



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал  
**Вестник**  
**Университета гражданской защиты**  
**МЧС Беларуси**  
**(Journal of Civil Protection)**  
**Том 4, № 4, 2020**

**Редакционная коллегия:**

*главный редактор:*

**Полевода**  
**Иван Иванович**

кандидат технических наук,  
доцент

*зам. главного редактора:*

**Гончаренко**  
**Игорь Андреевич**

доктор физико-математических наук,  
профессор

**Платонов**  
**Александр Сергеевич**

кандидат физико-математических  
наук, доцент

**Редакционный совет:**

Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор – председатель; Богданова Валентина Владимировна, доктор химических наук, профессор – зам. председателя; Акулов Артем Юрьевич, кандидат технических наук (Россия); Альгин Владимир Борисович, доктор технических наук, профессор; Байков Валентин Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Бирюк Виктор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент; Волянин Ежи, доктор технических наук, профессор (Польша); Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; 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 Маркс Аронович, доктор психологических наук, профессор; Кудряшов Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент; Кузьмицкий Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, доцент; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лебедин Александр Владимирович, доктор военных наук, профессор; Пастухов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Украина); Порхачев Михаил Юрьевич, кандидат педагогических наук, доцент (Россия); Соколов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор (Россия); Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Фурманов Игорь Александрович, доктор психологических наук, профессор; Чень Цзяньго, доктор технических наук, профессор (Китай); Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич, доктор технических наук (Казахстан).

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

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

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

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)

E-mail 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», 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

### **Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)**

- Богданова В.В., Кобец О.И., Врублевский А.В.** Зависимость огнезащитно-огнетушащей эффективности составов на основе фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония от их физико-химических свойств ..... 367
- Гончаренко И.А., Рябцев В.Н., Ильюшонок А.В., Навроцкий О.Д.** Датчик напряженности высокочастотных электрических полей на основе щелевых волноводов с заполнением электрооптическим полимером ..... 378
- Бирюк В.А., Пасовец В.Н., Журов М.М.** Неразрушающие методы контроля агрегатов и узлов пожарной аварийно-спасательной техники ..... 389
- Василевич Д.В., Лахвич В.В., Родак В.Я.** Влияние давления воды и природы абразивных материалов на время гидроабразивной резки ствола высокого давления в строительные конструкции ..... 397

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

- Кравцов С.Л., Голубцов Д.В., Романович К.А., Савко И.Л.** Результаты разработки системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории, с использованием спутниковых и наземных данных ..... 406
- Пастухов С.М., Османов Х.С.** Особенности каскадного расположения гидроузлов Азербайджанской Республики ..... 416
- Котов Г.В., Фисенко С.П.** Полуэмпирическая модель расчета параметров фактической зоны заражения при постановке водяных завес ..... 424

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

- Гермацкая Е.И.** Оценка уровня развития отдельных профессионально значимых психологических качеств будущих специалистов экстремальных профессий .... 433

### **Разное (обзоры)**

- Чумила Е.А., Маркач И.И., Гурин А.А.** Теоретические аспекты профессионально-прикладной физической подготовки спасателей МЧС Беларуси ..... 442
- Горошко Е.Ю., Бордак С.С.** Оптимизация нормативно-правового регулирования обеспечения пожарной безопасности в Республике Беларусь ..... 450
- Правила предоставления статей ..... 458

## CONTENTS

### Fire and industrial safety (technical sciences)

**Bogdanova V.V., Kobets O.I., Vrublevsky A.V.** Dependence of the fire retardant and fire extinguishing efficiency of compositions based on phosphates of bivalent and trivalent ammonium metals on their physicochemical properties..... 367

**Goncharenko I.A., Ryabtsev V.N., Il'yushonok A.V., Navrotskiy O.D.** Sensor of high frequency electric fields intensity on the base of slot waveguides with electro-optic polymer filling ..... 378

**Biryuk V.A., Pasovets V.N., Zhurov M.M.** Non-destructive testing methods of assemblies and units of fire and emergency technique ..... 389

**Vasilevich D.V., Lakhvich V.V., Rodak V.Y.** Influence of water pressure and abrasive materials nature on the duration of the high-pressure abrasive water jet cutting in building structures..... 397

### Safety in emergencies (technical sciences)

**Kravtsov S.L., Golubtsov D.V., Romanovich K.A., Savko I.L.** Results of the development of the forecast monitoring system of factors characterizing the fire hazard of the territory using satellite and ground data ..... 406

**Pastukhov S.M., Osmanov Kh.S.** Distinctive features of cascaded hydraulic units location in the Republic of Azerbaijan ..... 416

**Kotov G.V., Fisenko S.P.** Semi-empirical model of calculating the parameters of the actual zone of contamination when setting up water curtains ..... 424

### Safety in emergencies (psychological sciences)

**Germatskaya E.I.** Evaluation of the development level of several professionally significant psychological qualities of future specialists in extreme professions ..... 433

### Miscellaneous (reviews)

**Chumila E.A., Markach I.I., Gurin A.A.** Theoretical aspects of professionally applied physical training of rescuers of the Ministry of Emergencies of Belarus ..... 442

**Goroshko E.Yu., Bordak S.S.** Optimization of legal regulation of ensuring fire safety in the Republic of Belarus ..... 450

Rules of submitting articles for publication ..... 458

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.367>

УДК 546.185:544.032:661.174

## ЗАВИСИМОСТЬ ОГНЕЗАЩИТНО-ОГНЕТУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ ДВУХ- И ТРЕХВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ-АММОНИЯ ОТ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Богданова В.В., Кобец О.И., Врублевский А.В.

*Цель.* Объект исследований – огнезащитные и огнетушащие средства на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов, используемые для обработки лесных горючих материалов (ЛГМ), в том числе древесины и торфа. Предмет исследований – определение огнезащитной и огнетушащей эффективности указанных средств в зависимости от их физико-химических свойств, определяемых условиями синтеза. Цель работы – установить общность или различия в механизме ингибирования горения ЛГМ металлофосфатными системами различного химического состава, а также выявить роли процессов, протекающих в конденсированной фазе под воздействием продуктов их терморазложения. Основная задача – исследование физико-химических, термических свойств огнезащитных и огнетушащих средств, а также огнезащищенных ими образцов торфа и других ЛГМ в интервале температур на горячей поверхности природных материалов (200–500 °С).

*Методы.* В работе использовались методы рентгенофазового анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии, химического анализа.

*Результаты.* В результате проведенных исследований определены факторы, обуславливающие огнезащитную и огнетушащую эффективность синтетических средств на основе фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония с регулируемыми в зависимости от условий синтеза свойствами относительно ЛГМ, древесины и торфа. Установлен процесс, оказывающий доминирующее влияние на прекращение их горения – ингибирование летучими азотсодержащими продуктами радикальных реакций в газовой фазе. Одновременно показано, что при разработке новых огнезащитных и огнетушащих средств необходимо учитывать такие их свойства, как способность к образованию термоизолирующих структур в конденсированной фазе.

*Область применения исследований.* Полученные в работе результаты могут быть использованы при создании новых огнезащитных и огнетушащих синтетических составов на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов для обработки лесных горючих материалов.

*Ключевые слова:* замедлители горения, древесина, торф, фосфаты металлов-аммония, физико-химические, термические, огнезащитные свойства.

(Поступила в редакцию 21 сентября 2020 г.)

### Введение

Леса и торфяники занимают соответственно 36 и 20 % территории Республики Беларусь, из-за чего в природном комплексе страны по статистическим данным регистрируется большое количество природных пожаров: за предыдущие 8 лет (2012–2019 гг.) их произошло более 4290 с общей площадью горения 19 170 га. Несмотря на проводимые профилактические мероприятия, значительную часть пожаров не удастся предупредить.

Горение целлюлозных материалов (древесины, лесных горючих материалов – далее ЛГМ) и торфа протекает в диффузионном режиме (подсушивание, подогрев, термолиз с выделением и воспламенением горючих газов, беспламенное горение тлеющего остатка) и сопровождается тепло- и массообменом между зоной горения и исходным материалом [1; 2]. Особенность процессов, протекающих при горении природных тлеющих материалов (древесины, ЛГМ и торфа), заключается в том, что собственно сгорание материала включает два

основных этапа: термическое разложение вещества с образованием коксового остатка и газообразных горючих продуктов; гетерогенное горение этого остатка, протекающее с небольшой скоростью.

Для прекращения распространения лесных и локализации торфяных пожаров используются разнообразные традиционные (прокладка заградительных полос и канав, сбивание пламени по кромке) и новые приемы, способы, отечественные и иностранные технические средства и устройства (подрыв специальных огнегасящих зарядов, специальные стволы, трубопроводы для тушения водой), которые в целом не гарантируют предотвращения тления и возникновения пламенного горения [3–7].

Наиболее эффективными средствами предотвращения возгорания ЛГМ, древесины и торфа является применение химических реагентов или их смесей [8–10], огнезащитные свойства которых резко уменьшаются после первых атмосферных осадков. Среди средств огнезащиты и тушения долговременного действия для ЛГМ, древесины и торфа перспективны синтетические суспензии на основе фосфатов двух-, трехвалентных металлов-аммония [11; 12].

Вместе с тем до настоящего времени кроме наших исследований практически отсутствуют рекомендации по применению синтетических замедлителей горения для огнезащиты и тушения разных по физико-химическим свойствам природных горючих материалов (древесины и торфа).

С целью установления общности или различия в механизме ингибирования горения торфа и ЛГМ металлофосфатными системами различного химического состава, а также для выявления роли процессов, протекающих в конденсированной фазе под воздействием продуктов их терморазложения, проведено исследование физико-химических, термических свойств огнезащитных и огнетушащих средств (далее – ОС) на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов, а также огнезащищенных ими образцов торфа и ЛГМ в интервале температур, реализующихся на горячей поверхности природных материалов (200–500 °С).

### Основная часть

Получение ОС осуществляли в две стадии по описанной методике [13]. Огнезадерживающие свойства синтезированных продуктов по отношению к древесине определяли по ГОСТ 16363<sup>1</sup>, а по отношению к торфу – по потере массы (в %) при горении огнезащищенных образцов торфа [14]. За термоизолирующую способность продуктов термообработки огнезащитно-огнетушащих средств, нанесенных на металлические пластины с одной стороны и прогретых при 350 °С в течение фиксированного времени, принимали высоту образующегося вспененного слоя и разницу температур ( $\Delta T$ ), фиксируемых с необогреваемой стороны исходной и огнезащищенных пластин при их остывании [15]. Экранирующие свойства ОС определяли по ГОСТ Р 50045 (ИСО 4534–80)<sup>2</sup> по показателю растекаемости по длине ( $F_L$ ) их расплавов при 350 °С:  $F_L = L_n / L_1$ , где  $L_n$  – длина растекания расплава испытуемого состава, мм;  $L_1$  – длина растекания расплава состава сравнения, мм. Рентгенофазовый анализ исходных и термообработанных ОС проводили на дифрактометре ДРОН-2 ( $\text{CuK}\alpha$ -излучение) с идентификацией кристаллических фаз с помощью программного обеспечения ICDD [16]. В ходе calorиметрических исследований методом дифференциальной сканирующей calorиметрии (Netzsch STA 449C) исходных синтезированных продуктов, древесных опилок и торфа, а также этих горючих материалов, огнезащищенных одинаковым количеством каждого из исследуемых ОС, определяли суммарные тепловые эндо- и экзоэффекты ( $\Sigma Q_{\text{эндо}}$

<sup>1</sup> Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств: ГОСТ 16363. – Введ. 07.01.99. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 11 с.

<sup>2</sup> Эмали стекловидные. Определение характеристик текучести. Испытание на растекаемость: ГОСТ Р 50045 (ИСО 4534–80). – Введ. 01.01.93. – М.: Госстандарт России, 1993. – 6 с.

и  $\Sigma Q_{\text{экзо}}$ , Дж/г) в интервале температур 20–600 °С при скорости нагрева 10 град/мин на воздухе. Эффективную энергию активации процесса термического разложения исходной и огнезащищенной древесины определяли дифференциальным методом по известным методикам [17] и ГОСТ 9.715–86<sup>3</sup>, используя аррениусовскую зависимость  $k = k_0 \exp(-E_{\text{акт}} / (RT))$ , где  $k$  – константа скорости;  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель;  $E_{\text{акт}}$  – эмпирическая энергия активации, кДж/моль;  $R$  – газовая постоянная ( $R = 8,314$  кДж/(моль·К));  $t$  – время, мин;  $T$  – температура, °С. Константу скорости определяли исходя из логарифмической формы основного кинетического уравнения  $da/dt = k f(\alpha)$ , где  $\alpha$  – степень превращения, принимая условно порядок реакций брутто-процесса термоллиза древесины (или торфа) на каждой стадии равным 1. Мгновенные значения  $E_{\text{акт}}^*$  в координатах  $\ln k - (RT)^{-1}$  определяли как тангенс угла наклона касательной к экспериментальной термогравиметрической кривой в точках с шагом не более 1,5°. За эффективную энергию активации принимали среднее арифметическое мгновенных значений в интервале температур, соответствующих протеканию первой стадии термического разложения древесины или торфа. Содержание общего азота в твердых продуктах термоллиза огнезащищенных древесины и торфа, прогретых в течение 10 мин в статических условиях при температурах 200, 300, 400, 500 °С (моделировали градиент температур 200–500 °С, реализующийся в горючем материале на различном расстоянии от поверхности горения), определяли микрохромовым методом Тюрина с отгонкой аммиачного азота с водяным паром, содержание фосфора – спектрофотометрическим методом [18]. Суммарное поступление азот- и фосфорсодержащих соединений в газовую фазу в пересчете на азот и фосфор ( $\Sigma \Delta N$  и  $\Sigma \Delta P$ ) находили по разности содержания азота и фосфора в граммах на 100 г навески в непрогретых и прогретых образцах исходных и огнезащищенных опилок или торфа.

