



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал  
**Вестник**  
**Университета гражданской защиты**  
**МЧС Беларуси**  
**(Journal of Civil Protection)**  
**Том 6, № 2, 2022**

**Редакционная коллегия:**

*главный редактор:*

**Полевода**  
**Иван Иванович**

кандидат технических наук,  
доцент

*зам. главного редактора:*

**Гончаренко**  
**Игорь Андреевич**

доктор физико-математических наук,  
профессор

**Платонов**  
**Александр Сергеевич**

кандидат физико-математических  
наук, доцент

**Редакционный совет:**

Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор – председатель; Богданова Валентина Владимировна, доктор химических наук, профессор – зам. председателя; Акулов Артем Юрьевич, кандидат технических наук (Россия); Байков Валентин Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Барановский Николай Викторович, кандидат физико-математических наук (Россия); Бирюк Виктор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент; Волочко Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор; Волянин Ежи, доктор технических наук, профессор (Польша); Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Каван Степан, доктор технических наук (Чехия); Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, доцент (Россия); Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Карпиленя Николай Васильевич, доктор военных наук, профессор; Ковтун Вадим Анатольевич, доктор технических наук, профессор; Кремень Марк Аронович, доктор психологических наук, профессор; Кудряшов Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент; Кузьмицкий Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, доцент; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лебедин Александр Владимирович, доктор военных наук, профессор; 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: (017) 340-53-93 (главный редактор)  
(017) 341-32-99

Сайт Университета гражданской защиты: [www.ucsp.by](http://www.ucsp.by)

Email редакции: [vestnik@ucsp.by](mailto:vestnik@ucsp.by)

**ISSN 2519-237X (print)**

**ISSN 2708-017X (online)**

© Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», 2022

## 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 структур ..... 159

**Бугров Ю.А., Нилова Е.К., Кронова Ж.Г., Самсонов В.Л.** Радиационное обследование территории Республики Беларусь, прилегающей к Игналинской АЭС .... 176

**Кицак А.И., Палубец С.М., Надточий Д.Н., Лобач Д.С.** Разработка методики измерений параметров тушения пожара класса А модульной установкой порошкового пожаротушения кратковременного действия в схеме тушения локально по поверхности. . 186

**Скорупич И.С., Грачулин А.В., Шинкоренко К.Е.** Экспериментальные исследования подачи струи компрессионной пены ..... 201

**Кондакова Я.А., Навроцкий О.Д., Иванов И.Ю.** Пенообразователь для тушения водорастворимых горючих жидкостей ..... 211

### **Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)**

**Стриганова М.Ю., Шаталов И.М., Щербакова М.К., Бандолик Н.Н., Гудков А.А., Комзолова Д.С.** Экспериментальные исследования параметров движения потока по сухому руслу в условиях высокогорья при гидродинамической аварии .... 219

**Пасовец В.Н., Ковтун В.А., Тагиев Ш.Ш.** Пожары на автотранспортных средствах: причины возникновения ..... 228

**Антонович А.А., Лахвич В.В., Гоман П.Н.** Прицепная пожарная мотопомпа для тушения торфяных пожаров ..... 239

### **Разное (обзоры)**

**Ковалева Т.Г., Дементьева Т.Г.** Информационно-коммуникационная среда как ресурс и инструмент иноязычного образования специалистов ..... 248

Правила предоставления статей ..... 256

## CONTENTS

### Fire and industrial safety (technical sciences)

**Goncharenko I.A., Il'yushonok A.V., Reabtsev V.N.** Measurement of absorbed dose of ionizing radiation by means of optical waveguide structures ..... 159

**Bugrov Yu.A., Nilova E.K., Kronova Zh.G., Samsonov V.L.** Radiation survey of the territory of the Republic of Belarus adjacent to Ignalina NPP ..... 176

**Kitsak A.I., Palubets S.M., Nadtochii D.N., Lobach D.S.** Development of a methodology for measuring the parameters of class A fire extinguishing by a powder fire extinguishing modular installation of short-term action in the scheme of extinguishing locally on the surface ..... 186

**Skorupich I.S., Grachulin A.V., Shinkorenko K.E.** Experimental investigation of compression foam jet supply ..... 201

**Kondakova Ya.A. Navrotsky O.D., Ivanov I.Yu.** Foaming agent for extinguishing water-soluble combustible liquids ..... 211

### Safety in emergencies (technical sciences)

**Striganova M.Yu., Shatalov I.M., Shcherbakova M.K., Bandolik N.N., Gudkov A.A., Komzolova D.S.** Experimental studies of the parameters of flow movement along a dry riverbed under high-altitude conditions at a hydrodynamic accident ..... 219

**Pasovets V.N., Kovtun V.A., Tagiev Sh.Sh.** Fire on vehicles: causes of their appearance ..... 228

**Antonovich A.A., Lakhvich V.V., Goman P.N.** Trailed motorized fire pump for extinguishing peat fires ..... 239

### Miscellaneous (reviews)

**Kovaleva T.G., Dement'eva T.G.** Information and communication environment as a resource and tool for foreign language education of specialists ..... 248

Rules of submitting articles for publication ..... 256

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДНЫХ СТРУКТУР

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

*Цель.* Целью работы является анализ методов измерения и конструкций датчиков поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе оптических волноводных структур.

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

*Результаты.* Проведен анализ методов измерения и конструкций датчиков поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе оптических волноводных структур. Рассмотрены различные физические эффекты, лежащие в основе методов. Показано, что с точки зрения чувствительности перспективными являются детекторы 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 конструкций дозиметров на основе оптических волноводных структур высокой чувствительности.

*Ключевые слова:* оптический волновод, ионизирующее излучение, доза излучения, скантллятор, брэгговская решетка, кольцевой микрорезонатор.

(Поступила в редакцию 13 апреля 2022 г.)

### Введение

Измерения доз ионизирующего излучения находят широкое применение в атомной энергетике (контроль обстановки в реакторном зале атомных электростанций, в технологических каналах ядерных реакторов), радиационной безопасности (контроль радиационной обстановки), медицине (при радиотерапии онкологических больных, рентгеноскопическом обследовании), радиологических исследованиях. Блокам детектирования большинства традиционных дозиметров необходимо электрическое питание. Для обеспечения электрической энергией отдельных сенсорных элементов и передачи информации от них используются электрические или беспроводные соединения, которые могут нарушаться в результате аварии [1; 2]. Детекторы на основе оптических волноводных структур имеют ряд существенных преимуществ перед традиционными устройствами. Они обладают высокой надежностью, поскольку устойчивы к электромагнитным, химическим и механическим воздействиям, а также малым весом и поперечными размерами. Для работы оптических волноводных дозиметров не требуется электрического питания чувствительного элемента, поэтому они могут продолжать работу даже при полном отключении электроснабжения. При этом полностью устраняется возможность искрения и возгорания. Такие дозиметры позволяют проводить измерения в режиме реального времени, а оператор может находиться на значительном удалении от контролируемого объекта [3; 4].

В данной работе проведен анализ методов измерения и конструкций датчиков поглощенной дозы ионизирующего излучения на основе оптических волноводных структур. Рассмотрены различные физические эффекты, лежащие в основе этих методов.

### Основная часть

**Датчики на эффекте потерь, наведенных ионизирующим излучением в оптических волноводах.** Первоначально воздействие ионизирующего излучения (ИИ) на оптические волноводы и устройства на их основе исследовалось с точки зрения влияния на их

направляющие свойства [5; 6]. Волноводные оптические устройства могут располагаться в космическом пространстве или вблизи источников ИИ. Воздействие ИИ приводит к увеличению потерь и изменению показателя преломления материала волновода [7].

Наведенные излучением потери зависят от состава облучаемых волноводов. Так, в работе [2] показано, что наведенные потери оптического сигнала при малых и умеренных дозах облучения могут быть весьма значительны для некоторых волоконных волноводов (например, легированных бором или фосфором) и достигать величин на несколько порядков больших, чем собственные потери (менее 1 дБ/км) в обычных волокнах, используемых в системах оптической связи. Волокна, легированные германием, более устойчивы к воздействию ионизирующего излучения.

В работе [8] рассмотрено влияние ионизирующего излучения на кварцевые оптические волокна. Описан механизм, включающий микро- и макроскопические изменения под воздействием облучения: наведенное излучением поглощение (НИП), наведенное излучением испускание (НИИ) и наведенное излучением сжатие (НИС). Проанализирована возможность использования результатов исследования для создания датчиков ИИ.

Для дозиметрии ИИ с использованием НИП предложен ряд волокон на основе различных легирующих добавок, например одномодовые оптические волокна с кварцевой сердцевиной с добавлением  $TiO_2$  и  $GeO_2 + TiO_2$  [9], с совместным легированием  $Ge/Al$  [10], многомодовые волокна со ступенчатым профилем показателя преломления, легированные  $P_2O_5$  [11]. НИП в таких волокнах измерялось для оптического излучения с длинами волн  $\lambda = 980, 1310$  и  $1530$  нм [9, 10] или  $502, 540$  и  $560$  нм [11]. При измерениях использовались малые дозы (мощность дозы  $0,01-1$  Гр/ч, суммарная доза до 1 Гр) [11], умеренные (мощность дозы  $5-10$  Гр/ч, суммарная доза  $10-100$  Гр) [9] или большие дозы (мощность дозы 2, 4 или 6 Гр/мин, максимальная суммарная доза 13 кГр) [10].

Результаты этих исследований послужили основой для разработки оптических волноводных детекторов ионизирующего излучения на основе наведенных излучением потерь. В работе [12] описана конструкция волоконно-оптического дозиметра на основе волокна, легированного элементами, которые под действием ионизирующего излучения образуют долгоживущие центры окраски. Это приводит к ослаблению оптического сигнала в радиационно-чувствительном волокне. Величина ослабления пропорциональна поглощенной дозе. В устройство входит оптический рефлектометр, который строит распределение величины затухания оптического сигнала вдоль радиационно-чувствительного волокна, что позволяет определить пространственное распределение дозы ИИ.

В работе [6] рассмотрено воздействие ИИ на наборный оптический волновод на основе кремния с подложкой из двуокиси кремния. Вблизи и на границе раздела волновод / подложка под воздействием ИИ накапливаются свободные носители заряда, что сопровождается генерацией свободных состояний. В результате увеличиваются потери оптического сигнала в волноводе.

Для определения зависимости потерь на распространение оптического сигнала в волноводе от поглощенной дозы ИИ наборные волноводы облучались с пошаговым увеличением дозы. При этом потери на распространение измерялись после полного поглощения дозы образцом. Результаты измерений показаны на рисунке 1, откуда следует, что после первоначального скачка потерь под воздействием доз от 0 до 100 Гр дальнейшее ухудшение прозрачности материала волновода при дозах от 100 Гр до 10 кГр значительно меньше. Общая чувствительность кварцевых волноводов к воздействию ИИ мала при величине поглощенной дозы порядка 100 Гр.

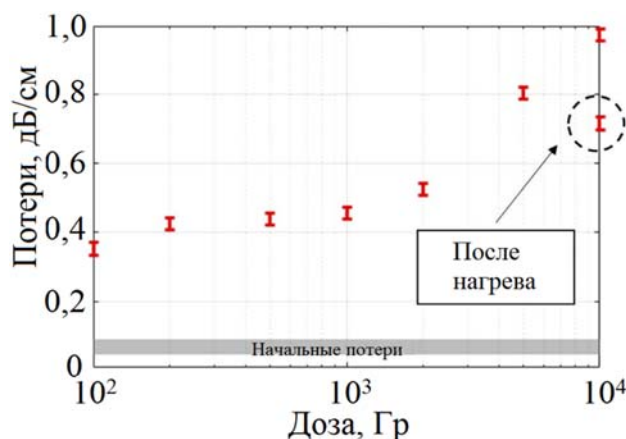


Рисунок 1. – Измеренные потери на распространение основной ТЕ моды наборного гребенчатого волновода при различных значениях поглощенной дозы ИИ

НИП могут быть уменьшены с помощью последующего термического воздействия на волновод, в результате которого наведенные изменения нейтрализуются и плотность поверхностных состояний уменьшается.

В работе [13] представлена конструкция волоконно-оптического дозиметра, определяющего дозу ИИ по разности наведенного излучением поглощения оптического сигнала  $\Delta\alpha$ , измеренного в легированном фосфором волокне на длинах волн 413 и 470 нм. Представлены тестовые результаты для доз гамма-излучения (мощности доз 0,00064 и 0,0066 Гр/с, максимальная доза  $\sim 2$  Гр). Как показали измерения, НИП на отдельных длинах волн зависит не только от полученной волокном суммарной дозы, но и от мощности дозы. В то же время  $\Delta\alpha$  зависит только от суммарной дозы и спадает на незначительную величину при прекращении облучения. Таким образом, подобные дозиметры более перспективны для определения суммарной дозы ИИ.

В ряде работ исследуется влияние ИИ на механические свойства оптических волокон. В работах [14; 15] рассмотрены наведенные ИИ изменения в частотном сдвиге обратного рассеяния Бриллюэна, которые зависят как от показателя преломления, так и от скорости дилатационных акустических волн в сердцевине оптического волокна. Оптические волокна могут также подвергаться механическим повреждениям под воздействием ИИ на слои покрытия. В работе [16] показано, что прочность на растяжение оптических волокон, покрытых буферным слоем из этилентетрафторэтиленового полимера, деградировала под воздействием гамма-излучения. Величина ослабления зависит от отклика фтористого водорода в буферном слое, который разрушается, ослабляя кварцевое волокно.

В работе [5] рассмотрено воздействие ИИ на оптико-механические свойства стандартных одномодовых волокон, покрытых тонким слоем фторакрилового полимера.

Под воздействием оптического сигнала в волокне возникают акустические волны. Пакет акустических волн многократно частично отражается от поверхности между кварцевой оболочкой и полимерным покрытием и на внешней границе покрытия. Величина отражения зависит от механического импеданса слоя покрытия. Отраженный сигнал образует серию запаздывающих эхо пакета акустических волн в поперечном сечении сердцевины оптического волокна. Время прохода радиальных акустических волн по покрытию определяется с помощью измерения величины вынужденного рассеяния Бриллюэна. Как следует из рисунка 2, время прохода акустической волны через слой покрытия монотонно уменьшается при увеличении суммарной дозы гамма-излучения от 0,17 до 1,8 МГр. Изменения времени прохода достигают 0,9 нс (15 % от базовой величины наибольшей дозы, использованной в эксперименте). Минимальная доза, способная вызвать отслеживаемые изменения в оптико-механических свойствах волокон, составляет порядка 100 кГр. Результаты показывают потенциальную возможность определения дозы ИИ на основе изменения упругих характеристик слоя покрытия, а не оптических свойств самого волокна.

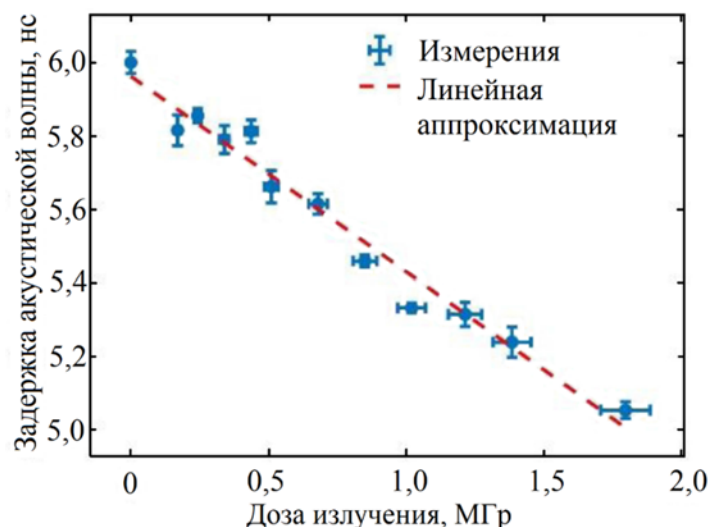


Рисунок 2. – Измеренное время прохода акустической волны по слою покрытия как функция суммарной дозы гамма-излучения

**Датчики на основе волоконных брэгговских решеток.** Для определения поглощенной дозы ИИ возможно использование волоконно-оптических брэгговских решеток (ВБР). Влияние ионизирующего излучения на ВБР исследовано в ряде работ [17; 18]. Воздействие ИИ приводит к наведенному излучением поглощению, а также изменению показателя преломления и длины периода ВБР. Изменение показателя преломления и длины периода ВБР приводит к смещению полосы пропускания решеток (брэгговской длины волны) пропорционально поглощенной дозе. Это смещение фиксируется спектроанализатором. НИП приводит к уменьшению интенсивности отраженного сигнала.

В большинстве случаев изменения брэгговской длины волны относительно небольшие. Например, в решетках, записанных на стандартных волокнах для оптической связи SMF28™, наблюдалось увеличение брэгговской длины волны от 10 до 34 пм с последующим насыщением при облучении дозой ИИ 0,54 МГр. В ВБР, записанных на волокнах, легированных В/Ge, наблюдалось уменьшение брэгговской длины волны от 30 до 60 пм. После облучения имело место уменьшение коэффициента отражения решеток [19]. Таким образом, при соответствующем подборе параметров решеток и технологий их записи представляется возможным использовать ВБР в качестве датчиков дозы ИИ [11; 20].

В работе [7] измерено влияние гамма-излучения с дозами порядка МГр на параметры ВБР на основе оптических волокон, легированных различными добавками. В эксперименте использовались 6 типов решеток. Решетки S1, S2 и K1, K2 с брэгговской длиной волны 1546 нм записаны на телекоммуникационных волокнах SMF1528 и Kabelrheydt E9.3/F3.5, соответственно, легированных германием и с низким содержанием фосфора. Решетка N1 записана на легированном азотом волокне. Брэгговская длина волны решетки 1511 нм. Решетка G1 записана на фоточувствительном кварцевом волокне, легированном германием (10 молярных процентов). Как видно из рисунка 3, для всех типов решеток, за исключением G1, наблюдалось изменение величины отражения под воздействием гамма-излучения. Это объясняется тем, что участки сердцевин волокон, получившие различные дозы ультрафиолетового излучения при записи решеток, имеют разную чувствительность к гамма-излучению.



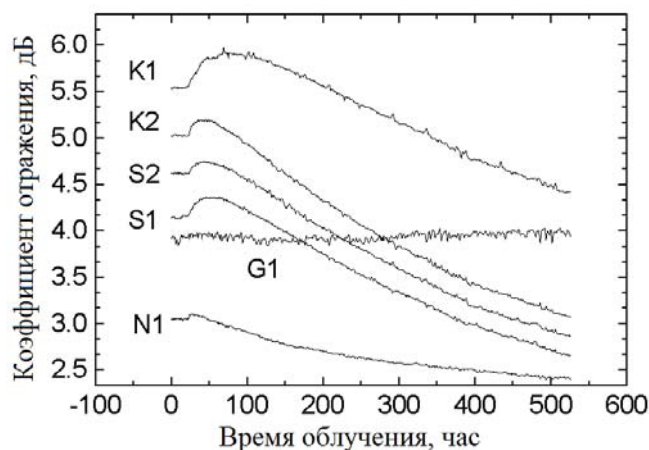


Рисунок 3. – Изменение амплитуды функции отражения ВБР под воздействием гамма-излучения

В работе [21] измерен сдвиг брэгговской длины волны и полосы отражения ВБР под воздействием гамма-излучения дозой до 100 кГр на различных длинах волн оптического сигнала. В экспериментах использовались ВБР с брэгговскими длинами волн  $\lambda_B$  818,820, 1284,585 и 1515,795 нм, записанные на волокнах Corning HI 1060 FLEX с длиной волны отсечки первой высшей моды  $930 \pm 40$  нм и решетки с  $\lambda_B$  657,191 и 819,077 нм, записанные на волокнах Corning HI 780 с длиной волны отсечки первой высшей моды  $720 \pm 50$  нм. Результаты показывают, что чувствительность ВБР к излучению возрастает при использовании оптических сигналов на длинах волн от 657 до 1516 нм. Таким образом, ВБР с большей брэгговской длиной волны, например 1550 нм, являются более перспективными для измерения больших доз ИИ, поскольку в них не наблюдалось насыщения вплоть до доз 100 кГр, а сдвиг брэгговской длины волны не зависит от мощности дозы. Эти изменения представлены на рисунке 4 для двух исследованных типов решеток.

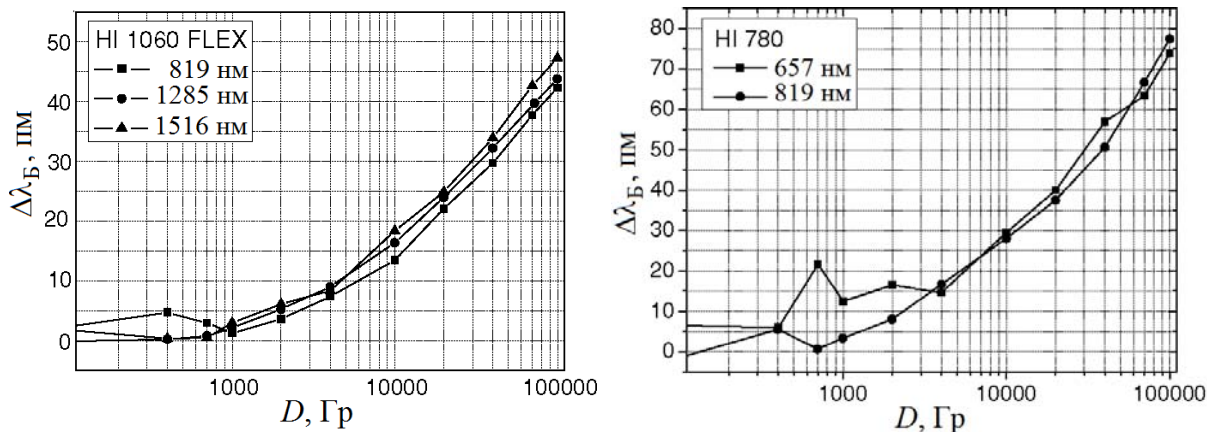


Рисунок 4. – Сравнение наведенного излучением сдвига брэгговской длины волны для решеток на основе двух волокон Corning

Зависимость брэгговской длины волны  $\lambda_B$  от дозы облучения  $D$ :

$$\frac{1}{\lambda_B} \frac{d\lambda_B}{dD} = \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial D} + \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial D}, \quad (1)$$

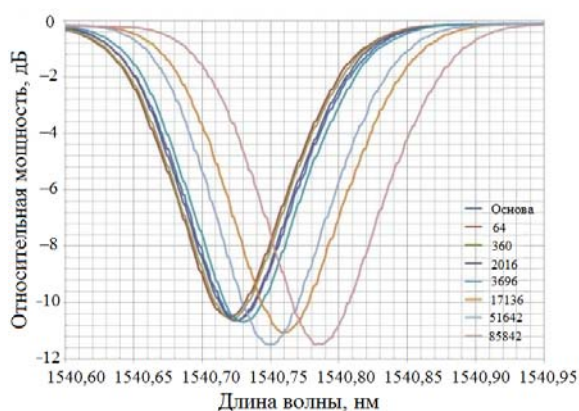
где  $\lambda_B = 2n\Lambda$  – брэгговская длина волны;  
 $\Lambda$  – период ВБР.

Первое слагаемое в (1) показывает наведенные излучением изменения показателя преломления  $n$ ; второе слагаемое – изменение периода решетки, т.е. коэффициент линейного растяжения волокна под воздействием ИИ. Для волокон из кварца этот коэффициент имеет малое значение ( $10^{-7} \text{ Гр}^{-1}$ ), им можно пренебречь. Тогда (1) можно записать как:

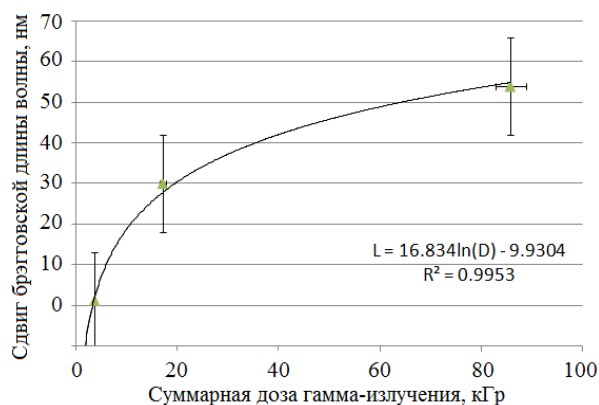
$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = \frac{\Delta n}{n}. \quad (2)$$

Используя это соотношение и величину показателя преломления для соответствующей длины волны, можно рассчитать наведенные излучением изменения показателя преломления.

В работе [22] показано возрастание брэгговской длины волны ВБР под воздействием ИИ. На рисунке 5 представлена зависимость пропускания ВБР от длины волны оптического сигнала при различных дозах гамма-излучения. Сдвиг брэгговской длины волны имеет логарифмическую зависимость от суммарной дозы ИИ (рис. 6). После облучения наблюдается релаксация брэгговского сдвига. Из результатов работы также следует, что ВБР перспективны для использования в качестве детекторов, особенно для измерения больших суммарных доз ИИ (порядка сотен кГр).



**Рисунок 5. – Нормализованная функция пропускания ВБР в зависимости от суммарной дозы гамма-излучения**



**Рисунок 6. – Сдвиг брэгговской длины волны в зависимости от суммарной дозы гамма-излучения**

В работе [23] численно исследовано воздействие НИС и НИП на оптоволоконные датчики на основе ВБР и длиннопериодных решеток. Показано, что наведенные излучением изменения показателя преломления и периода решеток влияют на их спектр отражения при дозах ИИ до 1540 кГр.

В работе [20] исследовано влияние гамма-излучения на брэгговскую длину волны и амплитуду функции пропускания различных типов брэгговских решеток, для того чтобы определить наиболее чувствительные ВБР для использования в дозиметрии. Для решетки типа IA, записанной на фоточувствительном волокне Fiberscore PS-1250/1500, при облучении дозой ИИ 116 кГр наблюдался брэгговский сдвиг 190 пм (рис. 7). Решетки типа IA (регенерированные решетки) записываются в нагруженных водородом волокнах при облучении ультрафиолетовым излучением более длительном, чем при записи стандартных решеток типов I или IIА. Таким образом, ВБР типа IA весьма перспективны для использования в дозиметрии. Погружение в водород и передержка волокна в УФ при записи решетки приводит к комбинации эффектов, возникающих под воздействием ИИ, что и объясняет наблюдаемый брэгговский сдвиг. Следует отметить, что облучение ВБР ИИ проводилось при стабилизированной температуре 35 °С. Изменения температуры в реальных условиях и термический отжиг также могут оказывать влияние на смещение брэгговской длины волны, что приведет к ошибкам в измерении дозы. Для исключения влияния температурных вариаций на результаты измерений можно использовать дополнительную ВБР, устойчивую к ИИ, например записанную на волокне из чистого кварца. Кинетика отжига решеток типа IA после облучения отличается от решеток типа I и IIА. Применение ВБР с различной кинетикой может быть использовано для определения мощности дозы ИИ.

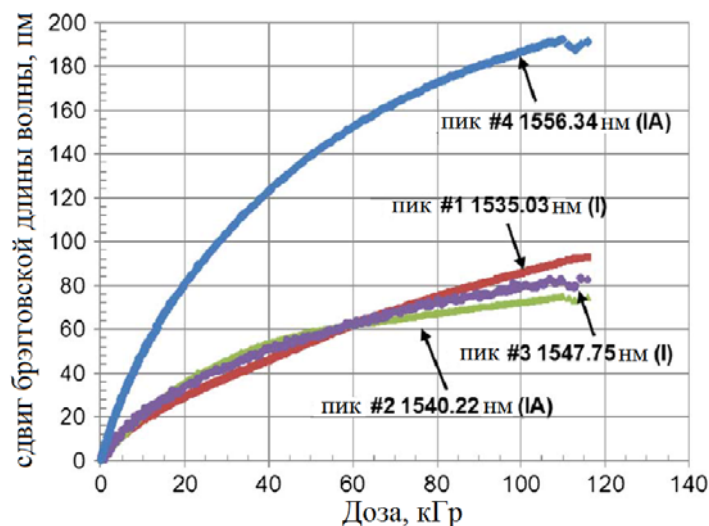


Рисунок 7. – Кинетика сдвига брэгговской длины волны ВБР различных типов при облучении в зависимости от суммарной дозы ИИ

**Датчики на основе резонансных волноводных структур.** 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). Изменение показателя преломления и геометрической длины резонатора под воздействием ИИ вызывает смещение резонансной длины волны или полос интерференционной картины. Использование резонансных структур позволяет с большой точностью измерять малые дозы ИИ.

В работе [24] рассмотрен отклик кварцевого кольцевого резонатора на основе полосковых волноводов на воздействие гамма-излучения. Кольцевой резонатор обладает набором резонансных длин волн, которые зависят от его оптической длины:

$$\lambda_p = \frac{L \cdot n}{m}, \quad (3)$$

где  $L$  – длина кольцевого волновода;  
 $n$  – эффективный показатель преломления его моды;  
 $m$  – целое число.

Если длина волны оптического сигнала в подводящем волноводе соответствует резонансной длине волны, такой сигнал селективно проходит в кольцевой волновод. Любые изменения кольцевого волновода, вызывающие изменения эффективного показателя преломления его моды, например из-за окисления кварцевого кольца, приведут к сдвигу резонансной длины волны.

В кольцевых резонаторах из непассивированного материала, не имеющего естественных окислов, наблюдался сдвиг резонансной длины волны в область коротких длин волн («синюю» область) при возрастании общей дозы ИИ. Это обусловлено окислением поверхности, процесс которого ускоряется под воздействием больших доз ИИ. Как видно из рисунка 8, воздействие гамма-излучения дозой 1,47 кГр (энергия гамма-квантов 662 кЭв, облучение в течение 4 ч) приводит к «синему» сдвигу резонансной длины волны на 0,4 нм. Изменения величины функции пропускания частично связаны с вариациями коэффициента связи подводящего и кольцевого волноводов. Для кольцевых резонаторов на основе волноводов из пассивированных материалов изменений функции пропускания под воздействием ИИ не наблюдалось.

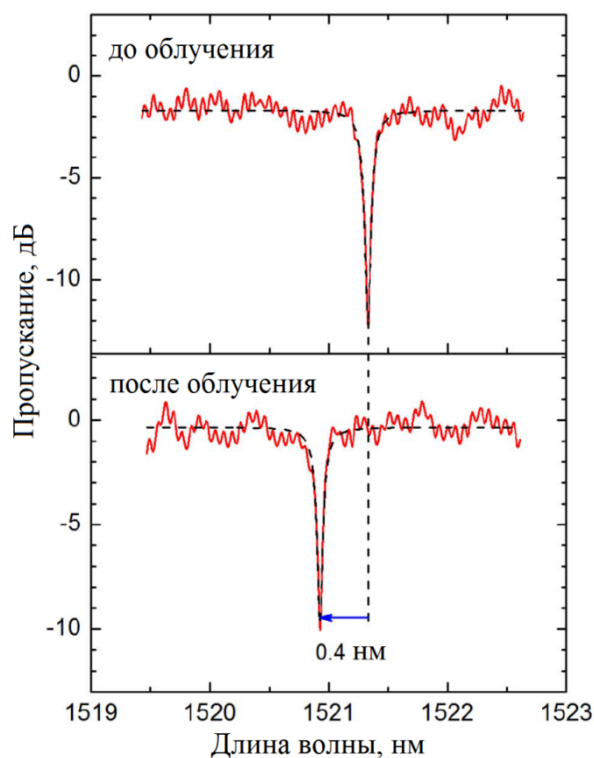


Рисунок 8. – Функция пропускания неpassивированного кварцевого кольцевого резонатора до и после воздействия гамма-излучения

В работе [25] экспериментально исследовано влияние гамма-излучения с высокой энергией (1,17 МэВ, 1,33 МэВ) и большой дозой (до 150 кГр) на оптические волноводы из аморфного кремния (a-Si), образующие кольцевой резонатор. Рассмотрены два типа структур: волновод, покрытый двуокисью кремния ( $\text{SiO}_2$ ), и волновод с покрытием из фторполимера (ЭП-полимер) толщиной 3 мкм.

На рисунке 9 а–б представлены поперечные сечения облучаемых структур. Длина кольцевого волновода 426 мкм. Коэффициент экстинкции кольцевого резонатора на основе волновода, покрытого  $\text{SiO}_2$ , равен 14 дБ в резонансе, ширина полосы пропускания по уровню  $-3$  дБ – около 154 пм (19,7 ГГц), добротность резонатора –  $9,9 \times 10^3$ . Коэффициент экстинкции кольцевого резонатора из волновода с полимерным покрытием – 12 дБ, ширина полосы пропускания по уровню  $-3$  дБ – около 94 пм (11,9 ГГц), добротность резонатора –  $1,6 \times 10^4$ , область дисперсии 1,582 нм (199,5 ГГц).

Синие линии на рисунке 9 в–г показывают нормализованные функции пропускания микрокольцевых резонаторов на основе рассматриваемых структур до облучения, красные – после облучения гамма-излучением дозой 150 кГр. Как видно из рисунка 9в, для резонатора на основе волновода с покрытием из двуокиси кремния сдвига резонансной длины волны под воздействием ИИ не наблюдалось, что указывает на отсутствие значительных изменений эффективного показателя преломления моды кольцевого волновода. Также не наблюдалось заметного изменения ширины полосы пропускания и коэффициента экстинкции, т.е. добротность резонатора не изменялась под воздействием ИИ. Таким образом, после облучения гамма-излучением общей дозой 150 кГр в волноводах на основе аморфного кремния с покрытием  $\text{SiO}_2$  показатель преломления, потери на распространение и потери на рассеяние не изменяются.

Как следует из рисунка 9г, после облучения кольцевого резонатора на основе волновода с полимерным покрытием наблюдался сдвиг его резонансной длины волны около 21 пм (3,4 ГГц) в «синюю» область, что соответствует изменению эффективного показателя преломления моды волновода примерно на  $-4,8 \times 10^{-5}$ . На основе сравнения с результатами, полученными для волнопроводов с покрытием из  $\text{SiO}_2$ , можно утверждать, что этот резо-

нансный сдвиг происходит только из-за изменений показателя преломления полимера покрытия, поскольку остальные материалы волновода (аморфный кремний и  $\text{SiO}_2$ ) остаются неизменными после облучения. Кроме того, после гамма-облучения ширина полосы пропускания микрокольцевого резонатора возросла до 124 пм (15,7 ГГц), что приводит к уменьшению добротности резонатора до  $1,2 \times 10^4$  (на 33 %). В то же время область дисперсии микрокольцевого резонатора уменьшилась после облучения только на 0,3 ГГц (около 0,1 %). Таким образом, соответствующее увеличение волноводного группового показателя преломления ( $5,3 \times 10^{-3}$ ) не может быть причиной увеличения ширины полосы пропускания. Это увеличение определяется только изменениями потерь на распространение в волноводе или коэффициента связи кольцевого и подводящего волноводов.

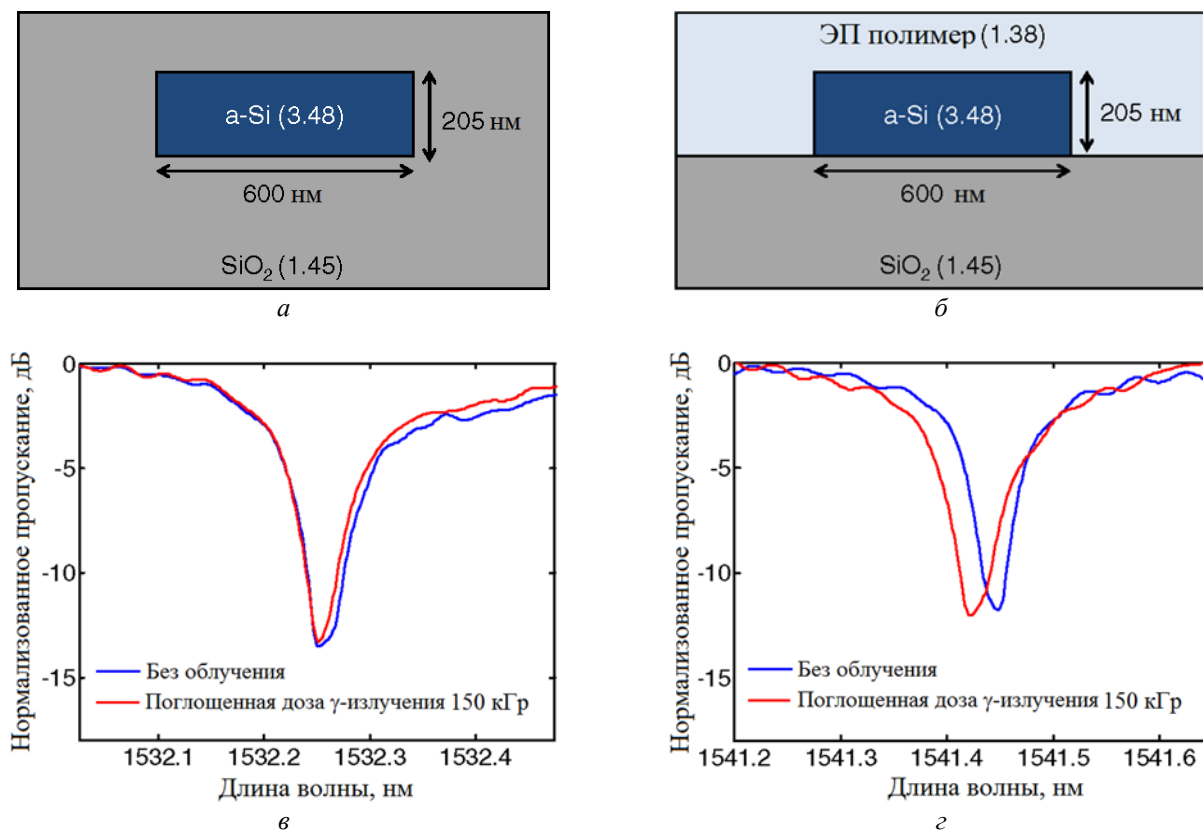


Рисунок 9. – Поперечное сечение a-Si-волноводов с покрытиями из  $\text{SiO}_2$  (а) и ЭП-полимера (б). Сравнение функции пропускания микрокольцевых резонаторов на основе волноводов с покрытиями из  $\text{SiO}_2$  (в) и ЭП-полимера (г) до (синие линии) и после (красные линии) облучения гамма-излучением

В работе [26] представлено исследование влияния гамма-излучения на волноводы, изготовленные из аморфного кремния (a-Si) и нитрида кремния ( $\text{SiN}_x$ ). Кольцевые волноводы на основе этих материалов облучались ИИ, и изменение показателя преломления определялось по изменению характеристик резонатора. Для определения непосредственного влияния гамма-излучения на показатель преломления волноводов, устройства облучались в инертной среде (аргон). Как показали измерения, показатели преломления как a-Si, так и  $\text{SiN}_x$  возрастали линейно при увеличении дозы ИИ. Поскольку возможность наведенной излучением кристаллизации исключена, это увеличение объясняется уплотнением или сжатием аморфной структуры. Эффективный показатель преломления мод волноводов увеличивается примерно на  $4 \times 10^{-3}$  для аморфного кремния и  $5 \times 10^{-4}$  для нитрида кремния при дозе 100 кГр. Для обоих материалов значительного изменения оптических потерь не наблюдалось. Для сравнения было проведено облучение волноводов в воздушной среде. При этом заметного увеличения показателей преломления не наблюдалось. Поскольку двуокись кремния имеет более низкий показатель преломления ( $n_{\text{SiO}_2} = 1,45$ ), чем a-Si

( $n_{a-Si} = 3,6$ ) и  $SiN_x$  ( $n_{SiN_x} = 2,1$ ), этот эффект объясняется поверхностным окислением, которое препятствует увеличению показателя преломления из-за уплотнения.

