожарной опасности. Умеренный и высокий уровни природной пожарной опасности соответствуют большинству лесных насаждений Сибирского (3,68), Северо-Западного (3,25) и Дальневосточного (3,59) федеральных округов [29].

Наибольшее количество природных пожаров на территории Российской Федерации (рис. 6 [30]) приходится на хвойные листопадные (19,8 %), лиственные (15,7 %) и хвойные вечнозеленые (11,1 %) леса, наименьшее – на смешанные леса (2,9 %) и хвойный кустарник (1,2 %).

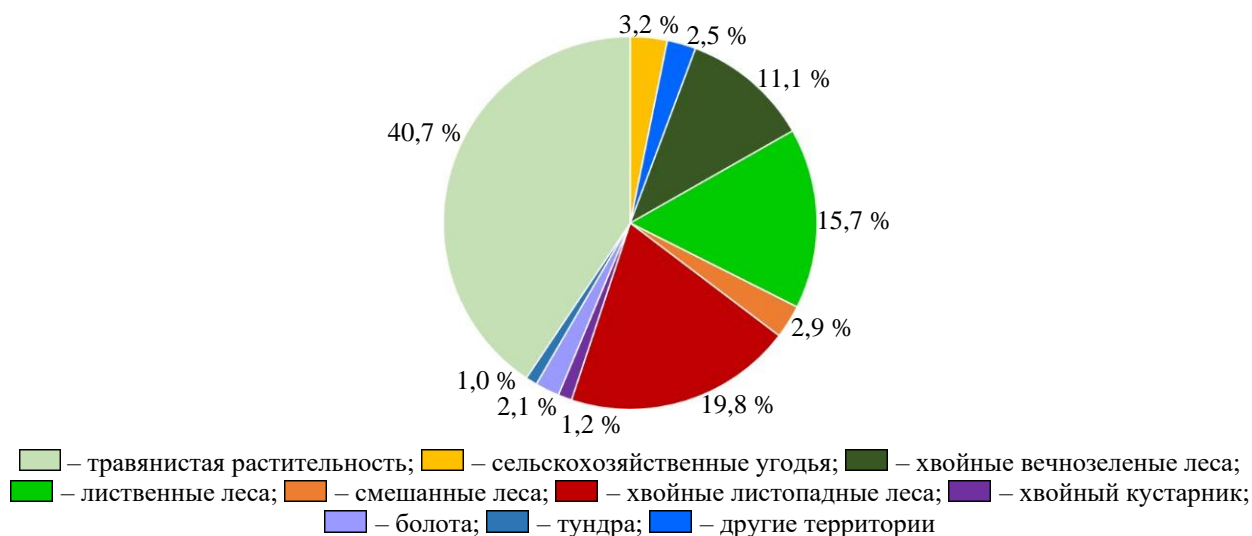


Рисунок 6. – Распределение количества природных пожаров по типам растительного покрова

Природная пожарная опасность торфяников. Пожароопасными являются все осушенные торфяники, сельхозугодья на месте осушенных болот, выработанные торфяники с действующей осушительной сетью, а также разрабатываемые торфяники. Кроме того, выведенные из хозяйственного оборота торфяники часто за длительное время зарастают мелколесьем и кустарниками, с отдельными закустаренными прогалинами, что обостряет пожарную опасность. Например, в периоды сильных засух 1999 г. и 2002 г. горели почти все осушенные торфяники Республики Беларусь. В 2002 г. пожарами было охвачено около 5000 га. В работе [31] на основе интегральной оценки комплекса показателей (степени разложения, зольности, влажности, мощности торфа, уровня залегания болотных вод, рельефа, характеристик горючести растительного материала, степени нарушенности) типы растительных сообществ болот объединены в пять классов по степени устойчивости к пожарам.

Карта природных пожаров за длительный период времени. Описание создания карты природных пожаров представлено в пункте «Определение площади выгоревших участков».

Карта населенных пунктов и критически важных объектов. Природные пожары могут представлять угрозу населенным пунктам и критически важным объектам – складам хранения горюче-смазочных материалов, складам хранения минеральных удобрений и средств защиты растений, хранилищам зерна, продовольственным и непродовольственным складам, нефте-, газо- и продуктопроводам, предприятиям химической и нефтеперерабатывающей промышленности, пожаровзрывоопасным объектам, особо охраняемым территориям и объектам культурного наследия и т.д. Так, торфяные пожары могут представлять угрозу нефте-, газо- и продуктопроводам – на территории Республики Беларусь расположено только лишь магистральных нефте- газо- и продуктопроводов около 2,5 тыс. км, значительная часть которых пролегает по осушенным торфяникам. На территории же Российской Федерации значительная часть магистральных нефте- (54,8 тыс. км), газо- (188,4 тыс. км) и продуктопроводов (23,2 тыс. км) пролегает в районах вечной мерзлоты, участвовавшие природные пожары в которых могут приводить к их разрушению – посредством влияния на деградацию вечной мерзлоты.

Карта загрязнения территории радионуклидами. В результате аварии на Чернобыльской АЭС по состоянию на 1 января 2016 г. 17,6 % лесного фонда Республики Беларусь оказались загрязнены радионуклидами (в первую очередь это Цезий-137 – Cs-137). В Российской Федерации загрязнению радионуклидами подверглись 19 регионов. Уровень загрязнения почвы в них составляет более 1 Ки/км² по Cs-137 на общей площади 59,3 тыс. км². Подавляющее большинство загрязненных радионуклидами лесов Российской Федерации – около 87 % – находятся в зоне с плотностью загрязнения почвы Cs-137 от 1 до 5 Ки/км². Наиболее сильному загрязнению радионуклидами подверглись Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области. В лесах этих регионов имеются участки с плотностью загрязнения почвы Cs-137 до 15 Ки/км², а в Брянской области даже до 200 Ки/км². В радиоактивно загрязненных лесных и кустарниковых насаждениях вследствие ограничения или прекращения хозяйственной деятельности идет активный процесс накопления горючих материалов, что усугубляет пожарную опасность. Для территорий, загрязненных 30 лет назад, поверхность земли уже не представляет особой угрозы для населения, т.к. почти все радионуклиды к настоящему времени уже расположены на глубине 15–30 см либо удержаны в тканях деревьев и кустарников [28]. Но при торфяном пожаре горят именно эти слои почвы. А при лесном пожаре горят деревья, накопившие в тканях радионуклиды. В 2016 г. на территории Гомельской и Могилевской областей Республики Беларусь, наиболее пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, зафиксировано 60 пожаров общей площадью 43 га. На указанных территориях за эти годы зафиксировано 20 торфяных пожаров общей площадью 17,7 га [28].

Модуль обнаружения активных природных пожаров должен обеспечивать получение целостного представления о текущих природных пожарах, а также исходной информации, помогающей картированию выгоревших участков. Для своевременного обнаружения и ликвидации природных пожаров в Республике Беларусь и Российской Федерации создана многоуровневая система мониторинга, включающая наземный мониторинг, дистанционный мониторинг (данные: спутниковые, пожарно-наблюдательных вышек и мачт), авиационную охрану лесов.

Наземный мониторинг. В Республике Беларусь является основным источником обнаружения природных пожаров (до 80 %), его маршруты и сроки определяются классом природной пожарной опасности лесов, классом пожарной опасности лесов по условиям погоды и степенью антропогенного воздействия на лесные насаждения. Обход проводится одним человеком или группой 3–5 человек. Средняя площадь одного обхода составляет 800 га. Преимуществом наземного мониторинга является его мобильность, а недостатком – ограниченная видимость, невозможность оперативного обнаружения пожара, если он расположен на значительном расстоянии от маршрута. В Российской Федерации вследствие

огромной площади лесного фонда и ограниченного финансирования наземный мониторинг носит ограниченный характер (около 6,8 % площади лесного фонда).

Спутниковые данные. Основой обнаружения активных пожаров по спутниковым данным является идентификация «горячих» точек (областей с аномально высокой температурой по сравнению с окружением) с помощью полностью автоматизированных методов [24]. Результат идентификации «горячих» точек фильтруется (например, с использованием цифровой модели рельефа, карт дорог и населенных пунктов) с целью уменьшения ложных тревог [24]. По спутниковым данным обнаруживаются, как правило, крупные и длительные природные пожары (до 10–15 %). Частота получения таких данных (для ИСДМ-Рослесхоз, использующей данные более чем от 15 спутников, частота наблюдений отдельных территорий превышает 20 раз в сутки [32]) приемлема для мониторинга распространения лесных пожаров, которые в основном имеют не очень высокую скорость распространения. Спутниковые данные незаменимы в оценке угроз природных пожаров с сопредельных территорий. Недостатки данного способа связаны с низким пространственным разрешением используемых данных (от сотен метров до нескольких километров). В последние годы с целью минимизации ложных тревог для обнаружения активных пожаров стали использоваться спутниковые данные среднего и высокого пространственного разрешения (включая данные со спутников белорусско-российской группировки – пространственное разрешение 10 м).

Данные пожарных наблюдательных вышек и мачт. Пожарно-наблюдательные вышки и мачты (высотой до 35–40 м) оборудуются вращающимися по кругу камерами видеонаблюдения с установкой автоматической системы мониторинга и раннего обнаружения лесных пожаров, например «Лесной страж» [33]. Точность определения координат дыма/огня составляет около 500 м. Наблюдениями с пожарно-наблюдательных вышек и мачт (всего их установлено около 700) охвачено более 90,0 % территории лесного фонда Республики Беларусь. В Российской Федерации в связи с огромной площадью лесного фонда и значительными затратами на поддержание в надлежащем состоянии наблюдательные вышки не обновлялись последние 15–20 лет, и большинство из них уже не могут быть использованы из-за аварийного технического состояния. Вместе с тем проект приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «Об утверждении нормативов противопожарного обустройства лесов» (подготовлен 6 августа 2021 г., в настоящее время находится на доработке) предусматривает строительство в лесах наблюдательных вышек, оснащенных средствами автоматизированного обнаружения пожаров. При этом допускается использовать и видеокамеры, уже установленные на вышках сотовых операторов. Вопрос, как быстро этот процесс будет происходить и насколько будет охвачен лесной фонд страны, остается открытым.