Нахождение факторов, оказывающих доминирующее влияние на прекращение горения природных полимерных материалов, проводили с использованием синтетических азот-фосфорсодержащих продуктов, отличающихся природой исходных реагентов, их содержанием и соотношением и, как следствие, имеющих различные физико-химические свойства. Составы, предназначенные для огнезащиты древесины, обозначены как ОД, а для тушения торфа – ОТ (табл. 1). В таблице 1 приведены данные о химическом составе ОС (в пересчете на оксиды в моль) и их огнезащитных и огнетушащих свойствах. Все синтезированные продукты представляли собой устойчивые дисперсии с содержанием сухого остатка 30–35 %. Для определения огнезащитной и огнетушащей эффективности использовали их 10 %-ные растворы.

**Таблица 1. – Химический состав, огнезащитная и огнетушащая эффективность фосфатов металлов-аммония по отношению к древесине и торфу**

Состав	Молярные соотношения основных компонентов*								Эффективность, $\Delta m$ , %
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	MgO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	
ОД1	0,25	0,75	0	0	3,1	0	5,85	0	16,0
ОД2	0,25	0	0	0,75	3,1	0	1,34	2,70	44,2
ОД3	0,25	0	0	0,75	3,1	0	4,50	0,82	10,0
ОД4	0,25	0,25	0,25	0,25	3,1	0	4,50	0,82	15,2
ОТ1	0,25	0,75	0	0	5,4	0,15	13,35	0	2,7
ОТ2	0,25	0,75	0	0	5,4	0,15	13,35	0	3,2
ОТ3	0,25	0	0,75	0	4,2	0,15	13,35	0	2,0

*Примечание.* Содержание SiO<sub>2</sub> для всех составов составляло 0,43 моль.

<sup>3</sup> Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные. Методы испытаний на стойкость к воздействию температуры: ГОСТ 9.715–86. – Введ. 01.01.88. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 23 с.

Из данных таблицы 1 видно, что огнезащитная и огнетушащая эффективность синтезированных продуктов существенно зависит от их химического состава. Так, показатель эффективности ( $\Delta m$ ) лучших составов ОД3 и ОТ3 для древесины и торфа в 1,4–4,4 и в 1,3–1,7 раза соответственно выше по сравнению с другими синтетическими продуктами. Составы по огнезащитной и огнетушащей эффективности по отношению к древесине и торфу соответственно располагаются в ряды: ОД3 > ОД4  $\geq$  ОД1  $\gg$  ОД2 и ОТ3 > ОТ1 > ОТ2.

Согласно данным рентгенофазовых исследований кристаллическая составляющая сухих ОС до прогрева представляет собой дигидрофосфат аммония (ОД1, ОД3, ОД4, ОТ1, ОТ2, ОТ3) или натрия (ОД2), а в композициях ОД1, ОД2, ОТ1 и ОТ2 дополнительно обнаружен фосфат аммония-цинка ( $\text{NH}_4\text{ZnPO}_4$ ). Прогрев до 200 °С приводит к незначительному подплавлению (спеканию) исследуемых образцов, тогда как их фазовый состав практически не изменяется, за исключением ОД2, где зарегистрировано образование  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ . При повышении температуры до 300 °С для всех составов наблюдается образование рентгеноаморфных плагов. В высокотемпературных (400–500 °С) продуктах термообработки ОС наряду с рентгеноаморфными фазами найдены конденсированные фосфаты:  $(\text{NH}_4)_2\text{Zn}(\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7)_2$  – ОД1;  $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{PO}_3)_6$  – ОД2;  $\text{NH}_4\text{HAlP}_3\text{O}_{10}$  – ОТ2, ОТ3;  $\text{NaMg}(\text{PO}_3)_4$  – ОТ3. Следовательно, обнаруженные в конденсированной фазе продукты термолитоза образуют как изолирующие расплавы, так и каркасные структуры, препятствующие деструкции материала и снижающие выход летучих горючих продуктов в газовую фазу.

В таблице 2 представлены данные о физико-химических свойствах ОС, способных оказать влияние на изменение условий тепломассопереноса между пламенной зоной и пиролизующимся в конденсированной фазе горючим материалом. Как видно из сопоставления полученных данных с данными таблицы 1, по всем исследуемым параметрам отсутствует прямая корреляция с огнезащитной и огнетушащей эффективностью ОС.

**Таблица 2. – Химический состав, огнезащитная и огнетушащая эффективность фосфатов металлов-аммония по отношению к древесине и торфу**

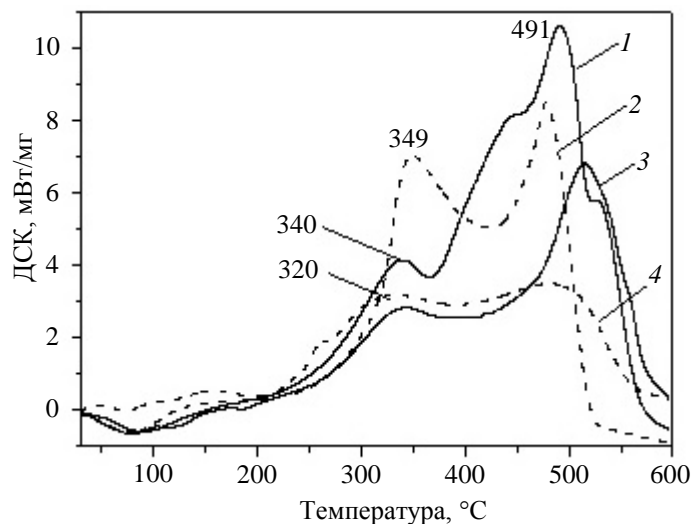
Состав	Температура начала образования расплава, °С	Средняя высота вспененного слоя, мм	Разность конечных температур остывания пластин, $\Delta T$ , °С	Показатель растекаемости расплава по длине, $F_L$	Суммарный эндоэффект ДСК, $\Sigma Q_{\text{эндо}}$ , Дж·г <sup>-1</sup>
ОД3	250	6,0	31	2,50	234
ОД4	250	4,5	26	1,10	174
ОД1	300	2,5	21	1,00	168
ОД2	200	7,8	31	0,50	132
ОТ3	200	4,6	41	1,32	258
ОТ1	200	1,3	21	1,25	172
ОТ2	210	2,6	25	1,12	179

*Примечание.* Составы расположены в порядке убывания их огнезащитной и огнетушащей эффективности.

Для получения дополнительной информации о факторах, оказывающих доминирующее влияние на прекращение горения древесины и торфа в присутствии замедлителей горения, изучены термические превращения исследуемых исходных и огнезащищенных горючих материалов (рис. 1).

На кривых ДСК исходных образцов древесины и торфа имеются по два интенсивных экзотермических эффекта с максимумами 349, 478 и 340, 491 °С соответственно. Согласно литературным данным [19] первый максимум термолитоза древесины (349 °С) обусловлен ее разложением и пламенным горением образующихся летучих продуктов, второй максимум (478 °С) соответствует процессу горения обугленного остатка. При термолитозе торфа первый экзотермический эффект (340 °С) отнесен к окислению углеводного комплекса, а второй – (491 °С) – к распаду гуминовых кислот [20].





1, 3 – исходный и обработанный составом ОТЗ торф;  
2, 4 – исходные и обработанные составом ОДЗ древесные опилки

**Рисунок 1. – Кривые ДСК**

Характер термического разложения природных горючих материалов в присутствии ОС существенно изменяется: наблюдается резкое снижение интенсивности и изменение температуры максимумов экзоэффектов (рис. 1, кривые 3, 4). Так, сдвиг первого максимума на кривых ДСК огнезащищенных древесных опилок в сторону более низких температур (29 °С) с одновременным снижением общей потери массы (табл. 3) свидетельствует о преимущественном термолизе древесины по дегидратационному пути с образованием карбонизованных продуктов. Для огнезащищенного торфа в отличие от древесины температура первого экзоэффекта не сдвигается в сторону низких температур, что можно объяснить незначительным (до 7 %) содержанием целлюлозы в торфе [21].

**Таблица 3. – Данные ТГ и ДСК по общей потере массы, суммарному тепловыделению (экзотермическому эффекту) и энергии активации для огнезащищенных образцов древесины и торфа**

Образец	Общая потеря массы, %	Суммарный экзоэффект ДСК, $\Sigma Q_{\text{экзо}}$ , Дж·г <sup>-1</sup>	$E_{\text{акт}}$ , кДж·моль <sup>-1</sup>
Древесина (Д)	97,2	6412	139,5
ОД3+Д	49,7	950	48,6
ОД4+Д	70,6	1417	31,3
ОД1+Д	52,2	2139	26,8
ОД2+Д	55,5	3610	81,8
Торф (Т)	83,9	9796	57,6
ОТ3+Т	46,2	5926	9,8
ОТ1+Т	57,8	6216	17,0
ОТ2+Т	45,2	8114	12,7

Примечание. Составы расположены в порядке убывания их огнезащитной и огнетушащей эффективности.

Снижение энергии активации (табл. 3) процесса деструкции огнезащищенных образцов древесины в 3–5 раз по сравнению с исходной древесиной – доказательство высокой карбонизирующей активности исследуемых ОС в отношении древесины. Так, факт снижения эффективной  $E_{\text{акт}}$  для образцов древесины в присутствии ОС в соответствии с литературными данными по термолизу огнезащищенной древесины [22] означает, что ОС способствуют протеканию термолиза с преимущественным образованием негорючих продуктов (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>) и карбонизованного изолирующего слоя. Эффективные энергии активации термолиза огнезащищенного торфа, определенные по термогравиметрическим данным в области температур 180–350 °С, также существенно ниже по сравнению с  $E_{\text{акт}}$  исходного торфа.

Поскольку исследуемый низинный торф содержит небольшое количество целлюлозы, снижение  $E_{\text{акт}}$  свидетельствует об изменении условий процесса термодеструкции основных компонентов торфа – гуминовых и фульвовых кислот под влиянием замедлителей горения.

Вместе с тем общая потеря массы огнезащищенными образцами древесины и торфа не коррелирует с огнестойкими свойствами, что не позволяет считать процессы, протекающие по механизму дегидратационного катализа, вносящими определяющий вклад в ингибирование горения исследуемых природных горючих материалов.

Обращают на себя внимание данные по теплопоглощению (суммарному эндоэффекту) при термоллизе индивидуальных ОС и тепловыделению (суммарному экзоэффекту) огнезащищенных образцов древесины и торфа (табл. 2 и 3). Теплопоглощение лучшего по огнезащитным свойствам ОД3 в 1,8 раза больше по сравнению с худшим по эффективности ОД2, а для огнезащищенной этими же составами древесины разница в тепловыделении составляет уже 3,8 раза.

Характерно, что при аналогичном сопоставлении данных термических исследований индивидуальных составов и образцов огнезащищенного ими торфа существенной разницы по огнезащитной эффективности и между теплопоглощающими свойствами лучшего и худшего состава не обнаружено. Одновременно прослеживается корреляция между эффективностью ОС (огнезащитной и огнетушащей) и суммарным тепловыделением при термоллизе огнезащищенных ими материалов (табл. 3). Вместе с тем экспериментальные данные, полученные при исследовании процессов, протекающих при горении в предпламенной зоне конденсированной фазы, не позволяют объяснить причину, обуславливающую наблюдаемую корреляцию.

Исходя из того что горение твердых горючих материалов – сложный многостадийный процесс, протекающий как в конденсированной, так и в газовой фазах [3], на примере составов ОД3, ОД2 и ОТ3, ОТ2, проявляющих различные огнезадерживающие свойства, исследовано количественное поступление летучих азот- и фосфорсодержащих соединений в газовую фазу. Согласно полученным данным (табл. 4) следует, что, несмотря на высокое содержание фосфора в исходных огнезащищенных образцах древесины и торфа, суммарное его поступление во время термолиза в газовую фазу независимо от природы защищаемого материала невелико и примерно одинаково для составов различной эффективности. Это свидетельствует о преимущественном участии фосфора в образовании органоминеральных вспененных структур и (или) расплавов в конденсированной фазе.

Другая картина наблюдается для азотсодержащего компонента исследуемых ОС. В целом суммарное поступление летучих азотсодержащих продуктов в газовую фазу от 5 до 14 раз выше по сравнению с летучими фосфорсодержащими продуктами. При этом прослеживается тенденция снижения огнезащитной и огнетушащей эффективности ОС с уменьшением поступления азотсодержащих продуктов в пламенную зону, следовательно, независимо от природы твердых горючих материалов требуемая огнезащитная эффективность обеспечивается выходом достаточного количества летучих азотсодержащих ингибиторов горения в газовую фазу.

**Таблица 4. – Содержание азота и фосфора в непрогретых огнезащищенных образцах и суммарное поступление летучих азот- и фосфорсодержащих продуктов в газовую фазу ( $\Sigma\Delta N$  и  $\Sigma\Delta P$ ) при термообработке (200–500 °С) огнезащищенных опилок и торфа**

ОС	Содержание $N$ в непрогретом образце, г	$\Sigma\Delta N$ , г	Содержание $P$ в непрогретом образце, г	$\Sigma\Delta P$ , г
ОД3	5,38	16,25	10,80	1,95
ОД2	2,23	6,80	10,90	1,44
ОТ3	8,96	20,84	14,00	1,42
ОТ2	8,40	17,27	14,44	2,12

## Заключение

Сопоставительными исследованиями физико-химических, термических свойств и огнезащитной, огнетушащей эффективности по отношению к древесине и торфу составов на основе фосфатов двух-, трехвалентных металлов-аммония показано, что для синтезированных систем основной вклад в ингибирование горения природных горючих материалов вносят процессы с участием летучих азотсодержащих продуктов. Одновременно при разработке новых огнезащитных и огнетушащих средств необходимо учитывать такие их свойства, как способность к теплопоглощению, образованию изолирующих расплавов, вспененных структур.