Таким образом, ионизирующее излучение увеличивает показатель преломления материала волновода в составе микрокольцевого резонатора. Это приводит к смещению резонансной длины волны резонатора пропорционально поглощенной дозе. Наибольшее смещение достигается в резонаторах на основе кремниевых волноводов с покрытием из фторполимера или облучаемых в инертной среде, чтобы исключить поверхностное окисление материалов. Подобные устройства могут быть использованы в качестве блоков детектирования волноводных оптических дозиметров с высокой чувствительностью. При этом для увеличения чувствительности в кольцевых резонаторах можно использовать волноводы с горизонтальными или вертикальными щелями, заполненными полимером, показатель преломления которого изменяется под воздействием ИИ.

**Сцинтилляционные волоконно-оптические дозиметры.** Возможны варианты волноводных детекторов ИИ, в которых роль чувствительного элемента выполняет сцинтилляционный материал. Сцинтилляционный материал подвергается воздействию ионизирующего излучения, в результате чего возникает оптический сигнал люминесценции. Для передачи возникающего люминесцентного излучения на удаленный фотоприемник используется оптическое волокно.

К настоящему времени предложен ряд дозиметров с использованием сцинтилляционных материалов, закрепленных на торце оптического волокна. Оптический сигнал люминесценции передается по волокну на приемное устройство, расположенное удаленно от зоны воздействия ИИ. Основным недостатком таких устройств являются дополнительные потери оптического сигнала при его вводе в волокно. Для повышения эффективности оптического соединения сцинтилляционного материала с волокном используются специальные устройства.

В работе [27] в качестве сцинтилляционного материала использован легированный тербием оксисульфид гадолиния ( $Gd_2O_2S:Tb$ ), излучающий под воздействием ИИ видимый свет на длине волны 545 нм. Для передачи оптического излучения используется полимерное волокно на основе полиметилметакрилата, которое хорошо подходит для данной длины волны. Мощность дозы воздействующего на сцинтилляционный материал ионизирующего излучения анализируется на основе интенсивности оптического сигнала, поступающего через волокно на многопиксельный счетчик фотонов. Для увеличения отношения сигнал – шум сцинтилляционный материал расположен в отверстии в торце волокна. Преимущество данной структуры детектора видно из рисунка 10. В детекторе обычной конструкции сцинтилляционный материал покрывает торец и оболочку волокна, поэтому условия локализации излучения в сердцевину волокна удовлетворяются только для части излучения люминесценции (рис. 10а). В предложенном устройстве (рис. 10б) сцинтилляционный материал расположен в сердцевине волокна, поэтому оптическое излучение практически полностью локализуется волокном.

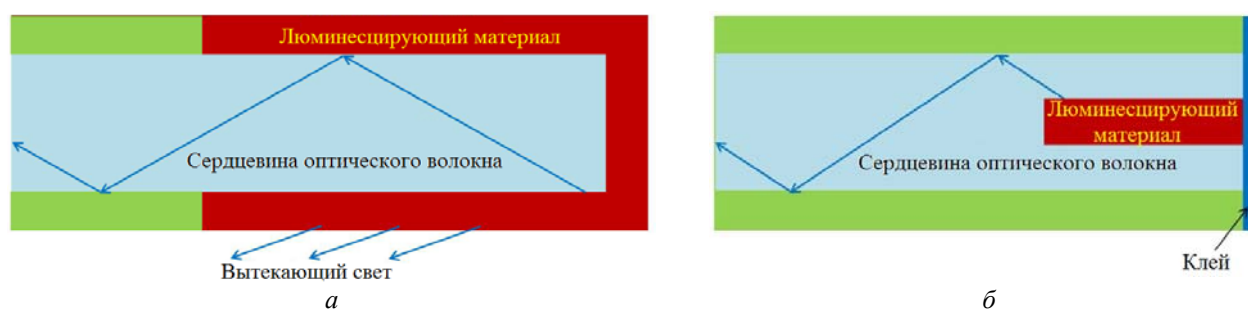


Рисунок 10. – Конструкции дозиметров традиционного типа (а) и предлагаемой структуры (б)

Похожую структуру имеет детектор, описанный в работе [28]. В качестве материала сцинтиллятора также использован оксисульфид гадолиния, но легированный европием ( $Gd_2O_2S:Eu$ ), излучающий оптический сигнал на длине волны 625 нм. Спектр излучения  $Gd_2O_2S:Eu$  представлен на рисунке 11.

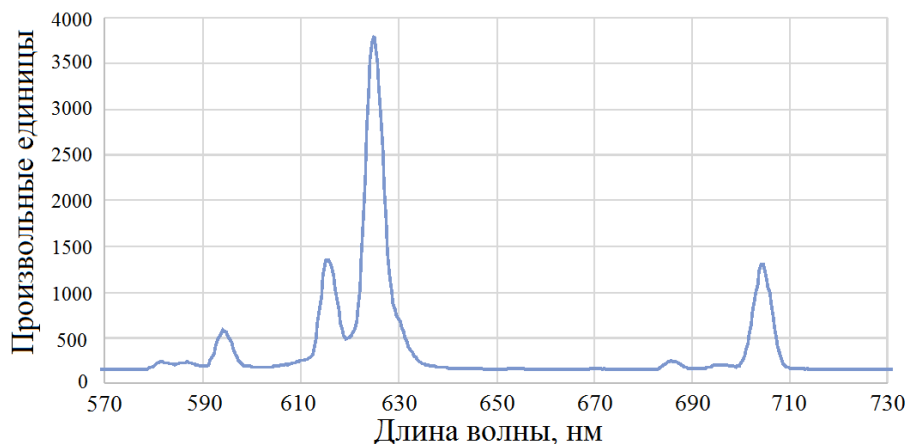


Рисунок 11. – Спектр излучения легированного европием сероокись-гадолиниевого порошка ( $Gd_2O_2S:Eu$ ), используемого в качестве сцинтилляционного материала

Контроль поглощенной дозы осуществляется с помощью однопиксельного счетчика фотонов. Для уменьшения потерь на рассеяние оптического излучения между волокном и сцинтиллятором используется специальный наконечник, работающий по принципу оптической антенны вытекающих волн, установленный на торце оптического волокна с внешним диаметром 125 мкм.

В работе [29] рассмотрен конический волоконно-оптический датчик радиации (КВДР), где в качестве сцинтилляционного материала использован кристалл итрий-алюминиевого граната, легированный одновременно церием и тербием ( $Ce/Tb:YAG$ ). Использование двух легирующих материалов позволяет достичь высокой эффективности радиолуминесценции. Под воздействием мощного ионизирующего излучения в КВДР наблюдалась сильная радиолуминесценция ионов  $Tb^{3+}$ . Излучение сцинтилляции вводится через конусообразную область в передающее оптическое волокно с эффективностью 74,3 %. Потери на распространение в передающем волокне составляют 0,14 дБ/см, что на порядок меньше потерь в кристалле YAG (1,59 дБ/см). Оптическое излучение регистрируется однофотонным фотоприемником, состоящим из фотоумножителя и счетчика.

При изменении мощности дозы от 0,1 до 2,06 мГр/с интенсивность сцинтилляции изменяется линейно в зависимости от мощности при коэффициенте корреляции  $R^2 = 0,98$  (рис. 12).

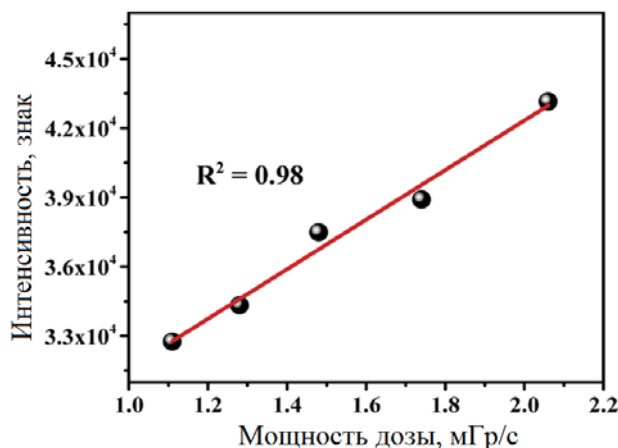


Рисунок 12. – Зависимость радиолуминесцентного отклика КВДР от мощности дозы гамма-излучения

Дополнительных потерь на ввод/вывод оптического излучения можно избежать, если использовать в качестве детектора дозиметра одно или несколько сцинтилляционных волокон, легированных соответствующими добавками. Так, в работе [30] описан дозиметр, основой детектора которого является полимерное многомодовое сцинтилляционное волокно Saint-Gobain Cristalls BSF-60. Его сцинтиллирующая сердцевина диаметром 0,25 мм содержит комбинацию флуоресцентных легирующих добавок, выбранных для получения желаемого спектра свечения. Сцинтилляционная эффективность является основным свойством данных волокон. Типичное ее значение около 2,5 %, что соответствует приблизительно 8000 фотонов на МэВ энергии минимально ионизирующей частицы. Однако волокном захватывается не более 4 % всех произведенных фотонов. Стандартным материалом оболочки является полиметилметакрилат  $C_5H_8O_2$ . Его плотность 1,2 г/см<sup>3</sup>, а показатель преломления – 1,49. Типичная толщина оболочки – около 3 % от диаметра. Для увеличения доли оптической мощности, поступающей на выходной торец сцинтилляционного волокна, на его второй торец нанесено зеркальное отражающее покрытие. Диапазон измеряемой активности ИИ от 1 до 50 Ки. Сцинтилляционные волокна могут быть распределены в трехмерном пространстве, и их продольные оси могут быть ориентированы в различных направлениях относительно оси падающего ИИ.

### Заключение

Как следует из проведенного анализа, оптические волноводы могут эффективно использоваться для измерений поглощенной дозы ионизирующего излучения. Наибольшей чувствительностью обладают детекторы на основе резонансных волноводных структур. Весьма перспективными с точки зрения высокой чувствительности являются оптические дозиметры на базе кольцевых волноводных резонаторов с полимерным покрытием. Использование волноводов с горизонтальными и вертикальными щелями, заполненными веществом, чувствительным к воздействию ИИ, позволит значительно увеличить чувствительность датчиков [31].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Friebele, E.J. Defect centers in a germanium-doped silica core optical fiber / E.J. Friebele, D.L. Griscom, G.H. Sigel // *Journal of Applied Physics*. – 1974. – Vol. 45, No. 8. – P. 3424–3428. – DOI: 10.1063/1.1663795.
2. Friebele, E.J. Radiation damage of optical fiber waveguides at long wavelengths / E.J. Friebele, M.E. Gingerich, K.J. Long // *Applied Optics*. – 1982. – Vol. 21, No. 3. – P. 547–553. – DOI: 10.1364/AO.21.000547.
3. *The Dosimetry of Ionizing Radiation* / ed.: K.R. Kase, B.E. Bjärngard, F.H. Attix. – Academic Press, 1987. – Vol. 2. – 384 p.
4. *Fundamentals of Ionizing Radiation Dosimetry* / P. Andreo [et al.]. – Wiley, 2017. – 957 p.
5. London, Y. Opto-Mechanical Fiber Sensing of Gamma Radiation / Y. London [et al.] // *Journal of Lightwave Technology*. – 2021. – Vol. 39, No. 20. – P. 6637–6645.
6. Boynton, N. Gamma radiation effects on passive silicon photonic waveguides using phase sensitive methods / N. Boynton [et al.] // *Optics Express*. – 2020. – Vol. 28, No. 23. – P. 35192–35201. – DOI: 10.1364/OE.401299.
7. Gusarov, A.I. Behaviour of fibre Bragg gratings under high total dose gamma radiation / A.I. Gusarov [et al.] // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2000. – Vol. 47, Iss. 3. – P. 688–692. – DOI: 10.1109/23.856499.
8. Girard, S. Radiation effects on silica-based optical fibers: recent advances and future challenges / S. Girard [et al.] // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2013. – Vol. 60, No. 3. – P. 2015–2036. – DOI: 10.1109/TNS.2012.2235464.
9. Paul, M.C. Gamma ray radiation induced absorption in Ti doped single mode optical fibres at low dose levels / M.C. Paul [et al.] // *Optical Materials*. – 2007. – Vol. 29, No. 6. – P. 738–745. – DOI: 10.1016/j.optmat.2005.12.004.



10. Paul, M.C. Radiation response behaviour of Al codoped germano-silicate SM fiber at high radiation dose / Paul M.C. [et al.] // *Optics Communications*. – 2009. – Vol. 282. – P. 872–878. – DOI: 10.1016/j.optcom.2008.11.052.
11. Paul, M.C. Radiation response behavior of high phosphorous doped step-index multimode optical fibers under low dose gamma irradiation / Paul M.C. [et al.] // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2009. – Vol. 355. – P. 1496–1507. – DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2009.05.017.
12. Томашук, А.Л. Волоконно-оптические дозиметры / А.Л. Томашук // *Фотон-Экспресс*. – 2005. – № 7. – С. 53–55.
13. Tomashuk, A.L. Fiber-optic dosimeter based on radiation-induced attenuation in P-doped fiber: suppression of post-irradiation fading by using two working wavelengths in visible range / A.L. Tomashuk [et al.] // *Optics Express*. – 2014. – Vol. 22, No. 14. – P. 16778–16783. – DOI: 10.1364/OE.22.016778.
14. Alasia, D. The effects of gamma-radiation on the properties of Brillouin scattering in standard Ge-doped optical fibres / D. Alasia [et al.] // *Measurement Science and Technology*. – 2006. – Vol. 17, No. 5. – P. 1091–1094. – DOI: 10.1088/0957-0233/17/5/S25.
15. Phéron, X. High  $\gamma$ -ray dose radiation effects on the performances of Brillouin scattering based optical fiber sensors / X. Pheron [et al.] // *Optics Express*. – 2012. – Vol. 20, No. 24. – P. 26978–26985. – DOI: 10.1364/OE.20.026978.
16. Stolov, A.A. Effects of sterilization on optical and mechanical reliability of specialty optical fibers and terminations / A.A. Stolov [et al.] // *Proceedings of the SPIE of Optical Fibers and Sensors for Medical Diagnostics, Treatment and Environmental Applications XIV, United States, California, San Francisco, 2014*. – Vol. 8938. – P. 893806. DOI: 10.1117/12.2036864.
17. Butov, O.V. Fiber Bragg gratings in the radiation environment: Change under the influence of radiolytic hydrogen / O.V. Butov [et al.] // *Journal of Applied Physics*. – 2015. – Vol. 118. – P. 074502. – DOI: 10.1063/1.4928966.
18. Fernandez, A.F. Dose-rate dependencies in gamma-irradiated fiber Bragg grating filters / A.F. Fernandez [et al.] // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2002. – Vol. 49, No. 6. – P. 2874–2878. – DOI: 10.1109/TNS.2002.805985.
19. Maier, R.R.J. Fibre Bragg gratings of type I in SMF-28 and B/Ge fibre and type IIA B/Ge fibre under gamma radiation up to 0,54 MGy / R.R.J. Maier [et al.] // *Proceedings of SPIE 17th International Conference on Optical Fibre Sensors*. – 2005. – Vol. 5855. – P. 511–514. – DOI: 10.1117/12.624037.
20. Faustov, A. Highly radiation sensitive type IA FBGs for future dosimetry applications / A. Faustov [et al.] // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2012. – Vol. 59, No. 4. – P. 1180–1185. – DOI: 10.1109/TNS.2012.2202247.
21. Krebber, K. Fibre Bragg gratings as high dose radiation sensors? / K. Krebber, H. Henschel, U. Weinand // *Measurement Science and Technology*. – 2006. – Vol. 17, No. 5. – P. 1095–1102. – DOI: 10.1088/0957-0233/17/5/S26.
22. Baccini, D.J. Gamma irradiation in fibre Bragg gratings / D.J. Baccini [et al.] // *Proceedings of 20th Australian Institute of Physics Congress, Australia, Sydney, 2012*. – Engineers Australia, 2012. – P. 1–4.
23. Rana, S. Numerical analysis of radiation effects on fiber optic sensors / S. Rana [et al.] // *Sensors*. – 2021. – Vol. 21. – P. 4111-1–4111-17. – DOI: 10.3390/s21124111.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. Zhuang, Q. Embedded structure fiber-optic radiation dosimeter for radiotherapy applications / Q. Zhuang [et al.] // *Optics Express*. – 2016. – Vol. 24, No. 5. – P. 5172–5185. – DOI: 10.1364/OE.24.005172.
28. Suarez, M.A. Miniaturized fiber dosimeter of medical ionizing radiations on a narrow optical fiber / M.A. Suarez [et al.] // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27, No. 24. – P. 35588–35599. – DOI: 10.1364/OE.27.035588.
29. Jia, M. Tapered fiber radiation sensor based on Ce/Tb:YAG crystals for remote  $\gamma$ -ray dosimetry / M. Jia [et al.] // *Optics Express*. – 2021. – Vol. 29, No. 2. – P. 1210–1220. – DOI: 10.1364/OE.413822.

30. Новиков, С.Г. Оптоволоконная дозиметрическая система на базе сцинтилляционного оптического волокна / С.Г. Новиков, А.А. Черторийский, А.В. Беринцев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 4. – С. 1017–1023.
31. 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 структур**

**Measurement of absorbed dose of ionizing radiation by means  
of optical waveguide structures**

***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. Ilyushonok***

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 кафедрой

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

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

***Vitaly N. Reabtsev***

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 STRUCTURES

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

*Purpose.* Analysis of the measuring methods and structures of the sensors of absorbed dose of ionizing radiation on the base of optical waveguides.

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

*Findings.* The measurement methods and structures of the sensors of absorbed dose of ionizing radiation on the base of optical waveguides are analyzed. The physical effects underlying the methods are considered. 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.

*Keywords:* optical waveguide, ionizing radiation, radiation dose, scintillator, Bragg grating, ring microresonator.

(The date of submitting: April 13, 2022)

### REFERENCES

1. Friebele E.J., Griscom D.L., Sigel G.H. Defect centers in a germanium-doped silica core optical fiber. *Journal of Applied Physics*, 1974. Vol. 45, No. 8. Pp. 3424–3428. DOI: 10.1063/1.1663795.
2. Friebele E.J. Gingerich M.E., Long K.J. Radiation damage of optical fiber waveguides at long wavelengths. *Applied Optics*, 1982. Vol. 21, No. 3. Pp. 547–553. DOI: 10.1364/AO.21.000547.
3. *The Dosimetry of Ionizing Radiation*. Ed. by K.R. Kase, B.E. Bjärngard, F.H. Attix. Academic Press, 1987. Vol. 2. 384 p.
4. Andreo P., Burns D.T., Nahum A.E., Seuntjens J., Attix F.H. *Fundamentals of Ionizing Radiation Dosimetry*. Wiley, 2017. 957 p.
5. London Y. [et al.] Opto-Mechanical Fiber Sensing of Gamma Radiation. *Journal of Lightwave Technology*, 2021. Vol. 39, No. 20. Pp. 6637–6645.
6. Boynton N., Gehl M., Dallo C. [et al.] Gamma radiation effects on passive silicon photonic waveguides using phase sensitive methods. *Optics Express*, 2020. Vol. 28, No. 23. Pp. 35192–35201. DOI: 10.1364/OE.401299.
7. Gusarov A.I., Berghmans F., Fernandez A.F. [et al.] Behaviour of fibre Bragg gratings under high total dose gamma radiation. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2000. Vol. 47, Iss. 3. Pp. 688–692. DOI: 10.1109/23.856499.
8. Girard S., Kuhnenn J., Gusarov A. [et al.] Radiation effects on silica-based optical fibers: recent advances and future challenges. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2013. Vol. 60, No. 3. Pp. 2015–2036. DOI: 10.1109/TNS.2012.2235464.
9. Paul M.C., Sen R., Bhadra S.K. [et al.] Gamma ray radiation induced absorption in Ti doped single mode optical fibres at low dose levels. *Optical Materials*, 2007. Vol. 29, No. 6. Pp. 738–745. DOI: 10.1016/j.optmat.2005.12.004.
10. Paul M.C., Sen R., Bhadra S.K., Dasgupta K. Radiation response behaviour of Al codoped germano-silicate SM fiber at high radiation dose. *Optics Communications*, 2009. Vol. 282. Pp. 872–878. DOI: 10.1016/j.optcom.2008.11.052.
11. Paul M.C., Bohra D., Dhar A. [et al.] Radiation response behavior of high phosphorous doped step-index multimode optical fibers under low dose gamma irradiation. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2009. Vol. 355. Pp. 1496–1507. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2009.05.017.
12. Tomashuk A.L. Volokonno-opticheskie dozimetriy [Fiber Optic Dosimeters]. *Foton-Ekspress*, 2005. No. 7. Pp. 53–55. (rus)
13. Tomashuk A.L., Grekov M.V., Vasiliev S.A., Svetukhin V.V. Fiber-optic dosimeter based on radiation-induced attenuation in P-doped fiber: suppression of post-irradiation fading by using two working

- wavelengths in visible range. *Optics Express*, 2014. Vol. 22, No. 14. Pp. 16778–16783. DOI: 10.1364/OE.22.016778.
14. Alasia D., Fernández A., Abrardi L., Brichard B., Thévenaz L. The effects of gamma-radiation on the properties of Brillouin scattering in standard Ge-doped optical fibres. *Measurement Science and Technology*, 2006. Vol. 17, No. 5. Pp. 1091–1094. DOI: 10.1088/0957-0233/17/5/S25.
  15. Phéron X., Girard S., Boukenter A. [et al.] High  $\gamma$ -ray dose radiation effects on the performances of Brillouin scattering based optical fiber sensors. *Optics Express*, 2012. Vol. 20, No. 24. Pp. 26978–26985. DOI: 10.1364/OE.20.026978.
  16. Stolov A.A., Warych E.T., Smith W.P. [et al.] Effects of sterilization on optical and mechanical reliability of specialty optical fibers and terminations. *Proc. of the SPIE of Optical Fibers and Sensors for Medical Diagnostics, Treatment and Environmental Applications XIV, United States, California, San Francisco, 2014*. Vol. 8938. Pp. 893806. DOI: 10.1117/12.2036864.
  17. Butov O.V., Golant K.M., Shevtsov I.A., Fedorov A.N. Fiber Bragg gratings in the radiation environment: Change under the influence of radiolytic hydrogen. *Journal of Applied Physics*, 2015. Vol. 118. Pp. 074502. DOI: 10.1063/1.4928966.
  18. Fernandez A.F., Brichard B., Berghmans F., Decretton M. Dose-rate dependencies in gamma-irradiated fiber Bragg grating filters. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2002. Vol. 49, No. 6. Pp. 2874–2878. DOI: 10.1109/TNS.2002.805985.
  19. Maier R.R.J., MacPherson W.N., Barton J.S. [et al.] Fibre Bragg gratings of type I in SMF-28 and B/Ge fibre and type IIA B/Ge fibre under gamma radiation up to 0,54 MGy. *Proc. of SPIE 17th International Conference on Optical Fibre Sensors*, 2005. Vol. 5855. Pp. 511–514. DOI: 10.1117/12.624037.
  20. Faustov A., Saffari P., Koutsides C. [et al.] Highly radiation sensitive type IA FBGs for future dosimetry applications. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2012. Vol. 59, No. 4. Pp. 1180–1185. DOI: 10.1109/TNS.2012.2202247.
  21. Krebber K., Henschel H., Weinand U. Fibre Bragg gratings as high dose radiation sensors? *Measurement Science and Technology*, 2006. Vol. 17, No. 5. Pp. 1095–1102. DOI: 10.1088/0957-0233/17/5/S26.
  22. Baccini D.J., Hinckley S., Wild G., Banos C., Davies J. Gamma irradiation in fibre Bragg gratings. *Proc. of 20th Australian Institute of Physics Congress, Australia, Sydney, 2012*. Engineers Australia, 2012. Pp. 1–4.
  23. Rana S., Subbaraman H., Fleming A., Kandadai N. Numerical analysis of radiation effects on fiber optic sensors. *Sensors*, 2021. Vol. 21. Pp. 4111-1–4111-17. DOI: 10.3390/s21124111.
  24. 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.
  25. Grillanda S., Singh V., Raghunathan V. [et al.] Gamma radiation effects on silicon photonic waveguides. *Optics Letters*, 2016. Vol. 41, No. 13. Pp. 3053–3056. DOI: 10.1364/OL.41.003053.
  26. Du Q., Huang Y., Ogbuu O. [et al.] 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.
  27. Zhuang Q., Yaosheng H., Yu M. [et al.] Embedded structure fiber-optic radiation dosimeter for radiotherapy applications. *Optics Express*, 2016. Vol. 24, No. 5. Pp. 5172–5185. DOI: 10.1364/OE.24.005172.
  28. Suarez M.A., Lim T., Robillot L. [et al.] Miniaturized fiber dosimeter of medical ionizing radiations on a narrow optical fiber. *Optics Express*, 2019. Vol. 27, No. 24. Pp. 35588–35599. DOI: 10.1364/OE.27.035588.
  29. Jia M., Wen J., Pan X. [et al.] Tapered fiber radiation sensor based on Ce/Tb:YAG crystals for remote  $\gamma$ -ray dosimetry. *Optics Express*, 2021. Vol. 29, No. 2. Pp. 1210–1220. DOI: 10.1364/OE.413822.
  30. Novikov S.G., Chertoriyskiy A.A., Berintsev A.V. Optovolokonnaya dozimetricheskaya sistema na baze stintillyatsionnogo opticheskogo volokna [Fiber optic dosimetry system based on scintillation optical fiber]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2013. T. 15, No. 4. Pp. 1017–1023. (rus)
  31. 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.

## РАДИАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ИГНАЛИНСКОЙ АЭС

Бугров Ю.А., Нилова Е.К., Кронова Ж.Г., Самсонов В.Л.

*Цель.* Провести выборочное обследование территории Республики Беларусь, прилегающей к району размещения Игналинской АЭС.

*Методы.* Гамма-спектрометрический метод, сравнительный анализ, метод экспертной оценки.

*Результаты.* В статье представлены результаты измерений основных параметров, характеризующих радиационную обстановку на территории белорусского сегмента зоны наблюдения Игналинской АЭС, – значения мощности амбиентного эквивалента дозы  $\gamma$ -излучения и суммарной скорости счета импульсов  $\gamma$ -излучения, а также проведения  $\gamma$ -спектрометрии в полевых условиях с применением сцинтилляционных и полупроводниковых спектрометров, определения объемной активности радионуклидов, присутствующих в приземном слое атмосферного воздуха и удельной активности радионуклидов в пробах почвы, воды, донных отложений. В результате обработки спектров в объектах окружающей среды в области проведения измерений установлено присутствие терригенных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ , дочерних членов рядов  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$ ), космогенного  $^7\text{Be}$  и техногенного  $^{137}\text{Cs}$ . Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в почве на территории белорусского сектора 30-километровой зоны Игналинской АЭС составляет 2,1–3,5 Бк/кг, плотность поверхностного загрязнения данным радионуклидом – 140–280 Бк/м<sup>2</sup>. Содержание иных гамма-излучающих техногенных радионуклидов, активность которых в окружающей среде, как правило, контролируется для оценки радиационной обстановки, ниже предела обнаружения в данных условиях измерения.

*Область применения исследований.* Данные, полученные в результате независимого радиационного обследования, характеризующие радиационную обстановку в зоне воздействия Игналинской АЭС, могут являться основой для проведения сравнительного анализа результатов измерений при последующей оценке радиационной обстановки в зоне наблюдения как Игналинской, так и Белорусской АЭС.

*Ключевые слова:* Игналинская АЭС, зона наблюдения, радионуклиды, мощность амбиентного эквивалента дозы  $\gamma$ -излучения,  $\gamma$ -спектрометрия, фильтровентиляционные установки, объемная активность, суммарная скорость счета, удельная активность.

(Поступила в редакцию 1 апреля 2022 г.)

### Введение

На Игналинской АЭС (далее – ИАЭС) эксплуатировались два энергоблока с канальными водно-графитовыми на тепловых нейтронах ядерными реакторами типа РБМК-1500, введенные в эксплуатацию в декабре 1983 г. и августе 1987 г. В соответствии с обязательствами Договора о присоединении Литвы к Европейскому союзу энергоблоки ИАЭС выведены из эксплуатации: блок № 1 – в 2004 г., энергоблок № 2 – в 2009 г. [1]. В настоящее время на площадке размещения ИАЭС располагаются эксплуатируемые объекты обращения с радиоактивными отходами (далее – РАО). ИАЭС несет ответственность как за безопасное обращение с РАО, образовавшимися при эксплуатации и снятии с эксплуатации энергоблоков ИАЭС, так и с иными РАО, и согласно Закону об обращении с радиоактивными отходами Литовской Республики обязана принимать РАО от иных пользователей [1]. При этом объем РАО, ежегодно направляемых на долговременное хранение от сторонних производителей Литовской Республики, составляет всего 1–2 м<sup>3</sup>, а более 99 % радиоактивных отходов образованы в процессе эксплуатации ИАЭС [1].

ИАЭС расположена на расстоянии до 5 км от границы с Республикой Беларусь и в 30-километровую зону наблюдения данного объекта использования атомной энергии

включено порядка 65 % территории Браславского района Республики Беларусь. В связи с этим Государственным учреждением «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» осуществляется мониторинг окружающей среды. Места размещения станций мониторинга выбраны с учетом необходимости проведения оценки миграции радионуклидов в различных направлениях. Наиболее близко к территории размещения ИАЭС расположены следующие пункты радиационного мониторинга атмосферного воздуха: Видзы, Гирейши, Дрисвяты, Далекое, Карасино, Межаны, Опса, Урбаны, где функционирует АСРК<sup>1</sup>.

Центром по ядерной и радиационной безопасности в рамках оказания научно-технической поддержки, регулирующей деятельности в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности выполняются мероприятия по проведению независимого радиационного мониторинга в зоне воздействия объектов использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения с применением мобильной лаборатории радиационного контроля – комплекса спектрометрического и дозиметрического оборудования, размещенного на базе малотоннажного грузового автомобиля, в том числе встроенных в корпус транспортного средства сцинтилляционных NaI(Tl) спектрометров с размерами 7,62×7,62 см и LaBr<sub>3</sub>(Ce) спектрометра с размерами 2,54×2,54 см компании Mirion Technologies, помещенных в свинцовые коллиматоры толщиной 5 см, спектрометра высокого разрешения Canberra Falcon 5000, построенного на основе детектора из особо чистого германия компании Mirion Technologies, со встроенным дозиметром на основе счетчика Гейгера – Мюллера, системы воздушного пробоотбора – стационарного пробоотборника MDS-40/100/60 Tracelab и портативного пробоотборника MDS 1.5/50/60 Tracelab, блока детектирования БДКГ-24 компании «Атомтех» и др., а также программного обеспечения Genie 2000 (Mirion Technologies), Atech (Атомтех), VRSS UI(Lokmis) и Falcone 5000 (Mirion Technologies).

Техническое оснащение мобильной лаборатории, а также комплекс программных средств позволяют оперативно проводить поиск источников ионизирующего излучения, оценку основных параметров, характеризующих радиационную обстановку: мощности амбиентного эквивалента дозы  $\gamma$ -излучения (далее – МАЭД) и суммарной скорости счета импульсов  $\gamma$ -излучения, а также выполнять  $\gamma$ -спектрометрические измерения, отбор проб приземного слоя воздуха, обработку спектров и идентификацию радионуклидного состава в полевых условиях.

Данная статья посвящена результатам исследования радиационной обстановки на территории белорусского сектора зоны воздействия Игналинской АЭС с применением мобильной лаборатории радиационного контроля. Радиационное обследование реализовано специалистами Госатомнадзора, Центра по ядерной и радиационной безопасности и Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Минприроды Республики Беларусь (далее – Белгидромет).

Измерения параметров радиационной обстановки (МАЭД и суммарной скорости счета импульсов  $\gamma$ -излучения),  $\gamma$ -спектрометрия в полевых условиях проводились в точках, обозначенных маркерами (рис. 1).

Дополнительно в реперных точках произведен отбор проб почвы, воды (как поверхностных вод, так и воды из источников питьевого водоснабжения – колодцев и водопроводов) и донных отложений.

---

<sup>1</sup> АСКРО в районе Игналинской АЭС [Электронный ресурс] // Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Минприроды Республики Беларусь. Радиационно-экологический мониторинг. – Режим доступа: [https://rad.org.by/articles/radiation/asrk\\_ignalinskaya\\_aes](https://rad.org.by/articles/radiation/asrk_ignalinskaya_aes). – Дата доступа: 16.04.2021.

Отбор почвенных образцов выполнялся пробоотборником<sup>2</sup> с грунтоприемной трубой диаметром 3,5 см на глубину пахотного горизонта 20 см. На каждом участке проводилось 5 уколов (точечных проб) методом конверта и формировался смешанный образец пробы почвы. Дополнительно использовался пробоотборник ПГ-200. С учетом того что плотность сложения почвы на участках различается, в лабораторных условиях определялась объемная плотность каждой пробы почвы [2]. Отбор проб почвы сопровождался измерением МАЭД на высоте 1 м от поверхности почвы. На каждом участке осуществлялось 5 измерений по методу конверта до статистической неопределенности не выше 20 %.

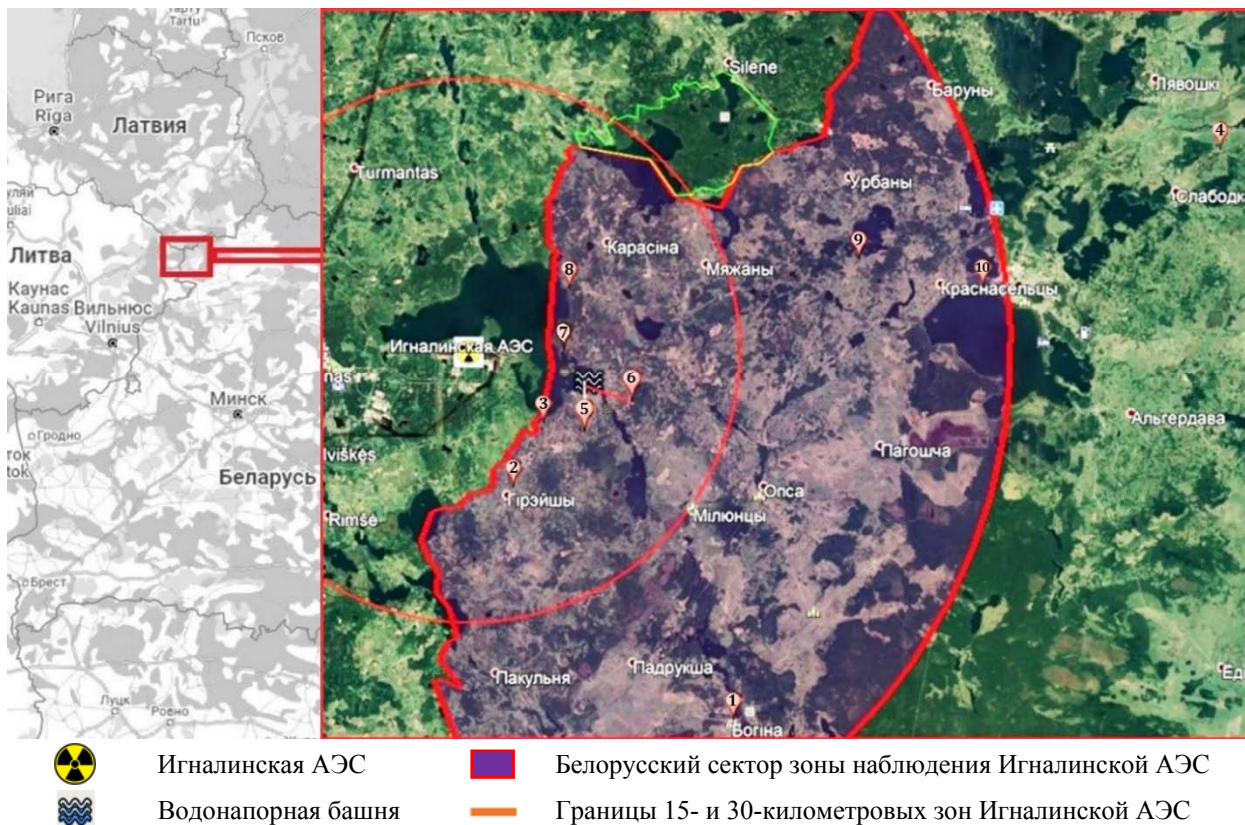


Рисунок 1. – Точки проведения измерений параметров радиационной обстановки

На протяжении всего пути следования мобильной лаборатории по территории белорусского сектора зоны наблюдения Игналинской АЭС выполнен отбор проб приземного слоя воздуха с использованием системы воздушного пробоотбора MDS-40/100/60 Tracelab, стационарно установленной в корпусе мобильной лаборатории радиационного контроля при следующих метеопараметрах: относительная влажность –  $60 \pm 15 \%$ ;  $t - 20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Дополнительно на территории Браславского районного отдела по чрезвычайным ситуациям был установлен портативный пробоотборник MDS 1.5/50/60 Tracelab при указанных метеоусловиях.

Суммарный объем атмосферного воздуха, прокачанного через фильтр системы MDS-40/100/60 Tracelab, составил  $256,8 \text{ м}^3$ , через фильтр системы MDS 1.5/50/60 Tracelab –  $20,4 \text{ м}^3$ .

### Основная часть

Значения МАЭД, установленные с применением дозиметров Canberra Falcone 5000 и ДКС АТ1123 в точках проведения измерения параметров, характеризующих радиационную обстановку, представлены в таблице 1.

<sup>2</sup> Пробоотборник для послойного извлечения образцов грунта: пат. полез. модель ВУ 3793 / И.М. Булавик, А.Н. Переволоцкий, Н.В. Дударева, С.А. Тагай. – Опубл. 30.08.2007.

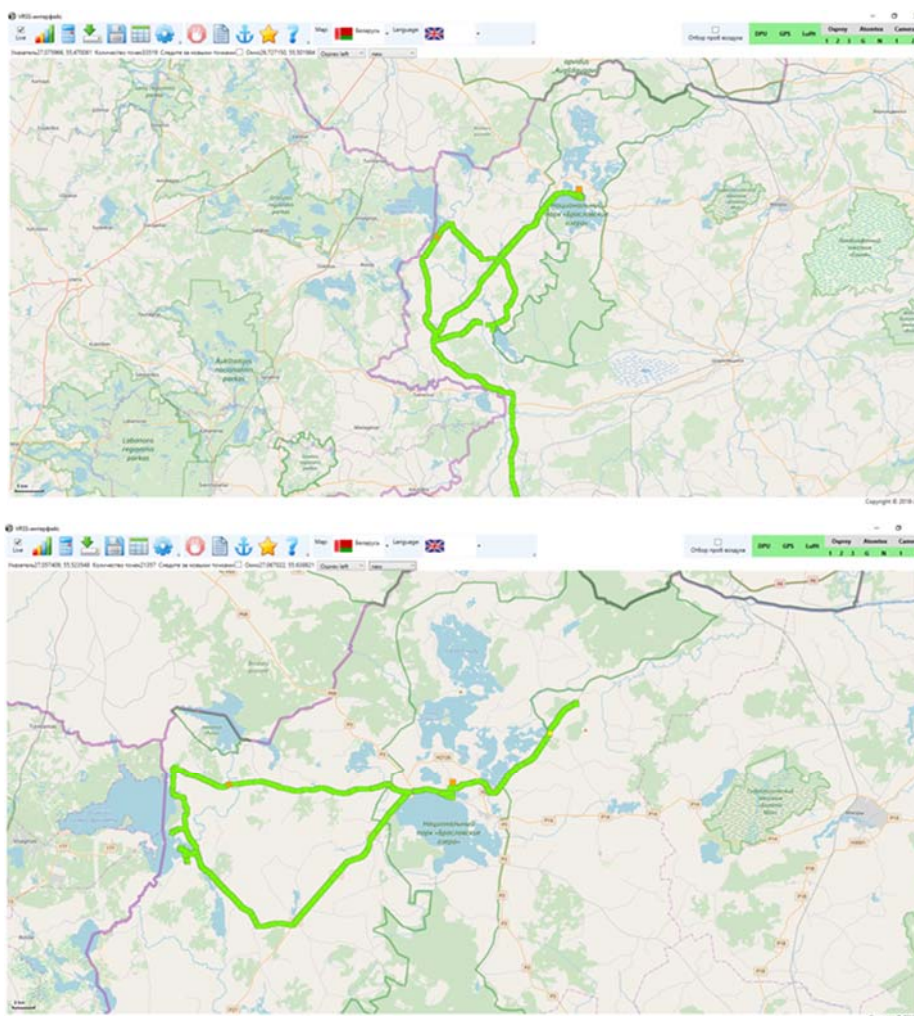


Значение МАЭД согласно показаниям дозиметра с блоком детектирования БДКГ-24, установленного в салоне мобильной лаборатории, составило ~ 0,04 мкЗв/ч.