Авиационная охрана лесов. Осуществляет систематическое наблюдение с воздуха за территорией лесного фонда для своевременного обнаружения и тушения лесных пожаров. Режим патрулирования (маршрут, кратность и время полетов) определяется в зависимости от класса пожарной опасности лесов по условиям погоды в соответствии с регламентом работы лесопожарных служб с таким расчетом, чтобы обеспечивалась просматриваемость всей территории лесного фонда при средних условиях видимости. С помощью авиатрулирования на протяжении последних более 40 лет в лесном фонде Республики Беларусь обнаруживается около 40 % пожаров, в том числе 75 % площадью до 0,05 га. В Российской Федерации Федеральное бюджетное учреждение «Центральная база авиационной охраны лесов "Авиалесоохрана"» (ФБУ «Авиалесоохрана») охватывает 95 % площади лесного фонда страны, причем свыше 60 % относится к районам авиационной охраны. ФБУ «Авиалесоохрана» обнаруживает свыше 80 % всех возникающих на обслуживаемой территории пожаров и участвует в тушении 50 % из них.

Модуль новостей о природных пожарах должен идентифицировать (по ключевым словам) и определять геолокацию всех новостей, связанных с природными пожарами,

которые публикуются в Интернете: новостных лентах, связанных с природными пожарами, RSS-каналах, фотохостинге Flickr, Twitter, YouTube и др. [24]. Основная цель сбора новостей о природных пожарах – предоставить вспомогательную информацию экспертам, выполняющим оперативную оценку ущерба от природных пожаров, а также обзорную информацию для руководителей ликвидации природных пожаров.

Модуль оперативной оценки ущерба от природных пожаров предназначен для оперативного определения площадей выгоревших участков, а также для прогноза развития природных пожаров.

Определение площади выгоревших участков. Необходимо для оценки последствий природных пожаров, обновления информации о лесном фонде, планирования природоохранных, противопожарных и лесовосстановительных мероприятий. Выгоревшие участки картируются по результатам обнаружения активных природных пожаров – из «горячих» точек на основе алгоритма выращивания областей (присоединение к «горячим» точкам соседних на основании некоторого критерия их близости, например разницы в яркости, заданной пороговой величиной, – один из методов классификации без обучения (кластеризации)) с уточнением результатов посредством визуальной интерпретации данных [24]. Картирование выгоревших участков напрямую из координат активных природных пожаров позволяет проводить обработку в близком к реальному времени режиме.

В ИСПП для получения карт выгоревших участков используются спутниковые данные сенсоров Terra/Aqua MODIS с пространственным разрешением 250 м [34]. Преимуществом такого подхода является оперативность, т.к. данные могут обновляться с частотой несколько раз в сутки. Такое пространственное разрешение позволяет картировать выгоревшие участки площадью около 40 га и более. В связи с этим спутниковые данные сенсоров Terra/Aqua MODIS могут быть использованы для картирования выгоревших участков: для Российской Федерации (средняя площадь лесного пожара по данным за 2009–2021 гг. составила 693,65 га) в качестве основных, для Республики Беларусь (средняя площадь лесного пожара по данным за 1969–2021 гг. составила 1,53 га; средняя площадь торфяного пожара по данным за 2015–2021 гг. – 1,3 га) в качестве дополнительных. В качестве же основных для Республики Беларусь для картирования выгоревших участков и в качестве дополнительных для Российской Федерации целесообразно использовать свободно доступные данные спутников серий Sentinel-2 [34] и Landsat, а также серии Ресурс-П и белорусско-российской группировки.

Прогноз развития природных пожаров. При условии, что скорость ветра не равна нулю, а его направление остается относительно постоянным, возникающие из точечного источника возгорания природные пожары обычно в равновесном состоянии принимают приблизительно эллиптическую или овальную форму [3; 35]. Путем анализа данных о природных пожарах разработаны эмпирические соотношения для определения отношения длины к ширине, скорости распространения фронтальной, фланговой и тыльной частей природного пожара [35]. Эти соотношения учитывают направление и скорость ветра, тип топлива, значения компонент индекса FWI.

Модуль сезонной оценки ущерба от природных пожаров. В конце пожароопасного сезона картированные в течение сезона выжженные участки должны быть объединены в единую карту, которая далее может быть использована совместно с данными о типах топлива для оценки ущерба.

Выбросы от природных пожаров (газы и частицы) оказывают серьезное влияние на местное население, особенно в случае природных пожаров вблизи населенных пунктов [24]. Данные о выгоревших участках можно использовать для расчета выбросов. Выбросы от природных пожаров зависят от продолжительности и интенсивности, общей площади, типа и количества сгоревшего топлива.

Оценка эрозии почвы. Эрозия почвы является еще одним серьезным негативным последствием природных пожаров. Кроме того, ущерб, связанный с эрозией почвы, обычно необратим [24]. Поэтому важно оценить потерю почвы в пострадавших от природных пожаров районах, и определить те из них, где следует применять профилактические меры, чтобы избежать дальнейшего ущерба. Подверженность выгоревших участков эрозии почвы зависит от интенсивности природных пожаров и степени сгорания растительного покрова [24].

Оценка восстановления растительности после природных пожаров может быть проведена путем сопоставления разновременных спутниковых данных – до и после природных пожаров. В настоящее время разностный нормализованный коэффициент сгорания dNBR (difference Normalized Burnt Ratio, dNBR) считается одним из лучших для анализа выгоревших участков и поэтому находит широкое применение в ИСПП [34].

Модуль базы данных о природных пожарах. Анализ пространственных и временных тенденций природных пожаров имеет решающее значение для понимания их основных движущих факторов и возникающих в результате экологических и социально-экономических последствий, а также для планирования надлежащих мер по предотвращению природных пожаров и борьбе с ними [24]. База данных о природных пожарах (для Республики Беларусь – централизованная база данных по учету чрезвычайных ситуаций (включая природные пожары) и их последствий; для Российской Федерации – единая база данных о природных пожарах) содержит ряд общепринятых характеристик каждого природного пожара (включая его вид, время и место), дополнительные и сопутствующие материалы (тестовые, видео, звуковые и графические) [36]. В настоящее время в базе данных о природных пожарах Республики Беларусь содержится информация о более чем 140 тыс. пожарах (включая природные пожары) за период с 2002 г. [36]; для Российской Федерации – о более чем 660 тыс. природных пожарах за период с 2012 г.

Модуль долгосрочного прогнозирования погодных условий. Долгосрочные прогнозы погодных условий используются для оценки общей пожарной обстановки на предстоящий пожароопасный сезон и определения районов с наибольшей вероятностью природных пожаров. Долгосрочные прогнозы погодных условий получают от Гидрометцентра России. В Республике Беларусь долгосрочное прогнозирование погодных условий не проводится. Гидрометцентр России выпускает долгосрочные прогнозы на 14 суток, месяц, 46 суток и сезон (3 месяца). Качество долгосрочных прогнозов значительно зависит от сезона, региона, режима атмосферной циркуляции и иных факторов, оказывающих влияние на атмосферу [37]. Успешность долгосрочного прогноза на сезон составляет 60–65 %. Успешность долгосрочного прогноза осадков остается невысокой.

Модуль типов топлива. Тип топлива представляет собой топливный комплекс с необходимой однородностью, простирающийся в области достаточного размера, чтобы равновесное поведение природного пожара могло быть поддержано в течение значительного периода времени [35]. В соответствии с этим диапазон типов топлива (хвойные, лиственные, смешанные, порубочные остатки, открытые – полевая растительность [35]) должен охватывать наиболее значимые для территории Республики Беларусь и Российской Федерации комплексы растительного покрова и не обязательно должен соответствовать схемам инвентаризации леса. Тип топлива в совокупности с погодными условиями определяет поведение природного пожара (скорость распространения, потребление топлива – лесной подстилки, древесного топлива и кроны деревьев), стандартную топливную нагрузку, переход пожара от низового к верховому.

Заключение

ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации созданы с учетом погодных условий по состоянию на 50-е гг. XX в. обособленно друг от друга и от ИСПП прилегающих стран. При этом отдельные составляющие ИСПП Республики Беларусь создавались без единого видения облика системы. В результате в настоящее время ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации существенно уступают зарубежным аналогам (как по степени автоматизации вычислений – в первую очередь это относится к ИСПП Республики Беларусь, так и по качеству представляемой информации). Усовершенствованные на основании единых передовых технологий, а также отечественных наработок ИСПП Республики Беларусь и Российской Федерации должны представлять собой единые взаимосвязанные системы – от прогноза пожарной опасности и оценки развития природных пожаров до анализа вызванного ими ущерба. Это в совокупности с использованием большого объема накопленных к этому времени разнородных данных и привлечением проверенных решений позволит повысить автоматизацию вычислений и объективность результатов, более полно отразить картину пожарной опасности и учесть особенности изменившихся погодных условий (путем перехода от комплексных метеорологических показателей Н.А. Диченкова и В.Г. Нестерова к индексу пожарной опасности по метеорологическим условиям FWI), обеспечить формирование единого информационного пространства, а также совместимость результатов прогнозного мониторинга пожарной опасности на территории Республики Беларусь, Российской Федерации и прилегающих стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование гидрометеорологической службы и систем раннего предупреждения в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Группа Всемирного банка. – Вашингтон, 2020. – 108 с. – Режим доступа: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/219301594880509884/pdf/Strengthening-Hydromet-and-Early-Warning-Services-in-Belarus-A-Road-Map.pdf>. – Дата доступа: 29.08.2022.
2. Ильючик, М.А. Геоинформационная система комплексного мониторинга земель лесного фонда, лесопользования и оценки пожарной опасности «СМ-Лесфонд» / М.А. Ильючик [и др.] // Седьмой Белорусский космический конгресс: материалы конгресса, Минск, 24–26 октября 2017 г. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2017. – Т. 2. – С. 251–254.
3. Баровик, Д.В. Программный комплекс оперативного моделирования распространения лесных пожаров / Д.В. Баровик, Д.А. Горбацевич, В.Б. Таранчук // Информатизация образования – 2010: педагогические аспекты создания информационно-образовательной среды: материалы междунар. науч. конф., Минск, 27–30 октября 2010 г. – Минск: БГУ, 2010. – С. 54–58. – URI: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/11168>.
4. Мельник, В. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата в рамках разработки национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь: проект Clima East (контракт CEEF2016-071-BL) [Электронный ресурс] / В. Мельник [и др.]. – Минск – Женева, 2017. – 83 с. – Режим доступа: <https://climate.esopartnerstvo.by/sites/default/files/2017-09/%5BRUS%5D%20Agriculture%20Climate%20Change%20Zoning%20in%20Belarus.pdf>. – Дата доступа: 29.08.2022.
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год [Электронный ресурс]. – М.: Росгидромет, 2017. – 70 с. – Режим доступа: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/Доклад2016.pdf. – Дата доступа: 29.08.2022. – EDN: XNLKXR.
6. Мингалев, Д.Э. Изменение климата в России (1985–2016) на примере сравнения старой и новой карт агроклиматических поясов / Д.Э. Мингалев // Евразийский союз ученых. – 2017. – № 9-3 (42). – С. 5–9. – EDN: RTBRFC.
7. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2021 год [Электронный ресурс] / Под общ. ред. М.И. Лемутовой. – Минск: Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Белгидромет). – 2022. – 556 с. Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/818.html>. – Дата доступа: 29.08.2022.