В результате проведенных исследований разработан общий подход к синтезу и регулированию огнетушащей и огнезащитной эффективности синтетических дисперсий на основе фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония, заключающийся в выборе таких условий синтеза, природы и соотношений исходных реагентов, которые во время термодеструкции огнезащитного материала в конденсированной фазе способствуют образованию вспененных, карбонизованных структур, изолирующих низковязких расплавов, полезных для увеличения поступления требуемого количества летучих ингибиторов горения в газовую фазу. Показано, что в результате протекания данных процессов изменяются условия тепло-, массопереноса, замедляется прогрев и термолит горючего материала. Найдено, что для поступления достаточного количества газообразных ингибиторов в пламенную зону при горении огнезащитного материала разрабатываемые антипиреновые композиции на основе фосфатов металлов-аммония должны содержать не менее 5 г азота в пересчете на 100 г огнезащитного материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин, А.М. Общая физико-математическая модель зажигания и горения древесины / А.М. Гришин // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2010. – № 2(10). – С. 60–70.
2. Лобода, Е.Л. Моделирование процесса зажигания торфа / Е.Л. Лобода, А.С. Якимов // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2012. – № 1(17). – С. 91–102.
3. Тимофеева, С.С. Физико-химические основы развития и тушения пожара / С.С. Тимофеева [и др.] // Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 178 с.
4. Ласута, Г.Ф. Лесные и торфяные пожары на территории Республики Беларусь / Г.Ф. Ласута, А.В. Врублевский, А.Д. Булва. – Минск: Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь, 2010. – 255 с.
5. Подрезов, Ю.В. Технология борьбы с природными пожарами / Ю.В. Подрезов // Противопожарные и аварийно-спасательные средства. – 2004. – № 2. – С. 21–24.
6. Способ и устройство для локализации и тушения лесного пожара: пат. 2237501 Россия, МПК А 62 С 3/00 / В.В. Баландин [и др.]; заявитель Рос. федер. центр ВНИИ физ., Мин-во РФ по атом. энергии. – № 2002126089/12; заявл. 01.10.2002; опубл. 10.10.2004.
7. Способ предотвращения, локализации и тушения пожара на торфяных месторождениях: пат. 2290238 Россия, МПК А 62 С 3/02 / В.Г. Чайкин, А.К. Вишняков, А.Е. Непряхин; заявитель ФГУП ЦНИИ геол. неруд. полез. ископаемых. – № 2005111290/12; заявл. 11.05.2005; опубл. 27.12.2006.
8. Wildfire prevention through prophylactic treatment of high-risk landscapes using viscoelastic retardant fluids / A.C. Yu [at al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2019. – V. 116, № 42. – P. 20820–20827. DOI: 10.1073/pnas.1907855116.
9. Ивченко, О.А. Тушение лесных горючих материалов гидрогелями на основе гидроксида алюминия / О.А. Ивченко, К.Е. Панкин // Лесотехнический журнал. – 2019. – № 1. – С. 76–84. DOI: 10.12737/article\_5c92016e1314b2.49705560.
10. Liodakis, S. Thermal analysis of Pinus sylvestris L. wood samples treated with a new gel – mineral mixture of short- and long-term fire retardants / S. Liodakis, V. Tsapara, I.P. Agiovlasis, D. Vorisis // Thermochimica Acta. – 2013. – V. 568. – P. 156–160. DOI: 10.1016/j.tca.2013.06.011.

11. Богданова, В.В. Огнегасящий эффект замедлителей горения в синтетических полимерах и природных горючих материалах / В.В. Богданова // Химические проблемы создания новых материалов и технологий: сб. ст. / Под ред. О.А. Ивашкевича. – Минск, 2003. – Вып. 2. – С. 344–375.
12. Bogdanova, V.V. Synthesis and Physicochemical Properties of Di- and Trivalent Metal-Ammonium Phosphates / V.V. Bogdanova, O.I. Kobets // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2014. – Vol. 87, N 10. – Pp. 1387–1401. DOI: 10.1134/S1070427214100012.
13. Богданова, В.В. Синтез, физико-химические и огнезащитные свойства аммонийных металлофосфатов / В.В. Богданова, О.И. Кобец // Вестник БГУ. – Сер. Химия. Биология. География. – 2009. – Вып. 1. – С. 34–39.
14. Богданова, В.В. Направленное регулирование огнезащитной и огнетушащей эффективности N-Р-содержащих антипиренов в синтетических и природных полимерах / В.В. Богданова, О.И. Кобец, О.Н. Бурая // Горение и взрыв. – 2019. – Т. 12, № 2. – С.106–115. DOI: 10.30826/CE19120214.
15. Богданова, В.В. Регулирование физико-химических свойств композиций на основе фосфатов металлов-аммония, проявляющих огнезащитный и огнетушащий эффект / В.В. Богданова, О.И. Кобец // Свиридовские чтения: сб. ст. / Под ред. О.А. Ивашкевича. – Минск: Изд. центр БГУ, 2011. – Вып. 7. – С. 21–27.
16. Powder diffraction file: Search manual, Hanawalt method inorganic / JCPDS – International Centre for Diffraction Data. – Swarthmore, Pa.: The Centre, 1989. – 1160 p.
17. Байрамов, В.М. Основы химической кинетики и катализа / В.М. Байрамов. – М.: Академия, 2003. – 256 с.
18. Марченко, З. Фотометрическое определение элементов / З. Марченко. – М., 1971. – 570 с.
19. Асеева, Р.М. Горение древесины и ее пожароопасные свойства / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 160 с.
20. Zhao, W. Thermogravimetric analysis of peat decomposition under different oxygen concentrations / W. Zhao, H. Chen, N. Liu, J. Zhou // J. Therm. Anal. Calorim. – 2014. – N 7. – P. 1–9. DOI: 10.1007/s10973-014-3696-4.
21. Хорошавин, Л.Б. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозицы. / Л.Б. Хорошавин [и др.]. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. – 255 с.
22. Diitenberger, M.A. Wood Products: Thermal Degradation and Fire / M.A. Diitenberger, L.E. Hasburgh // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. – 2016. – P. 1–7. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.03338-5.

**Зависимость огнезащитно-огнетушащей эффективности составов на основе фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония от их физико-химических свойств**  
**Dependence of the fire retardant and fire extinguishing efficiency of compositions based on phosphates of bivalent and trivalent ammonium metals on their physicochemical properties**

**Богданова Валентина Владимировна**

доктор химических наук, профессор

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», лаборатория огнетушащих материалов, заведующий лабораторией

Адрес: ул. Ленинградская, 14,  
220006, г. Минск, Беларусь

e-mail: bogdanova@bsu.by

ORCID: 0000-0002-8557-9925

**Valentina V. Bogdanova**

Grand PhD in Chemistry Sciences, Professor

Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, Laboratory of Fire Extinguishing Materials, Materials, Head of the Laboratory

Address: Leningradskaya str., 14,  
220006, Minsk, Belarus

e-mail: bogdanova@bsu.by

ORCID: 0000-0002-8557-9925

**Кобец Ольга Игоревна**

кандидат химических наук

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», лаборатория огнетушащих материалов, ведущий научный сотрудник

Адрес: ул. Ленинградская, 14,  
220006, г. Минск, Беларусь

e-mail: kobetsoi@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6702-7430

**Ol'ga I. Kobets**

PhD in Chemical Sciences

Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, Laboratory of Fire Extinguishing Materials, Leading Researcher

Address: Leningradskaya str., 14,  
220006, Minsk, Belarus

e-mail: kobetsoi@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6702-7430

**Врублевский Александр Васильевич**

кандидат химических наук, доцент

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

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

e-mail: 63063@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4179-5407

**Alexander V. Vrublevsky**

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

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

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

e-mail: 63063@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4179-5407

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.367>

## DEPENDENCE OF FIRE RETARDANT AND FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY OF COMPOSITIONS BASED ON PHOSPHATES OF BIVALENT AND TRIVALENT AMMONIUM METALS ON THEIR PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES

**Bogdanova V.V., Kobets O.I., Vrublevsky A.V.**

*Purpose.* The object of research were fire-retardant and fire-extinguishing agents based on ammonium phosphates of bivalent and trivalent metals used for the treatment of forest combustible materials (FCM), including wood and peat.

The subject of the research was to determine the fire-retardant and fire-extinguishing effectiveness of these agents, depending on their physical and chemical properties determined by the conditions of synthesis.

The aim was to establish common traits or difference in the mechanism of inhibition of combustion of FCM by metallophosphate systems of various chemical compositions, as well as to reveal the role of the processes occurring in the condensed phase under the influence of their thermal decomposition products.

The main task was to study the physicochemical, thermal properties of fire-retardant and fire-extinguishing agents, as well as fire-protected samples of peat and other FCM in the temperature range on the burning surface of natural materials (200–500 °C).

*Methods.* X-ray phase analysis, differential scanning calorimetry, chemical analysis.

*Findings.* The factors determining the fire-retardant and fire-extinguishing efficiency of synthetic agents based on phosphates of bivalent and trivalent ammonium metals with controlled properties depending on the synthesis conditions with respect to FCM, wood and peat have been determined. A process has been established that has a dominant effect on stopping their combustion – inhibition of radical reactions in the gas phase by volatile nitrogen-containing products. At the same time, it was shown that when developing new fire-retardant and fire-extinguishing agents, it is necessary to take into account their properties such as the ability to form thermal insulating structures in the condensed phase.

*Application field of research.* The results obtained in this work can be used to create new fire-retardant and fire-extinguishing synthetic compositions based on ammonium phosphates of bivalent and trivalent metals for the treatment of forest fuels.

*Keywords:* flame retardants, wood, peat, metal-ammonium phosphates, physicochemical, thermal, fire-retardant properties.

(The date of submitting: September 21, 2020)

### REFERENCES

1. Grishin A.M. Obshchaya fiziko-matematicheskaya model' zazhiganiya i goreniya drevesiny [General physical and mathematical model of ignition and combustion of wood]. *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*, 2010. No. 2(10). Pp. 60–70. (rus)
2. Loboda E.L., Yakimov A.S. Modelirovanie protsessa zazhiganiya torfa [Modeling of peat ignition process]. *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*, 2012. No. 1(17). Pp. 91–102. (rus)
3. Timofeefa S.S., Drozdova T.I., Plotnikova G.V., Gol'chevskiy V.F. *Fiziko-khimicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozhara* [Physicochemical bases of development and extinguishing fire]: tutorial. Irkutsk: Irkutsk State Technical University, 2013. 178 p. (rus)
4. Lasuta G.F., Vrublevskiy A.V., Bulva A.D. *Lesnye i torfyanye pozhary na territorii Respubliki Belarus'* [Forest and peat fires on the territory of the Republic of Belarus]: tutorial. Minsk: Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus, 2010. 255 p. (rus)
5. Podrezov Yu.V. Tekhnologiya bor'by s prirodnyimi pozharami [Technology of fighting natural fires]. *Protivopozharnye i avariyno-spatatel'nye sredstva*, 2004. No. 2. Pp. 21–24. (rus)
6. Balandin V.V., Danov V.M., Podorozhnyy V.M., Sevast'yanov V.P., Faykov Yu.I., Yanbaev G.M. *Sposob i ustroystvo dlya lokalizatsii i tusheniya lesnogo pozhara* [Method and device for localizing and extinguishing a forest fire]: patent 2237501 Russia, MPK A 62 S 3/00. Published October 10, 2004. (rus)
7. Chaykin V.G., Vishnyakov A.K., Nepryakhin A.E. *Sposob predotvrashcheniya, lokalizatsii i tusheniya pozhara na torfyanykh mestorozhdeniyakh* [A method for preventing, localizing and extinguishing a fire in peat deposits]: patent 2290238 Russia, MPK A 62 S 3/02. Published December. 27, 2006. (rus)