**Таблица 1. – МАЭД в точках проведения измерения параметров, характеризующих радиационную обстановку**

№ п/п	Населенный пункт	Координаты		МАЭД, мкЗв/ч	
		Широта	Долгота	ДКС АТ1123	Canberra Falcone 5000
1	д. Богоино	55°25'28,4"N	26°47'59,9"E	0,07–0,08	0,06–0,08
2	д. Гритуны	55°32'13,3"N	26°36'13,4"E	0,08–0,09	0,10–0,17
3	д. Барковщина	55°34'07,4"N	26°38'13,2"E	0,08–0,09	0,09–0,16
4	д. Слободка	55°42'33,7"N	27°13'12,1"E	0,08–0,09	0,04–0,13
5	д. Дрисвяты	55°35'27,7"N	26°39'52,6"E	0,08–0,10	0,09–0,17
6	оз. Дрисвяты	55°35'18,0"N	26°39'52,4"E	0,05–0,06	0,03–0,05
7	д. Пашевичи	55°25'28,4"N	26°47'59,9"E	0,07–0,08	0,10–0,14
8	д. Мялко	55°38'23,6"N	27°00'48,7"E	0,10–0,11	0,07–0,13
9	д. Бужаны	55°39'10,9"N	26°54'15,5"E	0,09–0,11	0,08–0,12
10	г. Браслав	55°38'23,6"N	27°00'48,7"E	0,06–0,07	0,05–0,14

Скорость счета импульсов  $\gamma$ -излучения составила 26–83 имп/с (рис. 2).



Изображенный в виде тематического слоя на картографической основе программы VRSS UI контрастным зеленым цветом маршрут движения мобильной лаборатории содержит 2 оповещения, обозначенные желтым цветом, свидетельствующие о превышении пороговых значений скорости счета импульсов  $\gamma$ -излучения 80 имп/с, установленных в рамках данного обследования (в г. Браславе и д. Слободке), что обусловлено наличием транспортной и инженерной инфраструктуры, содержащей гамма-излучающие радионуклиды (справочно – для г. Минска рассматриваемый параметр составляет величину до 150 имп/с)

**Рисунок 2. – Маршрут движения мобильной лаборатории по территории белорусского сектора зоны наблюдения Игналинской АЭС**

В результате обработки  $\gamma$ -спектров двух боковых сцинтилляционных NaI и переднего LaBr<sub>3</sub> спектрометров МЛРК с многоканальных анализаторов программного обеспечения Genie-2000 в точках 1-10 (рис. 1), учитывая значимость и симметричность пиков, а также величину статистической неопределенности, установлено наличие природных радиоизотопов (<sup>40</sup>K; <sup>208</sup>Tl, <sup>228</sup>Ac, входящих в состав радиоактивного ряда <sup>232</sup>Th; <sup>214</sup>Pb и <sup>214</sup>Bi, являющихся дочерними членами радиоактивного ряда <sup>226</sup>Ra (<sup>238</sup>U)). Присутствие техногенного <sup>137</sup>Cs в области измерений зафиксировано со стороны береговой полосы озера Дрисвяты в районе д. Дрисвяты (точка 6, рис. 1), что может быть обусловлено преимущественным накоплением <sup>137</sup>Cs в поверхностных горизонтах почв, приуроченных к понижениям местности водораздела и в лугово-болотных и лугово-черноземовидных почвах пойм [3]. МАЭД же в указанной точке составила величину ниже среднего значения, отмеченного на исследуемой территории – 0,03–0,05 мкЗв/ч.

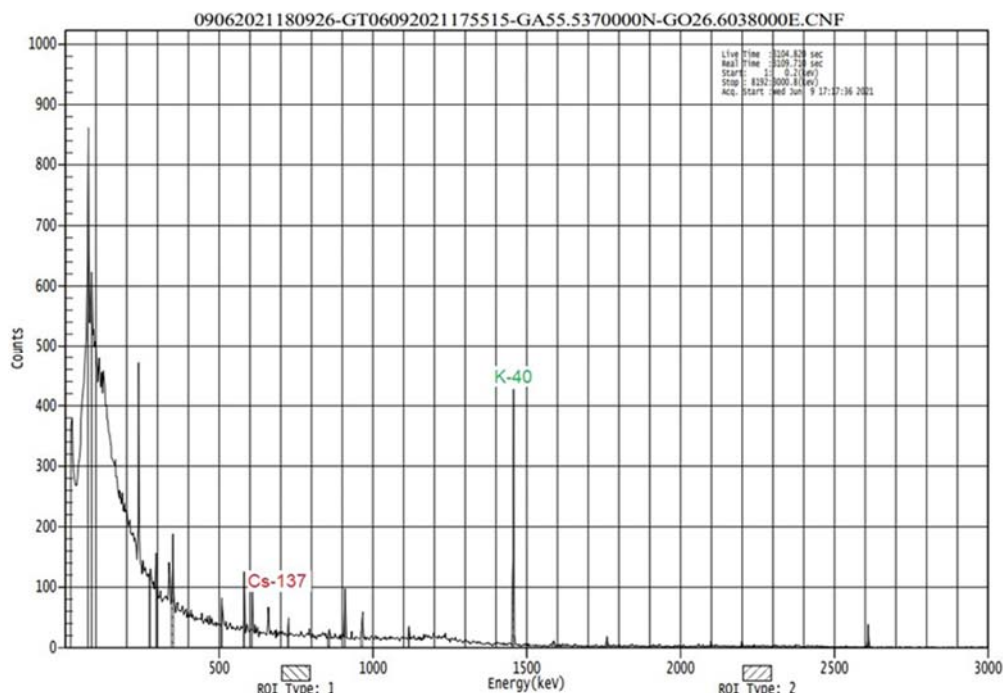
Посредством полевой спектрометрии с применением HPGe детектора в составе спектрометра высокого разрешения Canberra Falcone 5000 в точках 1–2, 4–5, 7–10 (рис. 1) установлено как содержание в области измерений природных радиоизотопов (<sup>40</sup>K, <sup>212,214</sup>Pb, <sup>208</sup>Tl, <sup>228</sup>Ac, <sup>214</sup>Bi), так и наличие <sup>137</sup>Cs (табл. 2).

**Таблица 2. – Скорость счета импульсов  $\gamma$ -излучения, установленная с применением HPGe спектрометра Canberra Falcone 5000, по энергетическим диапазонам, соответствующим <sup>40</sup>K и <sup>137</sup>Cs**

Номер точки (рис. 1)	Населенный пункт	Скорость счета импульсов $\gamma$ -излучения, имп/с	
		<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
1	д. Богино	0,637	0,0458
2	д. Гритуны	0,876	0,0700
4	д. Слободка	0,581	0,0357
5	д. Дрисвяты	0,583	0,0246
7	д. Пашевичи	0,645	0,0573
8	д. Мялко	0,644	0,0335
9	д. Бужаны	0,686	0,0485
10	г. Браслав	0,446	0,0577

Наибольшая скорость счета импульсов  $\gamma$ -излучения в области энергетического диапазона, соответствующего <sup>137</sup>Cs, установлена в точках проведения измерений, расположенных в районе д. Гритуны, д. Пашевичи и г. Браславе.

На рисунке 4 представлен пример спектра HPGe спектрометра в точке 2 (д. Гритуны).



**Рисунок 3. – Спектр HPGe спектрометра в точке 2 (рис. 1)**

Определение объемной активности радионуклидов в приземном слое атмосферного воздуха и питьевой воде, удельной активности почвы и донных отложений, а также расчет плотности загрязнения территории района обследования проводились в аккредитованном отделе радиоспектрометрии Белгидромета (аттестат аккредитации ВУ/112 3.0097).

Результаты измерений содержания гамма-излучающих радионуклидов в отобранных образцах окружающей среды представлены в таблицах 3–5.

**Таблица 3. – Радиологические характеристики почвы в точках проведения измерений на территории белорусского сектора 30-километровой зоны Игналинской АЭС**

Населенный пункт	Координаты		Удельная активность, Бк/кг				Поверхностная активность (плотность загрязнения), Бк/м <sup>2</sup>
	Широта	Долгота	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs
д. Богино	55°25'26,51"N	26°47'58,67"E	6,3	9,1	338	2,1	167
			7,2	10,0	388	2,3	155
д. Гритуны	55°32'13,96"N	26°36'15,26"E	10,0	6,1	418	2,6	251
			11,3	5,2	359	2,3	–
д. Барковщина	55°34'08,73"N	26°37'46,75"E	12,1	16,2	508	2,1	176
			11,0	14,1	424	3,3	263
д. Слободка	55°42'32,77"N	27°13'16,37"E	10,0	10,8	285	3,0	239
д. Дрисвяты	55°35'24,96"N	26°39'54,27"E	4,3	5,5	153	2,3	141
			10,0	6,3	453	2,8	268
д. Мялко	55°38'10,32"N	26°39'1,43"E	8,1	12,7	360	2,6	203
д. Бужаны	55°39'10,9"N	26°54'15,5"E	16,3	8,5	1129	9,5	–
г. Браслав	55°38'23,6"N	27°00'48,7"E	7,6	15,6	215	3,5	276

Удельная активность <sup>137</sup>Cs в почве на территории белорусского сектора 30-километровой зоны Игналинской АЭС составляет 2,1–3,5 Бк/кг, что в перерасчете на плотность поверхностного загрязнения данным радионуклидом составляет 141–276 Бк/м<sup>2</sup>.

**Таблица 4. – Радиологические характеристики воды и донных отложений на территории белорусского сектора 30-километровой зоны Игналинской АЭС**

Населенный пункт	Координаты		Объект измерений	Удельная активность, Бк/кг			
	Широта	Долгота		<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs
д. Дрисвяты	55°25'26,51"N	26°47'58,67"E	Вода	<0,3	<0,3	25	<0,1
д. Бужаны	55°32'13,96"N	26°36'15,26"E					
д. Дрисвяты	55°34'08,73"N	26°37'46,75"E					
д. Мялко	55°42'32,77"N	27°13'16,37"E					
д. Дрисвяты	55°35'24,96"N	26°39'54,27"E					
д. Дрисвяты	55°35'24,96"N	26°39'54,27"E	Донные отложения	9,2	11,7	522	2,1

В результате испытаний образцов донных отложений установлено содержание терригенных радионуклидов (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th и <sup>40</sup>K), а также <sup>137</sup>Cs в количестве 2,1 Бк/кг, что соответствует значениям удельной активности данного радионуклида в почве на исследуемой территории. В пробах воды не фиксировалось наличие радиоизотопов с активностью, превышающей минимально детектируемые уровни, за исключением <sup>40</sup>K (25 Бк/кг).

**Таблица 5. – Объемная активность радионуклидов в приземном слое атмосферного воздуха на территории белорусского сектора 30-километровой зоны Игналинской АЭС**

Радионуклид	Суммарный объем прокачанного через фильтр приземного слоя атмосферного воздуха, м <sup>3</sup>	Бк/м <sup>3</sup>
<sup>7</sup> Be	256,8	4,1*10 <sup>-3</sup>
<sup>137</sup> Cs		<1*10 <sup>-3</sup>

В результате проведенных исследований в объектах окружающей среды в области проведения измерений установлено присутствие терригенных радиоизотопов (<sup>40</sup>K, дочерних членов рядов <sup>232</sup>Th и <sup>226</sup>Ra (<sup>238</sup>U)), космогенного <sup>7</sup>Be и техногенного <sup>137</sup>Cs. Содержание

иных техногенных радионуклидов, активность которых в окружающей среде, как правило, контролируется для оценки радиационной обстановки, ниже предела обнаружения в данных условиях измерения.

### Заключение

В рамках проведения радиационного обследования территории Республики Беларусь, прилегающей к району размещения Игналинской АЭС, с использованием мобильной лаборатории радиационного контроля определены параметры, характеризующие радиационную обстановку на исследуемой территории: мощность AMBIENTного эквивалента дозы  $\gamma$ -излучения во всех точках проведения измерений составила 0,05–0,20 мкЗв/ч, скорость счета импульсов  $\gamma$ -излучения – 26–83 имп/с. Значение данных показателей в среднем до 40 % ниже таковых характеристик, свойственных для г. Минска, ввиду отсутствия на территории обследования транспортных и иных инженерных элементов городской инфраструктуры, содержащих  $\gamma$ -излучающие радиоизотопы.

В результате обработки спектров сцинтилляционных (NaI и LaBr<sub>3</sub>) и портативного (HPGe) спектрометров во всех исследуемых точках (рис. 1), учитывая значимость и симметричность пиков полного поглощения, а также величину статистической неопределенности, установлено присутствие природных радиоизотопов (<sup>40</sup>K, дочерних членов радиоактивных рядов <sup>232</sup>Th и <sup>226</sup>Ra (<sup>238</sup>U)) и наличие  $\gamma$ -квантов в области энергетического диапазона, соответствующего <sup>137</sup>Cs. Наибольшая скорость счета импульсов  $\gamma$ -излучения, соответствующих <sup>137</sup>Cs, установлена в точках проведения измерений, расположенных в районе д. Гритуны, д. Пашевичи и г. Браслава, где рельеф местности представлен как равниной, так и ложиной, а накопление <sup>137</sup>Cs глобальных выпадений отмечается преимущественно в поверхностных горизонтах почв, приуроченных к понижениям местности водораздела, и в лугово-болотных и лугово-черноземовидных почвах пойм [3].

В почвенных образцах Белгидрометом установлено присутствие природных радионуклидов (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th и <sup>40</sup>K), а также техногенного <sup>137</sup>Cs. Удельная активность <sup>137</sup>Cs в почве на территории белорусского сектора 30-километровой зоны Игналинской АЭС составляет 2,1–3,5 Бк/кг, что в перерасчете на плотность поверхностного загрязнения данным радионуклидом составляет 141–276 Бк/м<sup>2</sup>. Установленные значения до одного математического порядка величины меньше по сравнению с уровнем загрязнения данным радионуклидом, вызванным глобальными выпадениями от испытаний ядерного оружия в атмосфере на широтах 50–60° с.ш. до Чернобыльской аварии [4].

В результате испытаний образцов донных отложений выявлено наличие терригенных радионуклидов (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th и <sup>40</sup>K), а также <sup>137</sup>Cs в количестве 2,1 Бк/кг, что соответствует значениям удельной активности данного радионуклида в почве на исследуемой территории.

В пробах воды и приземного слоя атмосферного воздуха не установлено содержания радиоизотопов с активностью, превышающей минимально детектируемые уровни, за исключением <sup>40</sup>K (25 Бк/кг) и <sup>7</sup>Be (0,0041 Бк/м<sup>3</sup>).

Содержание иных техногенных радионуклидов, активность которых в окружающей среде, как правило, контролируется для оценки радиационной обстановки, ниже предела обнаружения в указанных условиях измерения.

Данные, полученные в результате независимого радиационного обследования, характеризующие радиационную обстановку в зоне воздействия Игналинской АЭС, могут быть использованы при проведении сравнительного анализа результатов измерений для последующей оценки радиационной обстановки в зоне наблюдения как Игналинской, так и Белорусской АЭС.

Авторы выражают благодарность ведущему инженеру отдела радиационной безопасности В.С. Егорову, ведущему инженеру сектора технического обеспечения К.Ю. Войтенко, механику сектора технического обеспечения В.Н. Качуре, специалистам отдела радиоспектрометрии службы ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за участие в выполнении работ на этапах отбора проб объектов окружающей среды, подготовки к анализу и проведения измерений содержания радионуклидов в образцах, а также сотрудникам Браславского районного отдела по чрезвычайным ситуациям за техническую поддержку на этапе проведения обследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 6th National Report Under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. – Vilnius: State Nuclear Power Safety Inspectorate (VATESI), 2020. – 120 p.
2. Нилова, Е.К. Оценка современных уровней  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почве, продуктах питания, доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов, прилегающих к зоне отселения Чернобыльской АЭС (на примере Брагинского района Гомельской области Беларуси) / Е.К. Нилова [и др.] // Радиационная гигиена. – 2020. – Т. 13, № 3. – С. 25–37. – DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-25-37. – EDN: NWKLDT.
3. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience / Report of the Chernobyl Forum Expert Group «Environment». – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006. – 180 p.
4. Sources and Effects of Ionizing Radiation / Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly to the General Assembly, with Scientific Annexes. – New York: UNSCEAR, 1994. – 274 p.

**Радиационное обследование территории Республики Беларусь,  
прилегающей к Игналинской АЭС**

**Radiation survey of the territory of the Republic of Belarus adjacent to Ignalina NPP**

***Бугров Юрий Александрович***

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, управление регулирования радиационной безопасности, заместитель начальника управления

Адрес: ул. Берсона, 16,  
220030, г. Минск, Беларусь  
Email: Bugrov@gosatomnadzor.gov.by

***Yury A. Bugrov***

Department of Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Division for Radiation Safety Regulation, Deputy Head of the Division

Address: Bersona str., 16,  
220030, Minsk, Belarus  
Email: Bugrov@gosatomnadzor.gov.by

***Нилова Екатерина Константиновна***

кандидат биологических наук

Государственное научное техническое учреждение «Центр по ядерной и радиационной безопасности», отдел радиационной безопасности, старший научный сотрудник

Адрес: ул. Шпилевского, 57-7Н,  
220067, г. Минск, Беларусь  
Email: nilova@bcnrs.by  
ORCID: 0000-0001-9221-269X

***Ekaterina K. Nilova***

PhD in Biology Sciences  
Center for Nuclear and Radiation Safety, Radiation Safety Department, Senior Researcher

Address: Shpilevskogo str., 57-7N,  
220067, Minsk, Belarus  
Email: nilova@bcnrs.by  
ORCID: 0000-0001-9221-269X

***Кронова Жанна Геннадьевна***

Государственное научное техническое учреждение «Центр по ядерной и радиационной безопасности», отдел радиационной безопасности, научный сотрудник

Адрес: ул. Шпилевского, 57-7Н,  
220067, г. Минск, Беларусь  
Email: kronova@bcnrs.by

***Zhanna G. Kronova***

Center for Nuclear and Radiation Safety, Radiation Safety Department, Researcher

Address: Shpilevskogo str., 57-7N,  
220067, Minsk, Belarus  
Email: kronova@bcnrs.by

***Самсонов Владимир Леонидович***

Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, отдел радиоспектрометрии, начальник отдела

Адрес: пр-т Независимости, 110,  
220114, г. Минск, Беларусь  
Email: svl@hmc.by

***Vladimir L. Samsonov***

State Institution «Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring» of the Ministry of Natural Resources of the Republic of Belarus, Department of Radiospectrometry, Head of the Department

Address: Nezavisimosti ave., 110,  
220114, Minsk, Belarus  
Email: svl@hmc.by

**RADIATION SURVEY OF THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS  
ADJACENT TO IGNALINA NPP****Bugrov Yu.A., Nilova E.K., Kronova Zh.G., Samsonov V.L.**

*Purpose.* To carry out a selective survey of the territory of the Republic of Belarus adjacent to the area where the Ignalina NPP is located.

*Methods.* Gamma spectrometric method, comparative analysis, expert evaluation method.

*Findings.* The article presents the results of measurements of the main parameters characterizing the radiation situation on the territory of the Belarusian segment of the observation zone of the Ignalina NPP – values of the ambient dose equivalent rate of  $\gamma$ -radiation and the total count rate of  $\gamma$ -radiation pulses, carrying out  $\gamma$ -spectrometry in the field using scintillation and semiconductor spectrometers, as well as determining the volumetric activity of radionuclides present in the surface layer of atmospheric air, the specific activity of radionuclides in samples of soil, water and bottom sediments. As a result of processing the spectra in environmental objects in the survey area, the presence of terrigenous radioisotopes ( $^{40}\text{K}$ , daughter members of the  $^{232}\text{Th}$  and  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ ) series), cosmogenic  $^7\text{Be}$  and technogenic  $^{137}\text{Cs}$  was established. The specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the soil on the territory of the Belarusian sector of the 30 km zone of the Ignalina NPP is 2.1–3.5 Bq/kg, the density of surface contamination with this radionuclide is 140–280 Bq/m<sup>2</sup>. The content of other gamma-emitting technogenic radionuclides, whose activity in the environment is usually monitored to assess the radiation situation, is below the detection limit under these measurement conditions.

*Application field of research.* The data obtained as a result of independent radiation monitoring, characterizing the radiation situation in the zone of influence of the Ignalina NPP, can be the basis for a comparative analysis of the measurement results in the subsequent assessment of the radiation situation in the zone of observation of both the Ignalina and the Belarusian NPP.

*Keywords:* Ignalina NPP, observation zone, radionuclides, ambient dose equivalent rate of  $\gamma$ -radiation,  $\gamma$ -spectrometry, filter-ventilation installations, volumetric activity, total count rate, specific activity.

(The date of submitting: April 1, 2022)

**REFERENCES**

1. *6th National Report Under the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management.* Vilnius: State Nuclear Power Safety Inspectorate (VATESI), 2020. 120 p.
2. Nilova E.K., Bortnovsky V.N., Tagai S.A., Dudareva N.V., Nikitin A.N. Assessment of the current levels of  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  in soils and foodstuff, as well as of public internal exposure to ionizing radiation in populated areas adjacent to the Chernobyl NPP exclusion zone (case study: the Bragin district of the Gomel region, Belarus). *Radiation Hygiene*, 2020. Vol. 13, No. 3. Pp. 25–37. (rus). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-25-37. EDN: NWKLDT.
3. *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience.* Report of the Chernobyl Forum Expert Group «Environment». Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006. 180 p.
4. *Sources and Effects of Ionizing Radiation.* Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York: UNSCEAR, 1994. 274 p.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА КЛАССА А МОДУЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ПОРОШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ В СХЕМЕ ТУШЕНИЯ ЛОКАЛЬНО ПО ПОВЕРХНОСТИ

Кицак А.И., Палубец С.М., Надточий Д.Н., Лобач Д.С.

*Цель.* Разработка методики измерения параметров тушения пожара класса А модульной установкой порошкового пожаротушения (МУПП) кратковременного действия в схеме тушения локально по поверхности и экспериментальное определение значений данных параметров, обеспечивающих эффективное тушение пожара указанного класса.

*Методы.* Достижение поставленной цели осуществлялось разработкой процедур измерений параметров тушения пожара класса А (времени тушения пожара, интенсивности подачи огнетушащего порошка в зону горения, скорости частиц порошка в данной зоне и удельного расхода порошка на тушение пожара) и экспериментальным определением значений данных параметров в условиях близких к натурным при применении МУПП.

*Результаты.* Определены условия эффективного тушения пожара класса А огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара в схеме тушения локально по поверхности.

Разработана методика измерений параметров тушения пожаров класса А МУПП кратковременного действия в схеме тушения локально по поверхности.

Проведены экспериментальные исследования эффективности тушения пожара класса А огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара (длительностью ~1 с) и различных режимах тушения.

Построены экспериментальные зависимости среднего времени тушения и среднего удельного расхода огнетушащего порошка типа «Вексон-АВС 25» на тушение модельного очага пожара подкласса А1 от средней интенсивности подачи порошка в зону горения в схеме тушения локально по поверхности.

Установлено наличие оптимального значения интенсивности подачи огнетушащего порошка в очаг пожара, при котором время тушения и соответственно удельный расход порошка на тушение пожара минимальны. Данное значение рекомендуется в качестве нормативного при оценке огнетушащей способности МУПП, применяемой для тушения пожаров подкласса А1 огнетушащим порошком «Вексон-АВС 25».

*Область применения исследований.* Решение задач повышения надежности тушения пожаров класса А МУПП и совершенствования методики оценки их огнетушащей способности.

*Ключевые слова:* очаг пожара, огнетушащий порошок, модуль порошкового пожаротушения, активные центры пламени, гетерогенное ингибирование, время ингибирования, нормативные значения параметров тушения.

(Поступила в редакцию 8 апреля 2022 г.)

### Введение

В настоящее время основным критерием эффективности тушения пожаров различных классов модульными установками порошкового пожаротушения (МУПП) согласно СТБ 11.13.19-2010<sup>1</sup> и ГОСТ Р 53280.4-2009<sup>2</sup> является отсутствие повторного воспламе-

<sup>1</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Установки порошкового пожаротушения автоматические модули. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 11.13.19-2010. – Введ. 20.08.10. – Минск: Госстандарт, 2010. – 18 с.

<sup>2</sup> Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний. ГОСТ Р 53280.4-2009. – Введ. 18.02.09 – Москва: Стандартинформ, 2010. – 17 с.



нения модельных очагов пожаров на защищаемой площади или в защищаемом объеме в течение 10 мин.

В то же время основными характеристиками качества тушения пожаров современных автоматических установок пожаротушения (водяного, пенного) по СТБ 11.16.06-2011<sup>3</sup> являются заданные интенсивность подачи огнетушащего вещества в зону горения и равномерность расхода вещества на тушение, при которых гарантируется тушение пожара по защищаемой поверхности.

Причинами отсутствия в действующих стандартах (отечественном и международных) нормированных значений огнетушащих концентраций порошковых составов, применяемых для тушения пожаров различных классов,<sup>4, 5, 6, 7</sup> называются: недостаточная изученность физико-химических процессов тушения пламени огнетушащими порошками, дисперсная разнородность применяемых для тушения составов порошков, влияние на результат тушения условий подачи порошка в зону горения и мощности тепловыделения самих пожаров.

Тушение пожаров огнетушащим порошком имеет ряд особенностей. К ним относится в первую очередь наличие широкого спектра механизмов тушения огнетушащего порошка, в частности, теплового (охлаждение зоны горения и горючего материала), химического (гетерогенное и гомогенное ингибирование активных центров пламени), разбавляющего, изолирующего, огнепреграждающего. Другой особенностью является то, что частицы порошка не обладают «смачивающей» способностью и не накапливаются в зоне горения, а пребывают в ней ограниченное время, в результате чего основные механизмы тушения теплового и химического ингибирования активных центров пламени осуществляются во время движения частиц порошка. Эффективность тушения при этом зависит как от физико-химических характеристик частиц порошка, так и от условий тушения пожара, определяемых соотношением времени пребывания частиц огнетушащего порошка в зоне горения и характерными временами нагрева и ингибирования активных центров пламени.

Время пребывания частиц огнетушащего порошка в зоне горения определяется их скоростью в данной зоне, направлением движения и толщиной зоны горения.

Время ингибирования зависит от размеров частиц порошка их кинетических и диффузионных характеристик, а также от объемной плотности в зоне горения.

Время нагрева частиц огнетушащего порошка определяется их размерами, а также теплопроводностью и теплоемкостью.

Отсутствие контроля условий тушения пожара огнетушащим порошком (скорости частиц порошка, направления подачи и их объемной плотности в зоне горения) не позволяло однозначно оценивать результаты тушения пожара МУПП с различными пневмозагрузочными характеристиками и схемами их расположения над очагом пожара.

В связи с этим для объективной оценки огнетушащей эффективности МУПП кратковременного действия в схеме тушения локально по поверхности необходимо проведение комплекса работ по разработке методики и определению основных параметров тушения: средней интенсивности подачи огнетушащего порошка в зону горения и среднего удельного

---

<sup>3</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 11.16.06-2011 / ГОСТ Р 51043-2002. – Введ. 30.05.11. – Минск: Госстандарт, 2011. – 30 с.

<sup>4</sup> Standard for Dry Chemical Extinguishing Systems: NFPA 17. – 2021 Edition. – National Fire Protection Association, 2021.

<sup>5</sup> UL Standard for Safety Fire Testing of Fire Extinguishing Systems for Protection of Commercial Cooking Equipment: UL 300. – Inc. June 10, 2019. – Underwriters' Laboratories, 2019.

<sup>6</sup> UL Standard for Safety Pre-Engineered Dry and Wet Chemical Extinguishing System Units: UL1254. – Inc. Apr 03, 2019. – Underwriters' Laboratories, 2019.

<sup>7</sup> Fixed firefighting systems. Powder systems. Part 1: Requirements tests methods for components: CEN EN 12416-1:2001+A2-2007. – Inc. June 20, 2007. – European Committee for Standardization, 2007.

расхода порошка на тушение при одновременном контроле условий тушения, в частности, скорости частиц порошка в зоне горения.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- собрать и откалибровать устройство определения средней скорости частиц огнетушащего порошка, выпускаемого из МУПП;
- определить режимы подачи огнетушащего порошка в зону горения и скорости частиц порошка в зоне горения, обеспечивающие тушение пожаров класса А в схеме тушения локально по поверхности;
- определить зависимости среднего времени тушения и среднего удельного расхода огнетушащего порошка на тушение модельных очагов пожаров класса А от средней интенсивности его подачи в зону горения и средней скорости частиц порошка в схеме тушения локально по поверхности;
- определить нормированные значения средней интенсивности подачи огнетушащего порошка в зону горения, среднего удельного расхода порошка и соответствующие им средние скорости частиц порошка в зоне горения, обеспечивающие надежное тушение пожаров класса А.

### Основная часть

**Условия эффективного тушения пожаров класса А огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара в схеме тушения локально по поверхности.** Рассмотрим типичную модель тушения пожаров класса А (например, горение древесины) локально по поверхности МУПП. Огнетушащий порошок подается на горящую поверхность по направлению близкому к нормали к фронту пламени струей либо в виде пространственного облака ограниченных размеров. В некоторый момент времени в зоне горения формируется дисперсный слой частиц порошка. При этом часть частиц порошка слоя может осесть в обуглившимся зазорах горящего материала, а часть, обладающая достаточной кинетической энергией, может отразиться от материала и снова попасть в реакционную область под действием сил гравитации или безвозвратно покинуть ее.

Тушение пожара огнетушащим порошком обеспечивается двумя основными процессами: передачей тепла частицам порошка посредством их нагрева и химическим ингибированием продуктов горения либо поверхностью частиц порошка (гетерогенное ингибирование), либо веществами, образующимися при их испарении или разложении в результате поглощения тепла (гомогенное ингибирование).

Количество тепла  $Q_{ext}$ , поглощенное частицами порошка за время выпуска  $\tau_{ext}$  его из МУПП, равно [1]

$$Q_{ext} = \left[ J c_p (T_g - T_p) \left( 1 - (1 - \delta) \exp \left[ -\frac{\tau_{int}}{\tau_{rel}} Bi \right] \right) S_{ext} + \mu \kappa \sigma T_f^4 \right] \tau_{ext}, \quad (1)$$

где  $T_g$  – средняя температура в зоне горения, К;

$T_p$  – температура частиц порошка в момент входа в зону горения, К;

$c_p$  – удельная теплоемкость частиц порошка, Дж/(кгК);

$J = \frac{m_p + n_p}{\tau_{ext} S_{ext}}$  – интенсивность подачи порошка в зону горения, кг/м<sup>2</sup>с;

$m_p$  – масса частиц порошка, осевших на горящем материале, кг;

$n_p$  – масса частиц порошка, покинувших зону пожара, после упругого отражения от нагретого материала кг;

$\tau_{\text{ext}}$  – время выпуска порошка из резервуара, с;  
 $S_{\text{ext}}$  – площадь поверхности горения, м<sup>2</sup>;  
 $\delta = m_p / (m_p + n_p)$  – относительная масса частиц порошка, осевших на горючем материале;  
 $\tau_{\text{int}} = 2h/v$  – время взаимодействия частиц порошка с зоной горения, с;  
 $h$  – средняя толщина зоны горения (пламени), м;  
 $v$  – средняя скорость частиц порошка в момент соприкосновения с нагретым горючим материалом, м/с;  
 $\tau_{\text{rel}} \sim c_p \rho d^2 / \lambda_p$  – характерное время нагрева (остывания) частиц порошка, с;  
 $\rho$  – плотность материала частиц порошка, кг/м<sup>3</sup>;  
 $d$  – характерный геометрический размер частиц порошка, м;  
 $\lambda_p$  – коэффициент теплопроводности материала частиц порошка, Вт/(м·К);  
 $T_f$  – температура факела пламени, К;  
 $\mu$  – приведенный коэффициент поглощения слоя частиц порошка;  
 $\kappa$  – степень черноты пожара;  
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) – постоянная Больцмана;  
 $Bi = h_c d / \lambda_p$  ( $h_c$  – средний коэффициент конвективной теплопередачи на поверхности раздела теплового слоя и твердого тела, Вт/(м<sup>2</sup>·К)).

Параметр  $h_c$  можно оценить из соотношения для числа Нуссельта  $Nu = h_c d_p / \lambda_g$  ( $\lambda_g$  – коэффициент теплопроводности горючего газа) при теплопередаче от нагретого слоя газа к частице порошка [2]. Число Нуссельта для тел очень малого размера равно  $\sim 2$  [2].

Из выражения (1) следует, что количество тепла аккумулированного частицами порошка зависит в общем случае как от их теплофизических характеристик, так и от дисперсности (характерных размеров) частиц и условий подачи в зону горения. Для эффективного охлаждения зоны горения необходимо, чтобы время нахождения частиц в этой зоне  $\tau_{\text{int}}$  было больше времени  $\tau_{\text{rel}}$ .

Оценка времени  $\tau_{\text{rel}}$  для частиц огнетушащих порошков, наиболее часто применяемых при тушении пожаров, бикарбоната натрия и моноаммонияфосфата с диаметром частиц  $d \sim 50$  мкм показывает, что оно равно  $1,3 \cdot 10^{-3}$  и  $2,2 \cdot 10^{-2}$  с соответственно. Значения чисел Био для данных сортов огнетушащих порошков при тех же диаметрах частиц порошка и средней теплопроводности нагретого ( $\sim 700$  °С) газа (воздуха)  $\lambda_g = 6,71 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К), равны 0,033 и 0,53 соответственно.

С учетом чисел Био значение  $t_{\text{int}}$  для эффективной передачи тепла частицам порошка должно быть больше 39 мс для частиц бикарбоната натрия и 42 мс для частиц моноаммонияфосфата.

Нагрев частиц огнетушащего порошка происходит как в зоне реакции окисления продуктов горения, так и в зоне пламени.

Эффективность гетерогенного ингибирования частицами огнетушащего порошка активных центров пламени, оцениваемая относительным изменением их массы  $m/m_0$  ( $m$  – масса ингибированных центров пламени, кг;  $m_0$  – масса активных центров пламени до момента начала тушения, кг), определяется следующими соотношениями [3]:

в кинетической области протекания реакции ингибирования за время  $t_{\text{int}}$

$$\frac{m}{m_0} = \frac{3(1-\varepsilon)}{2Fd_p} \gamma u \Delta\tau_k \left( \frac{t_{\text{int}}}{\Delta\tau_k} - \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_{\text{int}}}{\Delta\tau_k}\right) \right] \right), \quad (2)$$

где  $\Delta\tau_k$  – эффективное время длительности реакции, равное

$$\Delta\tau_k = \frac{1}{9} \frac{d_p^2}{\text{Nu}_d D} \frac{\varepsilon^2 F^2}{(1-\varepsilon)^2}; \quad (3)$$

в диффузионной области протекания реакции ингибирования за время  $t_{\text{int}}$

$$\frac{m}{m_0} = 9 \frac{\text{Nu}_d D (1-\varepsilon)^2}{F^2 \varepsilon d_p^2} \Delta\tau_g \left( \frac{t_{\text{int}}}{\Delta\tau_g} - \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_{\text{int}}}{\Delta\tau_g}\right) \right] \right), \quad (4)$$

где  $\Delta\tau_g$  – эффективное время длительности реакции в диффузионной области, равное

$$\Delta\tau_g = \frac{1}{9} \frac{d_p^2}{D} \frac{\varepsilon^2 F^2}{(1-\varepsilon)^2}. \quad (5)$$

В соотношениях (2)–(5) применяются следующие обозначения:

$\gamma$  – вероятность адсорбции активных частиц поверхностью дисперсной частицы;

$u$  – средняя тепловая скорость активной частицы, м/с;

$F$  – фактор формы частиц порошка (для шарообразных частиц  $F=1$ );

$\varepsilon = 1 - \rho_n/\rho$  – порозность слоя частиц порошка;

$\rho_n$  – насыпная плотность частиц порошка в зоне горения, кг/м<sup>3</sup>;

$d_p$  – диаметр эквивалентного шара, имеющего тот же объем, что и частица порошка, м;

$\text{Nu}_d$  – критерий Нуссельта для процесса диффузии;

$D$  – коэффициент диффузии активных частиц пламени, м<sup>2</sup>/с.

Из выражений (2), (4) следует, что, как и в случае теплового механизма тушения пожара, эффективность механизма гетерогенного ингибирования активных центров пламени определяется дисперсностью частиц огнетушащего порошка и условиями подачи его в зону горения, в частности, временем нахождения частиц в зоне горения  $t_{\text{int}}$ .

Эффективность механизма гетерогенного ингибирования активных центров пламени зависит также от порозности  $\varepsilon$  частиц порошка в зоне реакции (их насыпной плотности в данной зоне). Данный параметр влияет как на интенсивность гетерогенного ингибирования, так и на время  $\Delta t$  протекания реакции ингибирования при нестационарном взаимодействии.

Оценки величины  $\Delta\tau_k$  для атома кислорода с молярной массой  $\mu = 16 \cdot 10^{-3}$  кг/моль и диаметром  $1,5 \cdot 10^{-10}$  м показали, что она составляет  $\Delta\tau_k = 3,8 \cdot 10^{-5}$  с при атмосферном давлении  $P = 10^5$  Па, температуре в зоне горения  $T = 973$  К, диаметре частиц огнетушащего порошка  $d_p = 50$  мкм и порозности  $\varepsilon = 0,9$ . При порозности частиц  $\varepsilon = 0,5$ :  $\Delta\tau_k = 4,7 \cdot 10^{-7}$  с.

Сопоставление проведенных оценок характерных длительностей теплового нагрева и реакции ингибирования для широко применяемых в настоящее время огнетушащих порошков свидетельствует о большой инерционности теплового механизма тушения пожара, что сильно снижает его вклад в результат тушения пожара при больших скоростях частиц порошка в зоне горения. Высокие скорости частиц порошка при тушении пожаров необхо-

димы для преодоления частицами (особенно с малыми размерами) сопротивления встречного потока нагретых газов очага возгорания и обеспечения в зоне горения высокой их массовой плотности.

Влияние мощности пожара на скорость частиц огнетушащего порошка, подаваемого в зону горения МУПП, требует определения оптимальных значений скоростей частиц для реализации эффективного тушения пожаров различной мощности.