8. Прогноз пожаров в природных экосистемах на пожароопасный сезон 2015 года / Республиканский центр управления и реагирования на чрезвычайные ситуации МЧС Республики Беларусь. – Минск, 2015. – 8 с.
9. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад [Электронный ресурс]. – М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. – 864 с. – Режим доступа: <https://2020.ecology-gosdoklad.ru/api/media/file/d3005e7015da96594907894c110510956a5a7dff.pdf>. – Дата доступа: 29.08.2022.
10. Промышленное производство в России. 2021: стат. сб. [Электронный ресурс] / Росстат. – М., 2021. – 305 с. – Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom_proiz-vo_2021.pdf. – Дата доступа: 29.08.2022.
11. Усеня, В.В. Послепожарное состояние и восстановление лесных фитоценозов на территории Республики Беларусь / В.В. Усеня // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2018. – Т. 63, № 3. – С. 316–327. – DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-3-316-327. – EDN: YASDUL.
12. Статистический ежегодник Республики Беларусь, 2022 [Электронный ресурс] / И.В. Медведева [и др.]. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2022. – 374 с. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniiwet4h4icu0kdluroip08.pdf>. – Дата доступа: 29.08.2022.
13. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2019 год [Электронный ресурс] / Под общ. ред. Е.П. Богодяж. – Минск: Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Белгидромет). – 2020. – 493 с. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/793.html>. – Дата доступа: 29.08.2022.
14. Москаленко, Н.В. Экологические аспекты реабилитации переданных в лесной фонд деградированных мелиорированных торфяников / Н.В. Москаленко [и др.] // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2019. – № 1. – С. 36–42. – EDN: TAPCZN.
15. Общая площадь, пройденная лесными пожарами [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации Республики Беларусь: dataportal.belstat.gov.by. – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144102>. – Дата доступа: 29.08.2022.
16. Количество лесных пожаров [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации Республики Беларусь: dataportal.belstat.gov.by. – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=163103>. – Дата доступа: 29.08.2022.
17. Расходы по тушению и ликвидации последствий лесных пожаров [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации Республики Беларусь: dataportal.belstat.gov.by. – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144117>. – Дата доступа: 29.08.2022.
18. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2021 г. (нарастающим итогом с 01.01.2021) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: public.aviales.ru. – Режим доступа: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2021-12-30. – Дата доступа: 29.08.2022.
19. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2018 г. (нарастающим итогом с 01.01.2018) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: public.aviales.ru. – Режим доступа: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2018-12-30. – Дата доступа: 29.08.2022.
20. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2019 г. (нарастающим итогом с 01.01.2019) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: public.aviales.ru. – Режим доступа: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2019-12-30. – Дата доступа: 29.08.2022.

21. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2020 г. (нарастающим итогом с 01.01.2020) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: public.aviales.ru. – Режим доступа: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2020-12-30. – Дата доступа: 29.08.2022.
22. Сводный отчет о лесных пожарах (термических аномалиях) на всех видах территорий по данным космического мониторинга по состоянию на 30 декабря 2022 г. (нарастающим итогом с 01.01.2022) [Электронный ресурс] // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ФБУ «Авиалесохрана»: public.aviales.ru. – Режим доступа: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2022-12-30. – Дата доступа: 29.08.2022.
23. Зуенко, В.А. Проблемы тушения лесных пожаров в Российской Федерации / В.А. Зуенко, А.С. Родимцев // Агротехника и энергообеспечение. – 2015. № 3 (7). – С. 95–107. – EDN: YIPLD.
24. San-Miguel-Ayanz, J. Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS) / J. San-Miguel-Ayanz [et al.] // Approaches to managing disaster – Assessing hazards, emergencies and disaster impacts. – 2012. – P. 87–108. DOI: 10.5772/28441.
25. De Groot, W.J. Interpreting the Canadian forest fire weather index (FWI) system [Electronic resource] / W.J. de Groot // Proc. Fourth Central Regional Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar, April 2, 1987, Winnipeg, Manitoba. – Canadian Forestry Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, 1987. – P. 3–14. – Mode of access: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=23688>. – Date of access: 29.08.2022.
26. Van Wagner, C.E. Development and structure of the Canadian forest fire weather index system [Electronic resource] / C.E. Van Wagner. – Canadian Forestry Service, Headquarters, Ottawa, 1987. – Forestry technical report 35. – 35 p. – Mode of access: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=19927>. – Date of access: 29.08.2022.
27. Van Wagner, C.E. Structure of the Canadian forest fire weather index / C.E. Van Wagner. – Departmental Publication 1333, Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experiment Station, Chalk River, Ontario, 1974. – 49 p.
28. Гармаза, А.К. Лесные пожары в Беларуси: материальный ущерб и опасные факторы пожара / А.К. Гармаза [и др.] // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2017. – № 2 (198). – С. 322–327. – EDN: YMIEPD.
29. Ponomarev, E.I. System of wildfires monitoring in Russia / E.I. Ponomarev, V. Ivanov, N. Korshunov // Wildfire hazards, risks, and disasters / Editors: J.F. Shroder, D. Paton. – Oxford: Elsevier, 2015. – Chapter 10. – P. 187–205. – DOI: 10.1016/B978-0-12-410434-1.00010-5.
30. Лупян, Е.А. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) / Е.А. Лупян [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 6. – С. 158–175. – DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175. – EDN: YLXCNK.
31. Груммо, Д.Г. Оценка и прогноз пожароопасной ситуации при оптимизации гидрологического режима верхового болота «Ельня» (Беларусь) / Д.Г. Груммо [и др.] // Социально-экологические технологии. – 2016. – № 4. – С. 7–19. – EDN: YMFZBR.
32. Лупян, Е.А. Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) / Е.А. Лупян [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12, № 5. – С. 222–250. – EDN: UZNDUD.
33. Система автоматического мониторинга и раннего обнаружения лесных пожаров «Лесной страж» для нужд лесохозяйственных учреждений [Электронный ресурс]. – Минск: Армософт, 2020. – 8 с. – Режим доступа: https://Strazh.by/files/Lesnoy_Strazh.pdf. – Дата доступа: 29.08.2022.
34. Волосюк, А.И. Оценка последствий лесных пожаров на основе автоматизированной обработки материалов дистанционного зондирования Земли / А.И. Волосюк, А.А. Топаз // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – Минск: – 2022. – Т. 1. – С. 57–70. – DOI: 10.33581/2521-6740-2022-1-57-70. – EDN: PHMOSY.
35. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System [Electronic resource]. – Forestry Canada, Headquarters, Fire Danger Group and Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, 1992. – Information Report ST-X-3. – 64 p. – Mode of access: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=10068>. – Date of access: 29.08.2022.

36. Проровский, В.М. Совершенствование системы сбора информации о чрезвычайных ситуациях в целях подготовки показателей глобальных задач Сендайской рамочной программы / В.М. Проровский, М.В. Ходин // II Междунар. науч.-практ. конф. «Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций», Минск, 20 нояб. 2018 г.: материалы конф. – Минск: УГЗ, 2018. – С. 157–161.
37. Вильфанд, Р.М. Долгосрочные метеорологические прогнозы в Гидрометцентре России / Р.М. Вильфанд [и др.] // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2019. – № 4 (374). – С. 12–36. – EDN: ATVКСN.

**Совершенствование информационных систем о природных пожарах
Республики Беларусь и Российской Федерации**

**Improvement of information systems on natural fires
in Republic of Belarus and Russian Federation**

Кравцов Сергей Леонидович

кандидат технических наук

Государственное научное учреждение
«Объединенный институт проблем
информатики Национальной академии наук
Беларуси», лаборатория аэрокосмического
мониторинга, заведующий лабораторией

Адрес: ул. Сурганова, 6,
220012, г. Минск, Беларусь

Email: Krautsou_sl@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-1476-9553

Sergey L. Kravtsov

PhD in Technical Sciences

State Scientific Institution «United Institute
of Informatics Problems of the National
Academy of Sciences of Belarus»,
Laboratory of Aerospace Monitoring,
Head of Laboratory

Address: Surganova str., 6,
220012, Minsk, Belarus

Email: Krautsou_sl@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-1476-9553

Попова Анастасия Константиновна

кандидат технических наук

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт динамики систем
и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии
наук, лаборатория комплексных
информационных систем, старший
научный сотрудник

Адрес: ул. Лермонтова, 134, а/я 292,
664033, г. Иркутск, Россия

Email: chudnenko@icc.ru

ORCID: 0000-0001-6209-678X

Anastasiya K. Popova

PhD in Technical Sciences

Matrosov Institute for System Dynamics
and Control Theory of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences,
Laboratory of Complex Information Systems,
Senior Researcher