8. Anthony C. Yu, Hector Lopez Hernandez, Andrew H. Kim, Lyndsay M. Stapleton, Reuben J. Brand, Eric T. Mellor, Cameron P. Bauer, Gregory D. McCurdy, Albert J. Wolff III, Doreen Chan, Craig S. Criddle, Jesse D. Acosta, Eric A. Appel. Wildfire prevention through prophylactic treatment of high-risk landscapes using viscoelastic retardant fluids. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019. – Vol. 116, No. 42. Pp. 20820–20827. DOI: 10.1073/pnas.1907855116.
9. Ivchenko O.A., Pankin K.E. Tushenie lesnykh goryuchikh materialov gidrogelyami na osnove gidroksida alyuminiya [Quenching of forest combustible materials with hydrogels based on aluminum hydroxide]. *Forest Engineering Journal*, 2019. No 1. Pp. 76–84. (rus). DOI: 10.12737/article\_5c92016e1314b2.49705560.
10. Liidakis S., Tsapara V., Agiovlasis I.P., Vorisis D. Thermal analysis of Pinus sylvestris L. wood samples treated with a new gel – mineral mixture of short- and long-term fire retardants. *Thermochimica Acta*, 2013. Vol. 568. Pp. 156–160. DOI: 10.1016/j.tca.2013.06.011.
11. Bogdanova, V.V. Ognegasyashchiy effekt zamedliteley goreniya v sinteticheskikh polimerakh i prirodnykh goryuchikh materialakh [Fire-extinguishing effect of combustion retarders in synthetic polymers and natural combustible materials]. *Khimicheskie problemy sozdaniya novykh materialov i tekhnologii: collected papers*. Ed. by O.A. Ivashkevicha. Minsk, 2003. Iss. 2. Pp. 344–375. (rus)
12. Bogdanova V.V., Kobets O.I. Synthesis and Physicochemical Properties of Di- and Trivalent Metal-Ammonium Phosphates. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014. Vol. 87, N. 10. Pp. 1387–1401. DOI: 10.1134/S1070427214100012.
13. Bogdanova V.V., Kobets O.I. Sintez, fiziko-khimicheskie i ogneshchitnye svoystva ammoniynykh metallofosfatov [Synthesis, physicochemical and fireproof properties of ammonium metallophosphates]. *Journal of the Belarusian State University. Chemistry. Biology. Geography*, 2009. Iss. 1. Pp. 34–39. (rus). Url: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/4711>.
14. Bogdanova V.V., Kobets O.I., Buraya O.N. Napravlennoe regulirovanie ogneshchitnoy i ogneshchitnoy effektivnosti N-P-soderzhashchikh antipirenov v sinteticheskikh i prirodnykh polimerakh [Directed regulation of fire retardant and fire extinguishing efficiency of N-P-containing fire retardants in synthetic and natural polymers]. *Combustion and Explosion*, 2019. Vol. 12. No. 2. Pp. 106–115. (rus). DOI: 10.30826/CE19120214.
15. Bogdanova V.V., Kobets O.I. Regulirovanie fiziko-khimicheskikh svoystv kompozitsiy na osnove fosfatov metallov-ammoniya, proyavlyayushchikh ogneshchitnyy i ogneshchitnyy effect [Regulation of the physicochemical properties of compositions based on metal-ammonium phosphates exhibiting a fire retardant and fire extinguishing effect]. *Sviridov readings: collected papers*. Ed. by O.A. Ivashkevicha. Minsk: Belarusian State University, 2011. Iss. 7. Pp. 21–27. (rus). Url: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/24996>.
16. Powder diffraction file: Search manual, Hanawalt method inorganic. *JCPDS – International Centre for Diffraction Data*. Swarthmore, Pa.: The Centre, 1989. 1160 p.
17. Bayramov V.M. *Osnovy khimicheskoy kinetiki i kataliza* [Fundamentals of chemical kinetics and catalysis]: tutorial. Moscow: Academia, 2003. 256 p. (rus)
18. Marchenko Z. *Fotometricheskoe opredelenie elementov* [Photometric determination of elements]: monograph. Moscow: Mir, 1971. 570 p. (rus)
19. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. *Gorenie drevesiny i ee pozharoопасnye svoystva* [Burning wood and its fire-hazardous properties]: monograph. Moscow: State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 2010. 160 p. (rus)
20. Zhao W., Chen H., Liu N., Zhou J. Thermogravimetric analysis of peat decomposition under different oxygen concentrations. *J. Therm. Anal. Calorim*, 2014. No. 7. Pp. 1–9. DOI: 10.1007/s10973-014-3696-4.
21. Khoroshavin L.B., Medvedev O.A., Belyakov V.A., Mikheeva E.V., Rudnov V.S., Baytimirova E.A. *Torf: vozgoranie torfa, tushenie torfyanikov i torfokompozity* [Peat: peat ignition, peat extinguishing and peat composites]: monograph. Moscow: All-Russian Research Institute for Civil Defence of the EMERCOM of Russia (the Federal Science and High Technology Center), 2013. 255 p. (rus)
22. Diitenberger M.A., Hasburgh L.E. Wood Products: Thermal Degradation and Fire. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 2016. Pp. 1–7. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.03338-5.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.378>

УДК 681.586.5::614.825

## ДАТЧИК НАПРЯЖЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЩЕЛЕВЫХ ВОЛНОВОДОВ С ЗАПОЛНЕНИЕМ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИМ ПОЛИМЕРОМ

Гончаренко И.А., Рябцев В.Н., Ильюшонок А.В., Навроцкий О.Д.

*Цель.* Разработать структуру и принципы функционирования оптического датчика напряженности высокочастотных внешних электрических полей.

*Методы.* На основе метода линий рассчитаны постоянные распространения и распределения полей мод полосковых волноводов с вертикальными и горизонтальными щелями, заполненными электрооптическим полимером SEO125.

*Результаты.* Предложена структура и принципы функционирования датчика высокочастотных внешних электрических полей на базе кольцевых микрорезонаторов на основе волноводов с горизонтальной и вертикальной щелями, заполненными электрооптическим полимером. Датчик позволяет измерять переменные электрические поля с частотой до 10 МГц. Чувствительность датчика ограничена параметрами фотоприемника, в частности, величиной темнового тока. При использовании фотоприемника, рассмотренного в работе, датчик позволяет измерять изменения напряженности электрического поля порядка 30 В/м.

*Область применения исследований.* Определение пожароопасных и поражающих проявлений электрического поля при ликвидации чрезвычайных ситуаций вблизи установок, находящихся под напряжением.

*Ключевые слова:* кольцевой микрорезонатор, щелевой волновод, оптический датчик, электрооптический полимер, эффективный показатель преломления, напряженность электрического поля.

(Поступила в редакцию 12 октября 2020 г.)

### Введение

Измерения электрических полей играют значительную роль в различных областях науки и техники, например при мониторинге электрических полей в медицинской аппаратуре, баллистическом контроле, измерениях электромагнитной совместимости, тестировании СВЧ интегральных схем, обнаружении направленных атак энергетического оружия. Датчики электрических полей весьма перспективны для использования при детектировании СВЧ-волн высокой мощности, электромагнитных импульсов, анализе внешних электромагнитных помех, проверке электромагнитной совместимости, исследованиях влияния электромагнитного излучения на здоровье человека и т.д.

Сведения о напряженности электрических полей требуются и в других областях – в нефтяной (при перекачке, транспортировке и хранении нефтепродуктов), химической, текстильной и электронной промышленности (т. е. там, где возникает вероятность появления электрических зарядов, приводящих к взрыву или пожарам). Подобные датчики полезны Министерству по чрезвычайным ситуациям, например, при ликвидации последствий разрушений зданий и сооружений, где аварии на коммунально-энергетических сетях могут стать причиной поражения электрическим током, возникновения пожаров вследствие коротких замыканий и возгораний газа. Применение подобных устройств бесконтактного измерения напряженности электрических полей позволит работникам МЧС и аварийно-спасательным службам оперативно и качественно проводить разведку местности, выявлять потенциально опасные участки, способствует успешной ликвидации чрезвычайных ситуаций и уменьшению материального ущерба. Обычные системы измерения электромагнитных волн используют активные металлические зонды, которые вызывают возмущения измеряемых электромагнитных волн и делают датчики очень чувствительными к электромагнитным шумам.



Оптические датчики электрического поля имеют значительные преимущества перед их электронными аналогами благодаря малым размерам, меньшему весу, более высокой чувствительности, широкому спектральному диапазону, защищенности канала передачи данных от воздействия помех [1]. Наибольшей чувствительностью обладают оптические датчики электрического поля на базе интерферометров Маха – Цендера или кольцевых резонаторов [2; 3].

В работе рассматривается структура и принцип работы оптического датчика высокочастотных электромагнитных полей на основе микрокольцевых резонаторов на базе оптических волноводов с горизонтальной и вертикальной щелью, заполненной электрооптическим полимером (ЭОП).

**Структурная схема и принципы функционирования датчика.** Основу датчика составляет замкнутый кольцевой резонатор микронных размеров на основе полосковых волноводов.

Коэффициент пропускания резонатора  $T$  (относительная интенсивность сигнала на выходе резонатора) в стационарном состоянии определяется выражением [4]:

$$T = \frac{E_1^2}{E_0^2} = \frac{k_1^2 k_2^2}{1 - 2r_1 r_2 \alpha \cos \varphi + r_1^2 r_2^2 \alpha^2}, \quad (1)$$

где  $E_0$  и  $E_1$  – амплитуды оптического сигнала соответственно на входе и выходе резонатора, В/м;  $r_1, r_2$  – коэффициенты передачи поля соответственно на входном и выходном волноводах;  $k_1, k_2$  – коэффициенты связи кольцевого волновода резонатора с входным и выходным волноводами;  $r_1^2 + k_1^2 = 1, r_2^2 + k_2^2 = 1$ ;  $\alpha$  – коэффициент потерь оптической волны в резонаторе;  $\varphi$  – набег фазы сигнала в резонаторе:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} L_p n_{\text{эф}}; \quad (2)$$

$n_{\text{эф}}$  – эффективный показатель преломления моды волновода;  $\lambda$  – длина волны излучения, м;  $L_p = 2\pi R$  – геометрическая длина резонатора, м;  $R$  – радиус резонатора, м. Таким образом, коэффициент пропускания является функцией эффективного показателя преломления моды волновода резонатора  $n_{\text{эф}}$ .

Резонансная длина волны кольцевого резонатора зависит от эффективного (волноводного) показателя преломления  $n_{\text{эф}}$  моды щелевого волновода как:

$$\lambda_{\text{рез}} = \frac{L_p}{m} n_{\text{эф}}, \quad (3)$$

где  $m$  – порядок резонаторной моды ( $m = 1, 2, \dots$ ).

Любые изменения эффективного (волноводного) показателя преломления приводят к изменению резонансной длины волны. В результате интенсивность выходного сигнала на несущей длине волны, совпадающей с резонансной длиной волны невозмущенного резонатора, изменяется.

Микрокольцевой резонатор может быть создан на базе щелевого волновода. В этом случае щель в таком волноводе можно заполнить веществом, чувствительным к определенному параметру, и использовать в качестве датчиков. Для измерения электрических полей наиболее перспективными выглядят оптические схемы с использованием электрооптических материалов. Ранее нами была рассмотрена схема датчика электрического поля с использованием жидких кристаллов (ЖК) [3].

Щелевой волновод состоит из двух полосок материала с высоким показателем преломления, разделенных областью (щелью) материала с низким показателем преломления, размеры щели меньше длины волны. Такие щели могут располагаться вертикально [5; 6]

либо горизонтально [7; 8] в виде слоистой структуры. Поскольку электрические поля неразрывны на границе раздела материалов с разными показателями преломления, можно достичь большой оптической интенсивности в области щели. Щель в таком волноводе можно заполнить веществом, чувствительным к определенному параметру. Поле моды в области щели относительно велико, поэтому изменения показателя преломления материала щели сильно влияют на направляющие свойства волновода. Таким образом, можно увеличить чувствительность датчика.

Если щелевой волновод с заполнением ЭОП внести во внешнее электрическое поле, показатель преломления ЭОП изменится пропорционально величине электрического поля на величину:

$$\Delta n = n_0 - \frac{1}{2} n_0^3 r_{33} E_{\text{ext}}, \quad (4)$$

где  $n_0$  – показатель преломления полимера в отсутствие электрического поля;  $r_{33}$  – электрооптический коэффициент полимера, м/В;  $E_{\text{ext}}$  – напряженность приложенного внешнего электрического поля, В/м. Для полимера SEO125 для длины волны 1550 нм показатель преломления равен  $n_0 = 1,63$ , а оценочная величина электрооптического коэффициента составляет  $r_{33} = 100$  пм/В [9]. Это, в свою очередь, приведет к изменению эффективного показателя преломления направляемой моды щелевого волновода.

Изменения  $n_{\text{эф}}$  приводят к изменениям интенсивности выходного сигнала на несущей длине волны, совпадающей с резонансной длиной волны невозмущенного резонатора. Таким образом, измеряя интенсивность выходного оптического сигнала на выходе резонатора, можно определять напряженность внешнего электрического поля.

Структурная схема микрокольцевого резонатора на основе волноводов с вертикальной (а) и горизонтальной (б) щелью с заполнением ЭОП представлена на рисунке 1. Щелевой волновод выполняется из  $\text{Si}_3\text{N}_4$  или кремния и расположен на кремниевой подложке. Для того чтобы получить условие полного внутреннего отражения, между волноводом и подложкой располагается буферный слой  $\text{SiO}_2$  с показателем преломления, меньшим показателя преломления волновода. Электрооптический полимер SEO125 заполняет вертикальную или горизонтальную щель кольцевого волновода. Для ввода и вывода оптического сигнала из кольцевого резонатора используются прямые оптические волноводы, связанные с кольцевым волноводом через спадающие поля и расположенные на той же подложке. Общая ширина щелевого волновода составляла 1000 нм, высота – 300 нм.

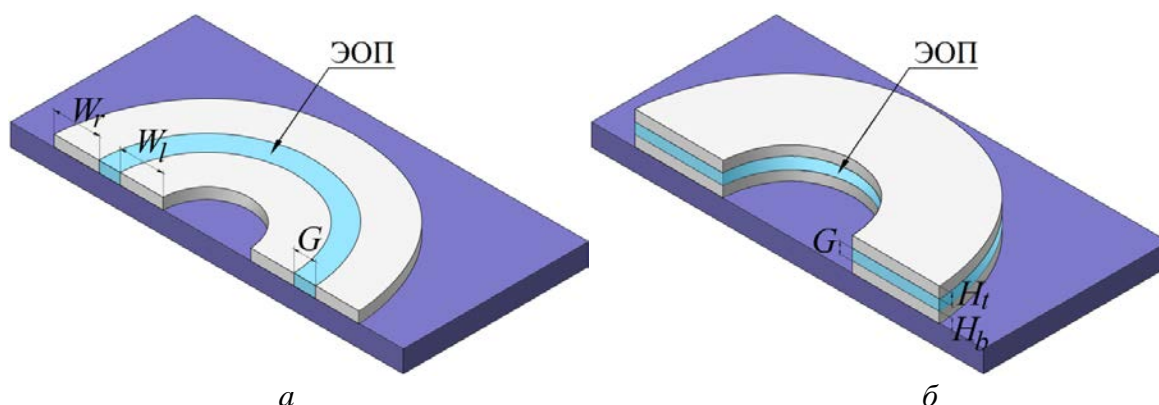


Рисунок 1. – Структуры микрокольцевого резонатора на основе волноводов с вертикальной (а) и горизонтальной (б) щелью с заполнением ЭОП, где  $G$  – ширина щели,  $W_r$ ,  $W_l$  – ширина правой и левой полоски,  $H_t$ ,  $H_b$  – толщина верхней и нижней полоски щелевого волновода

**Быстродействие датчика.** Быстродействие устройства определяется временем установления стационарного режима в кольцевом микрорезонаторе и временем отклика электрооптического материала.