**Основные положения методики определения параметров тушения пожара класса А МУПП кратковременного действия в схеме тушения локально по поверхности.** Для выполнения поставленных задач разработана методика проведения измерений значений параметров тушения пожаров класса А МУПП кратковременного действия в схеме тушения локально по поверхности. Она включает следующие положения.

**1. Рабочие характеристики, включая показатели точности методики измерений.** Рабочими характеристиками являются: средняя интенсивность подачи порошка в зону горения, средний удельный расход огнетушащего порошка на тушение пожара и средняя скорость частиц порошка в зоне горения.

Средняя интенсивность подачи огнетушащего порошка в зону горения  $I_{\text{cp}}$ , кг/с·м<sup>2</sup> определяется по формуле

$$I_{\text{cp}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_n, \quad (6)$$

где  $I_n$  – интенсивность подачи огнетушащего порошка в зону горения в  $n$ -ном эксперименте, кг/с·м<sup>2</sup>;  $N$  – число экспериментов.

При равномерном распределении огнетушащего порошка по поверхности тушения интенсивность подачи огнетушащего порошка  $I_n$  в зону горения равна

$$I_n = \frac{m_n}{S_{\text{св}} t_n}, \quad (7)$$

где  $m_n$  – масса огнетушащего порошка, израсходованного на тушение очага пожара в  $n$ -ном эксперименте, кг;

$t_n$  – время выпуска порошка из МПП в  $n$ -ном эксперименте, с;

$S_{\text{св}}$  – площадь тушения, м<sup>2</sup>.

Средний удельный расход огнетушащего вещества  $G_{\text{cp}}$ , кг/м<sup>2</sup>, равен

$$G_{\text{cp}} = I_{\text{cp}} \tau, \quad (8)$$

где  $\tau$  – время тушения пожара.

Средняя скорость частиц порошка в зоне горения  $V_{\text{cp}}$ , м/с, определяется по формуле

$$V_{\text{cp}} = l / \Delta t_{\text{cp}}, \quad (9)$$

где  $l$  – длина пути, проходимая частицами порошка, м;

$\Delta t_{\text{cp}}$  – среднее время прохождения частицами порошка пути  $l$ , с.

Диапазоны измерений контролируемых параметров:

- интенсивность подачи огнетушащего порошка – 0,1 ÷ 10 кг/с·м<sup>2</sup>;
- удельный расход огнетушащего вещества – 0,06 ÷ 10 кг/м<sup>2</sup>;
- скорость частиц порошка в зоне горения – 0,1 ÷ 80 м/с.

Показателем точности измерений является расширенная неопределенность измерений с указанием уровня доверия и коэффициента охвата.

Относительная погрешность прямых измерений составляет не более 5 %.

Результаты измерений представляются в виде средних значений определяемых величин с указанием расширенной неопределенности измерений.

**2. Оборудование и средства измерений, применяемые при определении параметров тушения.** Для определения значений параметров тушения используется лабораторная установка порошкового пожаротушения (далее – ЛУПП) и устройство определения скорости фронта струи огнетушащего порошка, выпускаемого ЛУПП.

ЛУПП выполнена в виде цилиндрической емкости, образованной двумя металлическими кольцами, перемещающимися по вертикальному направляющим. Сверху установки закреплен ресивер для заполнения воздухом с заданным давлением, контролируемым манометром. Выход ресивера соединен через электромагнитный клапан с узлом крепления резервуара, заполняемым огнетушащим порошком. Под установкой расположен поддон для сбора выпущенного из резервуара огнетушащего порошка и размещения модельного очага пожара.

Технические характеристики ЛУПП:

- габариты – 2600×1050×1050 мм;
- максимальная защищаемая площадь – 0,5 м<sup>2</sup>;
- максимальный защищаемый объем – 1 м<sup>3</sup>;
- максимальная масса огнетушащего порошка, засыпаемого в резервуар, – 1 кг;
- максимальное пневматическое давление, которое обеспечивает выпуск наибольшего количества засыпаемого в резервуар огнетушащего порошка, – 1 МПа;
- объем ресивера – 1,55 дм<sup>3</sup>.

Устройство определения скорости фронта струи огнетушащего порошка включает две металлические стойки с юстировочными узлами, два лазерных источника излучения и два приемника излучения, а также широкополосный двулучевой осциллограф типа Agilent DSO 5052A с шириной полосы пропускания 500 МГц. Стойки располагаются по обе стороны ЛУПП напротив друг друга. На одной из них крепятся в юстировочных узлах, расположенных на определенном расстоянии между собой (100 ± 5 мм) друг под другом, источники излучения. На другой стойке в юстировочных узлах крепятся приемники излучения так, чтобы излучение источников попадало на приемники примерно по их центру. Приемники излучения подключаются к осциллографу.

Технические характеристики установки определения скорости порошковой струи:

- пределы измерения модуля скорости фронта струи огнетушащего порошка – 0,1 ÷ 80 м/с;
- ширина измеряемого фронта струи огнетушащего порошка – 0,2 ÷ 2 м;
- диапазон высот от уровня поверхности расположения очагов пожара, на которых производится измерение скорости фронта струи порошка, – 0,1 ÷ 2,5 м;
- относительная погрешность измерения скорости – ~4,8 %.

Скорость частиц огнетушащего порошка оценивается исходя из фиксированного расстояния между пучками лазерного излучения и регистрируемого осциллографом интервала времени между перекрытиями фронтом частиц порошка пучков лазерного излучения.

Для контроля времени тушения модельных очагов пожара и времени выпуска огнетушащего порошка используются скоростные видеокамеры с числом записи 120 кадров в 1 с.

При проведении измерений применяются и другие вспомогательные средства измерений, входящие в Государственный реестр Республики Беларусь.

**3. Метод измерений.** Определение параметров тушения МУПП осуществляется методом косвенных измерений на основании результатов прямых измерений величин, функционально связанных с искомыми параметрами.

Прямым измерениям подлежат:

- масса огнетушащего порошка, подаваемого в зону горения;
- время подачи порошка в зону горения;
- площадь горячей поверхности;
- время тушения пожара;
- длина пути, проходимая частицами порошка в устройстве измерения скорости фронта струи огнетушащего порошка;
- время прохождения этого пути.

**4. Порядок проведения измерений.** Схема измерений включает выполнение ряда процедур при проведении экспериментальных работ по определению эффективности тушения (времени тушения) модельных очагов пожаров подкласса А1 огнетушащим порошком общего назначения, подаваемым в зону горения ЛУПП при различных режимах тушения.

Таковыми процедурами являются:

- подготовка тестовых очагов пожара с характеристиками согласно СТБ 11.13.04-2009<sup>8</sup>;
- подготовка ЛУПП и установки определения скорости порошковой струи к работе;
- поджог тестового очага пожара заданного класса и контроль его свободного горения согласно СТБ 11.13.04-2009;
- контроль давления воздуха в ресивере ЛУПП, под которым огнетушащий порошок подается в зону горения;
- контроль времени подачи порошка в зону горения;
- контроль скорости частиц огнетушащего порошка вблизи зоны горения;
- контроль времени тушения модельных очагов пожаров;
- контроль равномерности подачи огнетушащего порошка в зону горения;
- составление отчета о проведенных измерениях.

**5. Обработка результатов измерений.** Обработка результатов измерений включает:

- определение средней массы  $m_{cp}$  огнетушащего порошка, поданного в очаг пожара, кг;
- определение среднего времени выпуска  $t_{cp}$  огнетушащего порошка из загрузочного резервуара ЛУПП, с;
- определение среднего времени тушения  $\tau_{cp}$  пламенного горения модельных очагов пожаров подкласса А1, с;
- определение средней (в общем случае) площади  $S_{cp}$  тушения пожара, м<sup>2</sup>;
- определение среднего по числу проведенных экспериментов (с заданным режимом тушения) значения интенсивности  $I_{cp}$  подачи порошка в зону горения модельных очагов пожара класса А;
- определение среднего значения удельного расхода  $G_{cp}$  огнетушащего порошка на тушение модельных очагов пожаров класса А.

**6. Форма представления результатов измерений.** Результаты определения параметров тушения МУПП представляются в следующем виде:

$$X_{cp} \pm \Delta, \quad (10)$$

где  $X_{cp}$  – средние значения величин определяемых параметров;  $\Delta$  – расширенная неопределенность измерений указанных величин.

Расширенная неопределенность измерений равна произведению суммарной стандартной неопределенности определяемых величин и коэффициента охвата  $k$ , который характеризует уровень доверия найденной стандартной неопределенности.

<sup>8</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная техника. Огнетушители переносные. Общие технические условия: СТБ 11.13.04-2009. – Введ. 06.04.09. – Минск: Госстандарт, 2009. – 38 с.

По результатам проведенных измерений строятся зависимости средних значений времени тушения модельных очагов пожара класса А и удельных расходов огнетушащего порошка на тушение пожаров от средних значений интенсивности подачи порошка в зону горения.

По построенным зависимостям определяются минимальные средние значения времени тушения модельных очагов пожара класса А, удельного расхода огнетушащего порошка на тушение и соответствующее им среднее значение интенсивности подачи порошка в зону горения.

Найденные средние значения параметров тушения: интенсивности подачи порошка в зону горения и удельного расхода огнетушащего порошка, при которых время тушения модельных очагов пожара класса А минимально, принимаются в качестве нормативных значений для контроля огнетушащей способности МУПП.

**Опробование методики и предварительные результаты экспериментальной оценки параметров тушения пожаров класса А с применением ЛУПП в схеме тушения локально по поверхности.** Для определения значений основных параметров тушения пожара класса А1: интенсивности подачи порошка в зону горения и удельного расхода огнетушащего порошка использовались модельные очаги пожара подкласса А1 ранга 0,1А<sup>9</sup>.

Тушение очагов пожаров осуществлялось огнетушащим порошком марки «Вексон-АВС 25», основной компонент огнетушащего состава которого – фосфат аммония.

В ходе экспериментов производилась последовательность измерений времени тушения модельных очагов пожара для различных навесок огнетушащего порошка в выпускном резервуаре ЛУПП и различных давлений воздуха в ресивере. Выпуск порошка осуществлялся через выходное отверстие выпускного резервуара ЛУПП различных диаметров (13, 24 мм).

Скорость фронта струи порошка определялась вблизи ближней к выходному отверстию выпускного резервуара ЛУПП горячей поверхности очага пожара.

Результаты измерений параметров тушения очагов пожара подкласса А1 ранга 0,1А огнетушащим порошком «Вексон-АВС 25» в схеме тушения локально по площади представлены в таблице. При оценке интенсивности подачи порошка в зону горения площадь горения принималась равной площади проекции очага пожара на горизонтальную поверхность. Средние значения параметров тушения определялись в серии экспериментов, количеством не менее 3.

**Таблица. – Параметры тушения модельных очагов пожаров подкласса А1**

№ п/п	Интенсивность подачи огнетушащего порошка в зону горения ( $I \pm \Delta$ ), кг/м <sup>2</sup> с	Время тушения пожара ( $\tau \pm \Delta$ ), с	Удельный расход огнетушащего порошка ( $G \pm \Delta$ ), кг/м <sup>2</sup>	Скорость частиц порошка в момент соприкосновения с нагретым горючим материалом ( $v \pm \Delta$ ), м/с
1	1,59 ± 0,20	0,283 ± 0,017	0,450 ± 0,030	21,27 ± 0,46
2	2,25 ± 0,19	0,092 ± 0,017	0,200 ± 0,016	13,35 ± 0,26
3	2,87 ± 0,33	0,042 ± 0,017	0,120 ± 0,018	11,96 ± 0,28
4	2,89 ± 0,35	0,033 ± 0,017	0,095 ± 0,017	23,25 ± 0,46
5	3,23 ± 0,39	0,067 ± 0,017	0,220 ± 0,023	17,14 ± 0,22
6	6,04 ± 0,92	0,049 ± 0,017	0,290 ± 0,041	34,81 ± 0,54

По данным таблицы построены зависимости среднего значения времени тушения модельных очагов пожара подкласса А1 ранга 0,1А и среднего удельного расхода огнетушащего порошка на тушение очагов от интенсивности подачи его в зону горения. Данные зависимости представлены на рисунке 1.

<sup>9</sup> См. сноску 8.



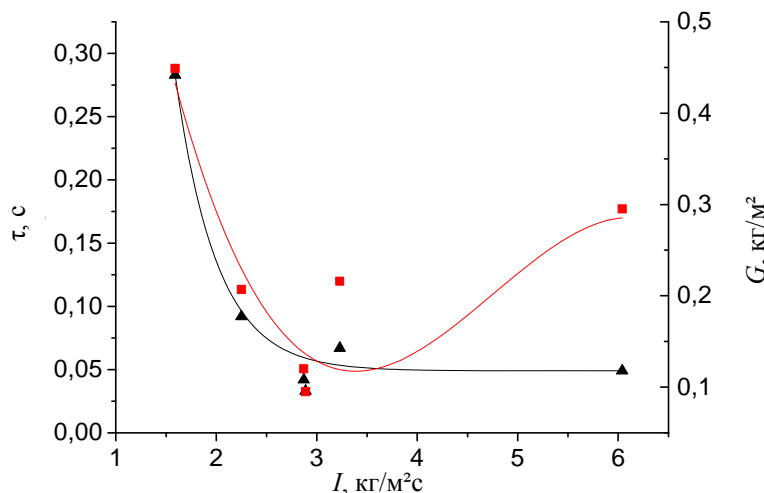


Рисунок 1. – Зависимости времени  $\tau$  тушения ( $\blacktriangle$ ) модельного очага пожара подкласса А1 и удельного расхода  $G$  огнетушащего порошка ( $\blacksquare$ ) от интенсивности  $I$  подачи порошка в зону горения

Из рисунка 1 видно, что время тушения очага пожара уменьшается с ростом интенсивности подачи порошка в зону горения, достигает минимального значения и затем практически не изменяется при дальнейшем увеличении интенсивности подачи порошка в зону горения. Средняя интенсивность подачи порошка в зону горения, при которой время тушения очага минимально, равна  $2,89 \pm 0,35$  кг/м²с. Соответствующий этой интенсивности средний удельный расход порошка на тушение пожара равен  $0,095 \pm 0,017$  кг/м². Средняя скорость частиц порошка, при которой достигнуто минимальное время тушения очага, как видно из таблицы, равна  $23,25 \pm 0,46$  м/с.

Таким образом, согласно разработанной методике, в качестве нормативных значений интенсивности  $I$  подачи порошка в зону горения и удельного расхода  $G$  огнетушащего порошка «Вексон-АВС 25» на тушение пожара подкласса А1 МУПП кратковременного действия в схеме тушения локально по площади можно принять следующие величины:

$$I = 2,87 \pm 0,33 \text{ кг/м}^2\text{с};$$

$$G = 0,095 \pm 0,017 \text{ кг/м}^2.$$

### Обсуждение результатов

Полученные значения параметров тушения определены для случая тушения модельного очага пожара подкласса А1 наинижего ранга. Они требуют корректировки для учета изменений условий тушения при тушении пожаров большей мощности.

Из представленных в таблице значений скоростей частиц порошка следует, что явной зависимости эффективности тушения (времени тушения) пожара подкласса А1 огнетушащим порошком «Вексон-АВС 25» от скорости частиц порошка в зоне горения не наблюдается.

Данное обстоятельство можно объяснить тем, что в процессе тушения участвовал в основном гетерогенный механизм ингибирования активных центров пламени. Причем скорость процесса ингибирования была, очевидно, больше тех скоростей частиц порошка в зоне реакции окисления, которых удалось достичь на ЛУПП и при которых возможно было бы ожидать уменьшение эффективности реакции ингибирования (увеличение времени тушения). Время тушения при этом зависело только от объемной плотности частиц порошка в зоне горения.

При тушении модельных пожаров на обугленной поверхности древесины не наблюдалось наличия пленки расплава солей фосфата аммония огнетушащего порошка «Вексон-АВС 25», способствующей прекращению гетерогенного горения (тления) древесины вследствие изоляции продуктов терморазложения древесины от доступа кислорода. Тушение

скрытого горения в данном случае осуществлялось, очевидно, поглощением тепла частицами порошка, осевшими в обугленных зазорах древесины, и естественным процессом теплообмена нагретой поверхности с окружающей средой при быстром понижении ее температуры до температуры ниже температуры воспламенения горючих газов пиролиза.

Проведенные оценки толщины теплового слоя (зоны пламени) над поверхностью очага пожара, при прохождении которого частицы моноаммонияфосфата порошка могут расплавиться и полимеризоваться на поверхности горючего материала в виде пленки, показали, что при температуре внутри слоя  $\sim 500$  °С, диаметре частиц огнетушащего порошка  $\sim 50$  мкм и скорости их движения  $\sim 10$  м/с она равна  $\sim 0,2$  м.

Данные условия образования пленки расплава вполне могли реализоваться на практике в проводимых экспериментах тушения модельных очагов пожара подкласса А1 ранга 0,1 А. Отсутствие же ее в реальности на нагретом углистом слое древесины требует дополнительных исследований. Возможно, она появляется, но быстро разрушается в процессе дальнейшего нагрева, либо происходит интенсивное терморазложение частиц порошка с образованием свободных радикалов при попадании на сильно нагретую поверхность древесины.

Особенностью зависимостей, приведенных на рисунке, является наличие оптимального значения интенсивности подачи порошка в зону горения, при котором время тушения и удельный расход порошка на тушение очагов пожара подкласса А1 минимально. Наличие оптимального значения интенсивности подачи порошка в зону горения, позволяющего эффективно тушить пожар подкласса А1, можно объяснить существованием характерного значения объемной плотности частиц порошка в зоне горения, требуемой для тушения. Интенсивности тушения, обеспечивающие объемные плотности частиц порошка в зоне горения меньше данных характерных значений, приводят к росту времени тушения пожара или отсутствию его тушения. Интенсивности же тушения, формирующие в зоне горения объемные плотности частиц порошка больше характерных значений, не уменьшают времени тушения, а ведут только к увеличению удельного расхода порошка на тушение пожара.

### **Заключение**

Определены условия эффективной реализации теплового и химического (гетерогенного ингибирования) механизмов тушения пожара класса А огнетушащим порошком общего назначения при кратковременном воздействии на очаг пожара в схеме тушения локально по поверхности. Они заключаются в том, что подача порошка в зону горения должна осуществляться с такой скоростью и под таким углом, чтобы время пребывания частиц порошка в зоне горения было больше характерного времени нагрева частиц порошка и химического ингибирования активных центров пламени.

Проведенные оценки характерных длительностей теплового нагрева и реакции ингибирования активных центров для широко применяемых в настоящее время огнетушащих порошков свидетельствуют о большой инерционности теплового механизма тушения пожара. В результате этого можно предположить, что при больших скоростях частиц порошка в зоне реакции окисления и малой ее толщине практически отсутствует поглощение частицами порошка тепла и не происходит ее охлаждения. Нагрев частиц огнетушащего порошка реально может происходить только при движении их в пламени очага пожара вследствие несравненно большей толщины этой зоны горения по сравнению с толщиной зоны реакции окисления продуктов горения. Этот процесс будет приводить к охлаждению всего горючего материала вследствие траты его тепла на нагрев, плавление и испарение частиц порошка. Эффективное охлаждение зоны реакции окисления и всего горючего материала происходит в основном благодаря снижению тепловыделения в результате химического ингибирования активных частиц продуктов горения.

Разработаны основные положения методики измерений параметров тушения пожаров класса А МУПП кратковременного действия в схеме тушения локально по поверхности.

Проведены экспериментальные исследования эффективности тушения пожара подкласса А1 огнетушащим порошком «Вексон-АВС 25» в зависимости от параметров тушения (средней интенсивности подачи порошка в зону горения, среднего удельного расхода его на тушение) и средней скорости частиц порошка вблизи зоны реакции окисления продуктов горения.

Установлено наличие оптимального значения интенсивности подачи огнетушащего порошка в очаг пожара, при котором время тушения и соответственно удельный расход порошка на тушение пожара минимальны. Данное значение рекомендуется в качестве нормативного при оценке огнетушащей способности МУПП, применяемой для тушения пожаров подкласса А1 огнетушащим порошком «Вексон-АВС 25».

Влияния скоростей частиц огнетушащего порошка «Вексон-АВС 25», величины которых были реализованы в экспериментах, на проявление тепловых эффектов тушения (появления пленки расплава), а также на результаты тушения пожаров подкласса А1 не обнаружено.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кицак, А.И. Модель теплового механизма тушения пожара подкласса А1 огнетушащим порошком общего назначения в условиях нестационарного теплообмена / А.И. Кицак // Приборы и методы измерений. – 2019. – Т. 10, № 4. – С. 391–401. – DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-4-391-401.
2. Абдурегимов, И.М. О механизме огнетушащего действия средств пожаротушения / И.М. Абдурегимов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т.21, № 4. – С. 60–82. – EDN: OZZUSH.
3. Кицак, А.И. Закономерности гетерогенного ингибирования активных центров пламени частицами огнетушащего порошка в нестационарных условиях взаимодействия / А.И. Кицак, С.М. Палубец // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXII Междунар. науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО, 2020. – С. 324–331.

**Разработка методики измерений параметров тушения пожара класса А  
модульной установкой порошкового пожаротушения кратковременного действия  
в схеме тушения локально по поверхности**

**Development of a methodology for measuring the parameters of class A fire extinguishing  
by a powder fire extinguishing modular installation of short-term action  
in the scheme of extinguishing locally on the surface**

***Кицак Анатолий Ильич***

кандидат физико-математических наук  
Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, отдел исследований автоматических систем противопожарной охраны, ведущий научный сотрудник

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

Email: kitsak48@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-7116-8156

***Anatoly I. Kitsak***

PhD in Physics and Mathematics Sciences  
Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Department of Research of Automatic Fire Protection Systems, Leading Researcher

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

Email: kitsak48@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-7116-8156

***Палубец Сергей Михайлович***

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

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

Email: 3337044@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1170-0403

***Sergey M. Palubets***

Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Deputy Head of the Institute – Head of the Testing Center

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

Email: 3337044@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1170-0403

***Надточий Денис Николаевич***

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, отдел исследований автоматических систем противопожарной охраны, начальник отдела

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

Email: 3337044@gmail.com

***Denis N. Nadtochii***

Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Department of Research of Automatic Fire Protection Systems, Head of Department

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

Email: 3337044@gmail.com

**Лобач Денис Сергеевич**

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

Адрес: д. Светлая Роща, 1,  
222515, Борисовский р-н,  
Минская обл., Беларусь

Email: oppippk@mail.ru

ORCID: 0000-0002-0618-1645

**Denis S. Lobach**

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», Chair of Special Training, Senior Lecturer

Address: Svetlaya Roshcha village, 1,  
222515, Borisov district,  
Minsk region, Belarus

Email: oppippk@mail.ru

ORCID: 0000-0002-0618-1645

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR MEASURING THE PARAMETERS OF CLASS A FIRE EXTINGUISHING BY A POWDER FIRE EXTINGUISHING MODULAR INSTALLATION OF SHORT-TERM ACTION IN THE SCHEME OF EXTINGUISHING LOCALLY ON THE SURFACE**

**Kitsak A.I., Palubets S.M., Nadtochii D.N., Lobach D.S.**

*Purpose.* Development of a methodology for measuring the parameters of extinguishing class A fire with a modular powder extinguishing system (MPES) of short-term action in the extinguishing scheme locally on the surface and experimental determination of the values of these parameters that ensure effective extinguishing of a fire of this class.

*Methods.* The achievement of purpose was carried out by the development of procedures for measuring the parameters of class A fire extinguishing (fire extinguishing time, intensity of the supply of extinguishing powder to the combustion zone, speed of powder particles in this zone, and specific consumption of powder for extinguishing the fire) and experimental determination of the values of these parameters in conditions close to the natural when using the MPES.

*Findings.* The conditions for effective extinguishing of class A fire with a general-purpose extinguishing powder with short-term effect on the fire source in the extinguishing scheme locally on the surface are determined.

A method of measuring the parameters of extinguishing fires of class A with the MPES of short-term action in the extinguishing scheme locally on the surface has been developed.

Experimental studies of the effectiveness of extinguishing class A fire with a general-purpose extinguishing powder with a short-term effect on the fire source (duration ~ 1 s) and various extinguishing modes have been carried out.

Experimental dependences of the average extinguishing time and the average specific consumption of the extinguishing powder of the «Vekson-ABC 25» type for extinguishing a model fire of subclass A1 on the average intensity of the powder supply to the combustion zone in the extinguishing scheme locally on the surface are constructed.

It has been established that there is an optimal value of the intensity of the supply of extinguishing powder to the fire source, at which the extinguishing time and, accordingly, the specific consumption of powder for extinguishing the fire are minimal. This value is recommended as a normative one when evaluating the fire extinguishing capacity of the MPES used to extinguish fires of subclass A1 with the fire extinguishing powder «Vekson-ABC 25».

*Application field of the research.* Solving the problems of increasing the reliability of extinguishing fires of class A by MPES and improving the methodology for assessing their extinguishing ability.

*Keywords:* fire source, extinguishing powder, powder extinguishing module, active flame centers, heterogeneous inhibition, inhibition time, regulatory values of extinguishing parameters.

(The date of submitting: April 8, 2022)

**REFERENCES**

1. Kitsak A.I. Model' teplovogo mekhanizma tusheniya požara podklassa A1 ognētushashchim poroshkom obshchego naznacheniya v usloviyakh nestatsionarnogo teploobmena [Model of Thermal Mechanism of Subclass A1 Fire Extinguishing with General Purpose Fire Extinguishing Powder in Non-Stationary Heat Exchange Conditions]. *Devices and Methods of Measurements*, 2019. Vol. 10, No. 4. Pp. 391–401. (rus). DOI: 10.21122/2220-9506-2019-10-4-391-401.
2. Abduragimov I.M. O mekhanizme ognētushashchego deystviya sredstv požarotusheniya [About mechanisms of fire extinguishing action of fire extinguishing means]. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2012. Vol. 21, No. 4. Pp. 60–82. EDN: OZZUSH.
3. Kitsak A.I., Palubets S.M. Zakonomernosti geterogennogo ingibirovaniya aktivnykh tsentrov plameni chastitsami ognētushashchego poroshka v nestatsionarnykh usloviyakh vzaimodeystviya [Regularities of heterogeneous inhibition of active flame centers by fire extinguishing powder particles in non-stationary interaction conditions]. Proc. XXVII Intern. scientific-practical. conf. «Aktual'nye problemy požarnoy bezopasnosti». Moscow: FGBU VNIPO of EMERCOM of Russia, 2020. Pp. 324–331.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДАЧИ СТРУИ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ

Скорупич И.С., Грачулин А.В., Шинкоренко К.Е.

*Цель.* Определение оптимальных технических характеристик и способов применения отечественной установки генерирования компрессионной пены.

*Методы.* Гидравлические расчеты, экспериментальные исследования.

*Результаты.* Рассмотрены технические особенности и тактические возможности установок генерирования компрессионной пены (далее – УГКП). Экспериментальным путем определена дальность подачи струи компрессионной пены в зависимости от характеристик пены, диаметра насадка пожарного ствола и избыточного давления на выходе из него. Полученные в исследовании экспериментальные данные были использованы при разработке технических условий на УГКП – 2/8-50.

*Область применения исследований.* Полученные результаты могут быть применены при разработке методических рекомендаций по применению установок генерирования компрессионной пены для целей пожаротушения.

*Ключевые слова:* установка генерирования компрессионной пены, компрессионная пена, дальность подачи.

(Поступила в редакцию 21 февраля 2022 г.)

### Введение

Мировая практика пожаротушения показывает, что при увеличивающейся сложности пожаров, заключающейся в возведении многоэтажных и высотных зданий, применении в различных производствах более сложных и энергоемких технологий возникает необходимость внедрения и использования передовых средств тушения пожаров, к которым относятся установки генерирования компрессионной пены (далее – УГКП). Их использование обосновано рядом ключевых преимуществ по сравнению с традиционными технологиями тушения пожаров воздушно-механическими пенами низкой кратности, к которым относятся [1–5]:

– многофункциональность, т.к. УГКП могут использоваться для подачи воды, раствора воды и пенообразователя, компрессионной пены, а также сжатого воздуха для работы пневматического аварийно-спасательного оборудования и инструмента;

– генерируемая установками компрессионная пена в отличие от воздушно-механической обладает повышенной адгезией и стойкостью, что позволяет покрывать горизонтальные и вертикальные поверхности, создавая тем самым защитный слой, препятствующий доступу кислорода и обеспечивающий экранирование от тепловой энергии;

– широкая область применения УГКП, которая включает возможность применения УГКП для тушения пожаров в высотных зданиях и подслоного тушения;

– вес рукавной линии составляет около 50 % веса стандартного рукава с водой либо раствором пенообразователя (смачивателя), что экономит силы спасателей-пожарных. Низкий вес рукава с компрессионной пеной позволяет ствольщику быстро маневрировать, выбирая наилучшую позицию для подачи огнетушащих веществ и не затрачивая при этом больших физических усилий. Данное качество особо востребовано при тушении широкого фронта пожаров, в том числе лесных;

– значительно сокращается количество воды, требуемое для тушения пожаров, и, как следствие, снижается косвенный ущерб от пролитой воды. Небольшое количество воды в растворе пенообразователя и быстрая ликвидация пламенного горения значительно снижают парообразование, что существенно улучшает видимость при тушении, повышает точность тушения и снижает риск ожоговых травм пожарного;

– дальность подачи пены, по сравнению с водой, не уменьшается и при одинаковой величине расхода даже выше, чем у воды. Это связано с пневматическим действием пенного потока на выходе из сопла и более низким коэффициентом трения пены в рукавных линиях;

– поданная на стенки и потолки пена остается на месте и продолжает абсорбировать тепло от пожара, пока вся вода из пены не испарится;

– высота подачи компрессионной пены по рукавной линии и сухотрубам может достигать 250 м при нормальном давлении 0,7–1,0 МПа. Данная возможность обусловлена значительной разницей в весе пенного и водяного столба.

### Основная часть

В настоящее время на вооружении подразделений МЧС Республики Беларусь имеется ряд импортных УГКП (табл. 1), которые используются по аналогии с традиционной технологией тушения пожаров воздушно-механической пеной низкой кратности с применением воздушно-пенных пожарных стволов. Это обусловлено отсутствием обоснованных тактико-технических характеристик УГКП и методов применения систем для тушения пожаров, т.к. в зарубежной литературе подобная информация скрыта или представлена не в полном объеме. Данный факт не позволяет в полной мере раскрыть преимущества УГКП и использовать их подразделениями МЧС Беларуси максимально эффективно.

Таблица 1. – Характеристики УГКП

Модель	Производительность установки по пене, л/мин	Рабочее давление установок, МПа	Кратность генерируемой пены	Производительность компрессора, л/мин	Концентрация раствора, %
УГКП 2/8-50	1200	0,4–0,8	от 4	2000	0,1–10
HALE FoamLogix	113–2839	0,4–1	от 4	2000	0,1–10
OS 1200NE	1400	до 0,8	5–25	1200	0,2–2
NATISK 071-2ПВ	720	до 0,7	5–20	1600	1–6

Как известно, одним из ключевых параметров установок (устройств и агрегатов) предназначенных для подачи огнетушащих веществ в зону горения, является дальность подачи огнетушащих веществ. Знание этого параметра при использовании конкретной установки позволяет правильно выбирать позиции нахождения ствольщиков, располагаться на необходимом расстоянии от очага пожара, не приближаясь к нему без необходимости, что способствует обеспечению безопасности работников, осуществляющих тушение в зоне пожара. В связи с этим в процессе исследований было решено определить дальность подачи струи компрессионной пены в зависимости от режимов работы УГКП, диаметров насадок и избыточного давления перед стволом.

В рамках проведения исследований были рассмотрены существующие подходы к определению дальности подачи водных и пенных струй, а именно:

– методика Н.П. Гавырина, которая применялась при расчете струй для гидромониторной разработки грунтовых массивов при золотодобыче [6];

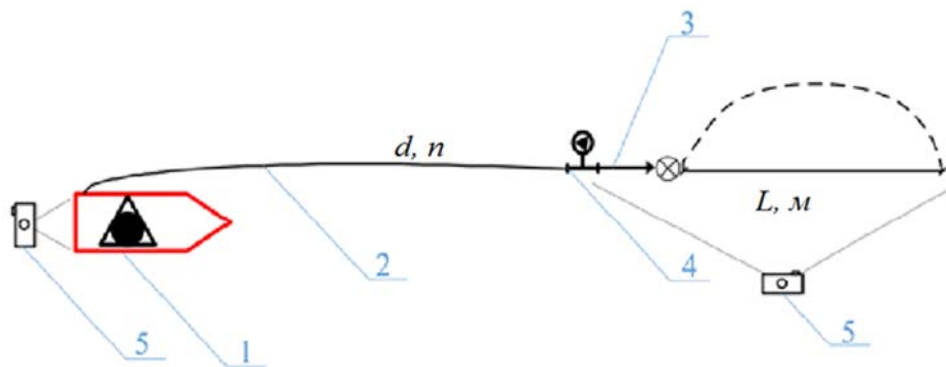
– методы баллистики (специализированное ПО «Баллистика»). Расчетные значения для РСК-50 и РС-70 соответствуют их техническим характеристикам [7–10].

Анализ результатов при решении данной задачи показал, что исследователям не удалось получить аналитическое уравнение движения струй, полностью отвечающее действительности, поэтому для расчета струй применяют эмпирические формулы. Полученные результаты свидетельствуют, что коэффициент трения в воздухе наклонной гидравлической струи изменяется по гиперболическому закону, что соответствует современным представлениям о характере изменения коэффициента сопротивления, встречающимся во многих литературных источниках [7].



Однако для оценки возможности использования данных методов для случая струи компрессионной пены необходимо проведение соответствующих экспериментальных исследований.

**Описание экспериментальной установки.** При проведении экспериментальных исследований по подаче компрессионной пены использовалась следующая схема размещения установки генерирования компрессионной пены и применяемых средств измерений (рис. 1). Параметры используемых в эксперименте средств измерений и устройств приведены в таблицах 2 и 3.



- 1 – автоцистерна, оборудованная системой FoamLogix 3.3;  
 2 – рукавная линия (состоящая из  $n = 2$  рукавов диаметром  $d = 51$  мм); 3 – пожарный ствол;  
 4 – манометр МП; 5 – видеочамера;  $L$  – дальность подачи пены, м

**Рисунок 1.** – Схема размещения установки генерирования компрессионной пены, применяемых средств измерений и устройств для определения дальности подачи струи компрессионной пены

**Таблица 2.** – Устройства, использованные в эксперименте

Наименование устройства	Характеристики устройства
Пожарная автоцистерна, оборудованная УГКП (HALE FoamLogix 3.3)	Производительность пены – не менее 1200 л/мин
Рукав напорный, Ø 51 мм (2 шт.)	Длина $20 \pm 1$ м
Ствол пожарный (4 шт.)	Диаметры насадка: 13, 19 и 25 мм
Рукавная вставка с головками муфтовыми для подключения рукавов Ø 50 мм, Ø 60 мм	Длина $250 \pm 50$ мм
Фотовидеокамера (2 шт.)	–

**Таблица 3.** – Средства измерений, использованные в эксперименте

Наименование средств измерения	Диапазон измерения	Погрешность
Манометр МП	0–1 МПа	$\pm 5$ кПа
Термометр ртутный ТЛ-2, ТЛ-2М	от $-30$ до $+70$ °С	$\pm 1$ °С
Рулетка	0–30 м	$\pm 1$ мм
Штангенциркуль, длина губок не менее 50 мм	не менее 100 мм	$\pm 0,1$ мм
Барометр aneroid	80–106 кПа	$\pm 2$ кПа
Гигрометр-термометр цифровой	10–100 %	$\pm 3$ %

Испытания проводились при следующих условиях окружающей среды:

- температура окружающего воздуха, °С  $+18...+25$ ;
- температура воды, °С  $+15...+18$ ;
- атмосферное давление, кПа  $91,6...102,9$ ;
- относительная влажность, %  $58...80$ ;
- скорость ветра, м/с  $0...1,5$ .

Исходя из требований, предъявляемых к испытаниям пожарных стволов, для определения дальности струи пожарный ствол было принято установить под углом  $\alpha = 30 \pm 1^\circ$  на высоте  $h = 1,00 \pm 0,01$  м от выходного отверстия насадка до площадки (рис. 2).

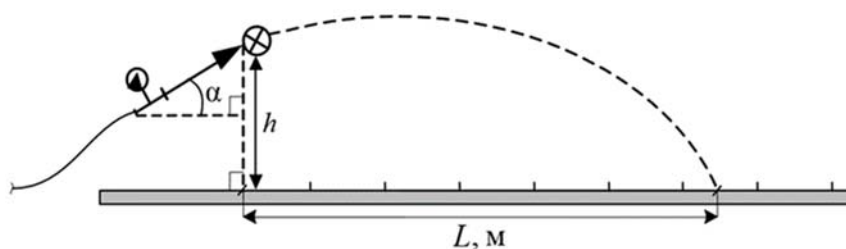


Рисунок 2. – Схема установки пожарного ствола

Также необходимо отметить, что результаты исследований по влиянию пенообразователя на свойства компрессионной пены позволяют утверждать отсутствие влияния вида пенообразователя на потери давления при движении компрессионной пены в рукавной линии [11]. Это, в свою очередь, дает возможность предполагать незначительное влияние марки и типа пенообразователя на баллистические характеристики компрессионной пены. В связи с этим экспериментальные исследования проводились с использованием одной марки пенообразователя – ОПС-0.4.

Таким образом, целью эксперимента было принято:

1. Определить дальность подачи струи компрессионной пены в зависимости:
  - от диаметра насадка;
  - режимов работы установки;
  - избыточного давления на выходе из ствола.
2. Определить возможность применения трехходового разветвления при подаче компрессионной пены.

Дальность струи было принято определять от проекции выходного отверстия стволов на испытательную площадку до места падения максимально крайних капель по линии подачи огнетушащего вещества с использованием предварительно установленных реперных точек, а также с видеофиксацией полученных значений для дальнейшего анализа.

**Результаты и обсуждение.** При реализации эксперимента было проведено три серии испытаний по каждой комбинации диаметра насадка, т.е. 13, 19, 25 мм и двух режимов работы установки. Стоит отметить, что исследуемая установка позволяет генерировать компрессионную пену двух типов: мокрую (с кратностью до 10) и сухую (с кратностью от 10 до 20), что предоставляет возможность выбора наиболее подходящего типа компрессионной пены для конкретной ситуации на пожаре. Мокрая компрессионная пена обладает более высоким охлаждающим эффектом и применяется непосредственно для тушения пожара. Сухая компрессионная пена обладает более высокой прилипающей способностью. Это позволяет наносить ее как на горизонтальные, так и на вертикальные поверхности, создавая защитный слой, который способствует прекращению горения, а также предотвращает воспламенение покрытых поверхностей.

Испытания проводились при постоянной концентрации пенообразователя в растворе (установка позволяет обеспечить дозирование с точностью до 0,05 %), для чего собрали и установили на ровной поверхности измерительную установку в соответствии с рисунком 1. Полученные результаты фиксировались видеокамерой.

Необходимо отметить, что при проверке первоначально выдвинутой гипотезы о достижении наибольшей дальности подачи компрессионной пены при угле наклона пожарного ствола  $30^\circ$  выявлено ее несоответствие действительности. На рисунке 4 слева подается ствол РСК-50 при угле наклона к горизонту  $30^\circ$ , справа – тот же ствол, направленный под углом  $10^\circ$  относительно линии горизонта, разница в дальности подачи составила 4,5 м при одинаковом расходе и избыточном давлении перед стволом. Исходя из этого, было решено изменить условия эксперимента и в дальнейшем установить пожарный ствол под углом  $10^\circ$  для обеспечения наибольшей дальности.