Address: Lermontova str., 134, PO Box 292
664033, Irkutsk, Russia

Email: chudnenko@icc.ru

ORCID: 0000-0001-6209-678X

Маркова Дарья Сергеевна

Государственное научное учреждение
«Объединенный институт проблем
информатики Национальной академии наук
Беларуси», лаборатория аэрокосмического
мониторинга, стажер младшего научного
сотрудника

Адрес: ул. Сурганова, 6,
220012, г. Минск, Беларусь

Email: hanna49@rambler.ru

Daria S. Markova

State Scientific Institution «United Institute
of Informatics Problems of the National
Academy of Sciences of Belarus»,
Laboratory of Aerospace Monitoring,
Trainee Junior Researcher

Address: Surganova str., 6,
220012, Minsk, Belarus

Email: hanna49@rambler.ru

Лепесевич Екатерина Вячеславовна

Государственное научное учреждение
«Объединенный институт проблем
информатики Национальной академии наук
Беларуси», лаборатория аэрокосмического
мониторинга, младший научный сотрудник

Адрес: ул. Сурганова, 6,
220012, г. Минск, Беларусь

Email: 13958@mail.ru

Ekaterina V. Lepesevich

State Scientific Institution «United Institute
of Informatics Problems of the National
Academy of Sciences of Belarus»,
Laboratory of Aerospace Monitoring,
Junior Researcher

Address: Surganova str., 6,
220012, Minsk, Belarus

Email: 13958@mail.ru

Решетник Сергей Владимирович

Государственное научное учреждение
«Объединенный институт проблем
информатики Национальной академии наук
Беларуси», лаборатория аэрокосмического
мониторинга, главный конструктор проекта

Адрес: ул. Сурганова, 6,
220012, г. Минск, Беларусь

Email: rsvlad@tut.by

Sergey V. Reshetnik

State Scientific Institution «United Institute
of Informatics Problems of the National
Academy of Sciences of Belarus»,
Laboratory of Aerospace Monitoring,
Chief Designer of Project

Address: Surganova str., 6,
220012, Minsk, Belarus

Email: rsvlad@tut.by

IMPROVEMENT OF INFORMATION SYSTEMS ON NATURAL FIRES IN REPUBLIC OF BELARUS AND RUSSIAN FEDERATION

Kravtsov S.L., Popova A.K., Markova D.S., Lepesevich E.V., Reshetnik S.V.

Purpose. Achievement of a present-day level of information systems on natural fires (ISNF) of the Republic of Belarus and the Russian Federation (both in terms of the degree of automation of calculations and the quality of the information provided) in situations of changing weather conditions.

Methods. A qualitatively new result is proposed to be obtained by introducing advanced technologies based on the processing of heterogeneous data (terrestrial, satellite, etc.) over a long period of time – the «big data» approach.

Findings. An analysis of currently functioning ISNFs was carried out which showed that the existing ISNFs of the Republic of Belarus and the Russian Federation, based on those developed in the 50s. of XX century complex meteorological indicators and created separately from each other without unified vision of the system, carry out forecast monitoring of fire danger at a level insufficient for modern conditions significantly inferior to foreign analogues.

Proposals are formulated to improve the ISNFs of the Republic of Belarus and the Russian Federation in such a way that they are complex systems covering the full cycle of forecast monitoring of fire danger: from warning and preparation for natural fires to analysis of the damage caused by them. To make a comprehensive picture of fire danger taking into account the peculiarities of changed weather conditions, it is recommended to change the use of complex meteorological indicators of N.A. Dichenkov (adopted in Belarus) and V.G. Nesterov (adopted in Russian Federation) onto the Fire Weather Index (FWI). It will also allow to harmonize the fire hazard assessment on the territory of Republic of Belarus, Russian Federation and adjacent countries.

Application field of research. The above suggestions can be used to improve the ISNFs of the Republic of Belarus and the Russian Federation.

Keywords: natural fires, information system, automation of calculations, quality of information, change in weather conditions.

(The date of submitting: November 8, 2022)

REFERENCES

1. *Sovershenstvovanie gidrometeorologicheskoy sluzhby i sistem rannego preduprezhdeniya v Respublike Belarus'* [Improving the hydrometeorological service and early warning systems in the Republic of Belarus]. World Bank Group, Washington, 2020. 108 p. Available at: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/219301594880509884/pdf/Strengthening-Hydromet-and-Early-Warning-Services-in-Belarus-A-Road-Map.pdf> (accessed: 29.08.2022). (rus)
2. Il'yuchik M.A., Tsay S.S., Pushkin A.A., Mel'nik P.G. Geoinformatsionnaya sistema kompleksnogo monitoringa zemel' lesnogo fonda, lesopol'zovaniya i otsenki pozharnoy opasnosti «SM-Lesfond» [Geoinformation system for integrated monitoring of forest fund lands, forest management and fire hazard assessment «SM-Lesfond»]. *Proc. VII Belarusian Space Congress, Minsk, Oktober 24–26, 2017*. Minsk: UIIP NAS of Belarus, 2017. Vol. 2. Pp. 251–254. (rus)
3. Barovik D.V., Gorbatsevich D.A., Taranchuk V.B. Programmnyy kompleks operativnogo modelirovaniya rasprostraneniya lesnykh pozharov [Software complex for operational modeling of the spread of forest fires]. *Proc. Intern. scientific conf. «Informatization of education – 2010: pedagogical aspects of the development of information educational environment», Minsk, Oktober 27–30, 2010*. Minsk: BSU, 2010. Pp. 54–58. – URI: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/11168>. (rus)
4. Mel'nik V., Yatsukhno V., Denisov N., Nikolaeva L., Faloleeva M. *Agroklimaticheskoe zonirovaniye territorii Belarusi s uchetom izmeneniya klimata v ramkakh razrabotki natsional'noy strategii adaptatsii sel'skogo khozyaystva k izmeneniyu klimata v Respublike Belarus'* [Agro-climatic zoning of the territory of Belarus taking into account climate change as a part of the development of a national strategy for adapting agriculture to climate change in the Republic of Belarus]: Clima East project (contract CEEF2016-071-BL). Minsk-Zheneva: 2017. 84 p. Available at: <https://climate.ecopartnerstvo.by/sites/default/files/2017-09/%5BRUS%5D%20Agriculture%20Climate%20Change%20Zoning%20in%20Belarus.pdf> (accessed: 29.08.2022). (rus)

5. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2016 god* [A report on climate features in the territory of the Russian Federation in 2016]. Moscow: Roshydromet, 2017. 70 p. Available at: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/Доклад2016.pdf (accessed: 29.08.2022). (rus). EDN: XNLKXR.
6. Mingalev D.E. *Izmenenie klimata v Rossii (1985–2016) na primere sravneniya staroy i novoy kart agroklimaticheskikh poyasov* [Climate change in Russia (1985–2016) on the example of comparing old and new maps of agro-climatic zones]. Eurasian Union of Scientists, 2017. No. 9-3 (42). Pp. 5–9. (rus). EDN: RTBRFC.
7. *Natsional'naya sistema monitoringa okruzhayushchey sredy v Respublike Belarus': rezul'taty nablyudeniya, 2021 god* [National environmental monitoring system in the Republic of Belarus: observation results, 2021]: under total ed. M.I. Lemutova. Minsk: Belhydromet, 2022. 556 p. Available at: <https://www.nsmos.by/content/818.html> (accessed: 29.08.2022). (rus)
8. *Prognoz pozharov v prirodnykh ekosistemakh na pozharoопасnyy sezon 2015 goda* [Forecast of fires in natural ecosystems for the fire season 2015]. Republican Center for Emergency Management and Response of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus. Minsk, 2015. 8 p. (rus)
9. *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2020 godu* [On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2020]. State report. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia, Lomonosov Moscow State University, 2021. 864 p. Available at: <https://2020.ecology-gosdoklad.ru/api/media/file/d3005e7015da96594907894c110510956a5a7dff.pdf> (accessed: 29.08.2022). (rus)
10. *Promyshlennoe proizvodstvo v Rossii. 2021* [Industrial production in Russia. 2021]: statistical compendium. Moscow: Rosstat, 2021. 305 p. Available at: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Prom_proiz-vo_2021.pdf (accessed: 29.08.2022). (rus)
11. Usenya V.V. *Poslepozharnoe sostoyanie i vosstanovlenie lesnykh fitotsenozov na territorii Respubliki Belarus'* [Postfire condition and renewal of forest phytocenoses on the territory of the Republic of Belarus]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Biological Series*, 2018. Vol. 63, No. 3. Pp. 316–327. (rus). DOI: 10.29235/1029-8940-2018-63-3-316-327. EDN: YASDUL.
12. Medvedeva I.V. et al. *Statisticheskiiy ezhegodnik Respubliki Belarus', 2022* [Statistical Yearbook of the Republic of Belarus, 2022]. Minsk: National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2022. 374 p. Available at: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniiibet4h4icu0kdltruipo8.pdf> (accessed: 29.08.2022). (rus)
13. *Natsional'naya sistema monitoringa okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus': rezul'taty nablyudeniya, 2019 god* [National environmental monitoring system of the Republic of Belarus: observation results, 2019]: under total ed. E.P. Bogodyazh. Minsk: Belhydromet, 2020. 493 p. Available at: <https://www.nsmos.by/content/793.html> (accessed: 29.08.2022). (rus)
14. Moskalenko N.V., Bulko N.I., Mashkov I.A., Tolkacheva N.V., Serenkova V.A., But'kovets V.V. *Ekologicheskie aspekty rehabilitatsii peredannykh v lesnoy fond degradirovannykh meliorirovannykh torfyanikov* [Ecological aspects of rehabilitation transferred to the forest fund of degraded reclaimed peats]. *Vesnik of Palesky State University. Series in Natural Sciences*, 2019. No 1. Pp. 36–42. (rus). EDN: TAPCZN.
15. Total area affected by forest fires. *National Statistical Committee. Interactive business intelligence system for distribution of official statistical information: dataportal.belstat.gov.by*, available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144102> (accessed: 29.08.2022).
16. Number of forest fires. *National Statistical Committee. Interactive business intelligence system for distribution of official statistical information: dataportal.belstat.gov.by*, available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=163103> (accessed: 29.08.2022).
17. *Raskhody po tusheniyu i likvidatsii posledstviy lesnykh pozharov* [Expenses for extinguishing and eliminating the consequences of forest fires]. *National Statistical Committee. Interactive business intelligence system for distribution of official statistical information: dataportal.belstat.gov.by*, available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144117> (accessed: 29.08.2022). (rus)
18. *Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2021 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2021)* [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2021 (cumulative total from 01.01.2021)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2021-12-30 (accessed: 29.08.2022). (rus)

19. Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2018 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2018) [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2018 (cumulative total from 01.01.2018)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2018-12-30 (accessed: 29.08.2022). (rus)
20. Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2019 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2019) [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2019 (cumulative total from 01.01.2019)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2019-12-30 (accessed: 29.08.2022). (rus)
21. Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2020 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2020) [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2020 (cumulative total from 01.01.2020)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2020-12-30 (accessed: 29.08.2022). (rus)
22. Svodnyy otchet o lesnykh pozharakh (termicheskikh anomal'yakh) na vsekh vidakh territoriy po dannym kosmicheskogo monitoringa po sostoyaniyu na 30 dekabrya 2022 g. (narastayushchim itogom s 01.01.2022) [Summary report on forest fires (thermal anomalies) in all types of territories according to space monitoring data as of December 30, 2022 (cumulative total from 01.01.2022)]. *Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency of the Federal Budgetary Institution «Avialesokhrana»: public.aviales.ru*. Available at: http://public.aviales.ru/main_pages/openform1.shtml?2022-12-30 (accessed: 29.08.2022). (rus)
23. Zuenko V.A., Rodimtsev A.S. Problemy tusheniya lesnykh pozharov v Rossiyskoy Federatsii [Forest conflagration extinguishing problems on Russian Federation territory]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*, 2015. No. 3 (7). Pp. 95–107. (rus). EDN: YIULD.
24. San-Miguel-Ayaz J., Schulte E., Schmuck G., Camia A., Strobl P. et al. Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS). *Approaches to Managing Disaster – Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts*, 2014. Pp. 87–108. DOI: 10.5772/28441.
25. De Groot W.J. Interpreting the Canadian forest fire weather index (FWI) system. *Proc. Fourth Central Regional Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar, April 2, 1987, Winnipeg, Manitoba*. Canadian Forestry Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, 1987. Pp. 3–14. Available at: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=23688> (accessed: 29.08.2022).
26. Van Wagner C.E. *Development and structure of the Canadian forest fire weather index system*. Canadian Forestry Service, Headquarters, Ottawa, 1987. Forestry technical report 35. 35 p. Available at: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=19927> (accessed: 29.08.2022).
27. Van Wagner C.E. *Structure of the Canadian forest fire weather index*. Departmental Publication 1333, Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experiment Station, Chalk River, Ontario, 1974. 49 p.
28. Garmaza A.K., Ermak I.T., Bosak V.N., Peretrukhin V.V., Chernushevich G.A., Klimchik G.Ya. Lesnye pozhary v Belarusi: material'nyy usherb i opasnye faktory pozhara [Forest fires in Belarus: material damage and hazardous factors of fire]. *Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry. Environmental management. Reprocessing of renewable resources*, 2017. No. 2 (198). Pp. 322–327. (rus). EDN: YMIEPD.
29. Ponomarev E.I., Ivanov V., Korshunov N. System of wildfires monitoring in Russia. In book: *Wildfire hazards, risks, and disasters*. Oxford: Elsevier, 2015. Chapter 10. Pp. 187–205. DOI: 10.1016/B978-0-12-410434-1.00010-5.
30. Lupyan E.A., Bartalev S.A., Balashov I.V., Egorov V.A., Ershov D.V., Kobets D.A., Senko K.S., Stytsenko F.V., Sychugov I.G. Sputnikovyy monitoring lesnykh pozharov v 21 veke na territorii Rossiyskoy Federatsii (tsifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya) [Satellite monitoring of forest fires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (facts and figures based on active fires detection)]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017. Vol. 14, No. 6. Pp. 158–175. (rus). DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175. EDN: YLXCNK.

31. Grummo D.G., Zelenkevich N.A., Sozinov O.V., Moyseychuk E.V. Otsenka i prognoz pozharoopasnoy situatsii pri optimizatsii gidrologicheskogo rezhima verkhovogo bolota «El'nya» (Belarus') [Evaluation and forecast of fire hazard in the optimization of the hydrological regime of raised bog «Yelnya» (Belarus)]. *Environment and Human: Ecological Studies*, 2016. No 4. Pp. 7–19. (rus). EDN: YMFZBR.
32. Lupyan E.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Zharko V.O., Kovganko K.A., Kolbudaev P.A., Krashennikova Yu.S., Proshin A.A., Mazurov A.A., Uvarov I.A., Stytsenko F.V., Sychugov I.G., Flitman E.V., Khvostikov S.A., Shulyak P.P. Organizatsiya raboty so sputnikovymi dannymi v informatsionnoy sisteme distantsionnogo monitoringa lesnykh pozharov Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva (ISDM-Rosleskhoz) [Satellite data processing management in Forest Fires Remote Monitoring Information System (ISDM-Rosleskhoz) of the Federal Agency for Forestry]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015. Vol. 12, No. 5. Pp. 222–250. (rus). EDN: UZNDUD.
33. Sistema avtomaticheskogo monitoringa i rannego obnaruzheniya lesnykh pozharov «Lesnoy strazh» dlya nuzhd lesokhozyaystvennykh uchrezhdeniy [System of automatic monitoring and early detection of forest fires «Forest Guard» for the needs of forestry institutions]. Minsk: Armosoft, 2020. 8 p. Available at: https://Strazh.by/files/Lesnoy_Strazh.pdf (accessed: 29.08.2022). (rus)
34. Volosyuk A.I., Topaz A.A. Otsenka posledstviy lesnykh pozharov na osnove avtomatizirovannoy obrabotki materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Assessment of forest fire effects based on automated processing of Earth remote sensing imager]. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*, 2022. Vol. 1. Pp. 57–70. (rus). DOI: 10.33581/2521-6740-2022-1-57-70. EDN: PHMOSY.
35. *Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System*. Forestry Canada, Headquarters, Fire Danger Group and Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa, 1992. Information Report ST-X-3. 64 p. Available at: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=10068> (accessed: 29.08.2022).
36. Prorovskiy V.M., Khodin M.V. Sovershenstvovanie sistemy sbora informatsii o chrezvychaynykh situatsiyakh v tselyakh podgotovki pokazateley global'nykh zadach Sendayskoy ramochnoy programmy [Improving the system for collecting information on emergency situations in order to prepare indicators for the global targets of the Sendai Framework]. *Proc. II Intern. scientific-practical. conf. «Bezopasnost' cheloveka i obshchestva: sovershenstvovanie sistemy reagirovaniya i upravleniya zashchitoy ot chrezvychaynykh situatsiy»*, Minsk, November 20, 2018. Minsk: University of Civil Protection, 2018. Pp. 157–161. (rus)
37. Vil'fand R.M., Zaripov R.B., Kiktev D.B., Kruglova E.N., Kryzhov V.N., Kulikova I.A., Tishchenko V.A., Tolstykh M.A., Kha V.M. Dolgosrochnye meteorologicheskie prognozy v Gidromettsentre Ros-sii [Long-range forecasting at Hydrometeorological Center of Russia]. *Hydrometeorological Research and Forecasting*, 2019. No. 4 (374). Pp. 12–36. (rus). EDN: ATVKCN.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ИНТЕРЕСАХ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

Бордак С.С.

Цель. Провести анализ различных типов организационных структур органов управления в интересах поддержки принятия управленческих решений гражданской обороны.

Методы. В качестве теоретической базы использовались методы теории организации и общенаучные методы (индукции, дедукции, анализа и синтеза).

Результаты. Проведен анализ практики подготовки решений начальника гражданской обороны, выявлены наиболее существенные компоненты структуры органов управления гражданской обороны. Предложены различные типы организационных структур с учетом специфики задач, решаемых должностными лицами органов управления.

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

Ключевые слова: организационно-штатная структура, эффективность, неопределенность, принятие управленческого решения, показатель общей центральности.

(Поступила в редакцию 12 декабря 2022 г.)

Введение

В основе управления гражданской обороной лежит решение начальника. Подготовка и принятие решения – сложный творческий процесс, который осуществляется в условиях недостатка достоверных данных об обстановке, замыслах и возможном характере действий противника, возможных объемах аварийно-спасательных и других неотложных работ. Деятельность органов управления гражданской обороны по обоснованию принимаемого решения направлена прежде всего на снижение этой неопределенности. В связи с этим качество рассматриваемой деятельности предопределяет и качество принимаемого решения. Наряду с этим увеличение объема управленческих задач, несоответствие структуры органов управления мирного времени задачам и структуре в период нарастания военной угрозы и в военное время не всегда позволяют в полной мере достигать высокой слаженности в работе должностных лиц и обеспечивать эффективное управление подчиненными силами и средствами в любых условиях обстановки.

Основная часть

Понятие качества, как правило, отождествляется со свойством или совокупностью свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по целевому назначению [1]. Применительно к работе органа управления указанная совокупность свойств характеризуется методами работы, организационно-штатной структурой, распределением обязанностей между должностными лицами, входящими в состав органа управления, уровнем подготовки этих должностных лиц, а также их обеспеченностью средствами управления. Взаимосвязь между организационными формами, методами управления и материально-технической основой (средствами управления) подчеркивает важность организационно-управленческого аспекта.

Широкий спектр задач, выполняемых в ходе подготовки и принятия решения начальником гражданской обороны, обуславливают необходимость формализации данного процесса. Результаты анализа сложившейся практики подготовки и принятия решения показывают, что этот процесс в общем виде включает:

- оценку (прогнозирование) обстановки, в ходе которой проводятся сбор, обработка и анализ информации;
- определение замысла действий подчиненных сил и области допустимых решений D , разработку вариантов решения $\{V_1, \dots, V_n\}$;
- выбор критерия эффективности для оценки этих вариантов $G(V)$;
- проведение оценки каждого варианта решения по выбранному критерию эффективности $g_i = G(V_i)$;
- принятие решения – выбор оптимального варианта решения по выбранному критерию $(V_{opt}, g_{opt}) = f(g_1, \dots, g_n)$ (рис. 1).