Амплитуда электрического поля  $E_1$ , циркулирующего в резонаторе оптического сигнала, в момент времени  $t$  определяется выражением [10]:

$$E_1(t) = -jk_1 E_0 + r_1 r_2 \alpha E_1(t - \tau) e^{j\varphi}, \quad (5)$$

где  $\tau$  – время полного прохождения оптического сигнала по резонатору, с.

Изменение интенсивности оптического сигнала  $E_1 E_1^*$  на выходе кольцевого резонатора с радиусом изгиба 32 мкм представлено на рисунке 2. Как следует из рисунка, через определенный временной интервал интенсивность оптического сигнала в резонаторе достигает насыщения, и в резонаторе устанавливается стационарный режим. Время установления стационарного режима составляет 25 пс. Это соответствует частоте порядка 40 МГц.

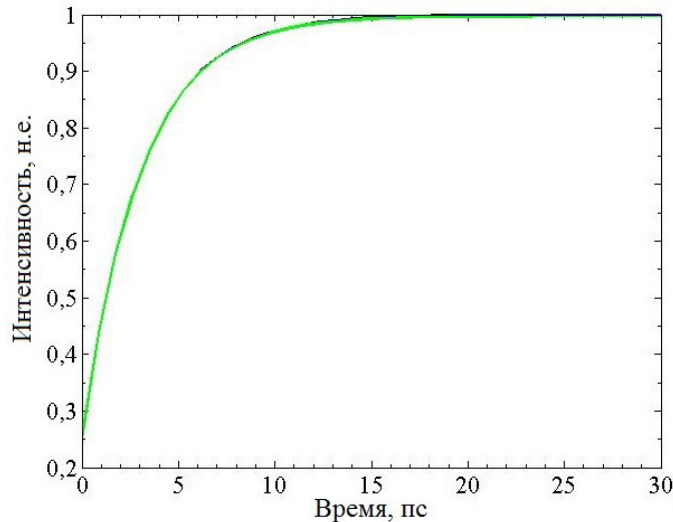


Рисунок 2. – Зависимость интенсивности оптического сигнала в волноводном кольцевом резонаторе с радиусом 32 мкм и коэффициентом связи 0,5 от времени

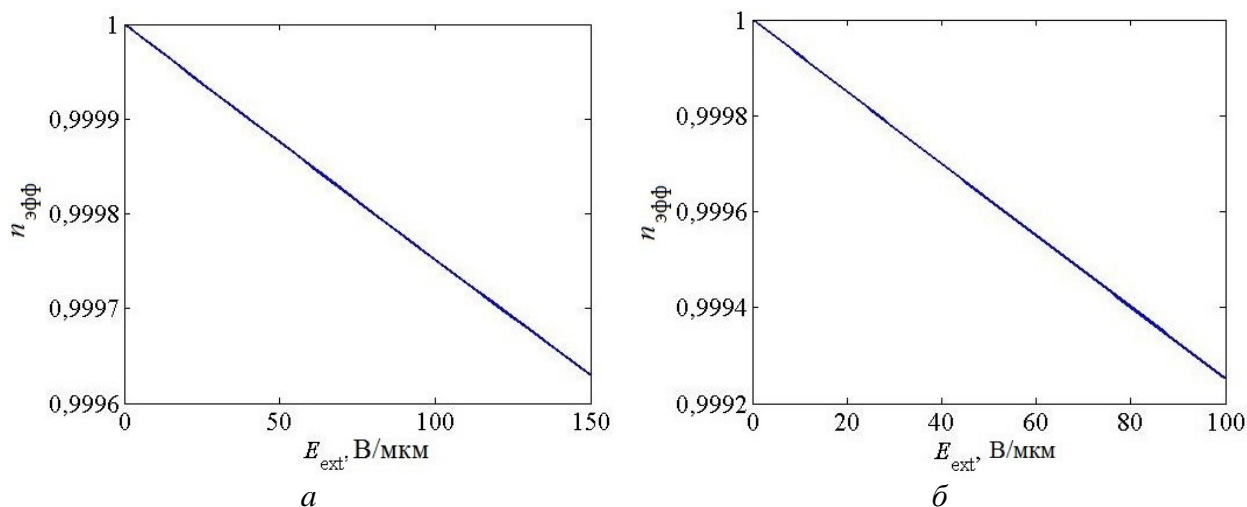
Время отклика ЖК может быть рассчитано с помощью выражений из работы [11]. При напряжении порядка 10 В и ширине слоя ЖК (ширине щели), равном 100 и 300 нм, время отклика для нематического жидкого кристалла 5СВ составляет порядка 0,1 мс. Таким образом, датчики на базе кольцевых микрорезонаторов на основе щелевых волноводов с ЖК заполнением позволяют измерять переменные электрические поля с частотами лишь до десятков кГц, поскольку их быстродействие ограничено временем отклика ЖК.

Для того чтобы увеличить быстродействие датчика, вместо ЖК можно использовать электрооптические полимеры. Такие материалы позволяют измерять переменные электрические поля с частотой 1–10 ГГц [9; 12]. В частности, в работе [9] экспериментально продемонстрирована возможность определения напряженности переменного электрического поля с частотой до 8,4 ГГц с использованием активного органического полимера SEO125. Такой полимер обладает малыми оптическими потерями для излучения с длиной волны 1550 нм, большим электрооптическим коэффициентом и хорошей временной стабильностью.

**Чувствительность и измерительный диапазон датчика.** Расчет эффективного показателя преломления и распределение полей мод изогнутых щелевых волноводов с заполнением ЭОП проводился с помощью метода линий [13; 14], модифицированного для исследуемой структуры. При проведении расчетов не учитывались потери на входе/выходе оптического излучения в волновод и потери на излучение.

Зависимость нормализованного эффективного показателя преломления основных мод волноводов с вертикальной и горизонтальной щелями, заполненными ЭОП, от приложенного электрического поля представлена на рисунке 3. Как видно из рисунков, эффективный показатель преломления моды волновода и, соответственно, оптическая длина кольцевого

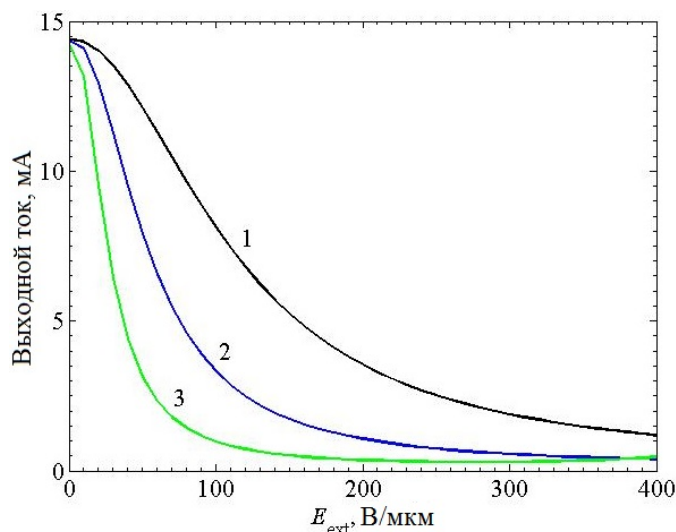
резонатора изменяются пропорционально величине напряженности электрического поля, воздействующего на резонатор.



**Рисунок 3. – Зависимость нормализованного эффективного показателя преломления основной моды изогнутого волновода с вертикальной (а) и горизонтальной (б) щелями с заполнением ЭОП от напряженности внешнего электрического поля**

Для оценки чувствительности датчика проанализирована зависимость интенсивности сигнала на выходе резонатора от напряженности внешнего электрического поля при различных параметрах резонатора. В качестве начальных параметров оптического излучения использовались параметры полупроводникового лазера FU-68PDF-V510M с выходной оптической мощностью 15 мВт на длине волны 1,5 мкм. Оптическое излучение на выходе из кольцевого резонатора преобразовывалось в электрический сигнал р-і-п фотодиодом ФД161 на основе соединения InGaAs. Токовая чувствительность такого фотодиода на рабочей длине волны 1,5 мкм не менее 0,8 А/Вт, темновой ток – не более 20 нА.

На рисунке 4 представлена зависимость сигнала на выходе резонатора на базе изогнутого волновода с вертикальной щелью с заполнением ЭОП при различных радиусах резонатора от напряженности внешнего электрического поля.



**Рисунок 4. – Зависимость сигнала на выходе кольцевого резонатора на основе волновода с вертикальной щелью с заполнением ЭОП от напряженности электрического поля. Ширина щели 400 нм, радиус изгиба волновода 16 (1), 32 (2), 64 (3) мкм**

Наклон кривых, описывающих зависимость выходного сигнала от интенсивности воздействия электрического поля, характеризует чувствительность датчика. Чувствительность и измерительный диапазон датчика на основе волновода с вертикальной щелью с заполнением ЭОП с шириной щели 400 нм и различными радиусами резонатора представлены в таблице 1. Как видно из рисунка и таблицы, чувствительность микрорезонатора к электрическому полю увеличивается при увеличении радиуса резонатора (его оптической длины). При этом диапазон измерения уменьшается. Датчики на основе вертикальных щелевых волноводов с заполнением ЭОП могут быть использованы для измерения внешних электрических полей в пределах от 10 до  $3 \times 10^8$  В/м. Изменение напряженности электрического поля на 1 В/м вызывает изменение тока фотодиода в таком датчике примерно на 0,2 нА (чувствительность датчика равна 0,2 нА/(В/м)). Поскольку темновой ток фотоприемника порядка 20 нА, очевидно, что такой датчик не позволяет отслеживать изменения напряженности внешнего электрического поля менее чем на 100 В/м. Таким образом, датчик на основе волновода с вертикальной щелью может быть использован для измерений напряженности электрического поля с точностью до 200–500 В/м.

Таблица 1. – Параметры датчика на основе волновода с вертикальной щелью с заполнением ЭОП с шириной щели 400 нм

Радиус резонатора, мкм	16	32	64
Диапазон измерений, В/мкм	10...300	10...130	10...50
Чувствительность, нА/(В/м)	0,043	0,102	0,283

На рисунке 5 показана зависимость сигнала на выходе кольцевого микрорезонатора на базе волновода с горизонтальной щелью, заполненной ЭОП, от напряженности внешнего электрического поля. Чувствительность и измерительный диапазон датчика на основе волновода с горизонтальной щелью с заполнением ЭОП с высотой щели 400 нм и различными радиусами резонатора представлены в таблице 2.

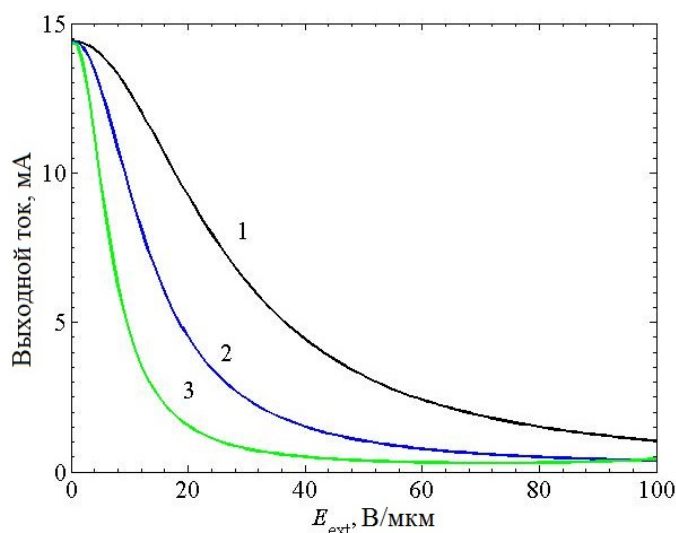


Рисунок 5. – Зависимость сигнала на выходе кольцевого резонатора на основе волновода с горизонтальной щелью с заполнением ЭОП от напряженности электрического поля.

Высота щели 400 нм, радиус резонатора 16 (1), 32 (2), 64 (3) мкм

Таблица 2. – Параметры датчика на основе волновода с горизонтальной щелью с заполнением ЭОП с высотой щели 400 нм

Радиус резонатора, мкм	16	32	64
Диапазон измерений, В/мкм	1...47	1...24	1...12
Чувствительность, нА/(В/м)	0,237	0,474	0,982

Как видно из рисунка и таблицы, датчики на основе горизонтальных щелевых волноводов более чувствительны к электрическому полю, чем вертикальные щелевые волноводы. Возможная причина этого – большие размеры горизонтальной щели и, следовательно, большее количество заполняющего ее ЭОП. При изменении напряженности электрического поля на 1 В/м ток фотодиода в таком датчике изменяется примерно на 1 нА (чувствительность датчика равна 1 нА/(В/м)). Таким образом, датчик позволяет отслеживать изменение интенсивности электрического поля порядка 30–50 В/м. Однако ширина диапазона измерений значительно уже в сравнении с датчиком с вертикальной щелью (порядка  $2 \times 10^7$  В/м). При этом диапазон измерений может быть смещен выбором параметров резонатора или несущей длины волны оптического излучения. Таким образом, волноводы с вертикальной щелью можно использовать для грубого определения напряженности электрического поля, а резонаторы с горизонтально-щелевыми волноводами – для более точного ее измерения.

### Заключение

В работе предложена структура и принципы функционирования датчика высокочастотных внешних электрических полей на базе кольцевых микрорезонаторов на основе волноводов с горизонтальной и вертикальной щелями, заполненными ЭОП. Использование резонатора позволяет повысить чувствительность датчика. Горизонтально-щелевые волноводы более чувствительны к напряженности электрического поля, чем волноводы с вертикальной щелью. Однако волноводы с вертикальной щелью позволяют определять электрические поля в большем диапазоне величин напряженности. Таким образом, датчик может быть сконструирован одновременно из резонаторов на базе вертикально- и горизонтально-щелевых волноводов. Волноводы с вертикальной щелью можно использовать для грубого определения напряженности электрического поля (десятичные разряды), а резонаторы с горизонтально-щелевыми волноводами – для более точного ее измерения (единичные разряды).