Рисунок 3. – Подача ствола РСК-50 при угле наклона к горизонту 30° и 10° соответственно

В результате эксперимента посредством анализа видеозаписей серий измерений, путем масштабирования реперных точек с соотносением по времени с показателями установки и манометра были получены следующие результаты (табл. 4), где  $L$  – дальность подачи пены, м;  $P$  – избыточное давление на выходе из ствола, кПа.

Таблица 4. – Результаты эксперимента

№ серии	Ствол диаметром 13 мм (сухая пена)						
1	$P$ , кПа	105	120	140	160	180	–
	$L$ , м	6	8,5	10	11,5	12	–
2	$P$ , кПа	100	120	140	160	180	–
	$L$ , м	7,5	8,5	10,5	12	13	–
3	$P$ , кПа	100	120	140	160	180	–
	$L$ , м	7	8	10	11	12	–
№ серии	Ствол диаметром 13 мм (мокрая пена)						
1	$P$ , кПа	70	90	110	130	150	–
	$L$ , м	10	10,5	13,5	15	15	–
2	$P$ , кПа	70	90	110	130	150	–
	$L$ , м	9,5	10	13	14,5	15	–
3	$P$ , кПа	70	90	110	130	150	–
	$L$ , м	9	10	12,5	15	15	–
№ серии	Ствол диаметром 19 мм (сухая пена)						
1	$P$ , кПа	76	100	120	160	220	240
	$L$ , м	7	10	11	14	16,5	16
2	$P$ , кПа	76	100	120	160	220	240
	$L$ , м	7,5	11	11	14	16	16
3	$P$ , кПа	76	100	120	160	220	240
	$L$ , м	7	10	11	14	17	17
№ серии	Ствол диаметром 19 мм (мокрая пена)						
1	$P$ , кПа	78	100	120	160	200	220
	$L$ , м	8	11	14,5	17	20	20
2	$P$ , кПа	78	100	120	160	200	220
	$L$ , м	7	10	13	16	20	20
3	$P$ , кПа	78	100	120	160	200	220
	$L$ , м	8	11	14	16	20	20
№ серии	Ствол диаметром 25 мм (сухая пена)						
1	$P$ , кПа	132	160	200	240	310	330
	$L$ , м	8,5	12	18	20	23,5	23,5
2	$P$ , кПа	132	160	200	240	310	330
	$L$ , м	7,5	13	18	20	23	23
3	$P$ , кПа	132	160	200	240	310	330
	$L$ , м	8	12,5	18	19	23	23
№ серии	Ствол диаметром 25 мм (мокрая пена)						
1	$P$ , кПа	90	100	120	160	200	265
	$L$ , м	9	13	19	24	26	26
2	$P$ , кПа	90	100	120	160	200	265
	$L$ , м	10	14	20	25	27	27
3	$P$ , кПа	90	100	120	160	200	265
	$L$ , м	11	14	21	25,5	27	27

После чего были проведены обработка результатов и выявление точек начала устойчивого формирования компрессионной пены, а также точек, при повышении рабочего давления в которых дальность не меняется. Были определены оптимальные режимы работы установки, в том числе при необходимости подачи компрессионной пены на максимальную дальность (рис. 4, 5).



Рисунок 4. – Совмещенный график результатов подачи мокрой компрессионной пены стволом с выходным диаметром 13–25 мм

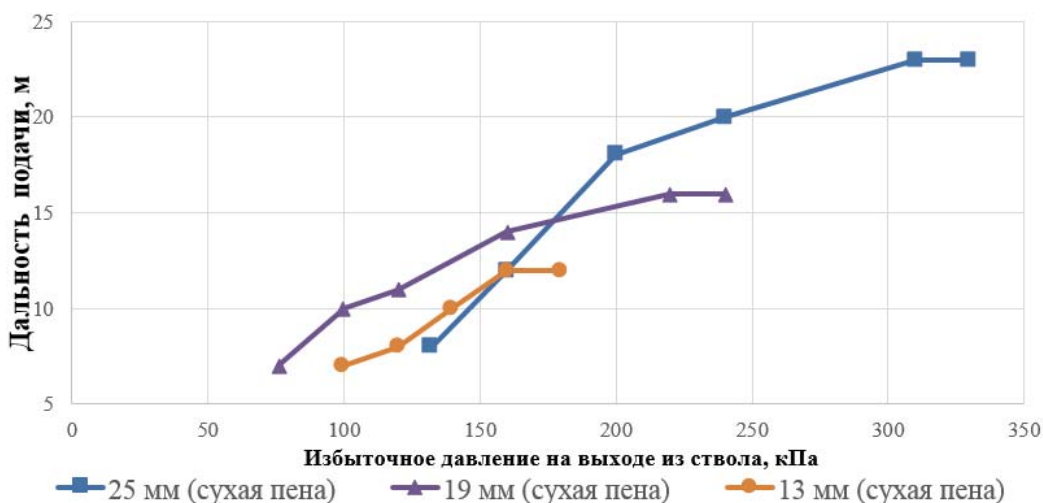
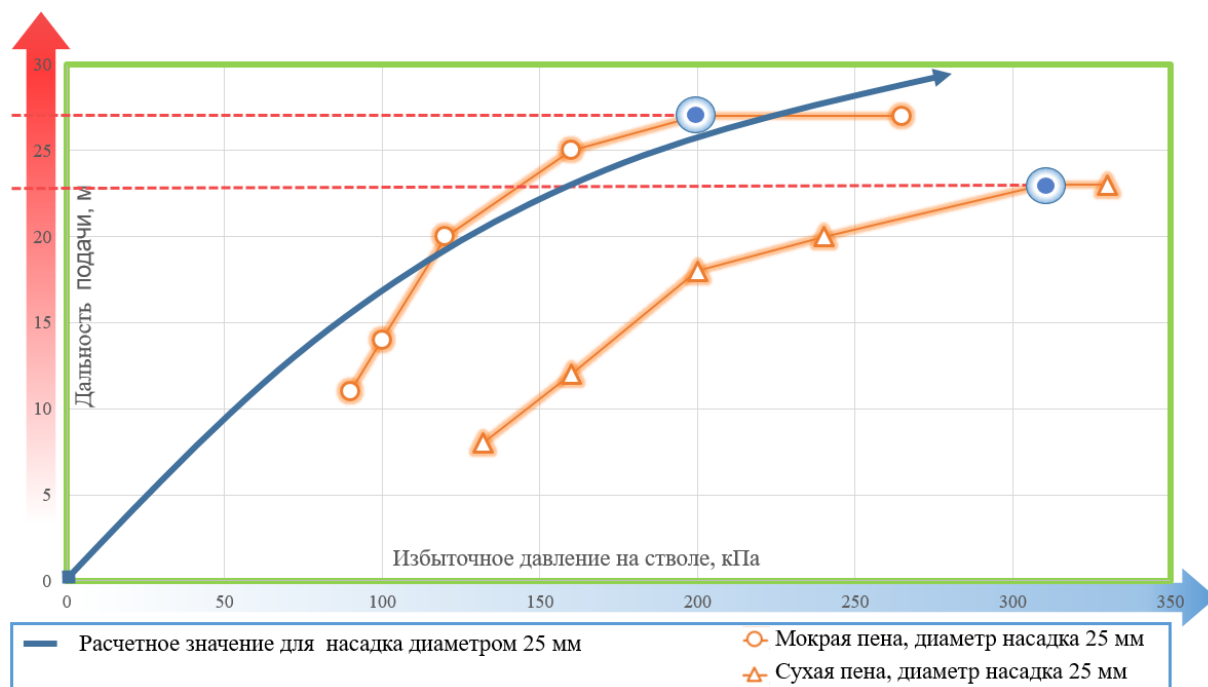


Рисунок 5. – Совмещенный график результатов подачи сухой компрессионной пены стволом с выходным диаметром 13–25 мм

Анализируя результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований (рис. 6), можно сделать вывод, что кроме угла подачи надо учитывать кратность компрессионной пены. Как видно на графике, для мокрой пены результаты приближены к расчетным значениям по воде. Но при этом для сухой пены расчет не соответствует, что указывает на необходимость более глубоких исследований.



**Рисунок 6. – Совмещенный график результатов подачи сухой и мокрой компрессионной пены стволом с выходным диаметром 25 мм**

Установлено, что при подаче компрессионной пены через трехходовое разветвление РТ-80 не удалось создать устойчивый напор компрессионной пены для работы двух стволов РСК-50. Наблюдались перебои в формировании пенной струи по причине невысокой производительности имеющихся на вооружении УГКП.

Кроме того, дополнительно была установлена возможность комбинированной подачи воды и компрессионной пены по двум рукавным линиям от автоцистерны, оборудованной УГКП.

С практической точки зрения указанная техническая возможность данных систем может быть применена при ликвидации последствий ДТП, в том числе с наличием АХОВ, т.к. от одной автоцистерны, оборудованной УГКП, можно сформировать пенную подушку для ликвидации либо предупреждения возгорания разлива топлива с одновременной подачей перфорированной линии для локализации последствий утечки АХОВ. Данная возможность установок позволяет задействовать минимальные силы и средства для ликвидации последствий ЧС, что, в свою очередь, уменьшает влияние на спасателей опасных факторов.

При труднодоступных подъездах к многоэтажным застройкам одна автоцистерна позволяет осуществлять внутриквартирное тушение компрессионной пеной, а также обеспечивать защиту строительных конструкций водой либо дозаправку другой автоцистерны без прекращения подачи компрессионной пены. Указанное преимущество данного способа тушения позволяет минимизировать ущерб от огнетушащих веществ и обеспечить сохранение материальных ценностей, что соответствует современным представлениям о культуре тушения пожаров.

### Заключение

В результате проведенных исследований были определены оптимальные режимы работы УГКП – параметры, при которых начинается устойчивое формирование компрессионной пены, а также параметры, при которых достигается максимальная дальность подачи струи компрессионной пены в зависимости от диаметра насадка пожарных стволов и типа применяемой пены.

Кроме того, было установлено, что автоцистерны, оборудованные УГКП, имеют возможность одновременной подачи воды и компрессионной пены по двум разным рукавным линиям, что, в свою очередь, расширяет тактический потенциал данных систем. Вместе с тем в экспериментальных исследованиях выявлено, что при подаче компрессионной пены через трехходовое разветвление РТ-80 не удается создать устойчивый напор компрессионной для работы двух стволов РСК-50, наблюдались перебои в формировании пенной струи, что обусловлено производительностью стоящих на вооружении пожарных подразделений УГКП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Carey, W.M. National class A foam research project technical report: Structural fire fighting-room burn tests phase II / W.M. Carey // National Fire Protection Research Foundation. – Quincy, Massachusetts, USA. – 1994.
2. Colletti, D.J. Class A foam for structure firefighting / D.J. Colletti // Fire Engineering. – 1992. – Vol. 145, No. 7. – Pp. 47–56.
3. Liebson, J. Introduction to class A foams and compressed air foam systems for the structural fire service / J. Liebson. – MA: International Society of Fire Service Instructors. – 1991. – 45 p.
4. Colletti, D.J. Compressed air foam systems and fire hose / D.J. Colletti // Fire Engineering. – 1996. – Vol. 149, No. 7. – Pp. 50–52. – EDN: CJFVMZ.
5. Murdock, J.I. Compressed air foam systems: A project pertaining to an adoption decision. (Executive-Development Research Paper) / J.I. Murdock. – Emmitsburg, MD: National Fire Academy. – 1997.
6. Гавырин, Н.П. Исследование работы гидромониторов: монография / Н.П. Гавырин. – М., 1939. – 244 с.
7. Здор, Г.Н. Уточнение зависимостей для построения огибающих кривых компактной и раздробленной гидравлических струй лафетных стволов пожарных роботов / Г.Н. Здор, А.В. Потеха // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2015. – № 2 (204). – С. 68–77. – EDN: YQPGKX.
8. Балаганский, И.А. Основы баллистики и аэродинамики: учеб. пособие / И.А. Балаганский. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 200 с.
9. Лысенко, Л.Н. Внешняя баллистика: учеб. пособие / Л.Н. Лысенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 328 с.
10. Потеха, А.В. Определение траектории наклонной гидравлической струи с учетом действия силы трения, возникающей на ее поверхности / А.В. Потеха, Г.Н. Здор // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 6. Тэхніка. – 2016. – Т. 6, № 2. – С. 88–97. – EDN: YPCHTH.
11. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с.

**Экспериментальные исследования подачи струи компрессионной пены**  
**Experimental investigation of compression foam jet supply**

**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

**Грачулин Александр Владимирович**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра автоматических систем безопасности, старший преподаватель  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь  
Email: Grachulin\_a@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-3832-8258

**Aleksandr V. Grachulin**

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, Senior Lecturer  
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus  
Email: Grachulin\_a@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-3832-8258

**Шинкоренко Кирилл Евгеньевич**

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: kirill\_shinkorenko@inbox.ru  
ORCID: 0000-0003-4946-9339

**Kirill E. Shinkorenko**

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Automatic Safety Systems, Lecturer  
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus  
Email: kirill\_shinkorenko@inbox.ru  
ORCID: 0000-0003-4946-9339

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF COMPRESSION FOAM JET SUPPLY

Skorupich I.S., Grachulin A.V., Shinkorenko K.E.

*Purpose.* Determination of optimal technical characteristics and methods of application of the domestic compression foam generating unit.

*Methods.* Hydraulic calculations, experimental studies.

*Findings.* The technical features and tactical capabilities of compressed air foam systems (hereinafter referred to as CAFS) are considered. The range of the compression foam jet supply was determined experimentally, depending on the foam characteristics, the diameter of the nozzle of the fire barrel and the overpressure at the outlet from it. The experimental data obtained in the study were used in the development of technical specifications of CAFS – 2/8-50.

*Application field of research.* The results obtained can be used in developing methodological recommendations for the use of compressed air foam systems for fire extinguishing purposes.

*Keywords:* compressed air foam system, compression foam, feed range.

(The date of submitting: February 21, 2022)

### REFERENCES

1. Carey W.M. *National class A foam research project technical report: Structural fire fighting-room burn tests phase II*. National Fire Protection Research Foundation. Quincy, Massachusetts, USA. 1994.
2. Colletti D.J. Class A foam for structure firefighting. *Fire Engineering*, 1992. Vol. 145, No. 7. Pp. 47–56.
3. Liebson J. *Introduction to class A foams and compressed air foam systems for the structural fire service*. MA: International Society of Fire Service Instructors, 1991. 45 p.
4. Colletti D.J. Compressed air foam systems and fire hose. *Fire Engineering*, 1996. Vol. 149, No. 7. Pp. 50–52. EDN: CJFVMZ.
5. Murdock, J.I. *Compressed air foam systems: A project pertaining to an adoption decision*. (Executive-Development Research Paper). Emmitsburg, MD: National Fire Academy. 1997.
6. Gavyrin N.P. *Issledovanie raboty gidromonitоров [Investigation of the operation of hydraulic monitors]*: monograph. Moscow, 1939. 244 p. (rus)
7. Zdor G.N., Potekha A.V. Utochnenie zavisimostey dlya postroeniya ogibayushchikh krivykh kompaktnoy i razdroblennoy gidravlicheskikh struy lafetnykh stvolov pozharnykh robotov [Refinement of dependencies for constructing envelope curves of compact and fragmented hydraulic jets of carriage trunks of fire robots]. *Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Sciences*, 2015. No. 2 (204). Pp. 68–77. (rus). EDN: YQPGKX.
8. Balaganskiy I.A. *Osnovy ballistiki i aerodinamiki [Fundamentals of ballistics and aerodynamics]*: tutorial. Novosibirsk: NGTU, 2017. 200 p. (rus)
9. Lysenko L.N. *Vneshnyaya ballistika [External ballistics]*: tutorial. Moscow: Bauman University, 2018. 328 p. (rus)
10. Zdor G.N., Potekha A.V. Opredelenie traektorii naklonnoy gidravlicheskoj strui s uchetom deystviya sily treniya, vznikayushchey na ee poverkhnosti [Determination of the trajectory of an inclined hydraulic jet taking into account the action of the friction force arising on its surface]. *Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Sciences*, 2015. No. 2 (204). Pp. 88–97. (rus). EDN: YPCHTH.
11. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. *Kompressionnaya pena dlya nuzhd pozharnykh podrazdeleniy [Compression foam for the needs of fire departments]*: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2019. 224 p. (rus)



## ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Кондакова Я.А., Навроцкий О.Д., Иванов И.Ю.

*Цель.* Разработка пенообразователя целевого назначения для тушения водорастворимых горючих жидкостей.

*Методы.* В работе применены теоретические методы исследования (анализ, синтез), а также эмпирические – измерение динамической вязкости растворов полимеров, проведение испытаний устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей.

*Результаты.* Проведены измерения значений вязкости растворов полимеров и определено максимальное значение концентрации полимера, при которой вязкость пенообразователя допустима для использования насосными установками пожарных автоцистерн; разработана методика для определения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей.

*Область применения исследований.* Полученные результаты имеют большое практическое значение и могут быть использованы при разработке рецептуры пенообразователей, а разработанная методика позволит определить устойчивость пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей в лабораторных условиях.

*Ключевые слова:* пенообразователь целевого назначения, спиртостойкий пенообразователь, водорастворимая горючая жидкость, тиксотропная жидкость, неньютоновская жидкость, вязкость пенообразователей.

(Поступила в редакцию 12 апреля 2022 г.)

### Введение

В настоящее время для ликвидации горения жидких горючих материалов широко используются пенообразователи – одно из наиболее эффективных и удобных огнетушащих веществ. В Республике Беларусь имеется более 50 крупных предприятий химической промышленности, которые применяют в технологическом цикле водорастворимые жидкие углеводороды (спирты, кетоны и др.), являющиеся, как правило, пожароопасными горючими жидкостями. Для противопожарной защиты предприятий, использующих водорастворимые горючие жидкости (ОАО «Полимир», ОАО «Гродно Азот», ОАО «Лида – Лакокраска», ОАО «Могилев – Химволокно», ОАО «Брестский завод бытовой химии» и др.), применяются пенообразователи общего назначения. В то же время, как показывает практика (например, тушение пожара на территории ООО «СТиМ» Бреста в апреле 2006 г.), указанные пенообразователи недостаточно эффективны при тушении водорастворимых горючих жидкостей. Причина – быстрое разрушение пены, полученной из пенообразователей общего назначения, в результате ее контакта с водорастворимой горючей жидкостью [1].

Для тушения водорастворимых горючих жидкостей в зарубежных странах используют специальные спиртостойкие пенообразователи, такие как ULTRAGUARD AR-AFFF, ANSULITE AR-AFFF, ThunderStorm® AR-AFFF, Fomtec ARC, Pyrocool AR, Транспортный AFFF/AR HCB, Finiflam A3F/A, Orchidex ARC, S.F.P.M., Sthamex Moussol APS F-15, Thunderstorm AR/AFFF, Uniseral AF 22\*, Авангард, Акваформ 2Н (2НСВ), Добровolec AFFF универсальный, Народный AFFF-многофункциональный, Нижегородский AFFF универсальный, Пайроком AFFF/АТС, «Полярный», в Беларуси производится пенообразователь «Барьер-пленкообразующий 6НС-П». В состав перечисленных пенообразователей входят водорастворимые полимеры, образующие защитную полимерную пленку на границе контакта пены и водорастворимой (полярной) жидкости и тем самым препятствующие разрушению воздушно-механической пены. Основным недостатком указанных пенообразо-

вателей – их высокая стоимость. В связи с изложенным разработка более дешевого пенообразователя целевого назначения для тушения водорастворимых горючих жидкостей является актуальной задачей.

### Основная часть

При разработке рецептуры пенообразователя целевого назначения, устойчивого к действию водорастворимых горючих жидкостей (спиртостойкого пенообразователя), за прототип был взят состав пленкообразующего пенообразователя, изготовленного по патенту ВУ 17905<sup>1</sup> и представляющего собой пенообразователь типа AFFF по СТБ 2459-2006. Пленкообразующие пенообразователи применяются для тушения неполярных горючих жидкостей, таких как бензин, дизельное топливо, керосин. Для тушения водорастворимых полярных горючих жидкостей (спирты, кетоны) пленкообразующие пенообразователи не используются, т.к. происходит быстрое разрушение пены в результате ее контакта с поверхностью жидкости [2]. Стоит отметить, что при тушении пожаров полярных жидкостей кратность пены не играет роли. Здесь важно использовать пенообразователи с особыми свойствами, которые препятствуют быстрому разрушению пены за счет формирования твердой разделительной пленки на поверхности спирта [3].

С целью повышения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей в состав пенообразователя предложено вводить растворимые в пенообразователе полимерные вещества, молекулы которых при контакте с полярной жидкостью образуют на ее поверхности пленку, защищающую пену от разрушения. Полимерная добавка должна иметь хорошую растворимость в воде и низкую растворимость в горючей жидкости. При контакте пены с водорастворимой горючей жидкостью полимерная добавка образует нерастворимую полимерную пленку на границе раздела горючая жидкость / пена и препятствует разрушению пены. Предполагается, что с повышением концентрации полимерной добавки в пенообразователе его устойчивость к действию водорастворимых горючих жидкостей возрастет. В то же время увеличится вязкость пенообразователя и его стоимость. Поэтому целью запланированных исследований было определение концентрации полимерной добавки, при которой пенообразователь обладает достаточной устойчивостью к действию водорастворимых горючих жидкостей и при этом имеет как можно более низкую вязкость.

В качестве полимерных добавок, которые возможно использовать в пенообразователе, целесообразно использовать природные полисахариды, альгинат натрия, гидроксипропилцеллюлозу и др. Все они относятся к гидроколлоидам, т.е. веществам, способным набухать и растворяться в воде с образованием коллоидных систем. Гидроколлоиды связывают свободную воду и, следовательно, уменьшают ее подвижность, тем самым повышая вязкость и снижая показатель текучести коллоидной системы, что отражается на реологических свойствах [4].

Для исследований и разработки пенообразователя были взяты следующие полимерные вещества: ксантановая камедь двух сортов (пищевая и косметическая), гидроксипропилцеллюлоза, коньяковый глюкоманнан, альгинат натрия, гуаровая камедь. Эти вещества растворимы в воде и не растворимы в спиртах, поэтому предполагается, что они могут формировать защитную пленку, образующуюся из пены на поверхности спиртов.

Известно, что для тушения пожаров используются рабочие растворы пенообразователя с определенной концентрацией, обычно 6, 3 или 1 %. Дозирование пенообразователя осуществляется с помощью пеносмесителей непосредственно во время тушения пожара. Введение полимерных веществ в состав пенообразователя приводит к увеличению его вязкости. Как правило, такие пенообразователи являются неньютоновскими (тиксотропными)

<sup>1</sup> Пенообразователь для тушения пожаров: пат. ВУ 17905 / О.Д. Навроцкий, С.Г. Котов, В.К. Емельянов, Ю.В. Заневская. – Оpubл. 28.02.2014.

жидкостями, т.е. способными под нагрузкой уменьшать свою вязкость. Так, пенообразователи, обладающие в нормальных условиях повышенной вязкостью 1500–3000 мПа·с, под нагрузкой снижают ее до 150–500 мПа·с. Поэтому в работе стояла задача разработки пенообразователя с вязкостью не более определенного значения, допустимого при дозировании его пеноносителями на пожарных автоцистернах.

Проблеме дозирования вязких пенообразователей, которые являются неньютоновскими жидкостями, посвящена работа научного коллектива ВНИИПО МЧС России [5]. В работе определили и экспериментально подтвердили возможность использования вязких неньютоновских пенообразователей насосными установками пожарных автоцистерн.

Возможность дозирования вязкого пенообразователя в работе [5] определяли на пеноносителе центробежного пожарного насоса НЦПН-40/100. По результатам испытаний выяснилось, что неньютоновские пенообразователи, вязкость которых при измерениях на ротационном вискозиметре при скорости сдвига  $107,9 \text{ с}^{-1}$  снижается до 200 мПа·с, можно дозировать насосными установками пожарных автоцистерн при их заборе из посторонней емкости (или пенобака). В связи с изложенным нами проводилось определение усилия сдвига при значении скорости сдвига  $107,9 \text{ с}^{-1}$ .

Для определения максимально возможной концентрации полимеров были приготовлены растворы различных концентраций: 0,5; 0,375; 0,25; 0,125 и 0,0625 %. Измерения динамической вязкости растворов полимерных веществ производились на ротационном вискозиметре ROTAVISC при скорости сдвига  $107,9 \text{ с}^{-1}$ . У данного прибора достаточно большой диапазон измерений, и он позволяет измерить усилие сдвига в зависимости от скорости сдвига при использовании коаксиальных шпинделей.

При измерениях динамической вязкости растворов полимерных веществ были выявлены следующие зависимости:

- чем выше концентрация раствора, тем выше вязкость;
- с увеличением скорости сдвига вязкость раствора снижается;
- у растворов полимеров гидроксипропилцеллюлозы, альгината натрия, гуаровой камеди низкой концентрации (0,0625 %) при высоких значениях скорости сдвига (от  $107,9 \text{ с}^{-1}$  и более) наблюдаются незначительные изменения в результатах измерениях, что свидетельствует о потере тиксотропных свойств.

На рисунке 1 представлена зависимость динамической вязкости растворов полимеров от концентрации при скорости сдвига  $107,9 \text{ с}^{-1}$ .

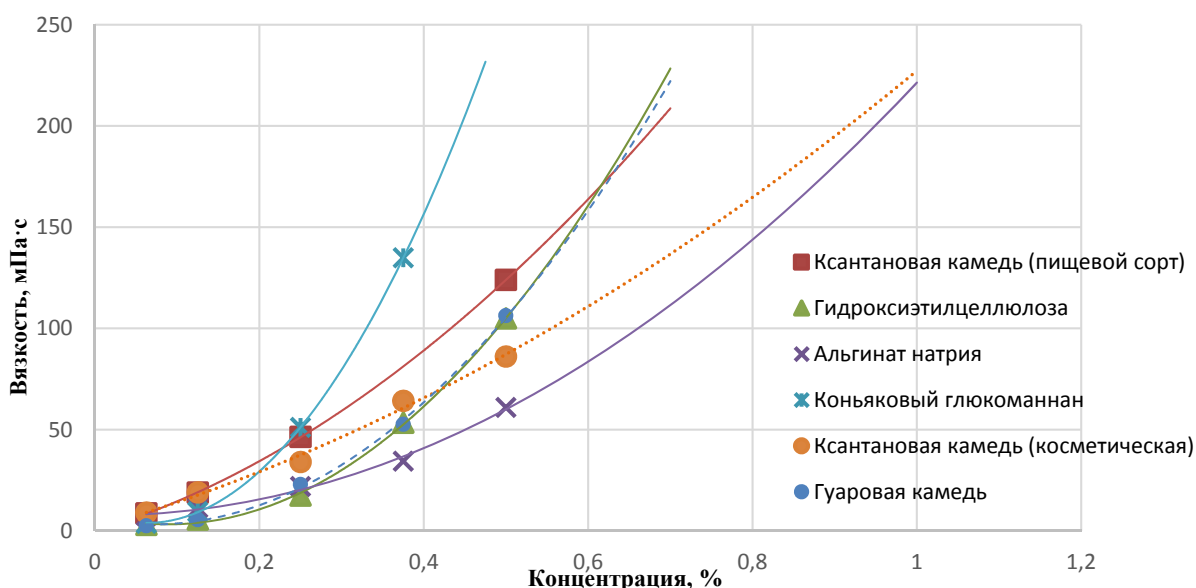


Рисунок 1. – Зависимость динамической вязкости растворов полимеров от концентрации при скорости сдвига  $107,9 \text{ с}^{-1}$

Методом экстраполяции были определены максимальные концентрации полимера в растворах, значения вязкости которых не будет превышать 200 мПа·с при скорости сдвига 107,9 с<sup>-1</sup>. Данные значения сведены в таблицу 1.

**Таблица 1. – Максимальные концентрации растворов полимеров**

Полимерное вещество	Концентрация, %
Ксантановая камедь (пищевой сорт)	0,681 ± 0,023
Гидроксиэтилцеллюлоза	0,660 ± 0,004
Коньяковый глюкоманнан	0,445 ± 0,003
Альгинат натрия	0,949 ± 0,007
Ксантановая камедь (косметическая)	0,916 ± 0,012
Гуаровая камедь	0,667 ± 0,004

Установленные значения концентрации полимера в растворах, при которых вязкость не будет превышать 200 мПа·с при скорости сдвига 107,9 с<sup>-1</sup>, учтены при приготовлении образцов пенообразователей для исследования их устойчивости на поверхности горючих жидкостей. Для изготовления образцов пенообразователей с установленной максимальной концентрацией полимера за основу был взят состав пленкообразующего пенообразователя по патенту ВУ 17905.

Анализ существующих методик определения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей<sup>2, 3, 4, 5, 6</sup> показал, что большинство рассмотренных методик трудоемки, требуют громоздких установок, а также значительных финансовых затрат. Поэтому нами разработана методика определения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей, использование которой возможно в лабораторных условиях.

При разработке лабораторной методики исследований устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей за основу была взята методика, используемая американской компанией Dyne Fire Protection Labs<sup>7</sup>. Недостатком методики является то, что в ней используется большое количество огнетушащего вещества относительно количества горючей жидкости (изопропанола), что соответствует методу тушения пеной с разбавлением изопропанола. В развитие методики компании Dyne Fire Protection Labs нами определены критерии оценки устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей.

Учтя все недостатки, мы усовершенствовали методику, сущность которой заключается в следующем:

– круглая металлическая емкость (рис. 2) заполняется водорастворимой горючей жидкостью (в работе использовался изопропиловый спирт), после чего в центр емкости устанавливается латунный полый цилиндр;

<sup>2</sup> Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016. – Взамен СТБ ГОСТ Р 50588-99; введ. 12.08.2016. – Минск, Госстандарт, 2016. – 42 с.

<sup>3</sup> Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний: НПБ 304 2001. – Введ. 01.01.2002. – ВНИИПО, 2002. – 19 с.

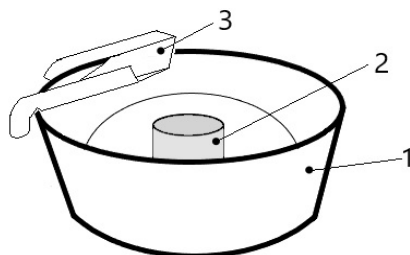
<sup>4</sup> Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ Р 50588-2012. – Взамен ГОСТ Р 50588-93; введ. 01.09.2012. – М.: Стандартинформ, 2013. – 24 с.

<sup>5</sup> Средства пожаротушения. Пенoконцентраты. Часть 1. Технические условия на концентраты низкократной пены для нанесения поверх несмешивающихся с водой жидкостей: ISO 7203-1:2019. – Взамен ISO 7203-1:2011. – Введ. 01.07.2019. – International Organization for Standardization, 2019. – 50 с.

<sup>6</sup> Revised guidelines for the performance and testing criteria, and surveys of foam concentrates for fixed fire-extinguishing systems: MSC.1/Circ.1312; 10 June 2009. – London: International Maritime Organization, 2009. – 15 p.

<sup>7</sup> Alcohol Resistant Foam Tests [Electronic resource] / Dyne Fire Protection Labs. – Mode of access: <https://www.dyneusa.com/alcohol-resistant-foam>. – Date of access: 03.11.2021.

- предметная пластина, необходимая для равномерного распределения пены по поверхности спирта, устанавливается на борт емкости, по которой в течение 30 с вливается приготовленная с помощью размельчителя тканей пена низкой кратности массой 100 г;
- через 30 с после вливания поджигается спирт, расположенный внутри объема полого цилиндра;
- если по истечении 30 с пламя не переходит на поверхность пены, то щипцами убирается полый цилиндр и испытание продолжается;
- за результат по устойчивости пены к действию водорастворимых горючих жидкостей (спиртостойкость) принимается время от момента изъятия полого цилиндра до разрушения 50 % площади пены (контроль площади горения ведется визуально и с помощью видеофиксации).



1 – емкость; 2 – полый цилиндр; 3 – предметная пластина  
**Рисунок 2. – Схема установки определения устойчивости пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей**

Устойчивость к разрушению на поверхности водорастворимой горючей жидкости зависит от того, сколько времени требуется для разрушения пены. Из этого следует вывод: чем больше времени необходимо для разрушения 50 % площади пены, тем более устойчива пена к спиртам.

Результаты проведенных испытаний по разработанной методике представлены в таблице 2.

**Таблица 2. Результаты испытаний пенообразователей по устойчивости пены к действию водорастворимых горючих жидкостей**

Состав пенообразователя	Наличие пленки	Устойчивость пены к действию водорастворимых горючих жидкостей, с
Состав по патенту ВУ 17905	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,660 % гидроксиэтилцеллюлозы	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,445 % коньякового глюкоманнана	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,949 % альгината натрия	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,667 % гуаровой камеди	нет	–
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,660 % ксантановой камеди (косметической)	да	4 ± 2
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,681 % ксантановой камеди (пищевого сорта)	да	17 ± 4
Состав по патенту ВУ 17905 с добавлением 0,916 % ксантановой камеди (косметической)	да	69 ± 12
Промышленный пенообразователь типа AFFF/AR	да	затухание пламени через 4 с

Из таблицы видно, что пена, полученная из образцов пенообразователей с добавлением альгината натрия, гидроксиэтилцеллюлозы, коньякового глюкоманнана, гуаровой камеди, разрушается очень быстро, до момента зажигания спирта. Это связано с тем, что указанные полимерные добавки при добавлении в состав пенообразователя по патенту ВУ 17905 не образуют устойчивую равномерную пленку между водорастворимой горючей

жидкостью и пеной. В то же время при использовании ксантановой камеди пищевого сорта и ксантановой камеди косметической наблюдается образование устойчивой полимерной пленки на поверхности изопропилового спирта, в результате чего пена также становилась устойчивой к действию спирта длительное время.

Для сравнительной оценки устойчивости пены, полученной из изготовленных нами образцов пенообразователей с добавками полимеров, к действию водорастворимых горючих жидкостей и промышленно выпускаемого спиртостойкого пенообразователя типа AFFF/AR, были проведены испытания последнего по разработанной методике. В результате установлено, что пена обладает хорошей устойчивостью к действию изопропилового спирта, причем при извлечении полого цилиндра происходит заполнение образовавшегося отверстия в пене и пламя затухает в течение 4 с (табл. 2).

### **Заключение**

Проведены измерения значений вязкости приготовленных образцов растворов полимеров и определено максимальное значение концентрации полимера, при которой вязкость пенообразователя допустима для использования насосными установками пожарных автоцистерн. Разработана методика определения устойчивости пены на поверхности водорастворимой горючей жидкости, позволяющая минимизировать затраты и упростить проведение испытаний. Приготовлены образцы пенообразователей и проведены испытания по разработанной методике. По результатам проведенных испытаний следует, что добавление полимеров ксантановой камеди пищевого сорта и ксантановой камеди косметической в состав пенообразователя, изготовленного по патенту ВУ 17905, повышает устойчивость пены на поверхности водорастворимых горючих жидкостей (спиртов).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Вилкова, Н.Г. Свойства пен и методы их исследования: монография / Н.Г. Вилкова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 120 с.
2. Корольченко, Д.А. Тушение горючих жидкостей пеной из пленкообразующих пенообразователей / Д.А. Корольченко, А.А. Волков // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 8. – С. 45–55. – DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.45-55. – EDN: ZTUOXN.
3. Воевода, С.С. Тушение пламени полярных горючих жидкостей / С.С. Воевода [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 6. – С. 69–73.
4. Никифорова, Т.А. Органические продукты и пищевые добавки для их производства: учеб. пособие / Т.А. Никифорова, Т.В. Меледина. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2012. – 108 с.
5. Дозирование пенообразователей повышенной вязкости насосными установками пожарных автоцистерн: рекомендации. – М.: ВНИИПО, 2002. – 17 с.

**Пенообразователь для тушения водорастворимых горючих жидкостей**  
**Foaming agent for extinguishing water-soluble combustible liquids**

**Кондакова Яна Александровна**

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: janakondakowa777@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-2825-6687

**Yana A. Kondakova**

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: janakondakowa777@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-2825-6687

**Навроцкий Олег Дмитриевич**

кандидат технических наук, доцент

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4137-2519

**Oleg D. Navrotskiy**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4137-2519

**Иванов Игорь Юрьевич**

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: igor.ivanovwork8@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-1072-2432

**Igor Yu. Ivanov**

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: igor.ivanovwork8@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-1072-2432

## FOAMING AGENT FOR EXTINGUISHING WATER-SOLUBLE COMBUSTIBLE LIQUIDS

**Kondakova Ya.A. Navrotsky O.D., Ivanov I.Yu.**

*Purpose.* Development of a foaming agent for the purpose of extinguishing water-soluble combustible liquids.

*Methods.* Theoretical research methods (analysis, synthesis), as well as empirical ones – measuring the dynamic viscosity of polymer solutions, testing the foam stability on the surface of water-soluble combustible liquids – are used in the work.

*Findings.* Measurements of the viscosity values of polymer solutions were carried out and the maximum value of the polymer concentration was determined, at which the viscosity of the foaming agent is acceptable for use by pumping units of fire trucks; a technique has been developed for determining the stability of foam on the surface of water-soluble combustible liquids.

*Application field of research.* The results obtained are of practical importance and can be used in the development of foam concentrate formulations, and the developed method will make it possible to determine the foam stability on the surface of water-soluble combustible liquids in laboratory conditions.

*Keywords:* foaming agent for special purposes, alcohol-resistant foaming agent, water-soluble combustible liquid, thixotropic liquid, non-Newtonian liquid, viscosity of foaming agents.

(The date of submitting: April 12, 2022)

### REFERENCES

1. Vilkova N.G. *Svoystva pen i metody ikh issledovaniya* [*Properties of foams and methods of their study*]: monograph. Penza: PGUAS, 2013. 120 p. (rus)
2. Korolchenko D.A., Volkov A.A. Tushenie goryuchikh zhidkostey penoy iz plenkoobrazuyushchikh penoobrazovateley [Extinguishing of flammable liquids by film forming foaming agents]. *Fire and Explosion Safety*, 2017. Vol. 26, No. 8. Pp. 45–55. (rus). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.45-55. EDN: ZTUOXN.
3. Voevoda S.S., Molchanov V.P., Sharovarnikov A.F., Bastrikov D.L. Tushenie plameni polyarnykh goryuchikh zhidkostey [Extinguishing of the flame of polar combustible liquids]. *Fire and Explosion Safety*, 2012. Vol. 21, No. 6. Pp. 69–73. (rus)
4. Nikiforova T.A., Meledina T.V. *Organicheskie produkty i pishchevye dobavki dlya ikh proizvodstva* [*Organic products and food additives for their production*]: tutorial. St. Petersburg: Institute of Refrigeration and Biotechnology ITMO, 2012. 108 p. (rus)
5. *Dozirovanie penoobrazovateley povyshennoy vyazkosti nasosnymi ustanovkami pozharnykh avtotsistern* [*Dosing of high-viscosity foam concentrates by pumping units of fire trucks*]: recommendations. Moscow: VNIPO, 2002. 17 p. (rus)



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ПО СУХОМУ РУСЛУ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ

Стриганова М.Ю., Шаталов И.М., Щербакова М.К.,  
Бандолик Н.Н., Гудков А.А., Комзолова Д.С.