Декомпозиция процесса подготовки и принятия решения позволяет установить, кто из должностных лиц и в каком объеме должен выполнять те или иные работы и нести ответственность за их результаты, что является исходной предпосылкой при определении организационной структуры органа управления. В последующем на этой основе необходимо определить наиболее существенные компоненты, составляющие их элементы и связи между ними для функционирования органа управления.

Проведенные исследования показали [2–3], что для обеспечения основных функций и задач управления гражданской обороной работу должностных лиц органа управления целесообразно осуществлять в составе трех основных функциональных компонентов, обеспечивающих сбор, обработку и анализ информации об обстановке, преобразование ее в управляющее воздействие и контроль его исполнения. К таким компонентам можно отнести группу информации, группу планирования и группу применения сил и средств защиты населения.

Необходимо отметить, что обоснованность и целесообразность подготавливаемого решения могут быть достигнуты как на основе текущей информации об обстановке, так и на основе прогнозирования и всесторонней оценки ее развития [4]. Целью прогнозирования и оценки обстановки должно быть получение количественной и качественной информации о характере и степени угроз для населения, объектов жизнеобеспечения и возможных последствий воздействия средств поражения. Систематизация полученных данных

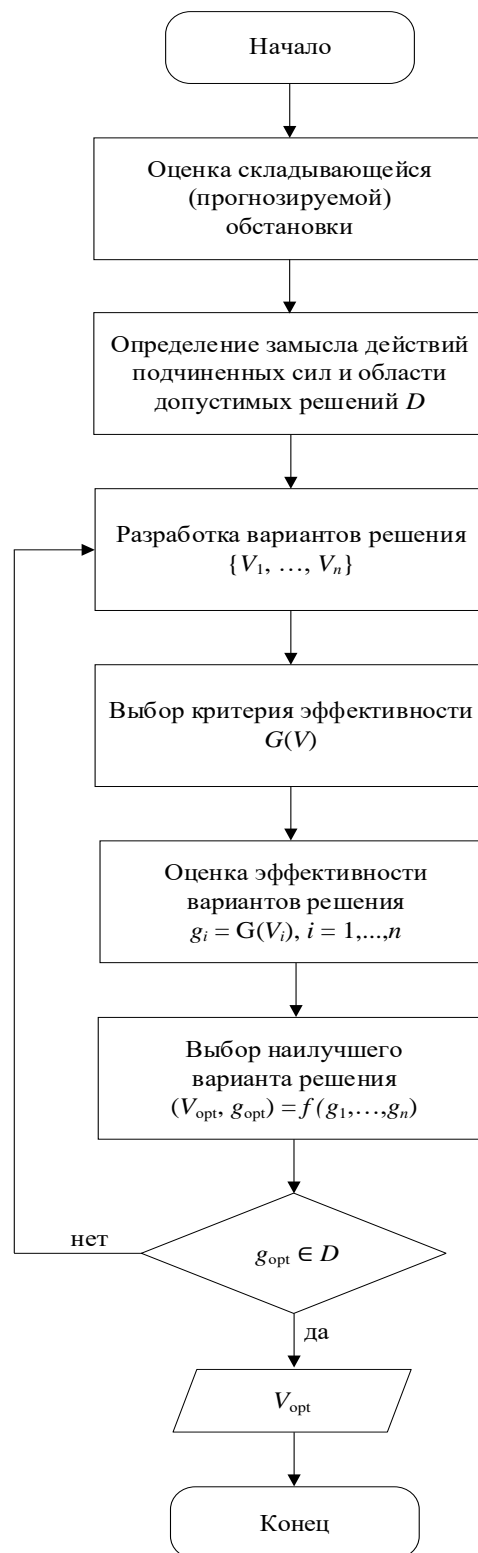


Рисунок 1. – Процесс подготовки и принятия решения начальником гражданской обороны

о практике подготовки решений начальником гражданской обороны свидетельствует, что в ходе оценки возможной обстановки должны быть решены следующие задачи [1–4]:

- определены характер, масштабы и параметры угроз и поражающих факторов при применении противником средств поражения, которые могут воздействовать на территорию, население, организации и силы гражданской обороны;

- оценена возможная обстановка (инженерная, пожарная, медицинская и др.) с целью определения мер по снижению возможного воздействия поражающих факторов, необходимых для этого сил и средств;

- спрогнозированы и оценены возможные социально-экономические последствия (потери, ущерб);

- определены порядок организации и способы проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, технологии их ведения, потребности в силах, материально-техническом и других видах обеспечения.

Исходя из этого, группой информации осуществляются сбор, обработка и анализ информации об обстановке, а также прогнозирование ее развития. С учетом замысла начальника группой планирования может запрашиваться дополнительная информация, а также корректироваться перечень других исходных данных, необходимых для расчетного обоснования решения. В последующем на этой основе группой планирования разрабатываются варианты решения и проводятся расчеты их эффективности по заданному критерию. Полученные результаты используются в интересах принятия решения начальником гражданской обороны. Координация мероприятий по выполнению принятого решения возлагается на группу применения сил и средств защиты населения.

Необходимо также отметить, что спецификой гражданской обороны является сложный характер и быстрые изменения обстановки. Это требует эффективной и качественной работы органов управления по выработке управляющего воздействия в зависимости от складывающейся ситуации, а также обуславливает необходимость привлечения специалистов различного профиля с учетом выполняемых задач. Так, при формировании штаба гражданской обороны в его состав могут включаться должностные лица как органов управления по чрезвычайным ситуациям, так и других служб. Для рассматриваемого случая структура органа управления должна находиться в динамическом равновесии, т.е. меняться со временем и видоизменяться с учетом внешних условий. В то же время это предопределяет поиск наиболее оптимального распределения функциональных обязанностей и ответственности, порядка и форм взаимодействия между должностными лицами органа управления, а также определение и упорядочивание связей и отношений между ними.

Исходя из этого, для достижения целей управления гражданской обороны необходимо определить не только основные компоненты, но и структурные элементы органа управления и связи между ними для организации работы должностных лиц. Для этого целесообразно опираться на достижения теории организации, которая изучает прежде всего именно связи, а не сами элементы [5].

Проведенный анализ показал, что наиболее характерными для органов управления гражданской обороны являются иерархические структуры. Рассмотрим три основных варианта таких структур (рис. 2). На рисунке круги обозначают узлы структуры – должностных лиц органа управления, а линии – связи между ними.

Вариант *а* предполагает взаимодействие каждого должностного лица только со своими непосредственными руководителями и со своими непосредственными подчиненными [5]. В варианте *б* связи между узлами структуры варианта *а* дополняются связями с непосредственными подчиненными своего непосредственного руководителя. В варианте *в* вводятся дополнительные связи между всеми узлами структуры, находящимися на одном уровне [5].

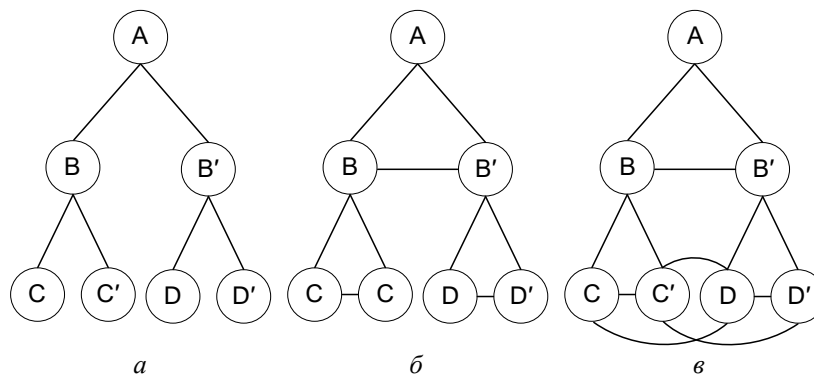


Рисунок 2. – Варианты иерархических структур органов управления

Для оценки влияния различных вариантов связей между должностными лицами на эффективность работы органа управления будем считать, что все связи качественно однородны и что одна связь представляет собой единицу расстояния [5]. Тогда $r_{m,n}$ – расстояние между любыми двумя узлами m и n – определяется как наименьшее число звеньев, по которым можно пройти от узла m к узлу n .

Для любого данного узла m имеется набор таких расстояний до всех других узлов. Наибольшее из них обозначим R . Например, для узла B в варианте a (рис. 1) расстояния от него до других узлов можно записать так: $r_{ba} = 1, r_{bb'} = 2, r_{bc} = 1, r_{bc'} = 1, r_{bd} = 3, r_{bd'} = 3$. Тогда для рассматриваемого случая $R_b = 3$. Узел или узлы с наименьшим $r_{m,n}$ являются центральными для заданных структур.

В целом для каждого из узлов по формуле (1) можно рассчитать показатель такой центральности q :

$$q_m = \sum_{m,n} r_{m,n} / \sum_n r_{m,n}. \tag{1}$$

Проведенные расчеты показали, что при увеличении количества должностных лиц в иерархических структурах (рис. 2) узлы с максимальной центральностью не изменяются, но при этом меняются численные значения их показателей центральности. В связи с этим для оценки связей в различных структурах органов управления может применяться показатель общей централизации:

$$P = \sum_m (q_{\max} - q_m), \tag{2}$$

где q_{\max} – максимальное значение показателя центральности для узла выбранной организационной структуры.

Влияние показателя общей централизации на эффективность работы органа управления оценивалась в ходе проведения ряда штабных тренировок, где ее участники были разделены на четыре группы. В каждой группе связи между должностными лицами были построены по одному из типов структур, наиболее распространенных при решении практических задач управления, которые представлены на рисунке 3.

В ходе эксперимента каждой группе были подготовлены одинаковые исходные данные об обстановке, задано фиксированное количество сил и средств, которые имеются в распоряжении, а также сформулировано одно и то же модельное задание, заключающееся в подготовке двух вариантов решения и их оценке по критерию «предотвращенный ущерб». Взаимодействие между должностными лицами было организовано посредством локальной вычислительной сети и регламента приема и передачи формализованных сообщений. В качестве критериев для оценки эффективности различных организационных структур были выбраны время выполнения задания, число переданных сообщений и частота ошибок.