Датчик позволяет измерять переменные электрические поля с частотой до 10 МГц. Чувствительность датчика ограничена параметрами фотоприемника, в частности величиной темнового тока. При использовании фотоприемника, рассмотренного в работе, датчик позволяет измерять изменения напряженности электрического поля порядка 30 В/м. Чувствительность датчика с ЭОП на порядок хуже, чем у аналогичного устройства с использованием ЖК [3]. Это объясняется тем, что изменения показателя ЭОП под воздействием электрического поля на несколько порядков меньше, чем у ЖК. Однако устройство с ЭОП позволяет измерять поля с частотой до 10 МГц, тогда как датчик с ЖК – лишь до десятка кГц. Тем не менее разрешение предложенного устройства значительно выше, чем разрешение датчиков на основе нерезонансных структур и сравнимо с разрешением датчиков, использующих резонансные структуры (антенны, кольцевые резонаторы).

Датчик позволяет определять пожароопасные и поражающие проявления электрического поля при ликвидации чрезвычайных ситуаций вблизи установок, находящихся под напряжением.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Passaro, V.M.N. Electromagnetic field photonic sensors / V.M.N. Passaro, F. Dell'Olio, F. De Leonardis // *Progress in Quantum Electronics*. – 2006. – Vol. 30, iss. 2–3. – P. 45–73. DOI: 10.1016/j.pquantelec.2006.08.001.
2. Tajima, K. Development of optical isotropic E-field sensor operating more than 10GHz using Mach-Zehnder interferometers / K. Tajima, R. Kobayashi, N. Kuwabara, M. Tokuda // *IEICE Trans. Electron.* – 2002. – Vol. 85, iss. 4. – P. 961–968.
3. Goncharenko, I. Electric field sensing with liquid-crystal-filled slot waveguide microring resonators / I. Goncharenko, M. Marciniak, V. Reabtsev // *Applied Optics*. – 2017. – Vol. 56, iss. 27. – P. 7629–7635. DOI: 10.1364/AO.56.007629.
4. Rabiei, P. Polymer micro-ring filters and modulator / P. Rabiei, W.H. Steier, Cheng Zhang, L.R. Dalton // *J. Lightwave Technology*. – 2002. – Vol. 20, iss. 11. – P. 1968–1974. DOI: 10.1109/JLT.2002.803058.

5. Almeida, V.R. Guiding and confining light in void nanostructure / V.R. Almeida, Q. Xu, C. A. Barrios, M. Lipson // *Optics Letters*. – 2004. – Vol. 29, iss. 11. – P. 1209–1211. DOI: 10.1364/OL.29.001209.
6. Passaro, V.M.N. Guided-wave optical biosensors / V.M.N. Passaro, F. Dell’Olio, B. Casamassima, F. De Leonardis // *Sensors*. – 2007. – Vol. 7. – P. 508–536. DOI: 10.3390/s7040508.
7. Cheng, N.C. Horizontal slot waveguides for polarization branching control / N.C. Cheng, Y.F. Ma, P.H. Fu, C.C. Chin, D.W. Huang // *Applied Optics*. – 2015. – Vol. 54, iss. 3. – P. 436–443. DOI: 10.1364/AO.54.000436.
8. Viphavakit, C. Optimization of a horizontal slot waveguide biosensor to detect DNA hybridization / C. Viphavakit, M. Komodromos, C. Themistos, W.S. Mohammed, K. Kalli, B.M.A. Rahman // *Applied Optics*. – 2015. – Vol. 54, iss. 15. – P. 4881–4888. DOI: 10.1364/AO.54.004881.
9. Zhang, X. Integrated photonic electromagnetic field sensor based on broadband bowtie antenna coupled silicon organic hybrid modulator / X. Zhang, A. Hosseini, H. Subbaraman, S. Wang, Q. Zhan, J. Luo, A. K.-Y. Jen, R.T. Chen // *J. Lightwave Technology*. – 2014. – Vol. 32, iss. 20. – P. 3774–3784. DOI: 10.1109/JLT.2014.2319152.
10. Ibrahim, T.A. Lightwave switching in semiconductor microring devices by free carrier injection / T.A. Ibrahim, W. Cao, Y. Kim, J. Li, J. Goldhar, P.-T. Ho, C.H. Lee // *J. Lightwave Technol.* – 2003. – Vol. 21, iss. 12. – P. 2997–3003. DOI: 10.1109/JLT.2003.819800.
11. Shenoy, M.R. An electrically-controlled nematic liquid crystal core waveguide with a low switching threshold / M.R. Shenoy, M. Sharma, A. Sinha // *J. Lightwave Technology*. – 2015. – Vol. 33, iss. 10. – P. 1948–1953. DOI: 10.1109/JLT.2015.2404337.
12. Lin, Che-Yun. High dynamic range electric field sensor for electromagnetic pulse detection / Che-Yun Lin, Alan X. Wang, Beom Suk Lee, Xingyu Zhang, Ray T. Chen // *Optics Express*. – 2011. – Vol. 19, iss. 18. – P.17372–17377. DOI: 10.1364/OE.19.017372.
13. Pregla, R. The method of lines for the analysis of dielectric waveguide bends / R. Pregla // *J. Lightwave Technology*. – 1996. – Vol. 14, iss.4. – P. 634–639. DOI: 10.1109/50.491403.
14. Гончаренко, И.А. Метод расчета изогнутых микроструктурированных волноводов с несколькими сердцевинами / И.А. Гончаренко, В.Н. Рябцев // *Весті НАН Беларусі. Серыя фіз.-мат. навук*. – 2015. – № 4. – С. 87–95.

**Датчик напряженности высокочастотных электрических полей на основе щелевых волноводов с заполнением электрооптическим полимером**

**Sensor of high frequency electric fields intensity on the base of slot waveguides with electro-optic polymer filling**

**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  
e-mail: igor02@tut.by  
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  
e-mail: igor02@tut.by  
ORCID: 0000-0002-8063-8068

**Рябцев Виталий Николаевич**

кандидат технических наук

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: v.reabtsev@ucp.by  
ORCID: 0000-0002-2830-591X

**Vitaly N. Ryabtsev**

PhD in Technical Sciences

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  
e-mail: v.reabtsev@ucp.by  
ORCID: 0000-0002-2830-591X

**Ильюшонко 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  
e-mail: iav@tut.by  
ORCID: 0000-0001-7523-4483

**Alexander V. Il'yushonok**

PhD in Physics and Mathematics Sciences,  
Associate Professor

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: iav@tut.by  
ORCID: 0000-0001-7523-4483

**Навроцкий Олег Дмитриевич**

кандидат технических наук

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  
e-mail: onav@tut.by  
ORCID: 0000-0002-4137-2519

**Oleg D. Navrotskiy**

PhD in Technical Sciences

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: onav@tut.by  
ORCID: 0000-0002-4137-2519



DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.378>

## SENSOR OF HIGH FREQUENCY ELECTRIC FIELDS INTENSITY ON THE BASE OF SLOT WAVEGUIDES WITH ELECTRO-OPTIC POLYMER FILLING

Goncharenko I.A., Reabtsev V.N., Il'yushonok A.V., Navrotskiy O.D.

*Purpose.* Development of the structure and operation principles of high frequency electric fields intensity optical sensor.

*Methods.* Method of lines was used for calculation of propagation constants and mode electric fields distribution of strip waveguides with vertical and horizontal slots filled with electro-optical polymer SEO125.

*Findings.* The structure and operation principles of high frequency electric fields intensity sensor on the base of slot waveguides with vertical and horizontal slots filled with electro-optical polymer are proposed. Sensor makes it possible measuring the variable electric fields with frequencies up to 10 MHz. The sensor sensitivity order is of 30 V/m.

*Application field of research.* Determination of fire-dangerous and injurious factors of electric field during emergencies elimination.

*Keywords:* ring microresonator, slot waveguide, optical sensor, electro-optical polymer, effective index, electric field intensity.

(The date of submitting: October 12, 2020)

### REFERENCES

1. Passaro V.M.N., Dell'Olio F., Leonardis F. De. Electromagnetic field photonic sensors. *Progress in Quantum Electronics*, 2006. Vol. 30, Iss. 2–3. P. 45–73. DOI: 10.1016/j.pquantelec.2006.08.001.
2. Tajima K., Kobayashi R., Kuwabara N., Tokuda M. Development of optical isotropic E-field sensor operating more than 10GHz using Mach-Zehnder interferometers. *IEICE Trans. Electron*, 2002. Vol. 85, Iss. 4. P. 961–968.
3. Goncharenko I., Marciniak M., Reabtsev V. Electric field sensing with liquid-crystal-filled slot waveguide microring resonators. *Applied Optics*, 2017. Vol. 56, Iss. 27. P. 7629–7635. DOI: 10.1364/AO.56.007629.
4. Rabiei P., Steier W.H., Zhang Cheng, Dalton L.R. Polymer micro-ring filters and modulator. *J. Lightwave Technology*, 2002. Vol. 20, Iss. 11. P. 1968–1974. DOI: 10.1109/JLT.2002.803058.
5. Almeida V.R., Xu Q., Barrios C.A., Lipson M. Guiding and confining light in void nanostructure. *Optics Letters*, 2004. Vol. 29, Iss. 11. P. 1209–1211. DOI: 10.1364/OL.29.001209.
6. Passaro V.M.N., Dell'Olio F., Casamassima B., Leonardis F. De. Guided-wave optical biosensors. *Sensors*, 2007. Vol. 7. P. 508–536. DOI: 10.3390/s7040508.
7. Cheng N.C., Ma Y. F., Fu P. H., Chin C. C., Huang D.W. Horizontal slot waveguides for polarization branching control. *Applied Optics*, 2015. Vol. 54, Iss. 3. P. 436–443. DOI: 10.1364/AO.54.000436.
8. Viphavakit C., Komodromos M., Themistos C., Mohammed W. S., Kalli K., Rahman B. M. A. Optimization of a horizontal slot waveguide biosensor to detect DNA hybridization. *Applied Optics*, 2015. Vol. 54, iss. 15. P. 4881–4888. DOI: 10.1364/AO.54.004881.
9. Zhang X., Hosseini A., Subbaraman H., Wang S., Zhan Q., Luo J., Jen A. K.-Y., Chen R. T. Integrated photonic electromagnetic field sensor based on broadband bowtie antenna coupled silicon organic hybrid modulator. *J. Lightwave Technology*, 2014. Vol. 32, Iss. 20. P. 3774–3784. DOI: 10.1109/JLT.2014.2319152.
10. Ibrahim T.A., Cao W., Kim Y., Li J., Goldhar J., Ho P.-T., Lee C.H. Lightwave switching in semiconductor microring devices by free carrier injection. *J. Lightwave Technol*, 2003. Vol. 21, Iss. 12. P. 2997–3003. DOI: 10.1109/JLT.2003.819800.
11. Shenoy M.R., Sharma M., Sinha A. An electrically-controlled nematic liquid crystal core waveguide with a low switching threshold. *J. Lightwave Technology*, 2015. Vol. 33, Iss. 10. P. 1948–1953. DOI: 10.1109/JLT.2015.2404337.
12. Lin Che-Yun., Wang Alan X., Lee Beom Suk, Zhang Xingyu, Chen Ray T. High dynamic range electric field sensor for electromagnetic pulse detection. *Optics Express*, 2011. Vol. 19, Iss. 18. P.17372–17377. DOI: 10.1364/OE.19.017372.

13. Pregla R. The method of lines for the analysis of dielectric waveguide bends. *J. Lightwave Technology*, 1996. Vol. 14, Iss. 4. P. 634–639. DOI: 10.1109/50.491403.
14. Goncharenko I.A., Ryabtsev V.N. Metod rascheta izognutykh mikrostrukturirovannykh volnovodov s neskol'kimi serdtsevinami [Method for calculating bent microstructured multi-core waveguides and]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physics and Mathematics Series*, 2015. No. 4. Pp. 87–95. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.389>

УДК 614.846.63:681.586.7

## НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ АГРЕГАТОВ И УЗЛОВ ПОЖАРНОЙ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Бирюк В.А., Пасовец В.Н., Журов М.М.

*Цель.* Обоснование применения современных методов оценки и контроля состояния пожарной аварийно-спасательной техники с целью обеспечения ее безотказной эксплуатации.

*Методы.* Неразрушающий контроль, компьютерное моделирование, тензометрия.

*Результаты.* Выполнен обзор существующих методов оценки и контроля технического состояния агрегатов и узлов пожарной аварийно-спасательной техники. Представлены отдельные результаты их применения. Дана оценка возможности применения методов неразрушающего контроля.

*Область применения исследований.* Пожарная аварийно-спасательная техника, сварные соединения технических объектов.

*Ключевые слова:* пожарный автомобиль, автоцистерна, деформации, механические напряжения, датчик, методы неразрушающего контроля, сварное соединение.

(Поступила в редакцию 2 июня 2020 г.)

### Введение

Проведение аварийно-спасательных работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера требует применения современной пожарной аварийно-спасательной техники. Поэтому проведение своевременной диагностики и реализация мероприятий по ее обновлению и модернизации – одна из приоритетных задач Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Наиболее универсальным и распространенным видом среди основных пожарных автомобилей является пожарная автоцистерна. При ее производстве формируется большое количество сварных соединений, качество выполнения которых во многом определяет боевую готовность. Производственный контроль выпускаемой продукции в виде пожарных автоцистерн включает проверку водопенных коммуникаций и цистерны на герметичность, при этом в основном используется только один метод – течеискание<sup>1</sup>. Необходимо отметить, что цистерны изготавливаются из нержавеющей стали 12Х17 (AISI 430 2В), а процесс ее сварки имеет ряд технологических особенностей, обусловленных наличием в стали 17 % хрома, пониженной теплопроводностью и высоким коэффициентом термического расширения.

Воздействие циклических динамических нагрузок при эксплуатации, возникновение коррозии внутренних стенок цистерн в условиях повышенной влажности, несвоевременный и недостаточный контроль при эксплуатации и обслуживании ведут к преждевременному выходу из строя пожарных автоцистерн [1; 2]. Устранение возникающих неисправностей ведет к простоям техники и снижению боеспособности подразделения, в некоторых случаях – в течение продолжительного периода.