*Цель.* Экспериментально исследовать характер движения и параметры нестационарных водных потоков в нижнем бьефе по сухому руслу, образующихся при нарушении целостности или прорыве плотины в условиях высокогорья.

*Методы.* Гидравлические расчеты, экспериментальные исследования, видеонаблюдения.

*Результаты.* Разработаны модель рассматриваемого гидротехнического сооружения и методика проведения эксперимента. Выявлен характер движущегося потока при гидродинамической аварии на высокогорной плотине. Экспериментальным путем определена высота волны перемещения в расчетных створах при движении водного потока по наклонному сухому руслу.

*Область применения исследований.* Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании последствий возможной гидродинамической аварии, что необходимо для разработки мероприятий по эвакуации населения, ликвидации последствий затопления и оценки возможного ущерба.

*Ключевые слова:* волна перемещения, скорость потока, высота волны, створ, глубина потока.

(Поступила в редакцию 11 апреля 2022 г.)

### Введение

Причинами разрушения или обрушений грунтовых плотин являются: сейсмические воздействия на сооружения; подпорный уровень воды, превышающий расчетную величину; аварийное состояние сооружения; неэффективность работы дренажных систем и др.

Сценарии развития гидродинамической аварии различны. Возможно нарушение целостности подпорного сооружения (образование прорана) в теле плотины, размеры которого существенно меньше общей длины напорного фронта и меньше или равны высоте сооружения, или полное его разрушение. В результате данной чрезвычайной ситуации возникают волны перемещения, определение основных параметров которых (скорости, глубины потока) является весьма актуальной задачей.

В условиях высокогорья уклон дна как сухого русла, так и русла водотока достигает достаточно большого значения (10–20 м/км) в отличие от равнинных русел, для которых это значение не превышает 1 м/км. Высокогорный рельеф при разрушении подпорных сооружений способствует возникновению бурного потока, движущегося с большой скоростью и сносящего все на своем пути. Опасность появляющейся при этом волны перемещения обусловлена и тем, что она захватывает грунт, составлявший тело размытой плотины, и различные скальные породы сухого русла, что увеличивает ее ударную силу.

При развитии любого сценария аварии происходит относительно постепенное опожнение водохранилища, при котором расход воды при распространении потока по нижнему бьефу грунтовой плотины уменьшается в начальном и увеличивается в конечном створе. Для определения основных параметров такого потока были проведены экспериментальные исследования в гидродинамическом лотке.

### Основная часть

Лабораторный метод исследования на моделях используется достаточно давно при проектировании, строительстве и эксплуатации разнообразных инженерных сооружений. Конечная цель данного эксперимента при переносе его результатов на натуральный объект (высокогорную грунтовую плотину) – оценка возможных последствий, обусловленных распространением волны перемещения, которая возникает при разрушении этого объекта.

Тестовым объектом исследования было выбрано Тахтакорпюнское водохранилище на территории Азербайджана, созданное одной из наиболее высоких земляных плотин не только в регионе, но и в Европе. Располагается данное сооружение на высоте около 140 м над долиной с жилой застройкой и сетями энергоснабжения, водоснабжения и транспортного сообщения. Протяженность склона от плотины составляет 2,32 км (рис. 1) [1].

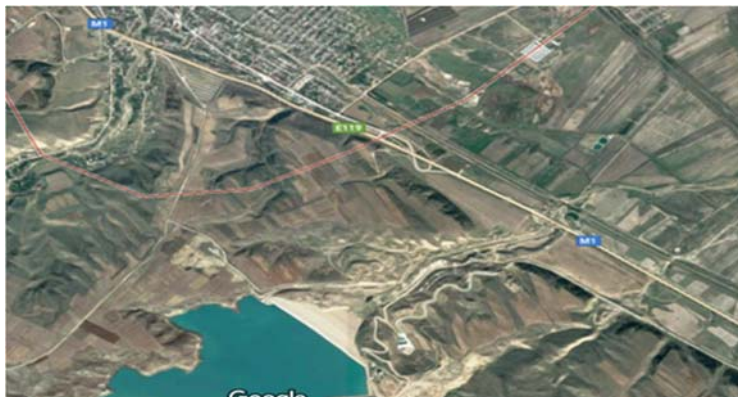


Рисунок 1. – Плотина Тахтакорпюнского водохранилища

Провести натурные эксперименты на подобных объектах не представляется возможным. Поэтому лабораторные исследования являются самым оптимальным методом определения необходимых параметров водных потоков при гидродинамической аварии. Был проведен количественный эксперимент, который позволил зафиксировать волну перемещения и определить геометрические и кинематические ее параметры. Гидравлические сопротивления, шероховатость дна, аэрация потока и волнообразование не учитывались в связи с большой инерционностью горного потока.

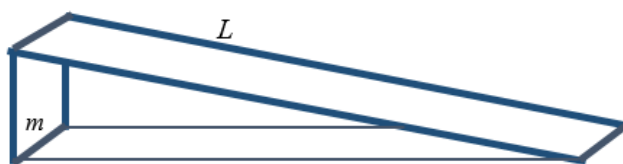
Для проведения лабораторных экспериментов на первом этапе были определены критерии подобия, которые учитывались при разработке модели тестового сооружения. Были выбраны критерии геометрического и динамического подобия, равенство которых для природы и модели обеспечивает возможность пересчета полученных экспериментальных значений исследуемых параметров потоков для натуральных условий.

Динамическое подобие выражается через число Фруда,  $Fr$ :

$$Fr_{\text{мод}} = Fr_{\text{нат}} = \frac{v^2}{gh}. \quad (1)$$

Геометрическое подобие определено геометрическими размерами согласно модели (рис. 2):

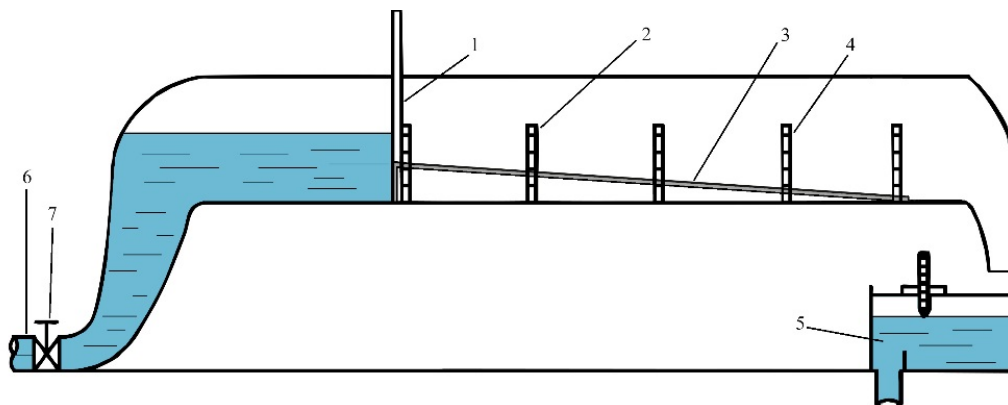
$$\frac{m_{\text{мод}}}{L_{\text{мод}}} = \frac{m_{\text{нат}}}{L_{\text{нат}}}. \quad (2)$$



$m$  – высота расположения плотины над горизонтальной плоскостью, м;  $L$  – длина нижнего бьефа (склона), м

Рисунок 2. – Модель нижнего бьефа (склона)

Эксперименты проводили в лаборатории Белорусского национального технического университета в прямооточном гидравлическом лотке шириной 0,245 м с прозрачными стенками (рис. 3). Поток снимали неподвижной камерой.



1 – подвижный затвор; 2 – уровенные рейки (мерные линейки); 3 – модель сухого русла; 4 – гидравлический лоток; 5 – металлический лоток с водосливом Томсона; 6 – питающая труба; 7 – задвижка

**Рисунок 3. – Схема экспериментального лабораторного стенда**

Вода в гидравлический лоток 4 подавалась из водооборотного бассейна насосом по питающей трубе 6. Уровень воды (напор) в лотке регулировался задвижкой 7. Вода, поступающая в лоток, накапливалась перед подвижным затвором 1. Установленный уровень соответствовал нормальному подпорному уровню (НПУ) водохранилища перед плотиной. Затвор 1 имел возможность перемещения в вертикальной плоскости, что позволило смоделировать аварию на гидротехническом сооружении с образованием волны перемещения. Из гидравлического лотка вода сбрасывалась в водоприемный лоток 5, в котором был установлен измерительный водослив Томсона для определения расхода воды [2]. Далее вода снова поступала в водооборотный бассейн.

На дно лотка, под нижней гранью затвора 1, была установлена модель сухого русла в масштабе 1:1000 (рис. 4), расположенного в нижнем бьефе имитационной модели гидротехнического сооружения. Лоток по длине модели сухого русла был разделен на участки мерными линейками (уровенные рейки) 2 для измерения глубины движущегося потока. Места установки уровенных реек считались измерительными створами. Первый створ располагался в месте расположения затвора 1. По результатам видеосъемки определялись визуально показания на уровенных рейках и фиксировалось перемещение потока воды (т.е. волны перемещения) в створах до и после поднятия затвора 1.

Для определения основных параметров потока, движущегося в нижнем бьефе сооружения, была разработана методика проведения лабораторных исследований. Лабораторные исследования проводились в следующей последовательности:

1. Включался центробежный насос, подающий воду в гидравлический лоток.
2. Опускался затвор на верхнюю плоскость модели сухого русла.
3. Открывалась задвижка 7, и заполнялся гидравлический лоток (уровень воды соответствовал значению напора в верхнем бьефе сооружения).
4. Устанавливался необходимый напор в верхнем бьефе имитационной модели гидротехнического сооружения.
5. Затвор поднимался постепенно в течение 2, 4, 10, 15 с и мгновенно.
6. С помощью уровенных реек и видеокамеры замерялась глубина воды (т.е. высота волны) в нижнем бьефе в каждом створе.
7. С помощью водослива Томсона определялся расход воды.

Эксперименты были проведены при различных временных интервалах подъема затвора 1 (от 2 до 15 с или мгновенно), что соответствовало различным сценариям разрушения плотины: от возникновения прорана вдоль основания плотины до полного ее исчезновения.



Рисунок 4. – Общий вид экспериментального лабораторного стенда с моделью нижнего бьефа (сухого русла)

Всего было определено шесть серий экспериментов с пятикратным повторением каждой серии. Далее была проведена обработка результатов измерений и наблюдений, для того чтобы в дальнейшем провести сопоставление с результатами теоретических расчетов и уточнить количественные значения полученных параметров. По результатам были построены графики зависимостей  $h = f(T)$ , что соответствовало изменению глубины потока воды  $h$  (высоты волны перемещения) в зависимости от времени движения потока  $T$  в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора (рис. 5).

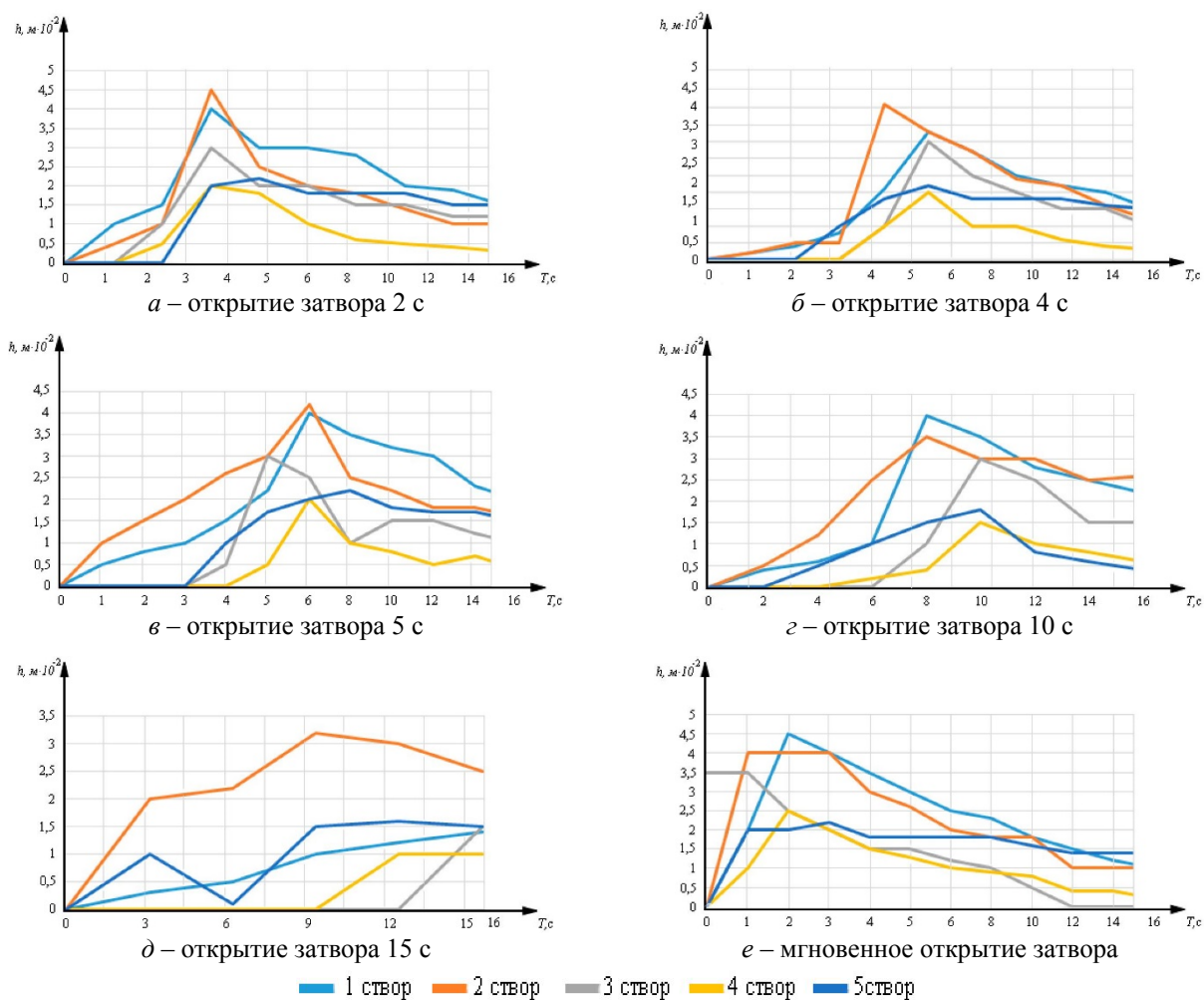


Рисунок 5. – График изменения глубины потока воды  $h$  (высоты волны перемещения) в зависимости от времени перемещения потока  $T$  в нижнем бьефе модели при различном времени открытия затвора

Видеонаблюдение и анализ построенных графиков показывает, что в начальный момент времени перемещения потока воды на участке, расположенном на некотором расстоянии от подвижного затвора, происходит довольно резкое увеличение глубины (и, соответственно, массы или расхода) вытекающего потока воды (рис. 5 а–д). Затем вода стекает по крутому склону лотка, находясь в бурном состоянии, со значительным уменьшением глубины  $h$  и увеличением средней скорости  $v$  потока (рис. 6). Это свидетельствует о появлении прямой отрицательной волны перемещения, о которой упоминалось в ранее опубликованных работах [3; 4]. Здесь следует отметить, что при мгновенном открытии подвижного затвора  $I$  (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока (рис. 5е, 6).



Рисунок 6. – Общий вид волны перемещения при мгновенном открытии затвора

При движении по наклонной поверхности (горному склону) поток всегда находится в бурном состоянии, а волна перемещения обладает максимальной скоростью и огромной разрушительной способностью. Далее, достигнув горизонтальной плоскости в гидродинамическом лотке, поток переходит в спокойное состояние; при этом появляется обратная положительная волна (рис. 7), у которой глубина увеличивается, что в природных условиях приведет к затоплению окружающей территории и дополнительным локальным разрушениям в водоворотной зоне.



Рисунок 7. – Общий вид обратной волны

### Заключение

Проведение лабораторных модельных исследований потока, движущегося по наклонной плоскости, имитирующей нижний бьеф в виде сухого русла высокогорной плотины при гидродинамической аварии, позволило описать процесс формирования волны перемещения при различных сценариях разрушения сооружения.

Экспериментальная модель движения волны перемещения визуально подтвердила рассмотренные ранее теоретические исследования [3; 4] об имеющей место прямой отрицательной волне при протекании потока по наклонному склону вследствие опорожнения водохранилища и обратной положительной волне ниже склона вследствие торможения потока. Однако при мгновенном открытии подвижного затвора (что соответствует полному разрушению земляной плотины) появлялась прямая положительная волна перемещения с резким уменьшением глубины в начальном сечении и мгновенным растеканием бурного потока.

Разработанная методика лабораторных исследований, проведенный эксперимент и полученные результаты позволяют оценить гидравлические показатели (скорость и глубина) движущегося потока от времени развития прорана. Полученные экспериментальные данные будут использованы для сопоставления с результатами теоретических расчетов для оценки возможностей и достоверности выбранного метода численного моделирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стриганова, М.Ю. Аспекты теоретических и экспериментальных исследований движения водных потоков при прорыве плотин / М.Ю. Стриганова, С.А. Самедов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 493–500. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.493. – EDN: YPMHSP.
2. Бонч-Осмоловская, Н.Е. Механика жидкости и газа. Лабораторный практикум: учеб. пособие / Н.Е. Бонч-Осмоловская [и др.]; под ред. И.В. Качанова и В.Н. Юхновца. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск: БНТУ, 2007. – 295 с.
3. Стриганова М.Ю. Математическая модель пространственно изменяющегося неустановившегося движения потока при прорыве напорных гидротехнических сооружений в условиях высокогорья / М.Ю. Стриганова [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 48–58. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.48. – EDN: KGXUEV.
4. Стриганова М.Ю. Об интегрировании дифференциальных уравнений неустановившегося постепенно изменяющегося движения потока в открытом русле в условиях высокогорья при прорыве плотины / М.Ю. Стриганова [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 328–334. – DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.328. – EDN: BVHHOW.

**Экспериментальные исследования параметров движения потока по сухому руслу  
в условиях высокогорья при гидродинамической аварии**

**Experimental studies of the parameters of flow movement along a dry riverbed  
under high-altitude conditions at a hydrodynamic accident**

***Стриганова Марина Юрьевна***

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

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

Email: asb@ucp.by

ORCID: 0000-0002-8100-733X

***Marina Yu. Striganova***

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

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

Email: asb@ucp.by

ORCID: 0000-0002-8100-733X

***Шаталов Игорь Михайлович***

Белорусский национальный технический  
университет, кафедра гидротехнического  
и энергетического строительства, водного  
транспорта и гидравлики,  
старший преподаватель

Адрес: пр-т Независимости, 65,  
220013, г. Минск, Беларусь

Email: hidrokaf@bntu.by

ORCID: 0000-0002-5348-5318

***Igor M. Shatalov***

Belarusian National Technical University,  
Chair of Hydrotechnical and Power Engineering,  
Water Transport and Hydraulics,  
Senior Lecturer

Address: Nezavisimosti ave., 65,  
220013, Minsk, Belarus

Email: hidrokaf@bntu.by

ORCID: 0000-0002-5348-5318

***Щербакова Мария Константиновна***

Белорусский национальный технический  
университет, кафедра гидротехнического  
и энергетического строительства, водного  
транспорта и гидравлики,  
старший преподаватель

Адрес: пр-т Независимости, 65,  
220013, г. Минск, Беларусь

Email: hidrokaf@bntu.by

ORCID: 0000-0002-8864-0517

***Maria K. Shcherbakova***

Belarusian National Technical University,  
Chair of Hydrotechnical and Power Engineering,  
Water Transport and Hydraulics,  
Senior Lecturer

Address: Nezavisimosti ave., 65,  
220013, Minsk, Belarus

Email: hidrokaf@bntu.by

ORCID: 0000-0002-8864-0517

***Бандолик Николай Николаевич***

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

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

Email: asb@ucp.by

ORCID: 0000-0002-3364-9389

***Nikolay N. Bandolik***

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

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

Email: asb@ucp.by

ORCID: 0000-0002-3364-9389

***Гудков Алексей Александрович***

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: alex.gudkov01@mail.ru

***Alexey A. Gudkov***

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: alex.gudkov01@mail.ru

***Комзолова Дарья Сергеевна***

Белорусский национальный технический  
университет, факультет энергетического  
строительства, студентка

Адрес: пр-т Независимости, 65,  
220013, г. Минск, Беларусь

Email: hidrokaf@bntu.by

***Darya S. Komzolova***

Belarusian National Technical University,  
Faculty of Energy Construction, student

Address: Nezavisimosti ave., 65,  
220013, Minsk, Belarus

Email: hidrokaf@bntu.by



**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE PARAMETERS OF FLOW MOVEMENT  
ALONG A DRY RIVERBED UNDER HIGH-ALTITUDE CONDITIONS  
AT A HYDRODYNAMIC ACCIDENT**

**Striganova M.Yu., Shatalov I.M., Shcherbakova M.K.,  
Bandolik N.N., Gudkov A.A., Komzolova D.S.**

*Purpose.* To experimentally investigate the nature of movement and parameters of non-stationary water flows in the lower reaches along a dry riverbed formed when the integrity is violated or the dam breaks under high-altitude conditions.

*Methods.* Hydraulic calculations, experimental studies, video surveillance.

*Findings.* A model of the hydraulic structure under consideration and a methodology for conducting the experiment have been developed. The nature of the moving flow during a hydrodynamic accident at a high-altitude dam is revealed. The height of the displacement wave in the design sections when the water flow moves along a sloping dry riverbed was determined experimentally.

*Application field of research.* The obtained results can be used to predict the consequences of a possible hydrodynamic accident, which is necessary for the development of measures of population evacuation, elimination of the flooding consequences, and assessment of possible damage.

*Keywords:* displacement wave, flow velocity, wave height, gate, flow depth.

(The date of submitting: April 11, 2022)

**REFERENCES**

1. Striganova M.Yu., Samedov S.A. Aspekty teoreticheskikh i eksperimental'nykh issledovaniy dvizheniya vodnykh potokov pri proryve plotin [Aspects of theoretical and experimental researches of the movement of water flows during a break of dams]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 4. Pp. 493–500. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-4.493. EDN: YPMHSP.
2. Bonch-Osmolovskaya N.E., Zayats A.M., Ivashchkin V.V., Karpenchuk I.V., Kachanov I.V., Kozlov D.A., Kondratovich A.N., Kuz'menkov V.I., Ledyan Yu.P., Nedbal'skiy V.N., Shatalov I.M., Shul'pin I.A., Yukhnovets V.N. *Mekhanika zhidkosti i gaza. Laboratornyy praktikum [Fluid and gas mechanics. Laboratory workshop]*: tutorial. Minsk: BNTU, 2007. 298 p. (rus)
3. Striganova M.Yu., Shatalov I.M., Samedov S.A., Nedashkovskaya I.V., Rabchenya V.S. Matematicheskaya model' prostranstvenno izmenyayushchegosya neustanovivshegosya dvizheniya potoka pri proryve napornykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v usloviyakh vysokogor'ya [Mathematical model of a spatially variable unstable flow motion at the breakthrough of hydrotechnical structures under the conditions of highland]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 1. Pp. 48–58. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.48. EDN: KGXUEV.
4. Striganova M.Yu., Shatalov I.M., Samedov S.A., Shcherbakova M.K., Nedashkovskaya I.V., Rabchenya V.S. Ob integrirovanii differentsial'nykh uravneniy neustanovivshegosya postepenno izmenyayushchegosya dvizheniya potoka v otkrytom rusle v usloviyakh vysokogor'ya pri proryve plotiny [On the integration of differential equations of unsteady gradually changing flow in an open channel in highland conditions when a dam breaks]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 3. Pp. 328–334. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.328. EDN: BBHHOW.

## ПОЖАРЫ НА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ: ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Пасовец В.Н., Ковтун В.А., Тагиев Ш.Ш.

*Цель.* Исследование причин возникновения пожаров на автотранспортных средствах.

*Методы.* Теоретический анализ причин возникновения пожаров на автотранспортных средствах.

*Результаты.* В работе рассмотрены основные причины возникновения пожаров на автотранспортных средствах. Подробно рассмотрены умышленные и непреднамеренные пожары. Представлены основные отличительные признаки данных групп пожаров. Показано, что умышленные пожары на автотранспортных средствах происходят по причине мошенничества со страховкой, из чувства мести, с целью угона для увеселительных поездок, а также для сокрытия следов использования автомобиля в преступных целях. В то же время основными причинами непреднамеренных пожаров на автомобильном транспорте являются технические неисправности систем, узлов и агрегатов двигателя внутреннего сгорания, а также короткое замыкание электрической аппаратуры автомобиля.

*Область применения исследований.* Представленные результаты могут быть использованы в сфере обеспечения пожарной безопасности на автомобильном транспорте.

*Ключевые слова:* автомобиль, возгорание, двигатель внутреннего сгорания, инициатор горения, пожар, поджог.

(Поступила в редакцию 11 апреля 2022 г.)

### Введение

В промышленно развитых странах пожары на автотранспортных средствах составляют 5–12 % от общего числа пожаров. При этом пожары на автомобилях наносят экономический ущерб, создают угрозу жизни и здоровью водителей и пассажиров, а также жителей зданий, которые находятся поблизости от горящего транспортного средства. Гибель людей при этом достигает 6–15 % от общего количества погибающих на пожарах [1].

Из литературных источников [2–4] известно, что доля горючих материалов, применяемых при производстве легковых автомобилей с бензиновым двигателем, составляет 9–12 % от его общей массы и с каждым годом возрастает. Основную пожарную нагрузку автомобиля составляют топливо, смазочные материалы и изделия, изготовленные из полимерных материалов<sup>1</sup>. Например, современный грузовой автомобиль в среднем содержит 120–450 кг резинотехнических изделий, 120–200 кг дизельного топлива, 50–70 кг моторного и трансмиссионного масла, 4–6 кг пенополиуретана, 1,8–2,9 кг полиэтилена, 2,6–3,8 кг полихлорвинила, 2,5–3,4 кг картона, 9–10 кг искусственной кожи. При этом теплота сгорания дизельного топлива составляет 43,59 МДж/кг, моторного и трансмиссионного масла – 41–42 МДж/кг, резинотехнических изделий – 32–34 МДж/кг, пенополиуретана – 24,3 МДж/кг, полиэтилена – 47,14 МДж/кг, полихлорвинила – 14,31 МДж/кг, картона – 13–14 МДж/кг, искусственной кожи – 17–18 МДж/кг. Пожарная нагрузка грузового автомобиля находится в пределах 10 300–14 500 МДж [5; 6].

Современные автомобили при сгорании имеют более высокие скорости выделения теплоты по сравнению с ранее произведенными, что связано с увеличившимся применением полимерных материалов [7; 8]. При этом высокие скорости выделения тепла из горящего автомобиля, расположенного, например, на автостоянке, могут вызвать возгорание

<sup>1</sup> Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: ТКП 474-2013 (02300). – Введ. 15.04.13. – Минск: УП «Промбытсервис», 2013. – 53 с.

находящихся рядом автомобилей. Однако проблемы пожаров на транспортных средствах, находящихся на территориях автостоянок, расположенных в зданиях, заключаются не только в уничтожении самих транспортных средств, но и в возникновении возможности разрушения здания. Крупные пожары на крытых автостоянках с участием нескольких автомобилей нередко приводят к гибели людей. Так, один из самых серьезных пожаров произошел в 2006 г. в Гретхенбахе (Швейцария). При его ликвидации семь пожарных погибли в подземной автостоянке из-за обрушения строительных конструкций [5]. Также необходимо обратить внимание на пожар в Бристоле (Великобритания) в 2011 г., когда 22 автомобиля были уничтожены и один человек погиб, и возгорание легкового автомобиля на подземном паркинге торгового центра в Минске в 2019 г. [9; 10].

Обследование места крупного пожара, произошедшего на подземной автостоянке в Гётеборге (Швеция) в 2011 г., показало, что несущие элементы бетонной конструкции сооружения получили серьезные повреждения. При этом пожар длился около трех с половиной часов и уничтожил 20 автомобилей. Анализ данного пожара показал: несмотря на отсутствие смертельных случаев, возгорание транспортных средств может представлять угрозу разрушения строительных конструкций. В то же время быстрое развитие новых материалов в автомобилестроении, а также новых видов топлива для транспортных средств ставит новые задачи по предупреждению возгораний транспортных средств [11; 12].

На основании вышеизложенного можно отметить, что пожары на транспортных средствах хотя и редко случаются, могут вызвать катастрофические последствия. Поэтому исследования, направленные на изучение причин пожаров на автомобилях и необходимые для понимания рисков возгорания транспортных средств, а также возможности потенциального снижения вероятности возникновения пожара и смягчения серьезности последствий в случае его возникновения не теряют актуальности [13–15].

Цель работы – исследование причин пожаров на автотранспортных средствах.

### **Основная часть**

Выявление источника зажигания и причины возгорания транспортного средства – сложная задача, требующая знания составов и понимания свойств как конструкционных материалов, из которых изготовлено транспортное средство, так и горюче-смазочных материалов, необходимых для его эксплуатации [16]. Знание температур воспламенения, вспышки и плавления материалов, используемых в автомобилестроении, является обязательным при проведении исследований по установлению причин пожаров. Также достаточно важна информация, как и в каком режиме эксплуатировался автомобиль. Возгорание значительно чаще начинается в моторном отсеке автомобиля с прогретым до рабочих температур двигателем, где пламя будет гореть интенсивнее и распространяться быстрее. При этом пожары на транспортных средствах значительно отличаются от пожаров, происходящих в жилых домах. Огонь в автомобиле распространяется в течение короткого периода времени. Обычно в течение первых 15 минут происходит значительное повреждение или полное уничтожение автомобиля и сведений, указывающих на причину возникновения пожара. Существует две основные группы пожаров на транспортных средствах: умышленные и непреднамеренные.

*Умышленные пожары.* Мошенничество со страховкой является одной из основных причин умышленных пожаров, связанных с поджогом транспортных средств [17; 18]. При этом в большинстве таких случаев владельцем в правоохранительные органы сообщается о том, что автомобиль был угнан. Для обеспечения страховых выплат проводится инсценировка угона, заключающаяся в нанесении повреждений системе зажигания таким образом, чтобы можно было завести автомобиль и управлять им без ключа. Если система зажигания не повреждается, то создается видимость наличия у злоумышленника копии ключа, которая использовалась для запуска двигателя и управления автомобилем.

При проведении исследований по установлению причин пожара необходимо проявлять значительную осторожность, т.к. на сегодня на рынке доступно множество устройств для взлома и обхода замков. Если транспортное средство оборудовано сигнализацией или противоугонной системой, то данные компоненты автомобиля также повреждаются. Обычно владелец, желающий инсценировать кражу, удаляет из автомобиля что-то ценное. Многие владельцы автомобильного транспорта, желающие получить страховые выплаты, в большинстве случаев в результате своей неосведомленности не имеют возможности произвести все вышеперечисленные манипуляции, и просто сжигают автомобиль, надеясь скрыть свои ошибки. Однако если владелец застрахованного автомобиля выполнит все вышеперечисленные процедуры, связанные с инсценировкой угона, надлежащим образом, то доказать мошенничество будет практически невозможно.

Кроме того, транспортные средства угоняют также с целью развлечения или использования в преступных целях. Автомобили, угнанные для увеселительных поездок и совершения преступлений, во многих случаях сжигают, чтобы скрыть отпечатки пальцев или любые вещественные доказательства, которые могли быть оставлены.

Если пожар на автомобиле потушен в кратчайшие сроки, то возникает высокая вероятность установления причины пожара, а также обнаружения следов горючих или легко воспламеняющихся жидкостей или других быстро горючих материалов, используемых в качестве инициаторов горения. При этом пожары на автомобилях, происходящие в черте города, обычно тушат вскоре после обнаружения возгорания, и огонь не успевает уничтожить доказательства причин пожара. Такие пожары в большинстве случаев являются результатом поджога, но небольшое количество повреждений (незначительное выгорание салона, частичное повреждение краски, все шины находятся на своих местах и не повреждены огнем) может указывать на техническую неисправность, например короткое замыкание в электрической системе. Детальный осмотр места пожара и исследование изъятых вещественных доказательств позволяют точно установить причину пожара и в большинстве случаев получить доказательства, которые будут использоваться при проведении допроса, что часто приводит к признанию злоумышленника в совершенном преступлении.

Во многих случаях транспортное средство отвозят в отдаленное безлюдное место, куда невозможно быстро добраться, что позволяет ему почти полностью сгореть при поджоге. Однако и в данном случае возможно установить, что причиной пожара является поджог, т.к. в обломках можно найти ключи и другие предметы, свидетельствующие о том, что автомобиль не был украден.

Также к мотивам поджогов автомобилей относится месть. Расследование таких дел о поджогах автомобильного транспорта, совершенных из мести, затруднено, что связано с кажущимся отсутствием причин и мотивов, по которым автомобиль был сожжен, если жертве данного преступления не было передано какое-либо сообщение. Во многих случаях такие пожары связывают с вандализмом, а лица, совершившие поджог, остаются неустановленными. Характерной чертой данных пожаров является то, что они возникают вблизи места работы или проживания владельца транспортного средства. Автомобили достаточно редко угоняются с целью мести, что объясняется значительным чувством страха быть пойманным у лица, совершающего данный вид преступления.

Поджоги автомобилей, совершаемые для сокрытия других преступлений и уничтожения вещественных доказательств, также не всегда очевидны, потому что профессиональные воры обладают обширными знаниями по вскрытию и угону транспортных средств. Во многих случаях они имеют небольшие пробеги и обладают мощными двигателями. Такие транспортные средства находят с различными повреждениями, вызванными огнем, из данных автомобилей ничего не воруют. Если не будет установлено, что автомобиль был украден для использования в преступных целях, то страховая компания может заподозрить владельца. Именно здесь необходимо использовать все возможные методы расследования,

чтобы избежать обвинения невиновного человека в преступлении или отказа в выплате страхового возмещения.

При обследовании места пожара автотранспортного средства необходимо определить, не повреждена ли крышка бензобака на заливной горловине топливного бака. Для этого нужно провести осмотр фланцев заливной горловины на наличие повреждений. Если крышка была сорвана в результате взрыва внутри топливного бака, фланцы будут повреждены. Подтверждением взрыва внутри топливного бака является нарушение его геометрической формы и выпуклость стенок. Во многих случаях поджигатель снимает крышку бензобака, чтобы извлечь топливо из топливного бака и использовать его в качестве инициатора горения при поджоге автомобиля. Также важно осмотреть расположенную в нижней части топливного бака сливную пробку. Ее отсутствие при неповрежденной заливной горловине топливного бака указывает на преднамеренность действий, обычно с целью получения топлива для поджога транспортного средства. При наличии сливной пробки в месте ее установки необходимо произвести осмотр для установления наличия грязи, пыли или следов инструмента на ней, что указывает на недавнее снятие. То же касается осмотра топливопровода и мест его соединения с топливным баком с целью установления повреждений и следов воздействия инструментом. Если верхняя и нижняя части патрубков радиатора и отопителя, а также ремень привода вентилятора повреждены огнем, это указывает на использование инициаторов горения. Также на поджог могут указывать поврежденные огнем передние резиновые опоры двигателя, расположенные у основания двигателя.

Проверка технического состояния двигателя осуществляется путем измерения компрессии. При этом необходимо исключить причину пожара, связанную с серьезной неисправностью двигателя. Для этого проводится визуальный осмотр головки блока цилиндров и блока двигателя на наличие трещин. Если во время пожара капот был поднят, краска на его верхней части может вздуться, но не сгореть.

Необходимо обратить внимание на положение оконных стекол. Вызывают подозрения открытые окна в холодную погоду, что указывает на преднамеренное обеспечение достаточного количества кислорода для поддержки горения при поджоге. На открытые или закрытые двери транспортного средства во время пожара указывает рисунок, образованный при выгорании краски на дверях и рядом с дверями.

Весьма важно учитывать направление ветра во время пожара. Сильный ветер по-разному влияет на выгорание краски снаружи автомобиля. Если ветер дует со стороны задней части автомобиля, то его передняя часть будет больше повреждена огнем. Если ветер дует со стороны передней части автомобиля, то больше повреждений, вызванных огнем, будет наблюдаться в задней части автомобиля.

Необходимо обращать внимание и на наличие в автомобиле инструментов и запасного колеса. Анализ статистических данных показывает, что во многих преднамеренных случаях пожара инструменты и запасное колесо заранее снимаются с автомобиля его владельцем.

Необходимо обратить внимание на нахождение на месте пожара или на некотором расстоянии от него канистр, банок, бутылок или их уцелевших фрагментов, которые, возможно, были использованы для транспортировки инициаторов горения к месту пожара, а также шлангов и их фрагментов, используемых для слива топлива из топливного бака. Наличие спичек, спичечных коробок или зажигалок на месте пожара может указывать на поджог. Следы шин сгоревшего автомобиля и отпечатки шин других транспортных средств позволяют установить, была ли на месте пожара машина, не принадлежащая лицу, совершившему поджог.

*Непреднамеренные пожары.* Большинство непреднамеренных пожаров возникает в моторном отсеке транспортного средства. Это справедливо как для легковых автомобилей, так и для грузовиков и тяжелой техники. Предварительное знание мест установки узлов и агрегатов, а также плотности их расположения во многих случаях помогает понять,

насколько быстро распространялся огонь. Так, в моторных отсеках современных автомобилей располагается большое количество деталей, изготовленных из полимерных материалов, которые при воспламенении начинают интенсивно гореть и быстро распространяют огонь, что затрудняет установление места возгорания [19]. Следует отметить, что короткое замыкание электрического провода, расположенного в жгуте проводов, ведет к сильному нагреву, плавлению и воспламенению изоляции. Огонь, распространяясь по жгуту проводов, может перейти в место, где имеются другие горючие материалы, что приведет к их воспламенению. При этом возможно интенсивное горение образовавшегося вторичного пламени. Например, возгорание в области главного цилиндра или гидравлических линий в тяжелой технике приводит к воспламенению рабочей жидкости с последующим ее интенсивным горением. Внешний вид места горения вторичного пламени делает его похожим на место расположения источника зажигания. Это, в свою очередь, может навести на мысль, что короткое замыкание было вызвано термическим повреждением изоляции проводов. Как и при большинстве пожаров, наибольшая площадь горения не обязательно приходится на область возгорания.

В ряде случаев пожары на транспортных средствах возникают из-за неисправности узлов трения, износа деталей, работающих в условиях трения, плохого качества обработки поверхностей контактирующих деталей, старения и разрушения полимерной изоляции, а также из-за отсутствия надлежащего технического обслуживания. Современные автомобили содержат большое количество изделий из композиционных полимерных материалов, что приблизительно составляет от 120 до 170 кг в зависимости от размера транспортного средства. Большинство из них являются термопластами, наполненными антипиренами. Температура плавления термопластов находится в пределах 110–200 °С. В процессе плавления полимерных композитов антипирены могут вытесняться, а материал терять противопожарные свойства и воспламеняться [20].

Автомобили с гибридными установками и электрические транспортные средства также содержат в составе большое количество деталей, изготовленных из полимеров и стекловолокна и сгорают практически полностью, оставляя незначительное количество вещественных доказательств, позволяющих установить причину пожара. Большинство автомобилей полностью сгорают за время от 45 минут до часа без добавления каких-либо инициаторов горения. В данном случае изъятие значительного количества проводников, которые были обнаружены в результате осмотра места пожара, является обоснованным и часто позволяет получить информацию о причинах возникновения пожара.