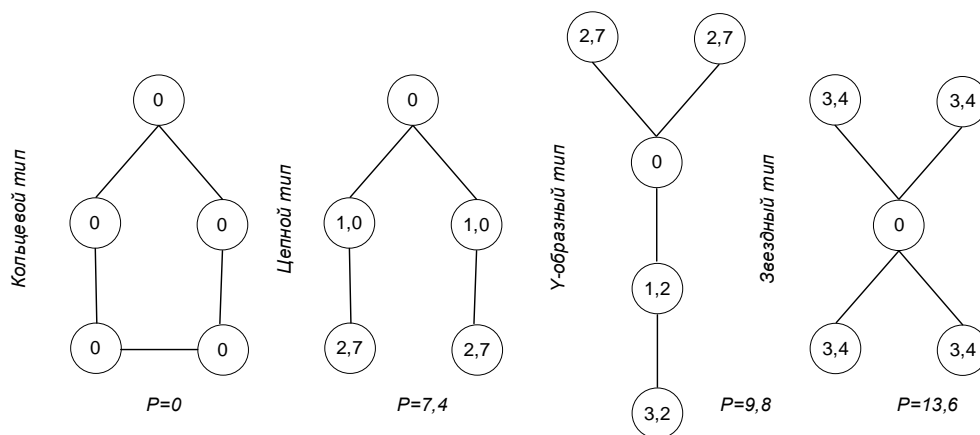


Рисунок 3. – Показатели центральности и общей централизации для различных типов структур органов управления

Полученные результаты показали, что в структурах с большим значением показателя общей централизации наиболее быстро выполнялись заданные модельные задачи. Так, по критерию «время выполнения задания» наиболее эффективной является звездный тип структуры. В остальных структурах время выполнения задания возрастало от У-образного типа к кольцевому типу. Существенный вывод также состоит и в том, что в структурах с меньшим значением общей централизации совершается больше ошибочных действий. С позиции практического применения это может использоваться для организации работы должностных лиц, варьирования взаимодействия между ними с учетом выполняемых задач. Так, для регламентных задач наиболее целесообразным будет звездный тип структуры, а для задач с высокой степенью неопределенности – кольцевой.

Заключение

Таким образом, в работе органа управления гражданской обороны наиболее важным и трудоемким является процесс подготовки и принятия решения. Данный процесс предусматривает подготовку различных вариантов решения, их сравнения, что обеспечивает возможность выбора лучшего из них и позволяет более эффективно выполнять задачи гражданской обороны. Это определяет требования как к высокому уровню профессиональной подготовки должностных лиц органов управления, так и к организации их работы, заключающейся в построении оптимальной организационной структуры и распределении обязанностей между должностными лицами, обеспечению взаимодействия и координации их работы в ходе выполнения задач по предназначению.

Важными факторами дальнейшего повышения эффективности работы органа управления являются уточнение роли, места и назначения каждого элемента в его структуре, а также установление целесообразных связей между ними. Показатель общей централизации позволяет провести количественную оценку существенных свойств структуры органа управления и может быть применен в качестве критерия выбора ее типа в зависимости от специфики решаемых задач. Такой подход дает возможность реализовать динамическую организационную структуру органа управления, в которой постоянным является состав должностных лиц, но при этом связи и отношения между ними изменяются в зависимости от изменения складывающейся обстановки.

Последующее совершенствование деятельности органов управления по поддержке принятия решений в интересах гражданской обороны видится за счет реализации комплекса мер, направленных на повышение оперативности управления, в том числе за счет внедрения современных средств автоматизации. Кроме этого, необходимо процессы подготовки и принятия решения, представленные на рисунке 1, тесно увязать с развитием систем получения, обработки и отображения данных обстановки, передачи достоверной информации, оптимизацией методов работы начальников и штабов. Каждое из этих направлений требует дальнейших исследований и разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бордак, С.С. Оценка эффективности мероприятий гражданской обороны при подготовке управленческих решений / С.С. Бордак, В.А. Ковтун, Ю.М. Плескачевский // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 241–250. – DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.241. – EDN: LZJZAW.
2. Бордак, С.С. Органы управления гражданской обороны района (города): целеполагание, функции и задачи / С.С. Бордак // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 511–520. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.511. – EDN: VNOАНВ.
3. Субботин, М.Н. Мероприятия гражданской защиты, обеспечивающие живучесть города в мирное и военное время / М.Н. Субботин, С.С. Бордак // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 99–105. – EDN: VKXNVЛ.
4. Справочник руководителя гражданской обороны / МЧС России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 192 с. – EDN: WAUTET.
5. Мильнер, Б.З. Теория организации: учебник / Б.З. Мильнер. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 648 с.

**Организационные аспекты поддержки принятия решений
в интересах гражданской обороны**

Organizational aspects of decision support for the sake of civil defense

Бордак Сергей Сергеевич

кандидат военных наук

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

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

Email: bordak.ucp@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9157-3899

Sergey S. Bordak

PhD in Military Sciences

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

Email: bordak.ucp@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9157-3899

ORGANIZATIONAL ASPECTS OF DECISION SUPPORT FOR THE SAKE OF CIVIL DEFENSE

Bordak S.S.

Purpose. To perform the analysis of various types of organizational structures of governing bodies for the sake of supporting civil defense management decisions.

Methods. The methods of organization theory and general scientific methods of induction, deduction, analysis and synthesis were used as a theoretical basis.

Findings. The analysis of the practice of preparing decisions by the chief of civil defense was carried out, the most significant components of the structure of civil defense management bodies were identified. Various types of organizational structures are proposed, taking into account the specifics of the tasks solved by officials of management bodies.

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

Keywords: organizational and staffing structure, efficiency, uncertainty, managerial decision-making, indicator of general centrality.

(The date of submitting: December 12, 2022)

REFERENCES

1. Bordak S.S., Kovtun V.A., Pleskachevskiy Yu.M. Otsenka effektivnosti meropriyatiy grazhdanskoj oborony pri podgotovke upravlencheskikh resheniy [Evaluation of the effectiveness of civil defense measures in the elaboration of management decisions]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 2. Pp. 241–250. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.241. EDN: LZJZAW.
2. Bordak S.S. Organy upravleniya grazhdanskoj oborony rayona (goroda): tselepolaganie, funktsii i zadachi [Civil defense regional governing bodies: goals, functions and tasks]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 4. Pp. 511–520. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.511. EDN: VNOAHB.
3. Subbotin M.N., Bordak S.S. Meropriyatiya grazhdanskoj zashchity, obespechivayushchie zhivuchest' goroda v mirnoe i voennoe vremya [Measures of the Civil Defense providing the functioning of cities at peace and war period]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 1 (23). Pp. 99–105. (rus). EDN: VKXNVL.
4. *Spravochnik rukovoditelya grazhdanskoj oborony* [Handbook of the head of civil defense]: Ministry of Emergency Situations of Russia. Moscow: FGBU VNII GOChS, 2016. 192 p. (rus). EDN: WAUTET.
5. Mil'ner B.Z. *Teoriya organizacii* [Organization Theory]: textbook. 4th ed. Moscow: INFRA-M, 2004. 648 p. (rus)

EDN: <https://elibrary.ru/VODHAQ>

**К 75-летию доктора физико-математических наук
Валерия Александровича Кузьмицкого**

Полевода И.И., Камлюк А.Н., Платонов А.С., Осяев В.А.

**To the 75th anniversary of grand PHD in physical and mathematical sciences
Valery Alexandrovich Kuzmitsky**

Palevoda I.I., Kamlyuk A.N., Platonov A.S., Osyayev V.A.



Валерий Александрович Кузьмицкий родился 27 марта 1948 г. в д. Копысица Шкловского района Могилевской области в семье военнослужащего. После перевода отца на новое место службы, в военный городок Мачулищи (Минский район), с 1955 по 1966 г. учился в местной средней школе, которую окончил с серебряной медалью. Еще в школе Валерий Александрович полюбил точные науки и в 1966 г. поступил на физический факультет Белорусского государственного университета им. В.И. Ленина. После окончания университета он поступил в аспирантуру Института физики Академии наук БССР. С 1975 г. работал в Институте физики, а с 1992 г. в Институте молекулярной и атомной физики НАН Беларуси, последо-

вательно занимая должности от младшего до главного научного сотрудника. Наиболее знаковым событием для нашего учебного заведения стало решение Валерия Александровича в 2007 г. продолжить научную деятельность в Командно-инженерном институте МЧС Республики Беларусь – ныне Университете гражданской защиты, где в настоящее время продолжает трудовую деятельность в должности профессора кафедры. Результаты научных исследований В.А. Кузьмицкого нашли отражение в более чем 120 статьях и главах коллективных монографий.

Как вспоминает Валерий Александрович, его путь в науку начался с атома гелия. Уже на старших курсах, когда на кафедре теоретической физики БГУ и во время преддипломной практики в Ленинграде на кафедре квантовой механики физического факультета ЛГУ им. А.А. Жданова им были выполнены работы по возбужденным состояниям атома гелия и спин-орбитальному взаимодействию в аналогах молекулы бензола, результаты которых привлекли внимание руководителей и руководство учебных заведений.

Главное научное направление исследований Валерия Александровича в Институте физики и Институте молекулярной и атомной физики НАН Беларуси состояло в разработке квантово-химических методов, направленных на рассмотрение больших многоатомных систем, а также на их вычислительную реализацию. Целью конкретных расчетов на этой основе было определение физических свойств молекул порфиринов – обширного класса химических соединений, в который входят в том числе молекулы хлорофиллов. В 1980 г. за



работы в этом направлении Валерию Александровичу присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук, а в 1999 г. – доктора физико-математических наук за диссертацию на тему «Электронная структура и спектроскопические свойства порфириновых молекулярных систем».