Анализ статистических данных показывает, что только в Минске состоит на вооружении более 20 % пожарных автоцистерн со сроком эксплуатации старше 10 лет, что превышает нормативные значения срока службы пожарного автомобиля в Республике Беларусь. В связи с этим существует высокая вероятность выхода из строя деталей, узлов и агрегатов как шасси автомобиля, так и пожарной надстройки, сопровождающегося последующим выводом автомобиля из боевого дежурства и его постановкой на ремонт. Поэтому применение

<sup>1</sup> Автомобили пожарные основные. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2511-2017. – Введ. 31.07.17. – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2017. – 52 с.

современных научно обоснованных методов контроля состояния конструкции пожарных автоцистерн позволит повысить их эксплуатационную надежность и увеличить межремонтный период.

Цель работы – обоснование применения современных методов оценки и контроля пожарной аварийно-спасательной техники с целью обеспечения ее безотказной эксплуатации.

### Основная часть

В настоящее время для осуществления контроля качества сварных соединений технического оборудования широко применяются методы неразрушающего контроля<sup>2</sup>. Одним из наиболее распространенных является метод визуального неразрушающего контроля. При использовании данного метода возможно обнаружение таких дефектов сварных соединений, как поверхностная трещина, свищ, прожог, линейное и угловое смещение, несплавление свариваемых материалов<sup>3</sup>. При этом для выполнения работ могут использоваться комплекты визуального инспекторского контроля, например ВИК-1, состоящий из следующих инструментов: универсальный шаблон сварщика УШС-3, лупа ЛПК-471 (двукратная), лупа измерительная ЛИ-10 (десятикратная), штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 с глубиномером, линейка металлическая Л-150 (150 мм), набор радиусных шаблонов № 1 ( $R = 1 \dots 6$  мм), набор радиусных шаблонов № 3 ( $R = 7 \dots 25$  мм), набор щупов № 4 (0,1...1,0 мм), угольник поверочный УШ-100 x 60 мм (100 x 160 мм), фонарь миниатюрный, маркер по металлу Edding 8750 (белый), рулетка 5 м (рис. 1) [3].



Рисунок 1. – Комплект визуального инспекторского контроля ВИК-1

Современным методом, не разрушающим сварных соединений деталей, является капиллярный метод, представляющий собой многооперационный процесс. Типовой перечень операций включает подготовку изделия к контролю, нанесение индикаторной жидкости, удаление ее излишков и проявление индикаторных следов дефектов (рис. 2).

Во время каждой из этих операций поверхность трещины вступает в контакт с несколькими дефектоскопическими материалами, в основном с жидкостями. Поэтому явление смачивания поверхности детали различными жидкими дефектоскопическими материалами играет первостепенную роль. Только благодаря смачиванию возможен контакт между дефектом и дефектоскопическими материалами и реализация капиллярного контроля. Эффективность каждой операции зависит от нескольких физических явлений, определяемых

<sup>2</sup> Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля: СТБ ISO 9712-2018. – Введ. 01.07.17. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. – 32 с.

<sup>3</sup> Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определение: ГОСТ 30242-97. – Введ. 01.07.97. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 9 с.

физико-химическими свойствами контактирующих сред и материала объекта. Однако сложность выбора свойств дефектоскопических материалов состоит в том, что в разных операциях одна и та же жидкость должна иметь даже противоположные свойства. Так, при заполнении трещины индикаторная жидкость должна обладать хорошей проникающей способностью, чтобы как можно лучше заполнить полость дефекта. Но парадокс в том, что такую жидкость затем трудно извлечь из трещины при проявлении. В результате пенетрант останется в трещине и не образует следа на поверхности, т. е. трещина таким пенетрантом не будет обнаружена.

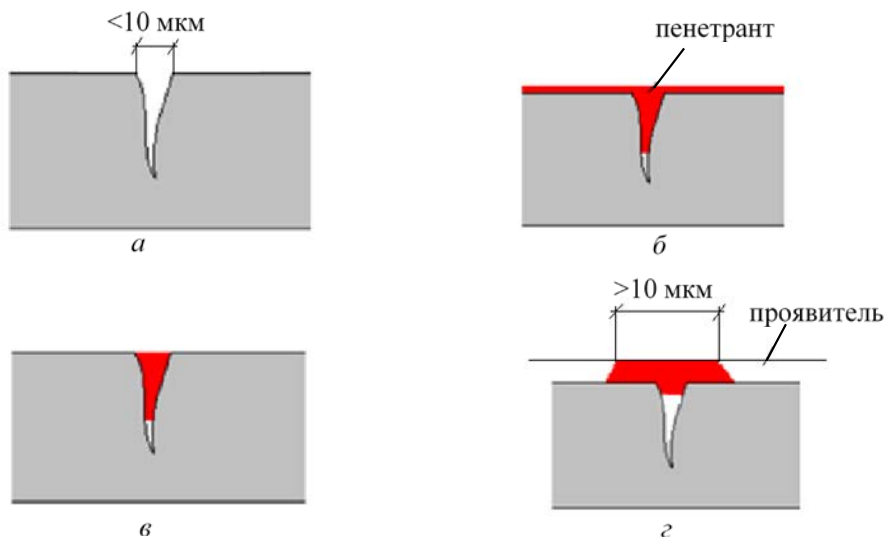


Рисунок 2. – Поиск поверхностных дефектов в металле капиллярным методом

На сегодня промышленностью выпускаются все материалы, необходимые для проведения контроля капиллярным методом: очистители, пенетранты и проявители. Ниже приведены примеры нанесения пенетранта (рис. 3а) и измерения выявленной трещины (рис. 3б).



а – нанесение пенетранта



б – измерение трещины

Рисунок 3. – Практическая реализация капиллярного метода контроля

Одним из высокоэффективных методов неразрушающего контроля швов сварных соединений является ультразвуковая дефектоскопия. Данный метод позволяет осуществлять ультразвуковую диагностику качества сварных соединений, выявлять участки, содержащие дефекты, классифицируя их по типам и размерам. Ультразвуковые методы контроля сварных соединений позволяют с высокой степенью точности выявлять внутренние несплошности (внутренние трещины и поры, шлаковые включения в сварных швах, а также несплошности в околошовной зоне). При этом весь объем наплавленного металла и околошовной зоны должен быть проконтролирован в направлениях, обеспечивающих обнаружение недопустимых несплошностей. Экспериментальным путем установлено, что производительность ультразвукового контроля в среднем в 3–10 раз выше радиографического, при

этом себестоимость ультразвукового контроля в 4–8 раз ниже [4]. При исследовании швов сварных соединений проводится зачистка поверхностей на расстоянии 50–70 мм с двух сторон относительно шва от загрязнений, окисных пленок и лакокрасочных покрытий при их наличии. Проведение контроля сварного шва с обеих сторон увеличивает эффективность исследования и позволяет получить более точные результаты исследований.

Исследование швов сварных соединений проводится с помощью ультразвукового дефектоскопа, например А1211 Mini. Для обеспечения контакта преобразователя с объектом контроля применяется специальная жидкость, например контактный гель или моторное масло. Преобразователь перемещают зигзагообразно вдоль шва с одновременным поворотом вокруг оси на 10–15°. Контроль сварных швов согласно методикам проводится за один или два прохода и регистрацией показаний прибора (рис. 4).



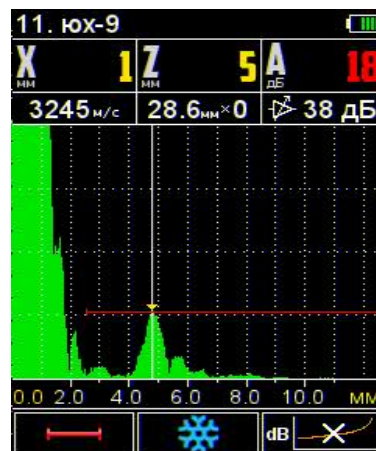
а – подготовка оборудования



б – зачистка и обработка околошовной поверхности



в – проведение ультразвуковой дефектоскопии

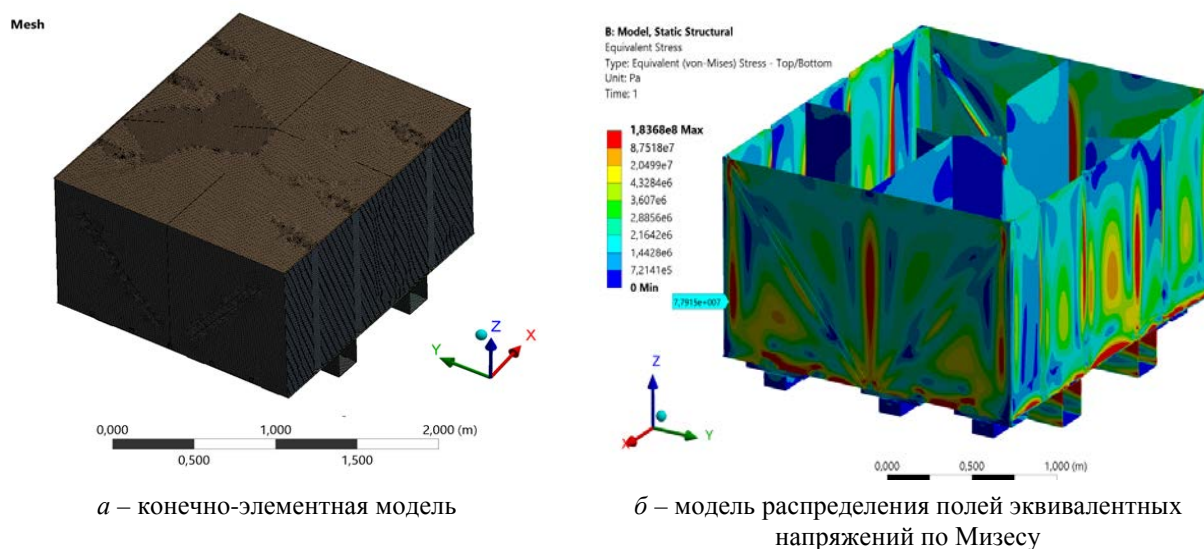


г – оценка результатов измерений

**Рисунок 4. – Проведение исследования сварных конструкций автоцистерны методом ультразвуковой дефектоскопии**

Развитие компьютерной техники открыло широкие возможности использования численных методов определения напряжений и деформаций в элементах конструкций сложной формы. Главное преимущество численных методов заключается в том, что они являются универсальными по отношению к вариациям исходной силовой и геометрической информации и позволяют быстро выполнять анализ воздействия разнообразных определяющих переменных (геометрических, нагружения, особенностей структуры и свойств) на состояние механической системы [5]. Метод конечных элементов имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами анализа напряженно-деформированного состояния, поскольку обладает широким диапазоном применимости, простотой учета граничных и начальных условий, позволяет экономить трудовые и материальные ресурсы.

Чтобы обеспечить эксплуатационную надежность цистерн пожарных автомобилей, разработан методологический подход<sup>4</sup>, который позволяет оценить и исследовать напряженно-деформированное состояние конструкций оболочечного типа с помощью измеренных значений вибрации и компьютерного моделирования. Разработанные с использованием программного продукта ANSYS расчетные 3D-модели позволили оценить напряженно-деформированное состояние конструкции цистерны пожарного автомобиля в зависимости от различных эксплуатационных режимов (рис. 5) [6].



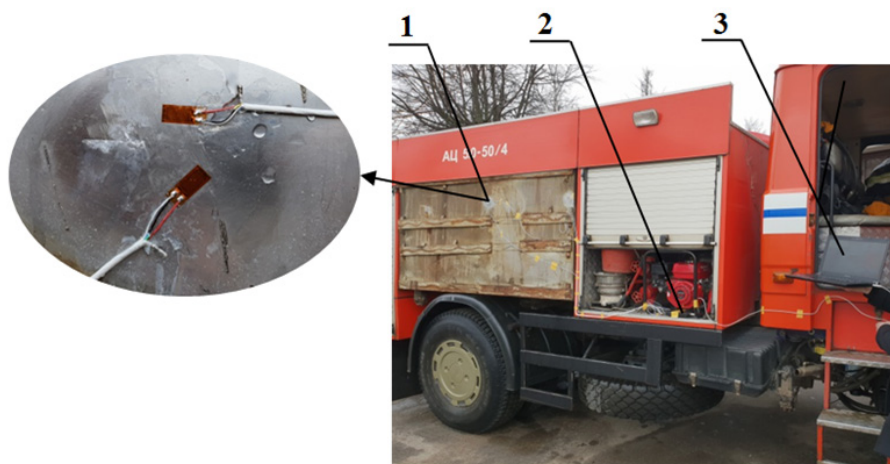
**Рисунок 5.** – 3D-модели цистерн пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337

Для определения динамических характеристик воздействия, которому подвергаются исследуемые объекты при эксплуатации, а также оценки деформаций и механических напряжений в сварных соединениях применяют специальные датчики контроля. Большинство датчиков являются электрическими, что обусловлено их достоинствами: точностью, универсальностью и быстродействием. Измерение деформаций называется тензометрией. Существуют различные виды датчиков: тензорезистивные, пьезорезистивные, пьезоэлектрические, оптико-поляризационные, волоконно-оптические и механические. Их выбор осуществляется в зависимости от типа решаемой задачи.

В работе [7] представлены исследования возникающих механических напряжений в сварных соединениях цистерны при эксплуатации пожарного автомобиля. Измерительный комплекс состоит из программного обеспечения на портативном компьютере, вторичного усилителя МТ-D4 и тензометрических датчиков СЕА-06-250UW-120 (рис. 6). Испытания проводились при различных эксплуатационных режимах движения в соответствии с утвержденной программой и метрологическими требованиями.