Полиуретан весьма распространенный материал в интерьере современного автомобиля. Он содержится в подушках сидений, приборной панели, обшивке потолка, дверных панелях, консолях и подлокотниках. Данный материал интенсивно горит после воспламенения. Анализ проведенных натурных испытаний показал, что небольшое возгорание за приборной панелью от источника, сопоставимого с горящей газетой, приводит к тому, что внутреннее пространство автомобиля будет охвачено пламенем в течение 5 минут. При этом не имеет большого значения, горит ли автомобиль с открытыми или закрытыми окнами. Даже при закрытых окнах в современных автомобилях через вентиляционные отверстия поступает достаточное количество воздуха, который подпитывает медленно нарастающий огонь. Разница температур внутри и снаружи салона в большинстве случаев быстро приводит к разрушению оконных стекол, что, в свою очередь, способствует проникновению кислорода воздуха внутрь салона. В этот момент автомобиль будет гореть, как большой контейнер, огонь будет сжигать верхнюю часть сидений и развиваться вниз к полу. На уровне пола недостаточно кислорода, поэтому единственное, что может произойти – это плавление синтетических материалов и образование легковоспламеняющихся газов за счет теплового излучения. Если бы в данный момент на полу был инициатор горения, он бы не сгорел полностью из-за нехватки кислорода. По этой причине даже после сильного пожара можно наблюдать присутствие остатков, инициирующих горение веществ в несгоревших

фрагментах транспортных средств. В зависимости от типа транспортного средства через 10–15 минут после возгорания огонь перейдет в моторный отсек и в область багажника. Огонь будет распространяться по V-образной схеме изнутри наружу и распространится на весь автомобиль в течение 45–50 минут [21].

Значительное число пожаров на легковых и грузовых автомобилях связано с утечкой антифриза и его последующим попаданием на горячие поверхности двигателя. Воспламенение антифриза является достаточно распространенной причиной возгорания двигателей старых автомобилей. При этом пожары происходят по следующему сценарию. Водитель обращает внимание на повышение температуры двигателя либо видит пар, идущий из моторного отсека. После остановки автомобиля двигатель загорается. Причина возгорания заключается в следующем. Антифриз представляет собой смесь этиленгликоля и воды в соотношении 50/50. Этиленгликоль имеет температуру самовоспламенения 380 °С, температура воспламенения его паров в воздухе составляет 112 °С, нижний и верхний пределы взрываемости соответственно равны 3,2 и 15,3 % [22]. Также известно, что коллектор в работающем бензиновом двигателе или турбокомпрессор дизельного двигателя могут нагреваться до температуры 500–600 °С, что превышает температуру самовоспламенения этиленгликоля. Когда горячий антифриз вытекает на нагретые поверхности двигателя, водный раствор этиленгликоля начинает кипеть до тех пор, пока вода не выкипит. В этот момент остается чистый этиленгликоль, который испаряется и нагревается до температуры вспышки, которая составляет 116 °С. Если в данном объеме пространства, заполненном парами этиленгликоля, произойдет образование искры от электрических компонентов двигателя, произойдет воспламенение. При отсутствии искры этиленгликоль будет продолжать нагреваться и испаряться. При контакте этиленгликоля с горячим коллектором или поверхностью турбокомпрессора произойдет его воспламенение. Далее может произойти возгорание нефтепродуктов или деталей двигателя, выполненных из горючих материалов. Это обусловлено тем, что этиленгликоль является многоатомным спиртом, а его температура сгорания составляет 704 °С. Данной температуры достаточно для плавления алюминиевых и цинковых компонентов двигателя, таких как радиатор, корпус генератора, насос кондиционера, клапанные крышки. При этом возгорание холодных двигателей, непосредственно связанное с воспламенением антифриза, встречается очень редко.

Пожары, связанные с воспламенением топлива, преимущественно происходят из-за различных неисправностей соединений топливной аппаратуры. Температура самовоспламенения бензина составляет 255–370 °С<sup>2</sup>. При этом температура электрической искры превышает 2000 °С [23], что позволяет мгновенно воспламенить пары бензина. Необходимо обратить внимание на то, что обнаружение негерметичных соединений в металлической топливной магистрали при определении причины пожара не представляет серьезных затруднений. Однако в случае использования магистралей, изготовленных из полимерных материалов, определение причины утечки топлива становится весьма затруднительным, т.к. они сгорают. Следует отметить, что попадание топлива на горячие поверхности двигателя или турбокомпрессора также может привести к пожару.

В случае утечки топлива и его попадания под автомобиль наблюдаются серьезные повреждения задней части автомобиля, например сгоревшие задние шины, а также признаки пожара на земле. В данном случае целесообразно взять образец почвы глубиной 15–20 см. При этом необходимо учитывать рельеф местности и погодные условия, такие как дождь, мороз или жара.

Также автомобильные пожары могут возникать из-за утечки моторного масла и попадания его на горячую поверхность коллектора. Масло самовоспламеняется при температуре 450 °С. Возгорание рабочей жидкости гидроусилителя руля и тормозной жидкости

<sup>2</sup> Бензины автомобильные. Технические условия: ГОСТ 2084-77. – Введ. 01.01.79. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.

достаточно редко является причиной пожара на автомобиле [24]. Однако при воспламенении от открытого источника огня данные жидкости горят с большой интенсивностью. Так, вытекающая из главного цилиндра тормозная жидкость во время пожара интенсивно сгорает, создавая впечатление источника возгорания.

Определенные трудности при установлении причин вызывают пожары, возникающие при преобразовании электрической энергии в тепловую, что объясняется большим количеством проводников, расположенных в жгутах [25]. При этом обнаруженные провода могут быть сплавлены между собой или охрупчены в результате значительного теплового воздействия. Признаком короткого замыкания может являться разряженный аккумулятор. Необходимо учитывать, что в случае отсутствия аккумулятора на автомобиле короткое замыкание не может стать причиной возгорания. Кроме того, если в момент возгорания аккумуляторная батарея находилась в автомобиле, в ней остается большой ток, и можно утверждать, что возгорание произошло не по причине короткого замыкания. Однако разряженный аккумулятор не обязательно указывает на то, что автомобиль сгорел в результате короткого замыкания. При проверке электропроводки электрической системы автомобиля необходимо иметь в виду, что при коротком замыкании происходит расплавление жил провода с образованием узлов расплавленного провода. В то же время провода, сгоревшие в пламени пожара, будут остроконечными. Также при установке места короткого замыкания при определении причины пожара необходимо учитывать, что небольшое пламя, образующееся при коротком замыкании, должно быть расположено достаточно близко к какому-то горючему веществу или материалу, чтобы произошло распространение огня.

Причины непреднамеренных пожаров на транспортных средствах часто очевидны, но заслуживает рассмотрения динамика их развития. Так, ветер может иметь большое значение в развитии пожара на транспортном средстве, вызывая неправильные представления о развитии пожара.

### Заключение

В работе рассмотрены основные причины возникновения пожаров на автотранспортных средствах. Выполнена классификация большинства причин пожаров, происходящих на транспортных средствах. Подробно рассмотрены умышленные и непреднамеренные пожары. Представлены основные отличительные признаки данных групп пожаров.

Показано, что умышленные пожары на автотранспортных средствах происходят по причине мошенничества со страховкой, из чувства мести, угона для увеселительных поездок, а также для сокрытия следов использования автомобиля в преступных целях. В то же время основными причинами непреднамеренных пожаров на автомобильном транспорте являются технические неисправности систем, узлов и агрегатов двигателя внутреннего сгорания, а также короткое замыкание электрической аппаратуры автомобиля.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Исхаков, Х.И. Пожарная безопасность автотранспортных средств / Х.И. Исхаков, А.В. Пахомов; науч. редактор Р.Д. Гаврикова. – М.: НИИНавтопром, 1986. – 42 с.
2. Tamura, Y. The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle. / Y. Tamura, M. Takabayashi, M. Takeuchi // International Journal of Hydrogen Energy. – 2014. – Vol. 39, Iss. 11. – P. 6169–6175. – DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.01.140.
3. Shipp, M. Measurements of the severity of fires involving private motor vehicles / M. Shipp, M Spearpoint // Fire and Materials. – 1995. – Vol. 19, Iss. 3. – P. 143–151. – DOI: 10.1002/fam.810190307.
4. Chen, Y. Experiment Research of Motorcar Fire / Y. Chen, R. John // Journal of China University of Mining and Technology. – 2002. – Vol. 31, No. 6. – P. 556–560.
5. Experimental investigation of burning scenario of loaded 3.49-ton pickup trucks / Y.-J. Chuang [et al.] // Journal of Applied Fire Science. – 2005. – Vol. 14, No. 1. – P. 27–46.
6. Lonnermark, A. Gas temperatures in heavy goods vehicle fires in tunnels / A. Lonnermark, H. Ingason // Fire Safety Journal. – 2005. – Vol. 40, No. 6. – P. 506–527. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2005.05.003.



7. Du, X. Research of combustion characteristic of car external decoration materials / X. Du, L.Zhao, J. Qin // *Fire Science and Technology*. – 2013. – Vol. 33, No. 3. – P. 243–246.
8. Исхаков, Х.И. Пожарная безопасность автомобиля / Х.И. Исхаков, А.В. Пахомов, Я.Н. Каминский. – М.: Транспорт, 1987. – 87 с.
9. Bo, S. Experimental Study on Combustion Characteristic of Ordinary Car / S. Bo [et al.] // *China Safety Science Journal*. – 2013. – Vol. 23, No. 7. – P. 26–31.
10. Теребнев, В.В. Противопожарная защита и тушение пожаров на транспорте / В.В. Теребнев, Н.С. Артемьев, А.И. Думилин. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – 404 с.
11. Нгуен, С.Х. К вопросу особенностей подземных автостоянок Республики Вьетнам с точки зрения их пожарной безопасности / С.Х. Нгуен // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2011. – № 10. – С. 70–71. – EDN: OHXJOR.
12. Merçi, B. Smoke and heat control for fires in large car parks: Lessons learnt from research. / B. Merçi, M. Shipp // *Fire Safety Journal*. – 2013. – Vol. 57. – P. 3–10. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.05.001.
13. Пожаротушение на транспорте: учеб. пособие / В.В. Теребнев [и др.]; под общ. ред. М.М. Верзилина. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 340 с.
14. Li, Y. Analysis of vehicle fire statistics in New Zealand parking buildings / Y. Li, M. Spearpoint // *Fire Technology*. – 2007. – Vol. 43, No. 2. – P. 93–106. – DOI: 10.1007/S10694-006-0004-2.
15. Tohir, M. Development of Fire Scenarios for Car Parking Buildings using Risk Analysis / M. Tohir, M. Spearpoint // *Fire Safety Science*. – 2014. – Vol. 11. – P. 944–957.
16. Tohir, M. Distribution analysis of the fire severity characteristics of single passenger road vehicles using heat release rate data / M. Tohir, M. Spearpoint // *Fire Science Reviews*. – 2013. – Vol. 2, No. 5. – P. 1–26. – DOI: 10.3801/iafss.fss.11-944.
17. Туртаев, Ю.Г. Расследование преступлений, связанных с пожарами. Актуальность установления причин пожара / Ю.Г. Туртаев, Г.И. Сметанкина // *Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций*. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 52–55. – EDN: WDHKUR.
18. Русецкая, Э.А. Страховое мошенничество и способы борьбы с ним как фактор обеспечения экономической безопасности субъектов рынка страховых услуг / Э.А. Русецкая // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2009. – Т.43, № 10. – С. 75–83. – EDN: KGEFAJ.
19. Okamoto, K. Burning behavior of sedan passenger cars / K. Okamoto [et al.] // *Fire Safety Journal*. – 2009. – Vol. 44, No. 3. – P. 301–310. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
20. Mangs, J. Characterization of the fire behavior of a burning passenger car Part II: Parameterization of measured rate of heat release curves / J. Mangs, O. Keski-Rahkonen // *Fire Safety Journal*. – 1994. – Vol. 23. – P. 37–49. – DOI: 10.1016/0379-7112(94)90060-4.
21. Li, D. Flame spread and smoke temperature of full-scale fire test of car fire / D. Li [et al.] // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2017. – Vol. 10. – P. 315–324. – DOI: 10.1016/j.csite.2017.08.001.
22. Теддер, Дж. Промышленная органическая химия / Дж. Теддер, А. Нехватал, А.Джубб. Перевод с англ. Г.Я. Легина. Под ред. О.В. Корсунского. – М.: Мир, 1977. – 704 с.
23. Кузяков, Ю.Я. Методы спектрального анализа: учеб. пособие для хим. спец. ун-тов / Ю.Я. Кузяков, К.А. Семенов, Н.Б. Зоров. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 212 с.
24. Jiang, X. Full-scale Experimental Study of Fire Spread Behavior of Cars / X. Jiang [et al.] // *Procedia Engineering*. – 2018. – Vol. 211. – P. 297–305. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.016.
25. Park, Y. Experimental Study on the Fire-Spreading Characteristics and Heat Release Rates of Burning Vehicles Using a Large-Scale Calorimeter / Y. Park, J. Ryu, H.S. Ryou // *Energies*. – 2019. – Vol. 12, No. 8. – P. 1465–1476. – DOI: 10.3390/en12081465.

## Пожары на автотранспортных средствах: причины возникновения

### Fire on vehicles: causes of their appearance

#### **Пасовец Владимир Николаевич**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», факультет подготовки  
научных кадров, начальник факультета  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: pasovets\_v@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-9451-9513

#### **Vladimir N. Pasovets**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry  
for Emergency Situations of the Republic  
of Belarus», Faculty of Postgraduate  
Scientific Education, Head of Faculty  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: pasovets\_v@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-9451-9513

#### **Ковтун Вадим Анатольевич**

доктор технических наук, профессор  
Гомельский филиал государственного  
учреждения образования «Университет  
гражданской защиты Министерства  
по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
оперативно-тактической деятельности  
и техники, профессор  
Адрес: пр-т Речицкий, 35А,  
246023, г. Гомель, Беларусь  
Email: vadimkov@yandex.ru  
ORCID: 0000-0001-9510-132X

#### **Vadim A. Kovtun**

Grand PhD in Technical Sciences, Professor  
Gomel Branch of the State Educational  
Establishment «University of Civil Protection  
of the Ministry of Emergency Situations  
of the Republic of Belarus»,  
Chair of Operational-Tactical Activity  
and Technical Equipment, Professor  
Address: ave. Rechitskiy, 35A,  
246023, Gomel, Belarus  
Email: vadimkov@yandex.ru  
ORCID: 0000-0001-9510-132X

#### **Тагиев Шамхал Шахин оглы**

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: keksss2007@mail.ru

#### **Shamkhal Sh. Tagiev**

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: keksss2007@mail.ru

**FIRE ON VEHICLES: CAUSES OF THEIR APPEARANCE****Pasovets V.N., Kovtun V.A., Tagiev Sh.Sh.***Purpose.* Investigation of the causes of fires on vehicles.*Methods.* Theoretical analysis of the causes of fires on vehicles.*Findings.* The main causes of fires on vehicles are considered in this paper. Intentional and unintentional fires are discussed in details. The main distinguishing features of these groups of fires are presented. Intentional fires on motor vehicles occur due to insurance fraud, based on a sense of revenge, for the purpose of stealing for pleasure trips, to cover up traces of the car being used for criminal purposes. The main causes of unintentional fires on motor vehicles are technical malfunctions of systems and components of the internal combustion engine and short circuits in the electrical equipment of the car.*Application field of research.* The results of this work can be used in the field of fire safety on motor vehicles.*Keywords:* automobile, fire, internal combustion engine, combustion initiator, fire, arson.

(The date of submitting: April 11, 2022)

**REFERENCES**

1. Iskhakov Kh.I., Pakhomov A.V. *Pozharnaya bezopasnost' avtotransportnykh sredstv* [Fire safety of motor vehicles]. Moscow: NIINavtoprom, 1986, 42 p. (rus)
2. Tamura Y., Takabayashi M., Takeuchi M. The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2014. Vol. 39, Iss. 11. Pp. 6169–6175. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.01.140.
3. Shipp M., Spearpoint M. Measurements of the severity of fires involving private motor vehicles. *Fire and Materials*, 1995. Vol. 19, Iss. 3. Pp. 143–151. DOI: 10.1002/FAM. 810190307.
4. Chen Y, John R. Experiment Research of Motorcar Fire. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2002. Vol. 31, No. 6. Pp. 556–560.
5. Chuang Y.-J., Tang Ch.-H., Chen P.-H., Lin Ch.-Y. Experimental investigation of burning scenario of loaded 3.49-ton pickup trucks. *Journal of Applied Fire Science*, 2005. Vol. 14, No. 1. Pp. 27–46.
6. Lonnermark A., Ingason H. Gas temperatures in heavy goods vehicle fires in tunnels. *Fire Safety Journal*, 2005. Vol. 40, No. 6. Pp. 506–527. DOI: 10.1016/j.firesaf.2005.05.003.
7. Du X., Zhao L., Qin J. Research of combustion characteristic of car external decoration materials. *Fire Science and Technology*, 2013. Vol. 33, No. 3. Pp. 243–246.
8. Iskhakov Kh.I., Pakhomov A.V., Kaminskiy Ya.N. *Pozharnaya bezopasnost' avtomobilya* [Car fire safety]. Moscow: Transport, 1987, 87 p. (rus)
9. Bo S. [et al.] Experimental Study on Combustion Characteristic of Ordinary Car. *China Safety Science Journal*, 2013. Vol. 23, No. 7. Pp. 26–31.
10. Terebnev V.V., Artem'ev N.S., Dumilin A.I. *Protivopozharnaya zashchita i tushenie pozharov na transporte* [Fire protection and extinguishing fires in transport]. Moscow: Academy of State Fire Service of the EMERCOM of Russia, 2006. 404 p. (rus)
11. Nguen S.Kh. K voprosu osobennostey podzemnykh avtostoyanok Respubliki V'etnam s tochki zreniya ikh pozharnoy bezopasnosti [On the question of the features of underground parking lots of the Republic of Vietnam in terms of their fire safety]. *Industrial and civil construction*, 2011. No. 10. Pp. 70–71. (rus). EDN: OHXJOR.
12. Merci B., Shipp M. Smoke and heat control for fires in large car parks: Lessons learnt from research. *Fire Safety Journal*, 2013. Vol. 57. Pp. 3–10. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.05.001.
13. Terebnev V.V., Artem'ev N.S., Podgrushnyy A.V., Grachev V.A. *Pozharotushenie na transporte* [Fire fighting in transport]: tutorial. Ed. by M.M. Verzilin. Moscow: Academy of State Fire Service of the EMERCOM of Russia, 2014, 340 p. (rus)
14. Li Y., Spearpoint M. Analysis of vehicle fire statistics in New Zealand parking buildings. *Fire Technology*, 2007. Vol. 43, No. 2. Pp. 93–106. DOI: 10.1007/S10694-006-0004-2.
15. Tohir M., Spearpoint M. Development of Fire Scenarios for Car Parking Buildings using Risk Analysis. *Fire Safety Science*, 2014. Vol. 11. Pp. 944–957. DOI: 10.3801/iafss.fss.11-944.

16. Tohir M., Spearpoint M. Distribution analysis of the fire severity characteristics of single passenger road vehicles using heat release rate data. *Fire Science Reviews*, 2013. Vol. 2, No. 5. Pp. 1–26.
17. Turtaev Yu.G., Smetankina G.I. Rassledovanie prestupleniy, svyazannykh s pozharami. Aktual'nost' ustanovleniya prichin pozhara [Investigation of crimes related to fires. The relevance of establishing the causes of the fire]. *Modern technologies for civil defense and emergency response*, 2016. Vol. 7, No. 1. Pp. 52–55. (rus). EDN: WDHKUR.
18. Rusetskaya E.A. Strakhovoe moshennichestvo i sposoby bor'by s nim kak faktor obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti sub"ektov rynka strakhovykh uslug [Insurance fraud and ways to combat it as a factor in ensuring the economic security of subjects of the insurance services market]. *National Interests: Priorities and Security*, 2009. Vol. 43, No. 10. Pp. 75–83. (rus)
19. Okamoto K., Watanabe N., Hagimoto Y. [et al.] Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*, 2009. Vol. 44, No. 3. P. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
20. Mangs J., Rahkonen O. Characterization of the fire behavior of a burning passenger car Part II: Parameterization of measured rate of heat release curves. *Fire Safety Journal*, 1994. Vol. 23. Pp. 37–49. DOI: 10.1016/0379-7112(94)90060-4.
21. Li D., Zhu G., Zhu H., Yu Zh., Gao Y., Jiang X. Flamespread and smoke emperature of full-scale fire test of car fire. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2017. Vol. 10. Pp. 315–324. DOI: 10.1016/j.csite.2017.08.001.
22. Tedder J.M., Nechvatal A., Jubb A.H. *Promyshlennaya organicheskaya khimiya [Industrial organic chemistry]*. Moscow: Mir, 1977, 704 p. (rus)
23. Kuzyakov Yu.Ya., Semenenko K.A., Zorov N.B. *Metody spektral'nogo analiza [Methods of spectral analysis]*: textbook for chemical specialties of universities. Moscow: Moscow State University, 1990, 213 p. (rus)
24. Jiang X., Zhu G., Zhu H., Li D. Full-scale Experimental Study of Fire Spread Behavior of Cars. *Procedia Engineering*, 2018. Vol. 211. Pp. 297–305. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.016.
25. Park Y., Ryu J., Ryou H.S. Experimental Study on the Fire-Spreading Characteristics and Heat Release Rates of Burning Vehicles Using a Large-Scale Calorimeter. *Energies*, 2019. Vol. 12, No. 8. Pp. 1465–476. DOI: 10.3390/en12081465.

## ПРИЦЕПНАЯ ПОЖАРНАЯ МОТОПОМПА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ

Антонович А.А., Лахвич В.В., Гоман П.Н.

*Цель.* Определить необходимые параметры производительности прицепной пожарной мотопомпы при тушении торфяных пожаров на основании изучения опыта применения сил и средств подразделений МЧС Республики Беларусь.

*Методы.* В работе применены теоретические методы исследования (анализ, синтез, сравнение).

*Результаты.* Представлена статистика лесных и торфяных пожаров в Республике Беларусь за последние пять лет. Определено количество задействованной на тушение лесных и торфяных пожаров пожарной аварийно-спасательной техники и привлеченного личного состава. Проведен анализ расхода огнетушащих веществ, подаваемых на тушение торфяных пожаров. Обоснована актуальность применения прицепной пожарной мотопомпы повышенной производительности при тушении лесных и торфяных пожаров в Республике Беларусь.

*Область применения исследований.* Полученные результаты исследований могут быть использованы для дальнейшего развития пожарной техники в области тушения лесных и торфяных пожаров.

*Ключевые слова:* лесной пожар, торфяной пожар, производительность насоса, схема тушения, пожарная аварийно-спасательная техника, личный состав.

(Поступила в редакцию 13 апреля 2022 г.)

### Введение

На современном этапе все более актуальным становится совершенствование способов и методов борьбы с чрезвычайными ситуациями природного характера, к которым относятся лесные и торфяные пожары. Последствия этих чрезвычайных ситуаций наносят ущерб экологии, связанный с уменьшением площади лесов, численности животных и т.д., экономике государства, благосостоянию граждан. Нередкими являются случаи, когда по причине распространения пожаров в экосистемах уничтожаются жилища и целые населенные пункты, находящиеся вблизи зоны горения. Так, 4 июля 2020 г. в населенном пункте Нарчи Щучинского района Гродненской области в результате пожара было уничтожено более 20 домов.

Горение торфяников несет угрозу из-за сильного задымления, в результате которого целые города могут оказаться в дыму. В отличие от лесных пожаров для горения торфяников характерна значительная концентрация дымового аэрозоля вблизи поверхности земли, что обусловлено его физико-химическими свойствами. Дым, образованный при торфяных пожарах, содержит огромное количество вредных веществ, что, безусловно, наносит вред здоровью людей, в особенности страдающих хронической обструктивной болезнью легких.

Возникновение лесных и торфяных пожаров чаще всего связано с деятельностью человека. Данные чрезвычайные ситуации наиболее характерны для весенне-летнего периода, в особенности в условиях жаркой и сухой погоды, при которых для их начала и распространения фактически достаточно любого малокалорийного источника зажигания.

Ликвидация рассматриваемых чрезвычайных ситуаций осложняется из-за наличия ряда особенностей, характерных для данного вида пожаров. В частности, прогоревший слой торфа может привести к образованию подземных полостей, вследствие чего нахождение и работа в зоне пожара крайне опасны из-за рисков провалов людей и пожарной техники под землю. Торфяники прогорают достаточно далеко вглубь почвы. Глубина прогаров может превышать 2 м [1].

Несмотря на множество эффективных способов и методов борьбы с лесными и торфяными пожарами, остается необходимым совершенствование тактико-технических возможностей пожарных аварийно-спасательных подразделений, а также повышение качества проведения превентивных мероприятий.

### Основная часть

**Анализ количества лесных и торфяных пожаров.** Статистика лесных и торфяных пожаров в Республике Беларусь за последние пять лет показывает, что подавляющее их большинство возникает в весенний и летний период в результате горения сухой растительности и поверхности осушенных болот. Как видно на рисунке 1 в период с 2017 по 2021 г. в Беларуси произошло 2852 лесных пожара, из них 755 торфяных пожаров, что обусловлено комплексом климатических, метеорологических, топографических и антропогенных факторов [2]. Развитие природных пожаров зависит от продолжительности засушливого периода, скорости ветра, времени суток, температуры и влажности воздуха, структуры торфяной залежи, рельефа местности, наличия преград огню, уровня грунтовых вод и многих других условий [1].

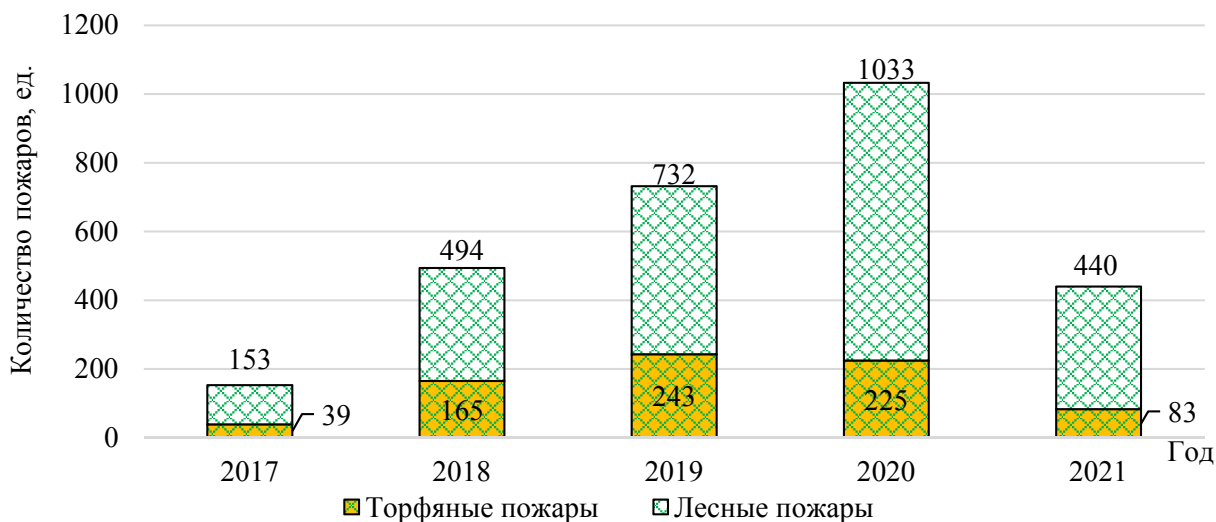


Рисунок 1. – Статистические данные по лесным и торфяным пожарам в Республике Беларусь за 2017–2021 гг.

Несмотря на снижение количества лесных и торфяных пожаров в 2021 г., площадь, пройденная ими, составила 526 га, что, безусловно, определяет необходимость дальнейшей работы по развитию тактики тушения пожаров и по совершенствованию пожарно-технического оборудования [3].

**Способы тушения торфяных пожаров.** Существуют различные способы тушения торфяных пожаров. Выбор способа тушения зависит от поры года, площади пожара и прочих особенностей. В весенне-летний период очаги можно затопить с помощью создания временных плотин на осушительных канавах. Если центр находится рядом с канавой, этот способ быстро устраняет источник и не дает ему распространиться. Однако он не подходит для ликвидации глубокого горения [1].

При большой площади пожара спасти всю территорию, охваченную огнем, весьма сложно вследствие необходимости сосредоточения большого количества пожарной аварийно-спасательной техники и личного состава, отсутствия требуемого количества огне-тушащих веществ для ликвидации пожара, а также удаленности водоисточников. В случае крупных торфяных пожаров в зону горения торфяника подается большое количество огне-тушащих веществ либо по ее периметру создаются специальные каналы, заполняемые водой. Это позволяет избежать распространения огня и дает возможность продолжать борьбу с новыми очагами пожара.

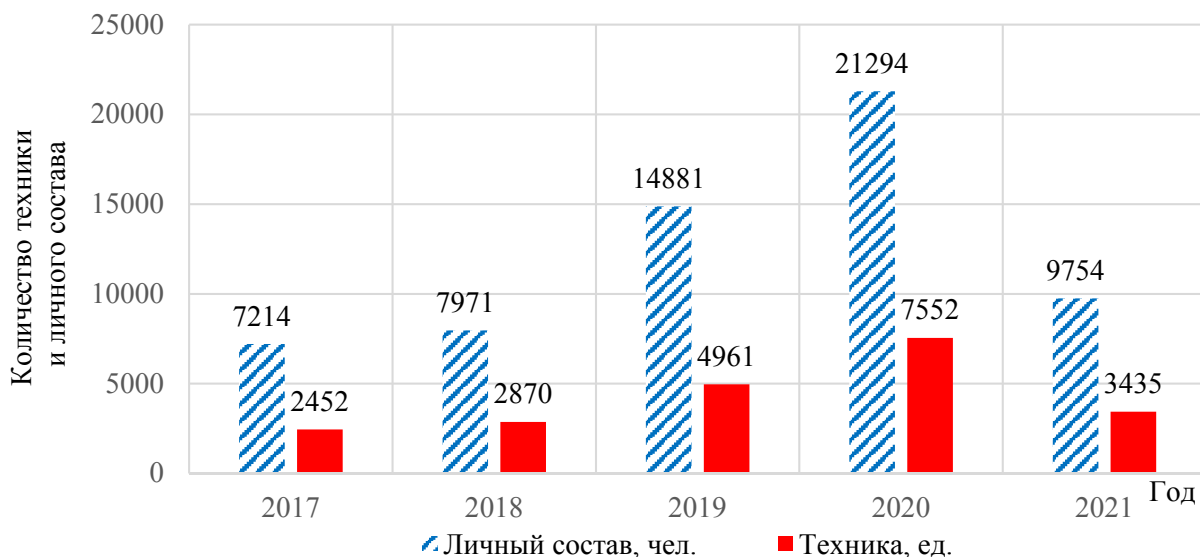
Еще одним способом тушения торфяного пожара является создание по периметру горения минерализованных полос путем снятия бульдозерами или специальной техникой верхнего слоя почвы [4]. Указанные минерализованные полосы служат преградами для распространения огня.

**Анализ общего числа задействованной техники и привлеченного личного состава на тушение лесных и торфяных пожаров.** При горении лесных и торфяных массивов задействуется большое количество личного состава и пожарной аварийно-спасательной техники, что связано со сложностью их тушения. Ликвидация лесных и торфяных пожаров может длиться недели, а то и месяцы. Для отдыха и восстановления сил спасателей-пожарных возникает необходимость посменной работы, что увеличивает количество задействованного личного состава.

Также к сложности тушения лесных и торфяных пожаров приводит удаленность водоисточников и отсутствие подъезда к ним. Проведя анализ данных, полученных из карточек боевых действий по лесным и торфяным пожарам, представленных Республиканским центром управления и реагирования на чрезвычайные ситуации МЧС Республики Беларусь, было выяснено, что большая часть этих пожаров тушилась с применением подвоза воды, а также с использованием пожарных насосных станций для подачи огнетушащих веществ на большие расстояния, что увеличивает экономические затраты на топливо для пожарной техники.

К причинам сложности тушения торфяных пожаров следует отнести необходимость задействования 1 т воды на 1 м<sup>2</sup> торфяной поверхности, что достаточно много по сравнению с объемом цистерны пожарного автомобиля<sup>1</sup> [5].

На рисунке 2 представлены данные по количеству задействованных сил и средств на тушение лесных и торфяных пожаров за период с 2017 по 2021 г., полученные на основании анализа карточек боевых действий.



**Рисунок 2.** – Статистические данные по количеству сил и средств, задействованных на тушение лесных и торфяных пожаров в Республике Беларусь за 2017–2021 гг.

Как видно из данного рисунка, в среднем ежегодно в Республике Беларусь на тушение лесных и торфяных пожаров задействуется около 4000 единиц пожарной аварийно-спасательной техники и 12 000 пожарных-спасателей. Это, в свою очередь, может приводить к снижению боеготовности пожарных аварийно-спасательных подразделений, в связи с уменьшением необходимого количества сил и средств для ликвидации иных чрезвычайных

<sup>1</sup> Тушение торфяных пожаров [Электронный ресурс] // Пожар и средства тушения: opozhare.ru. – Режим доступа: <https://opozhare.ru/tushenie/tushenie-torfyanyh-pozharov>. – Дата доступа 21.02.2022.

ситуаций. Следовательно, повышение эффективности тактических приемов, применяемых для тушения рассматриваемых пожаров, за счет сокращения задействованного личного состава подразделений, является актуальной задачей, которая может быть решена путем совершенствования применяемой пожарной аварийно-спасательной техники.

**Анализ расхода огнетушащих веществ, подаваемых на тушение торфяных пожаров.** Как было сказано ранее, для тушения торфяных пожаров необходимо большое количество огнетушащих веществ. В связи с этим был проведен анализ количества пожарных стволов из карточек боевых действий для определения расхода огнетушащих веществ, подаваемых в зону горения. Данный анализ показывает, что:

25 % пожаров было ликвидировано с применением до 5 стволов, что по расходу огнетушащих средств составляет до 40 л/с. Данный расход может быть обеспечен одним насосом автоцистерны;

38 % пожаров было ликвидировано с применением 6–10 стволов, что по расходу огнетушащих средств составляет 40–70 л/с. Данный расход одна автоцистерна обеспечить не может, и возникает необходимость задействования дополнительной автоцистерны;

14 % пожаров было ликвидировано с применением 11–15 стволов, что по расходу огнетушащих средств составляет 70–110 л/с и может быть обеспечено задействованием двух дополнительных автоцистерн или пожарной насосной станции;

23 % пожаров было ликвидировано с применением 16 и более стволов, что по расходу огнетушащих средств составляет более 110 л/с и может быть обеспечено задействованием автоцистерн и пожарной насосной станции.

**Обоснование разработки и внедрения в практику тушения лесных и торфяных пожаров прицепной пожарной мотопомпы с производительностью насоса 70 л/с.** В условиях лесных и торфяных пожаров выбор способа применения имеющихся сил и средств определяется руководителем тушения пожара. При этом нередко при ликвидации возгораний применяются автоцистерны как основная пожарная аварийно-спасательная техника, стоящая на вооружении в подразделениях МЧС Республики Беларусь. Подобная тактика тушения не всегда экономически целесообразна. Например, при наличии вблизи очага горения водоема. Это обусловлено тем, что производительность насоса одной автоцистерны, установленной на водоисточник, не позволит организовать бесперебойную работу двух насосов, необходимость применения которых, как показано выше, возникает при тушении порядка 38 % рассматриваемых пожаров. Вследствие этого необходимо задействовать дополнительные автоцистерны и тушить методом подвоза воды (рис. 3) либо методом перекачки. Оба указанных метода предполагают использование как минимум трех автоцистерн.

При наличии в подразделениях МЧС Республики Беларусь мотопомпы с высокой производительностью можно добиться наиболее эффективной расстановки сил и средств, а также уменьшить количество задействованной пожарной аварийно-спасательной техники, что показано на рисунке 4.

Очевидно, что применение прицепной пожарной мотопомпы с производительностью насоса 70 л/с может заменить две автоцистерны, уменьшить количество необходимого личного состава, а также обеспечить бесперебойную подачу огнетушащих веществ на определенное расстояние от водоисточника. Для определения указанного расстояния была проведена серия расчетов по соответствующей методике [5, с. 125] без учета рельефа местности. При оценке максимального расстояния варьировался расход огнетушащих веществ для учета различного количества стволов, подаваемых на тушение пожара. Результаты расчетов, приведенные в таблице 1, показывают, что оцениваемое расстояние составляет не менее 330 м при максимальной производительности насоса автоцистерны.



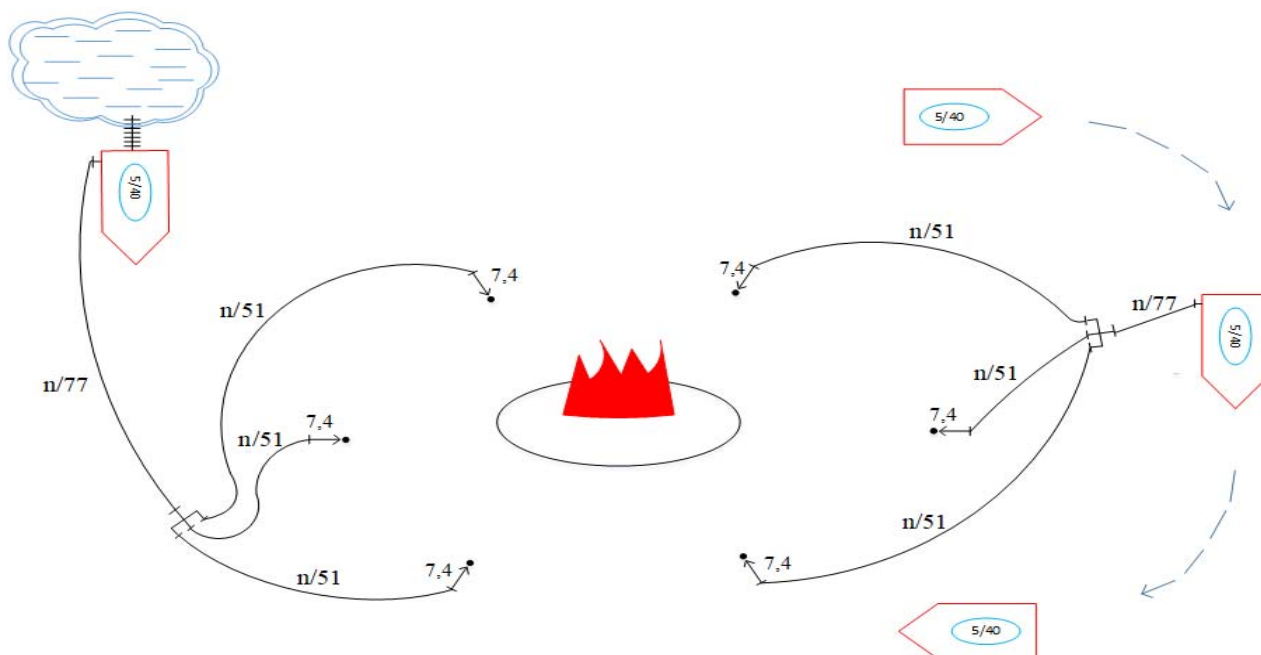


Рисунок 3. – Схема тушения торфяных пожаров методом подвоза воды

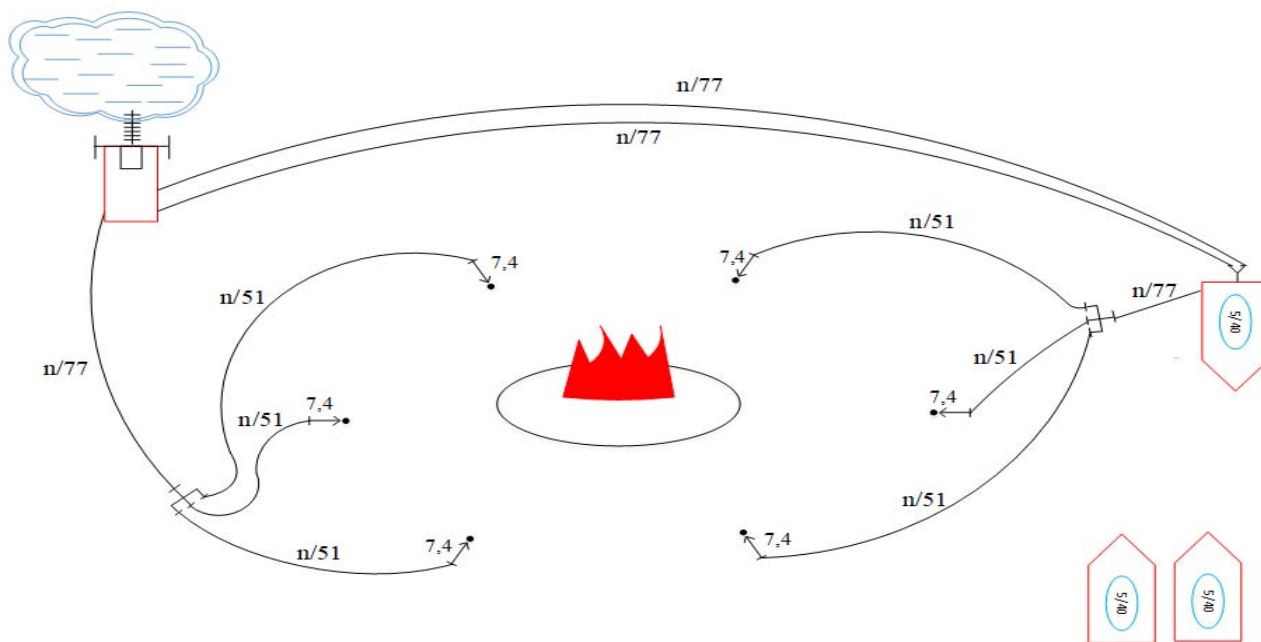


Рисунок 4. – Схема тушения торфяных пожаров с задействованием прицепной пожарной мотопомпы

Таблица 1. – Результаты расчета максимального расстояния запитывания головной автоцистерны с применением двух магистральных линий в зависимости от требуемого расхода огнетушащих веществ

Расход огнетушащих веществ, л/с	Максимальное расстояние, м
15	2370
20	1330
25	850
30	590
35	440
40	330

Следует отметить, что на преобладающих в подразделениях МЧС Республики Беларусь автоцистернах на базовом шасси МАЗ-5340 установлен двигатель ЯМЗ 6585 мощностью

309 кВт (420 л.с.) и удельным расходом топлива 194 г/(кВт·ч) (143 г/(л.с.·ч))<sup>2</sup>. Как отмечалось ранее, тушение лесных и торфяных пожаров может длиться недели, из-за чего возникают значительные затраты на горюче-смазочные материалы, т.к. расход топлива при работе двигателя на максимальной мощности может достигать до 60 л/ч.