Научные результаты, полученные Валерием Александровичем, нашли применение не только в области молекулярной и атомной физики, но и в химии и медицине. В качестве наиболее значимых можно отметить результаты в области молекулярной спектроскопии. Им предложен и вычислительно реализован ряд квантово-химических методов для комплексов из молекул с сопряженными связями, выполнены расчеты димеров порфиринов, отличающихся большим разнообразием геометрических структур. Разработан вариант метода самосогласованного поля для систем с открытыми оболочками вырожденных орбиталей. Рассчитаны кольцевые электронные токи и магнитные характеристики порфиринов. Рассмотрено влияние электрического поля на электронную и энергетическую структуру порфириновых систем. Предложены модели гиперповерхностей для описания NH-таутомерии порфиринов. Возбужденные электронные состояния молекул класса порфиринов в целом рассмотрены на основе квантово-механической теории возмущений; такой подход дает понимание закономерностей длинноволновых электронных переходов этого класса соединений с единых позиций. Разработки квантово-химических методов, их вычислительная реализация дали возможность их использования в расчетах спектроскопических свойств химических соединений иных классов, в том числе наноразмерных кластеров MgO, ZnS и CdS, молекул билирубина, тиофлавина Т. Отдельного внимания заслуживает обратная задача для сложного резонанса Ферми и его вибронного аналога, для которой на основе алгебраических методов найдено ее точное решение.

Огромный научный опыт и знания Валерия Александровича, умение передавать их коллегам, были сразу отмечены и оценены коллективом Университета гражданской защиты. В результате его работ с 2007 г. новое развитие получило принципиально важное для обеспечения безопасности людей при пожаре научное направление – тепло- и массоперенос в зданиях на начальной стадии пожара. В рамках этого направления с помощью интегральной и полевой моделей пожара были выполнены расчеты динамики опасных факторов пожара в помещении. Произведены оценки воздействия ранее, как правило, не учитываемых продуктов горения: синильной кислоты, соляной кислоты, акролеина; подчеркнуто существенное значение этих опасных факторов пожара, не учтенных в нормативных документах. Предложен ряд модификаций интегральной модели, в том числе для описания пожара в здании, состоящем из нескольких помещений. С использованием программного комплекса FDS выполнены расчеты динамики пожара для двух смежных помещений. Под его чутким руководством Владимиром Осяевым, тогда еще преподавателем Командно-инженерного института, была начата подготовка, а впоследствии и успешно защищена кандидатская диссертация по этому научному направлению.

И в настоящее время Валерий Александрович принимает активное участие в научном и образовательном процессе Университета. Он был ученым секретарем совета по защите диссертаций К11.01.01 и заместителем главного редактора журнала «Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Бела-



реть». Сейчас Валерий Александрович входит в состав редакционного совета журнала «Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси», является членом научно-технического совета университета. Он также активно занимается преподавательской работой, читая лекции по дисциплине «Информатика» для курсантов, магистрантов, слушателей подготовки руководящих и научных кадров; по этой дисциплине им издан ряд учебно-методических пособий. Предложения и замечания, высказанные Валерием Александровичем, всегда высоко оцениваются как молодыми, так и опытными коллегами. Как ученый и педагог Валерий Александрович всегда отдан любимому делу.

Руководство университета, коллеги и ученики от всей души и с глубоким уважением желают Валерию Александровичу Кузьмицкому здоровья, жизненной энергии и долгих лет жизни, насыщенных добрыми событиями и научными открытиями!

С юбилеем Вас!

**К 75-летию доктора физико-математических наук
Валерия Александровича Кузьмицкого**
**To the 75th anniversary of grand PHD in physical and mathematical sciences
Valery Alexandrovich Kuzmitsky**

Полевода Иван Иванович

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

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

Email: ip@ucp.by

ORCID: 0000-0003-2469-3553

Ivan I. Palevoda

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

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

Email: ip@ucp.by

ORCID: 0000-0003-2469-3553

Камлюк Андрей Николаевич

кандидат физико-математических наук,
доцент

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

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

Email: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

Andrey N. Kamlyuk

PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor

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

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

Email: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

Платонов Александр Сергеевич

кандидат физико-математических наук,
доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», отдел науки
и инновационного развития, ведущий
научный сотрудник

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

Email: alexpltn@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5463-6029

Aleksandr S. Platonov

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»,
Department of scientific and Innovation Activity,
Leading Researcher

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

Email: alexpltn@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5463-6029

Осяев Владимир Александрович

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

Email: vladimir_osyaev@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5064-4205

Vladimir A. Osyayev

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

Email: vladimir_osyaev@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5064-4205

**ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
статей для публикации в научном журнале
«Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси»**

1. Направляемые в Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси статьи должны представлять результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, краткие сообщения, комментарии к нормативным техническим документам, справочные материалы и т.п.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.). В этот объем входят таблицы, фотографии, графики, рисунки и список литературы.

3. Статья предоставляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала: <https://journals.ucp.by>.

4. Электронная версия статьи, подготовленная в текстовом редакторе Microsoft Word, предоставляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес: vestnik@ucp.by. Рисунки прилагаются дополнительно как отдельные файлы графического формата.

5. Материал статьи излагается в следующем порядке:

1) информация об авторах (на отдельном листе): фамилия, имя, отчество – полностью, ученая степень, ученое звание, место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны), должность, рабочий телефон, email (обязательно), имеющиеся персональные идентификационные номера в наукометрических базах (при этом обязательным является указание SPIN-кода РИНЦ, идентификатора ORCID). Если авторов несколько, указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;

2) номер УДК (универсальная десятичная классификация);

3) название статьи;

4) аннотация (не менее 200 и не более 300 слов) является основным источником информации о статье, может публиковаться самостоятельно в реферативных журналах и информационных системах в отрыве от основного текста и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Аннотация должна раскрывать: *цель* (определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования); *методы* (излагаются подходы, методы и технологии исследования); *результаты* (приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна); *область применения исследований* (описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость);

5) ключевые слова и словосочетания статьи (не более 12 слов);

6) дата поступления статьи (месяц и год);

7) введение; основная часть статьи; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

8) указание на источник финансирования (если статья подготовлена в рамках выполнения гранта научных исследований);

9) список цитированной литературы. Для каждого источника указывается (при наличии) его DOI. Эксперты международных наукометрических баз данных негативно воспринимают включение в список цитированной литературы источников локального характера (постановлений, законов, инструкций, неопубликованных отчетов, диссертаций, авторефератов и т.п.), электронных материалов и ресурсов сети Интернет. Поэтому ссылки на такие источники рекомендуем оформлять в виде постраничных сносок со сквозной нумерацией.

На отдельной странице на английском языке приводятся следующие сведения: информация об авторах; название статьи; аннотация, обязательно включающая следующие пункты: purpose, methods, findings, application field of research; ключевые слова и словосочетания; транслитерация на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы.

Для русскоязычных источников в транслитерации на латинице приводятся фамилия, имя, отчество авторов, названия статей, журналов (если нет англоязычного названия), материалов конференций, издательств и на английском языке – названия публикаций и выходные сведения (город, том и номер издания, страницы). Для транслитерации на латиницу следует применять систему транслитерации BGN, при этом можно использовать интернет-ресурсы, например сайт: <http://translit.net>.

Основные требования к оформлению статей, предоставляемых в научный журнал, и пример оформления статьи размещены на сайте издания: <https://journals.ucp.by>.

6. Содержание разделов статьи, таблицы, рисунки, цитированная литература должны отвечать требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 7.1-2003 и Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением ВАК Беларуси от 28 февраля 2014 г. № 3.

7. Редакция оставляет за собой право на изменения, не искажающие основного содержания статьи. Рукописи отклоненных статей авторам не возвращаются.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

Факультет заочного обучения

Проводит:

Подготовку по специальностям:

1-94 01 01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» с присвоением квалификации «Инженер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Форма обучения – заочная. Полный срок обучения – 5 лет, сокращенный – 3 года.

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

Факультет безопасности жизнедеятельности

Проводит:

Переподготовку лиц с высшим образованием по специальностям:

1-94 02 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).

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»;
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты»;
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем пожарной автоматики и противодымной защиты»;
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты»;
- «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»;
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности предприятий химической промышленности, хранения и переработки зерна, аммиачных и хлораторных установок»;
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности при обращении пиротехнических изделий»;
- «Безопасность горных работ»;
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения в медицинских целях);
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения, в целях отличных от медицинских);
- «Основы обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (для лиц, участвующих в обеспечении ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации объектов использования атомной энергии);
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Охрана труда»;
- «Противодействие коррупции»;
- «Защита от чрезвычайных ситуаций».

Обучающие курсы для лиц, имеющих профессионально-техническое и общее среднее образование, по образовательным программам:

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты»;
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)»;
- «Защита от чрезвычайных ситуаций»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей».

Семинары по образовательным программам:

- «Оказание первой помощи пострадавшим в ЧС»;
- «Расчет предела огнестойкости (железобетонных, металлических, деревянных, каменных строительных конструкций»;
- «Расчет времени эвакуации людей при пожаре»;
- «Расчет температурного режима пожара в помещении»;
- «Расчет величины противопожарных разрывов между зданиями, сооружениями и наружными установками»;
- «Расчет площади легкобросываемых конструкций»;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Порядок проектирования пассивной противопожарной защиты зданий различного назначения»;
- «Оптимизация затрат на обеспечение требований пожарной безопасности на основании расчетных методов»;
- «Охрана труда в организациях непромышленной сферы».

Подготовку лиц к поступлению в учреждения образования Республики Беларусь по учебным предметам: математика, физика, русский язык, русский язык как иностранный, белорусский язык, английский язык, немецкий язык, французский язык, история, обществоведение, химия (очная/дистанционная форма обучения).

Обучение проводит профессорско-преподавательский состав университета и ведущие специалисты Республики Беларусь в области пожарной и промышленной безопасности.

Наш адрес: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25,
ФЗО: тел/факс +37517 340-71-89,
ФБЖ: тел. +37517 340-69-55, факс +37517 340-35-58, email: fpirk@ucp.by.

Дополнительная информация размещена на сайте университета: <http://ucp.by>
в разделе «Повышение квалификации»

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 7, № 1, 2023

Подписано в печать 21.02.2023.
Формат 60×84 ¹/₈.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 14,64. Уч.-изд. л. 13,44.
Тираж 35 экз. Заказ 012-2023.

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.