С целью снижения экономических затрат на тушение лесных и торфяных пожаров был проведен анализ технических характеристик существующих двигателей для пожарных насосов. По результатам проведенного анализа, по нашему мнению, наиболее целесообразным для прицепной пожарной мотопомпы является применение двигателя Iveco (FPT) N45MNTF40.10 мощностью 164 кВт (223 л.с.), т.к. в своем классе он является одним из самых надежных и экономичных в эксплуатации. Дизельный двигатель Iveco (FPT) N45MNTF40.10 по техническим характеристикам, таким как частота вращения вала и мощность, соответствует необходимым требованиям для работы с пожарным насосом. При этом он имеет удельный расход топлива при максимальных оборотах коленчатого вала 246 г/(кВт·ч) (181 г/(л.с.·ч)), что по расходу топлива составляет 40 л/ч. Применение данного двигателя с прицепной пожарной мотопомпой 70 л/с позволит сократить расход топлива приблизительно в 3 раза в сравнении с работой двух автоцистерн.

Также к преимуществам переносных и прицепных мотопомп следует отнести полную автономность, высокую мобильность, позволяющую установить их на любой доступной площадке вблизи природного или искусственно созданного водоемисточника, простоту в эксплуатации, ремонте, обслуживании, что очень важно для эксплуатации их в районах, удаленных от крупных городов. Пожарные мотопомпы могут применяться при решении иных задач, таких как:

- 1) ликвидация последствий наводнений и паводковых ситуаций;
- 2) устранение последствий аварий в водопроводных и канализационных системах;
- 3) откачивание воды из затопленных подвальных помещений и погребов;
- 4) осушение строительных котлованов и траншей;
- 5) откачивание воды из естественных и искусственных водоемов, подземных и наземных резервуаров<sup>3</sup>.

Следует отметить, что за счет высокой мобильности прицепную мотопомпу можно устанавливать на водоемисточники в лесных массивах, к которым усложнен подъезд крупногабаритной техники.

### Заключение

На данный момент большинство торфяных пожаров ликвидируется с применением автоцистерн с производительностью насосов 40–50 л/с либо пожарных насосных станций с производительностью насосов 110 л/с, которые в основном будут эффективны (т.е. использоваться с максимальной производительностью) в 23 % случаев пожаров.

Проведенный анализ статистических данных по количеству сил и средств, задействованных на тушение лесных и торфяных пожаров в Республике Беларусь, показал, что при тушении рассматриваемых пожаров задействуется большое количество личного состава и пожарной аварийно-спасательной техники, что может приводить к снижению боеготовности пожарных аварийно-спасательных подразделений в связи с уменьшением необходимого количества сил и средств для ликвидации иных чрезвычайных ситуаций.

Задача повышения эффективности тактики тушения лесных и торфяных пожаров может быть решена путем разработки и внедрения в подразделения МЧС Республики Беларусь прицепной пожарной мотопомпы.

<sup>2</sup> Автоцистерна пожарная легкового класса АЦ 5,0-40/4 (53340) [Электронный ресурс] // ООО «Пожснаб»: [pozhsnab.com](https://pozhsnab.com). – Режим доступа: <https://pozhsnab.com/nproduction/377/213/>. – Дата доступа 21.02.2022.

<sup>3</sup> Пожарные мотопомпы: виды, устройство и технические характеристики [Электронный ресурс] // Металлинфо: [tk-metal.ru](https://tk-metal.ru). – Режим доступа: <https://tk-metal.ru/nasosnoe-oborudovanie/pozharnie-motopompi-vidi-ustroistvo-i-tehnicheskie-kharakteristiki.html>. – Дата доступа 21.02.2022.

На основании проведенного анализа расхода огнетушащих веществ, подаваемых на тушение торфяных пожаров, установлено, что большинство рассматриваемых пожаров, а именно 38 %, было ликвидировано с применением 6–10 стволов, что по расходу огнетушащих средств составляет 40–70 л/с. На основании этого производительность предлагаемой прицепной пожарной мотопомпы должна составлять 70 л/с. Это поможет заменить две автоцистерны, уменьшить количество необходимого личного состава, а также обеспечить бесперебойную подачу огнетушащих веществ на определенное расстояние от водоисточника. Проведенная расчетная оценка показала, что это расстояние варьируется от 330 до 2370 м в зависимости от количества применяемых стволов.

Обзор технических характеристик и последующая расчетная оценка существующих двигателей для пожарных насосов показали, что применение дизельного двигателя Iveco (FPT) N45MNTF40.10 позволит значительно (почти в 3 раза) снизить затраты на горюче-смазочные материалы при тушении лесных и торфяных пожаров без снижения эффективности тушения.

Разработка прицепной мотопомпы с производительностью насоса 70 л/с, оснащенной двигателем Iveco (FPT) N45MNTF40.10, позволит оптимально использовать ее при тушении лесных и торфяных пожаров, т.к. это уменьшит затраты на горюче-смазочные материалы, а также повысит боеготовность малочисленных подразделений в связи со снижением необходимого количества задействованного личного состава и пожарной аварийно-спасательной техники.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Куксин, Г.В. Рекомендации по тушению торфяных пожаров на осушенных болотах. Опыт работы добровольных лесных пожарных / Г.В. Куксин, М.Л. Крейндин, Н.А. Коршунов. – М.: Ситипринт, 2015. – 110 с.
2. Количество лесных пожаров [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации Республики Беларусь [dataportal.belstat.gov.by](http://dataportal.belstat.gov.by). – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144108>. – Дата доступа 21.02.2022.
3. Общая площадь, пройденная лесными пожарами [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации Республики Беларусь: [dataportal.belstat.gov.by](http://dataportal.belstat.gov.by). – Режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144102>. – Дата доступа 21.02.2022.
4. Карпенчук, И.В. Разработка тактики тушения торфяных пожаров с использованием специализированных технических средств / И.В. Карпенчук, С.М. Палубец, С.М. Малашенко // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2010. – № 2 (12). – С. 78–82. – EDN: SMWNZJ.
5. Терехнев, В.В. Справочник руководителя тушения пожара / В.В. Терехнев. – М.: Пожкнига, 2004. – 256 с.

**Прицепная пожарная мотопомпа для тушения торфяных пожаров**  
**Trailed motorized fire pump for extinguishing peat fires**

**Антонович Артем Александрович**

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: antonovich.artem2000@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-8794-1839

**Artem A. Antonovich**

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: antonovich.artem2000@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-8794-1839

**Лаквич Вячеслав Вячеславович**

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: slavaspec@rambler.ru  
ORCID: 0000-0001-7601-305X

**Vyacheslav V. Lakhvich**

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: slavaspec@rambler.ru  
ORCID: 0000-0001-7601-305X

**Гоман Павел Николаевич**

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: g\_pn83@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-0038-7500

**Pavel N. Goman**

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,  
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: g\_pn83@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-0038-7500

## TRAILED MOTORIZED FIRE PUMP FOR EXTINGUISHING PEAT FIRES

**Antonovich A.A., Lakhvich V.V., Goman P.N.**

*Purpose.* To determine the necessary performance parameters of a trailed motorized fire pump when extinguishing peat fire based on the study of the experience of using the forces and means of the subunits of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus.

*Methods.* Theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison) are used in the paper.

*Findings.* The statistics of forest and peat fires in the Republic of Belarus for the last five years is presented. The number of fire rescue technics and personnel involved in extinguishing is determined. The analysis of the consumption of fire extinguishing agents supplied to extinguish peat fires has been carried out. The relevance of the use of a trailed motorized fire pump of increased performance in extinguishing forest and peat fires in the Republic of Belarus is substantiated.

*Application field of research.* The obtained research results can be used for further development of fire technology in the field of extinguishing forest and peat fires.

*Keywords:* forest fire, peat fire, pump performance, extinguishing scheme, fire and rescue technics, personnel.

(The date of submitting: April 13, 2022)

### REFERENCES

1. Kuksin G.V., Kreyndlin M.L., Korshunov N.A. *Rekomendatsii po tusheniyu torfyanykh pozharov na osushennykh bolotakh. Opyt raboty dobrovol'nykh lesnykh pozharnykh* [Recommendations for extinguishing peat fires in drained swamps. Experience of the work of voluntary forest firefighters]. – Moscow: Sitiprint, 2015. 110 p. (rus)
2. Kolichestvo lesnykh pozharov [The number of forest fires] // *National Statistical Committee. Interactive information and analytical system for the dissemination of official statistical information of the Republic of Belarus: dataportal.belstat.gov.by*, available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144108> (accessed: February 21, 2022). (rus)
3. Obshchaya ploshchad', proydennaya lesnymi pozharami [The total area covered by forest fires] // *National Statistical Committee. Interactive information and analytical system for the dissemination of official statistical information of the Republic of Belarus: dataportal.belstat.gov.by*, available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=144102> (accessed: February 21, 2022). (rus)
4. Karpenchuk I.V., Palubets S.M., Malashenko S.M. Razrabotka taktiki tusheniya torfyanykh pozharov s ispol'zovaniem spetsializirovannykh tekhnicheskikh sredstv [Development of tactics for extinguishing peat fires using specialized technical means]. *Vestnik Komandno-inzhener'nogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2010. No. 2 (12). Pp. 78–82. (rus). EDN: SMWNZJ.
5. Terebnev V.V. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Handbook of the head of fire extinguishing]. Moscow: Pozhkniga, 2004. 256 p. (rus)

## **ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННАЯ СРЕДА КАК РЕСУРС И ИНСТРУМЕНТ ИНОЯЗЫЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ**

**Ковалева Т.Г., Дементьева Т.Г.**

*Цель.* Осветить ресурсные и методические аспекты современных информационно-коммуникационных технологий иноязычного образования специалистов. Раскрыть перспективы и проблемы обучения иноязычной коммуникации в современных условиях доминанты Интернета при сохранении традиционных подходов к обучению иностранному языку.

*Методы.* Критический анализ теоретических источников по вопросам внедрения информационно-коммуникационных технологий в педагогический процесс. Обобщение практического опыта иноязычного образования работников сферы безопасности жизнедеятельности и обучающихся Университета гражданской защиты.

*Результаты.* Раскрыты ресурсные и методические преимущества современных информационно-коммуникационных систем и технологий, используемых в целях формирования и развития иноязычной коммуникативной компетенции специалистов, в особенности технологии дистанционного обучения, элементам англоязычной коммуникации работников службы спасения. Даны рекомендации по наиболее эффективному методическому использованию современных инструментов и ресурсов, необходимых для лингвистического образования специалистов в сфере безопасности жизнедеятельности.

*Область применения исследований.* Информационно-коммуникационное обеспечение педагогического процесса обучения коммуникации, в том числе иноязычной. Методика и практика обучения профессионально ориентированному межкультурному общению с учетом современного уровня информационных технологий.

*Ключевые слова:* лингвистическое образование, компьютеризация, аутентичность, интернет-ресурсы, дистанционное обучение иностранным языкам, коммуникативная компетенция, виртуальная обучающая среда.

(Поступила в редакцию 1 апреля 2022 г.)

### **Введение**

Настоящая статья продолжает тему использования технических возможностей современного информационного пространства, затронутую в публикации, посвященной информационно-коммуникационным технологиям обучения иностранному языку специалистов (Т.Г. Ковалева, Т.Г. Дементьева, 2021 [1]). Информатизация образования быстро развивается и приводит к возникновению новых перспектив и проблем, связанных с процессом передачи знаний, в том числе лингвистических. В сфере обучения иностранному языку быстро развиваются такие новые направления, как разработка интеллектуальных и автоматизированных обучающих систем, дистанционное обучение, лингводидактика в рамках информационных технологий (компьютерная лингводидактика), виртуальное общение как социолингвистический феномен. В каждом из этих направлений имеются определенные наработки, получены теоретические и практические результаты, которые переводят процесс лингвистической подготовки специалиста на новый уровень.

В связи с обилием информационно-технических ресурсов лингвистического образования возникла проблема выбора нужного ресурса и его оптимального использования. Использование того или иного ресурса в целях обучения иноязычной коммуникации имеет несколько аспектов: технический (технологический), психологический, методический, которые мы и рассмотрим в настоящей статье.

### Основная часть

С внедрением компьютеров в образовательный процесс в 1990-е гг. стали актуальными вопросы дидактического потенциала и эффективности их использования в педагогических целях. В то время некоторые исследователи считали, что автоматизированные средства обучения «в смысле дидактической эффективности не оправдывают вложенных затрат и, представляя известный интерес как экспериментальные системы, почти ничего не вносят в дело совершенствования обучения»<sup>1</sup>.

Вместе с тем были признаны эффективными такие функции компьютерных технологий, как обеспечение информацией, планирование, регулирование и контроль учебной деятельности, автоматизированная диагностика психологического состояния обучающихся и возможность индивидуальной адаптации к процессу обучения. На основании педагогического эксперимента были сделаны выводы, что имеется зависимость между коэффициентом интеллекта обучающегося и эффективностью использования автоматизированных средств. Так, для обучающихся с высоким уровнем интеллекта рекомендовалось использовать проблемный и программированный методы, а для обучающихся с коэффициентом ниже среднего предлагался иллюстративно-описательный метод (Трофимов, 1995). Появился термин «компьютика как наука о совместной деятельности учителя и компьютера» [2, с. 12]. Понятие «программированное обучение» наполнилось конкретным содержанием. Разработаны обучающие программы для управления учебной деятельностью как функциональным алгоритмизированным вводом информации в процесс усвоения [2, с. 149]. Кроме программирования в область компьютерной лингводидактики включают такие методы обучения иностранному языку, как моделирование учебной среды, свободное обучение (самостоятельный выбор обучающимся темы и способа работы с компьютером), тестирование, информирование [3, с. 14–15].

С наступлением XXI в. и развитием мировой компьютерной паутины информационно-коммуникационные технологии начали более активно внедряться в образовательный процесс, исчезли сомнения в их применимости или эффективности. Современный мир трудно представить без Интернета и социальных сетей. Огромная популярность социальных сетей создала новые возможности для овладения иностранными языками. Сегодня реальностью стало онлайн-общение с носителями языка, переписка с друзьями и коллегами из зарубежных стран по работе, создание и проведение совместных телекоммуникационных проектов, участие в текстовых и голосовых чатах, чтение гипертекстовой информации по специальности, использование онлайн-словарей и т.д. Ресурсы Интернета позволяют погружать обучающегося в аутентичную языковую среду, а интеллектуальные обучающие системы дают возможность автоматизированного включения когнитивных и творческих заданий в процесс обучения иностранному языку. Информационно-коммуникационные технологии позволяют повысить автономизацию обучения и упростить адаптацию обучающихся программ под конкретного пользователя [4, с. 6–11].

В то же время в результате стремительного развития технологий возникла потребность в непрерывном образовании: знания стареют так быстро, что приходится постоянно переучиваться. Умение учиться становится одним из главных навыков, необходимых современному специалисту. И именно этот навык приобретается в процессе изучения иностранного языка с помощью информационно-коммуникационных технологий [5].

Интернет, в том числе мобильный, дает доступ к огромному объему иноязычной информации в форме текстов, словарей, глоссариев, энциклопедий, аудио- и видеоматериалов. Большое преимущество текстов и мультимедийных документов с зарубежных соци-

---

<sup>1</sup> Трофимов, А.Б. Дидактические возможности компьютерных технологий обучения курсантов в высших военно-учебных заведениях МВД России: автореф. дис. канд. пед. наук: 13.00.01 / А.Б. Трофимов; Санкт-Петербургское высшее военное-командное училище внутренних войск МВД России. – СПб., 1995. – 21 с. – С. 5, 9, 18.

альных или профессиональных сайтов, например, london-fire.gov.uk (сайт пожарной службы Лондона), <https://www.ensosp.fr/> (сайт Высшей школы пожарных офицеров Франции), <https://www.dbwv.de/> (сайт Союза немецких пожарных), не предназначенных специально для изучения языка, заключается в их аутентичности. Погружаясь в информационное пространство таких ресурсов, обучающийся имеет дело с неадаптированным языком и непосредственно входит в реальную языковую среду. Преподаватель, который использует неадаптированные материалы, включает их в учебную деятельность, обычно только сокращая объем и оставляя нетронутыми все оригинальные социолингвистические свойства источника. Огромным преимуществом интернет-ресурсов является возможность учить и учиться на подлинных языковых и речевых образцах, что впоследствии во многом облегчает реальную коммуникацию на иностранном языке.

Широко известная многоязычная универсальная интернет-энциклопедия «Википедия», отмечающая свое тринадцатилетие, строится на принципе Вики (от гавайского слова «быстро»). Согласно этому принципу содержимое может редактировать любой участник, а упорядочивание содержимого происходит хронологически. Википедия на иностранных языках служит одним из источников лингвострановедческой информации, способствуя развитию лингвосоциокультурной компетенции не только ученика, но и преподавателя. Использование Википедии в учебном процессе должно осуществляться с определенной осторожностью, т.к. принцип свободного размещения информации не исключает страноведческих и лингвистических неточностей.

Более надежным ресурсом лингвистических знаний являются толковые словари и тезаурусы. Например, ресурс на английском языке Merriam-Webster, объединяющий толковый словарь и тезаурус (<https://www.merriam-webster.com/>); самый мощный на сегодня ресурс на немецком языке DWDS, включающий толковый, морфологический, этимологический словарь, а также корпус текстов (<https://www.dwds.de/>); Le Robert, толковый словарь французского языка (<https://dictionnaire.lerobert.com/>). Такие словари-тезаурусы полезны прежде всего преподавателю, позволяя быстро и точно определить контекстное значение слова или термина при переводе. Процесс перевода в настоящее время намного упростился с появлением электронных переводчиков Google translation, ЯндексПереводчик, DeepL, PROMT.One.

Электронные переводчики позволяют легко переводить слова и текстовые фрагменты с иностранного языка на родной и обратно. Однако текст, в том числе специализированный, переведенный с помощью электронного переводчика, может быть буквальным и требовать обработки. В связи с этим в арсенале дидактических приемов, используемых в процессе изучения иностранного языка, появился такой вид заданий, как редактирование профессионального текста, переведенного с помощью электронного ресурса. С переводом специальных терминов искусственный интеллект может вообще не справиться, в таком случае приходится обращаться к многоязычным онлайн-словарям и тезаурусам. Персональный компьютер также является накопителем текстов по узкой специализации и инструментом создания пользовательского словаря специальных терминов.

Современные коммуникационные технологии предоставляют всем пользователям широкие возможности изучения иностранного языка, независимо от того, с какого гаджета (персональный компьютер, смартфон или планшет) происходит доступ к информационным ресурсам. Появился даже термин m-learning, относящийся к технологии организации процесса обучения с использованием мобильных устройств [6, с. 123]. Существует множество приложений, которые позволяют реализовать обучение иностранному языку с мобильного устройства. Многие из них действительно эффективны, т.к. позволяют увеличивать словарный запас (например, мобильное приложение Word Hunt) и развивать грамматические навыки поуровнево (Duolingo, DuoCards). Для изучения французского языка, например, имеется несколько популярных приложений (Learn French by Bravolol Limited, Memrise, Learn French with Babbel, Learn French 6000 Words).



Каждое из приложений имеет полезные функции, в частности, запись голоса для проверки правильности произношения, ассоциативные приемы для заучивания лексики, языковые игры. Некоторые приложения позволяют отправлять выполненные пользователем задания на проверку носителю языка<sup>2</sup>. Быстрый доступ, самоконтроль, возможность усваивать иностранный язык, занимаясь повседневными делами, – преимущества таких ресурсов. В то же время отметим проблему безопасности пользователя, ведь большинство приложений требует регистрации, т.е. предоставления персональных данных.

Развивая тему преимуществ и недостатков использования информационно-коммуникационных технологий в целях иноязычного образования, нельзя не затронуть аспект, связанный с психологией как обучающегося, так и преподавателя. Опыт показывает, что обучающиеся в возрасте 17–20 лет не испытывают дискомфорта, работая с экрана мобильного телефона или планшета. Чтение иноязычного текста, выполнение грамматических и лексических упражнений на электронном носителе они предпочитают бумажному варианту. Если поставлена задача найти информацию по определенной тематике, то у этой категории обучающихся поиск не вызывает затруднений.

Что же касается отбора и оценки полезности информации или ее реферирования, то без помощи преподавателя такие задачи выполняются с трудом. Обучающиеся старше 25 лет преуспевают в поиске и обработке релевантной информации, но неохотно работают с экрана мобильного телефона, они предпочитают делать записи на бумажном носителе. Обучающиеся любого возраста с удовольствием работают с онлайн- и офлайн-словарями, энциклопедиями или специализированными глоссариями; бумажные словари сейчас почти забыты. Однако при работе с источниками, предъявляемыми с экрана мобильного телефона или планшета, обучающиеся часто отвлекаются на просмотр новостных сообщений или переписку в мессенджерах, что рассеивает их внимание, снижая эффективность усвоения и запоминания учебного материала.

Большая часть обучающихся возраста 25–50 лет считает информационно-коммуникационные технологии эффективными, экономящими время и деньги и предоставляющими возможность выбора индивидуального режима обучения. Возможность бесплатно скачать и беспрепятственно работать с оригинальным учебником является дополнительным внешним мотивом к обучению, а ведь, по утверждению ученых, именно от мотивации зависит от 30 до 50 % успеха изучения иностранного языка [7, с. 93].

Самым важным аспектом информационно-коммуникационных технологий с точки зрения образовательных услуг является методический аспект. В настоящее время процесс обучения иностранным языкам описывается в терминах коммуникативных компетенций, а использование информационно-коммуникационных технологий в этом процессе нацелено на формирование и развитие способности пользоваться иностранным языком для достижения взаимопонимания как в социально-культурной, так и профессиональной области. Некоторые исследователи включают в понятие коммуникативной компетенции информационно-коммуникативную компетенцию как «способность <...> специалиста адекватно организовать и участвовать в устной и письменной профессиональной и межкультурной коммуникации, используя средства современных информационных и телекоммуникационных технологий»<sup>3</sup>. Экспериментальные данные И.В. Алехиной (2006) подтверждают высокую эффективность лингвистической подготовки при системной компьютерной поддержке, в которую входят следующие компоненты: электронный учебно-методический комплекс,

<sup>2</sup> Учить французский онлайн – Самые интересные приложения для изучения французского языка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://languageliveschool.com/samyie-interesnye-prilozheniya-dlya-izucheniya-frantsuzskogo-yazyka/>. – Дата доступа: 27.03.2022.

<sup>3</sup> Алехина, И.В. Формирование коммуникативной компетентности студентов инженерного вуза средствами компьютерной поддержки (на примере изучения иностранного языка): автореф. дис. канд. 13.00.08 / И.В. Алехина; Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова. – Ульяновск, 2006. – 23 с. – С. 9, 10, 21.

электронный учебник, автоматизированный справочно-информационный модуль. Такая система позволяет варьировать формы учебной работы над иностранным языком с учетом личностных качеств обучающихся, экономить время при обращении к справочным материалам, обеспечивает оперативную обратную связь и дает обучающемуся возможность самоконтроля.

Реалии современной жизни требуют все более глубокого проникновения информационных технологий в образовательный процесс. Так, в условиях изоляции и ограничения контактов в период пандемии COVID-19 весьма кстати оказались технологии дистанционного обучения, базирующиеся на таких ресурсах, как Moodle, TEAMS, Zoom, облачные сервисы. Эти технологии позволили не прерывать контакт учителя с обучающимися и внесли новизну в процесс обучения иностранным языкам. В целях обучения иностранному языку эффективно работают такие ресурсы виртуальных образовательных платформ, как новостной форум, онлайн-консультации, онлайн-лекции. Благодаря этим возможностям дистанционное образование приближается к очному обучению, которое, несомненно, является самой оптимальной формой обучения иностранному языку.

Так, технология дистанционного обучения элементам профессиональной англоязычной коммуникации (ЭПАК), разработанная для конкретной категории работников, отвечает всем критериям технологии локального характера, ориентированной на работников диспетчерских служб МЧС. Технология ЭПАК позволяет проектировать структуру ограниченного набора иноязычных коммуникативных навыков, необходимых в работе диспетчеру службы 101. К таким навыкам относится прежде всего восприятие на слух телефонного сообщения на английском языке, речевое реагирование на это сообщение, формулирование инструкции пострадавшему, постановка регламентных вопросов. Технические возможности виртуальной обучающей среды Moodle позволяют поэтапно развивать навыки аудирования и говорения, формировать базовые грамматические понятия, закладывать необходимую лексику. Технология ЭПАК дает возможность вовлечь в образовательный процесс большое количество обучающихся одновременно и автоматизировать постоянный контроль за их учебной деятельностью и ее результатами.

Касаясь проблемных вопросов, связанных с внедрением технологии ЭПАК в образовательный процесс, можно констатировать, что подбор учебных материалов, их разработка и загрузка в соответствии с требованиями среды Moodle – довольно трудоемкое дело. Преподаватель должен предвидеть конечный результат того или иного вида упражнения и то, как это упражнение будет выполняться обучающимся. На сегодня платформа Moodle предлагает достаточное количество шаблонов заданий, которые можно эффективно использовать для формирования того или иного коммуникативного навыка. Наиболее эффективными для составителя заданий по иностранному языку оказались следующие шаблоны: «множественный выбор», «верно / неверно», «короткий ответ», «соответствие», «перетаскивание в текст», «перетаскивание маркеров», «выбор пропущенных слов».

В процессе разработки технологии ЭПАК проявились определенные технические недостатки платформы Moodle, снижающие ее эффективность для данной конкретной категории обучающихся. Например, среди инструментов Moodle нет инструмента для сравнения шаблонного аудиофайла с аудиозаписью, сделанной обучающимся при отработке звука или слова, что снижает результативность имитационных фонетических упражнений. Заметим, что классическое разделение языковых и речевых упражнений на имитационные, подстановочные и трансформационные по-особому преломляется в среде Moodle, где работают другие категории, продиктованные техническими возможностями системы. Определенное влияние на скорость внедрения информационных технологий оказывают кадры. Не все преподаватели способны обеспечить наполнение и функционирование электронного образовательного контента, в связи чем появилась необходимость повышения квалификации преподавателей иностранного языка в сфере методики и дидактики использования современных информационно-коммуникационных ресурсов в целях лингвистического об-

разования специалистов. По-прежнему остается слабо разработанным вопрос учета затрат преподавателя, связанных с разработкой и внедрением инновационных технологий в учебный процесс.

### **Заключение**

Анализ использования современных информационно-коммуникационных источников и технологий иноязычного образования специалистов позволил раскрыть их ресурсные и методические преимущества и недостатки, а также определить перспективы и проблемы их внедрения в процесс обучения иноязычной коммуникации в современных условиях при сохранении традиционных подходов к психологии и методике обучения иностранному языку.

Разработанные рекомендации по методическому использованию иноязычных социальных и профессионально ориентированных интернет-ресурсов, а также инструментов, находящихся в арсенале виртуальных образовательных платформ и мобильных приложений, позволят интенсифицировать процесс обучения иноязычной коммуникации в социально-культурной и профессиональной сфере. Информационно-коммуникационная среда сегодня стала частью образовательного пространства, а систематизированное изучение ее технических и дидактических возможностей в целях обучения иностранному языку пока далеко от своего завершения.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ковалева, Т.Г. Современные технологии иноязычного образования специалистов в сфере безопасности жизнедеятельности / Т.Г. Ковалева, Т.Г. Дементьева // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 251–260. – DOI: 10.33408/2519-237X. 2021.5-2.251. – EDN: DOHRVE.
2. Беспалько, В.П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия) / В.П. Беспалько. – М.: Изд-во Московского психолого-социального института; Воронеж: МОДЭК, 2002. – 348 с.
3. Zubov, A. От учебной программы – к компьютерной программе обучения языкам / Aleksander Zubov, Roman Hajczuk, Robert Szymila. – Białystok: Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, 2014. – 148 с.
4. Потапова, Р.К. Новые информационные технологии и лингвистика: учеб. пособие / Р.К. Потапова. – М.: Ленланд, 2016. – 368 с.
5. Далидчик, Е.Г. Интерактивные технологии как способ формирования критического мышления // Идеи. Поиски. Решения: сб. статей и тезисов XII Междунар. науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов, Минск, 26 октября 2018 г. В 7 т. Т. 3. – Минск: БГУ, 2018. – С. 15–20.
6. Шакирова, Ю.К. Мобильное обучение как инновационная технология в образовательном процессе / Ю.К. Шакирова [и др.] // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2018. – № 3 (123). – С. 123–128. – EDN: XOSNVJ.
7. Ерчак, Н.Т. Иностранные языки: психология усвоения: учеб. пособие / Н.Т. Ерчак. – Минск: Новое знание. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 336 с.

**Информационно-коммуникационная среда как ресурс и инструмент  
иноязычного образования специалистов**

**Information and communication environment as a resource and tool  
for foreign language education of specialists**

***Ковалева Татьяна Григорьевна***

кандидат филологических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра современных  
языков, профессор

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

Email: kova77@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8513-5662

***Tatyana G. Kovaleva***

PhD in Philological Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Modern Languages, Professor

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

Email: kova77@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8513-5662

***Дементьева Татьяна Георгиевна***

кандидат филологических наук, доцент  
Институт повышения квалификации  
и переподготовки кадров Минского  
государственного лингвистического  
университета, кафедра интенсивного  
обучения иностранным языкам № 2, доцент

Адрес: ул. Захарова, 21, корпус Б,  
220034, г. Минск, Беларусь

Email: tania-dementieva@rambler.ru

***Tatyana G. Dement'eva***

PhD in Philological Sciences, Associate Professor  
Institute for Advanced Studies and Retraining  
of Minsk State Linguistic University,  
Chair of Intensive Foreign Languages  
Instruction No. 2, Associate Professor

Address: Zakharova str., 21, build. B,  
220034, Minsk, Belarus

Email: tania-dementieva@rambler.ru

## INFORMATION AND COMMUNICATION ENVIRONMENT AS A RESOURCE AND TOOL FOR FOREIGN LANGUAGE EDUCATION OF SPECIALISTS

**Kovaleva T.G., Dement'eva T.G.**

*Purpose.* To highlight the resource and methodological aspects of modern information and communication technologies for foreign language education of specialists. To reveal the prospects and problems of teaching foreign language communication in modern conditions of the dominant Internet while maintaining traditional approaches to teaching a foreign language.

*Methods.* Critical analysis of theoretical sources on the implementation of information and communication technologies in the pedagogical process. Generalization of the practical experience of foreign language education of workers in the field of life safety and students of the University of Civil Protection.

*Findings.* The resource and methodological advantages of modern information and communication systems and technologies used to form and develop the foreign language communicative competence of specialists, in particular the technology of distance teaching in the elements of English communication of rescue service workers, are revealed. The recommendations are given on the most effective methodological use of modern tools and resources necessary for the linguistic education of specialists in the field of life safety.

*Application field of research.* Information and communication support of the pedagogical process of teaching communication, including foreign language. Methodology and practice of teaching intercultural communication, taking into account the modern level of information technology.

*Keywords:* linguistic education, computerization, authenticity, Internet resources, distance learning of foreign languages, communicative competence, virtual learning environment.

(The date of submitting: April 1, 2022)

### REFERENCES

1. Kovaleva T.G., Dement'eva T.G. Sovremennye tekhnologii inoyazychnogo obrazovaniya spetsialistov v sfere bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti [State-of-the-art technologies of foreign language education of specialists in the sphere of life safety]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 2. Pp. 251–260. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.251. EDN: DOHRVE.
2. Bepal'ko V.P. *Obrazovanie i obuchenie s uchastiem komp'yuterov (pedagogika tret'ego tysyachet'letiya)* [Education and learning with the participation of computers (pedagogy of the third millennium)]. Moscow: Moscow Psychological and Social Institute; Voronezh: MODEK, 2002. 348 p. (rus)
3. Zubov Aleksander, Hajczuk Roman, Szymila Robert. *Ot uchebnoy programmy – k komp'yuternoy programme obucheniya yazykam* [From education program to computer technology of teaching languages]: Bialystok: Wydawnictwo Uniwersytetu w Bialymstoku, 2014. 148 p. (rus)
4. Potapova R.K. *Novye informatsionnye tekhnologii i lingvistika* [New information technologies and linguistics]: tutorial. Moscow: Lenland, 2016. 368 p. (rus)
5. Dalidchik E.G. nteraktivnye tekhnologii kak sposob formirovaniya kriticheskogo myshleniya. *Proc. XXII Intern. scientific-practical. conf. of Teachers, Postgraduates, Undergraduates, Students «Idei. Poiski. Resheniya»*, Minsk, October 26, 2018. In 7 vols. Vol. 3. Minsk: Belarusian State University, 2018. Pp. 15–20. (rus). URI: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/209283>.
6. Shakirova Yu.K., Savchenko N.K., Abildaeva G.B., Zhdanovich E.I. Mobil'noe obuchenie kak innovatsionnaya tekhnologiya v obrazovatel'nom protsesse [Mobile learning as an innovative technology in the educational process]. *Distantionnoe i virtual'noe obuchenie*, 2018. No. 3. (123). Pp. 123–128.
7. Erchak N.T. *Inostrannye yazyki: psikhologiya usvoeniya* [Foreign languages: psychology of assimilation: study guide]: tutorial. – Minsk: Novoe znanie; Moscow: INFRA-M, 2013. 336 p.

**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](mailto: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 73 «Ликвидация чрезвычайных ситуаций и гражданская оборона»** с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

**1-94 02 72 «Инжиниринг безопасности объектов строительства»** с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

**1-94 02 71 «Промышленная безопасность»** с присвоением квалификации «Инженер по промышленной безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

**1-59 01 06 «Охрана труда в отраслях непромышленной сферы»** с присвоением квалификации «Специалист по охране труда». Срок обучения – 19 месяцев. Форма обучения – заочная (четыре сессии).

По окончании обучения выдается диплом государственного образца о переподготовке на уровне высшего образования.

**Повышение квалификации для руководящих работников и специалистов, имеющих высшее или среднее специальное образование, по образовательным программам:**

- «Экспертная деятельность»;
- «Экспертная деятельность» для работников проектных организаций;
- «Экспертная деятельность» для работников органов и подразделений по ЧС;
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Промышленная безопасность» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности предприятий химической промышленности, хранения и переработки зерна, аммиачных и хлораторных установок» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения в медицинских целях) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность, радиационный контроль» (при использовании источников ионизирующего излучения, в целях отличных от медицинских) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Основы обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (для лиц, участвующих в обеспечении ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации объектов использования атомной энергии) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Охрана труда» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);

- «Противодействие коррупции» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Защита от чрезвычайных ситуаций» (заочная (дистанционная) форма обучения).

**Обучающие курсы для лиц, имеющих профессионально-техническое и общее среднее образование, по образовательным программам:**

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Защита от чрезвычайных ситуаций» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Пожарно-технический минимум».

**Семинары по образовательным программам:**

- «Оказание первой помощи пострадавшим в ЧС»;
- «Расчет предела огнестойкости (железобетонных, металлических, деревянных, каменных строительных конструкций»;
- «Расчет времени эвакуации людей при пожаре»;
- «Расчет температурного режима пожара в помещении»;
- «Расчет величины противопожарных разрывов между зданиями, сооружениями и наружными установками»;
- «Расчет площади легкосбрасываемых конструкций»;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Порядок проектирования пассивной противопожарной защиты зданий различного назначения»;
- «Оптимизация затрат на обеспечение требований пожарной безопасности на основании расчетных методов»;
- «Порядок подготовки организации к пожарно-техническому обследованию»;
- «Охрана труда в организациях непромышленной сферы».

**Подготовку лиц к поступлению в учреждения образования Республики Беларусь по учебным предметам:** математика, физика, русский язык, русский язык как иностранный, белорусский язык, английский язык, немецкий язык, французский язык, история, обществоведение, химия (очная/заочная (дистанционная) форма обучения).

**Обучение проводит профессорско-преподавательский состав университета и ведущие специалисты Республики Беларусь в области пожарной и промышленной безопасности.**

Наш адрес: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25,  
ФЗО: тел/факс (017) 340-71-89,  
ФБЖ: тел. (017) 340-69-55, факс (017) 340-35-58, email: [fpipk@ucsp.by](mailto:fpipk@ucsp.by).

Дополнительная информация размещена на сайте университета: <http://ucsp.by>  
в разделе «Повышение квалификации»



Научный журнал

**Вестник**  
**Университета гражданской защиты МЧС Беларуси**  
***Том 6, № 2, 2022***

Подписано в печать 25.05.2022.  
Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 12,21. Уч.-изд. л. 11,46.  
Тираж 110 экз. Заказ 049-2022.

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.