Результаты тензометрических исследований позволили подтвердить эффективность применения разработанных методик и рекомендаций, обеспечивающих повышение эксплуатационного ресурса, увеличение запаса прочности и межремонтного периода модернизированных цистерн пожарных автомобилей, эксплуатируемых в аварийно-спасательных подразделениях на территории Республики Беларусь.

<sup>4</sup> Методика динамического моделирования напряженно-деформированного состояния элементов и узлов конструкций оболочечного типа. – Гомель: ГФ УГЗ МЧС РБ, 2017. – 10 с. – 24.07.2017.



1 – тензометрические датчики СЕА-06-250UW-120;  
2 – вторичный усилитель МТ-Д4; 3 – портативный компьютер

Рисунок 6. – Расположение измерительного комплекса на пожарном автомобиле

### Заключение

Проведенный обзор существующих методов неразрушающего контроля состояния конструкций емкостей для перевозки жидких грузов позволил установить: представленные методы дают возможность эффективно оценить и спрогнозировать эксплуатационное состояние как в целом исследуемой конструкции, так и отдельных ее элементов с целью последующей разработки оптимальных решений для увеличения эксплуатационной надежности и межремонтного периода.

Показано, что применение методов неразрушающего контроля сварных швов позволяет провести диагностику без вывода автоцистерны из боевого расчета, но для оценки сохранности конструкции цистерны при действии динамических нагрузок требуется использование тензометрических методов исследования и численных методов моделирования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров, И.Н. Системный анализ факторов, влияющих на проходимость пожарного аварийно-спасательного автомобиля / И.Н. Гончаров, О.О. Смиловенко // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 46–52. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.46.
2. Казутин, Е.Г. Методика оценки расхода ресурса металлических цистерн пожарных автомобилей с учетом пробега и коррозионных процессов / Е.Г. Казутин, Б.Б. Альгин, А.В. Коваленко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2018. – № 3 (44). – С. 36–42.
3. Калиниченко, Н.П. Визуальный и измерительный контроль: учеб. пособие для подготовки специалистов I, II и III уровня / Н.П. Калиниченко, А.Н. Калиниченко. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 300 с.
4. Шахматов, М.В. Работоспособность и неразрушающий контроль сварных соединений с дефектами / М.В. Шахматов, В.В. Ерофеев, В.В. Коваленко. – Челябинск: ЦНТИ, 2000. – 227 с.
5. Морозов, Е.М. ANSYS в руках инженера: механика разрушения / Е.М. Морозов, А.Ю. Муйземнек, А.С. Шадский: пособие: изд. 2-е, испр. – М.: ЛЕНАНД, 2010. – 456 с.
6. Ковтун, В.А. Оптимизация конструкции цистерны пожарного автомобиля АЦ-5.0-50/4 на базе шасси МАЗ-5337 методом компьютерного моделирования / В.А. Ковтун [и др.] // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 38–45. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.38.
7. Ковтун, В.А. Тензометрические исследования напряженного состояния цистерн пожарных автомобилей при различных режимах движения / В.А. Ковтун, С.Г. Короткевич, В.Н. Пасовец // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 39–47. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.39.



**Неразрушающие методы контроля агрегатов и узлов  
пожарной аварийно-спасательной техники**

**Non-destructive testing methods of assemblies and units of fire and emergency technique**

***Бирюк Виктор Алексеевич***

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра промышленной  
безопасности, заведующий кафедрой  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: vik\_biruk@tut.by  
ORCID: 0000-0002-3110-9557

***Viktor A. Biryuk***

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, Head of the Chair  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: vik\_biruk@tut.by  
ORCID: 0000-0002-3110-9557

***Пасовец Владимир 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  
e-mail: pasovets\_v@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-9451-9513

***Vladimir N. Pasovets***

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

***Журов Марк Михайлович***

кандидат технических наук  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра процессов  
горения и взрыва, доцент  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: zhurmark@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-5228-7371

***Mark M. Zhurov***

PhD in Technical Sciences  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Combustion and Explosion Processes,  
Associate Professor  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: zhurmark@mail.ru  
ORCID: 0000-0001-5228-7371

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.389>

## NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS OF ASSEMBLIES AND UNITS OF FIRE AND EMERGENCY TECHNIQUE

**Biryuk V.A., Pasovets V.N., Zhurov M.M.**

*Purpose.* The substantiation of the use of modern methods for assessing and monitoring the state of fire and emergency equipment in order to ensure its trouble-free operation.

*Methods.* Non-destructive methods, computer simulation, tensometry.

*Findings.* The review of methods existing for assessment and control of assemblies and units of fire and rescue vehicles technical state is performed. Some results of their application are presented. The application possibility of non-destructive testing methods is assessed.

*Application field of research.* Fire rescue equipment, welded joints of technical objects.

*Keywords:* fire truck, tank, deformation, sensor, mechanical stress, non-destructive methods, welded joint.

(The date of submitting: June 2, 2020)

### REFERENCES

1. Goncharov I.N., Smilovenko O.O. Sistemnyy analiz faktorov, vliyayushchikh na prokhdimost' pozharnogo avariyno-spasatel'nogo avtomobilya [System analysis of the factors influencing cross-country ability of emergency and rescue vehicle]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No 1. Pp. 46–52. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.46.
2. Kazutin E.G., Algin V.B., Kovalenko A.V. Metodika otsenki raskhoda resursa metallicheskikh tsistern pozharnykh avtomobiley s uchetom probega i korrozionnykh protsessov [Evaluation method of lifetime of fire trucks' metallic tanks with consideration of mileage and corrosion processes]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*, 2018. No. 3 (44). Pp. 36–42. (rus)
3. Kalinichenko N.P., Kalinichenko A.N. *Vizual'nyy i izmeritel'nyy kontrol' Uchebnoe posobie dlya podgotovki spetsialistov I, II i III urovnya* [Visual and measuring control: tutorial for the training of specialists of I, II and III levels]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2009. 300 p. (rus)
4. Shakhmatov M.V., Erofeev V.V., Kovalenko V.V. *Rabotosposobnost' i nerazrushayushchiy kontrol' svarnykh soedineniy s defektami* [Performance and non-destructive testing of welded joints with defects]. Chelyabinsk: TsNTI, 2000. 227 p. (rus)
5. Morozov E.M., Muzyemnek A.Yu., Shadskiy A.S. *ANSYS v rukakh inzhenera: Mekhanika razrusheniya* [ANSYS in the engineer's hands: Destruction mechanics]. 2nd ed. Moscow: LENAND, 2010. 456 p. (rus)
6. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Pasovets V.N., Todorov I. Optimizatsiya konstruksii tsisterny pozharnogo avtomobilya ATs-5.0-50/4 na baze shassi MAZ-5337 metodom komp'yuternogo modelirovaniya [Optimization of the fire truck's tank AC-5.0-50/4 based on the chassis MAZ-5337 by the method of computer modeling]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No 1. Pp. 38–45. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.38.
7. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Pasovets V.N. Tenzometricheskie issledovaniya napryazhennogo sostoyaniya tsistern pozharnykh avtomobiley pri razlichnykh rezhimakh dvizheniya [Tenzometric research of stress state of fire truck tanks at various motion modes]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 1. Pp. 39–47. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.39.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.397>

УДК 614.844

## **ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ И ПРИРОДЫ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВРЕМЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ВРЕЗКИ СТВОЛА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ**

**Василевич Д.В., Лахвич В.В., Родак В.Я.**

*Цель.* Повышение эффективности гидроабразивной резки путем выбора рациональных параметров процесса и абразивного материала.

*Методы.* Натурные испытания по программе полнофакторного эксперимента по врезке ствола высокого давления в строительные конструкции, статистическая обработка данных.

*Результаты.* Получены экспериментальные данные о времени врезки ствола высокого давления в строительные конструкции, выполненные из различных материалов.

*Область применения исследований.* Результаты исследований могут быть использованы пожарными аварийно-спасательными подразделениями при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

*Ключевые слова:* гидроабразивная струя, резка водой строительных конструкций, установка для подачи воды под высоким давлением, ствол высокого давления, пескоструйный насадок, абразивный материал.

(Поступила в редакцию 22 июня 2020 г.)

### **Введение**

Современные средства пожаротушения, как правило, включают установку подачи воды высокого давления, привод насоса, емкость для воды и пенообразователя, емкость для абразивного материала, шланг и ствол высокого давления [1]. Пожарные автомобили быстрого реагирования комплектуются такими установками. Кроме того, их можно использовать в различных чрезвычайных ситуациях (тушение пожаров автотранспорта, в многоэтажных зданиях, промышленных и жилых помещениях). Применение получили установки подачи воды высокого давления с гидроабразивной резкой Cobra<sup>1</sup>, «Гюрза»<sup>2</sup>, Pyrolance<sup>3</sup>, зарекомендовавшие себя с положительной стороны.

Однако при их обслуживании и эксплуатации возникают определенные проблемы. Это связано с тем, что в процессе работы установок абразив смешивается с водой в смесителе за насосом, и в дальнейшем через шланг высокого давления подается к стволу. Абразив воздействует на смеситель и шланг, что ведет к их износу. Оборудование выходит из строя.

Для предотвращения негативного воздействия абразивных материалов на шланг и смеситель предложено внести изменения в способ подачи абразивного материала к стволу, а именно подавать абразивный материал непосредственно в ствол путем эжекции. Вода, проходящая через сопло с большой скоростью, за счет создания разряжения, сможет увлечь абразивный материал в необходимом количестве.

<sup>1</sup> Система тушения пожара «Кобра» [Электронный ресурс] / Coldcut™ academy. – Режим доступа: <https://www.coldcutsystems.com/products>. – Дата доступа: 15.06.2020.

<sup>2</sup> Комбинированная установка гидроабразивной резки и пожаротушения «Гюрза» [Электронный ресурс] / Системные решения противопожарной защиты. – Режим доступа: [http://www.kalancha.ru/catalog/ustanovka\\_gidroabrazivnoy\\_rezki\\_i\\_pozharotusheniya\\_gyurza/](http://www.kalancha.ru/catalog/ustanovka_gidroabrazivnoy_rezki_i_pozharotusheniya_gyurza/). – Дата доступа: 15.06.2020.

<sup>3</sup> Система тушения Pyrolance [Электронный ресурс] / PyroUHP. – Режим доступа: <https://www.pyrouhp.com/all-products/pyrolance-models/>. – Дата доступа: 15.06.2020.

### Основная часть

Достаточно большое количество компаний, в том числе Karcher, Bosch, Stihl производят установки для подачи воды под высоким давлением. В комплект может входить система для проведения абразивной обработки поверхности материалов. Основная часть этой системы представляет собой насадок, выполненный в виде струйного насоса. Насадок крепится на конец корпуса ствола высокого давления (рис. 1).



а – общий вид пескоструйного насадка, применяемого при проведении эксперимента



б – вид насадка, закрепленного на стволе высокого давления

**Рисунок 1. – Пескоструйный насадок, применяемый при проведении испытаний**

При прохождении воды через ствол и насадок в последнем создается разрежение, из-за чего инициируется забор абразивного материала. Однако струя, формируемая на выходе, является не точечной, поскольку она предназначена для обработки поверхности, а не для ее прорезания.

В связи с этим представляет интерес исследование влияния качественных характеристик абразивного материала на возможность резки строительных материалов без изменения конструкции насадка.

Для проведения исследований в качестве абразивного материала были выбраны гранатовый песок Garnet MESH 80 и кварцевый песок фракции 0,6–0,8 мм.

В качестве образцов строительных материалов были использованы: металлические пластины Ст. 3 толщиной 4 мм (далее – металл), деревянный оцилиндрованный свежеспеленный сосновый брус диаметром 150 мм (далее – дерево); тротуарная плитка «Кирпичик» размером 198×98×80 мм (далее – плитка), кирпич полнотелый одинарный КРО М-175 размером 250×125×65 мм (далее – кирпич).

Средства измерений, применяемые при проведении испытаний, представлены в таблице 1.

**Таблица 1. – Средства измерений, применяемые при проведении испытаний**

№ п/п	Наименование средств измерений	Дата прохождения метрологической аттестации, поверки, номер свидетельства, срок действия
1	Секундомер электронный «Интеграл С-01» № 694394	Свидетельство о поверке № МН 0156468-4320, действительно до 14.04.2021
2	Штангенциркуль электронный ШЦЦ-1 № 119416	Паспорт поверки б/н, действителен до 06.04.2021
3	Рулетка металлическая Popular PP5M EC-Class II	Клеймо МН 0108085, действительно до 01.04.2021

Оборудование, применяемое при проведении испытаний, представлено в таблице 2.

**Таблица 2. – Оборудование, применяемое при проведении испытаний**

№ п/п	Наименование оборудования	Примечание
1	Установка подачи воды высокого давления АД ЛМ 545	Установка создает давление воды до 450 бар с потоком до 22 л/мин
2	Форсунка 450/22 (Ф1)	Форсунка с заводскими характеристиками 450 бар, 22 л/мин
3	Форсунка 150/22 (Ф2)	Форсунка с заводскими характеристиками 150 бар, 22 л/мин
4	Насадок на ствол высокого давления	Общий вид насадка представлен на рисунке 1

Программа проведения испытаний представлена в таблице 3.

**Таблица 3. – Программа проведения испытаний**

№ п/п	Объект испытаний	Параметры испытаний
1	Гидроабразивная резка дерева при различных давлениях и при использовании различного абразивного материала	Испытание проведено на свежеспиленном сосновом деревянном бревне диаметром <b>150</b> мм
2	Гидроабразивная резка плитки при различных давлениях и при использовании различного абразивного материала	Испытание проведено на тротуарной плитке «Кирпичик» размером 198×98× <b>80</b> мм (длина, ширина, высота). Резка проводилась по высоте
3	Гидроабразивная резка кирпича при различных давлениях и при использовании различного абразивного материала	Испытание проведено на кирпиче полнотелом одинарном КРО М-175 размером 250×125× <b>65</b> мм (длина, ширина, высота). Резка проводилась по высоте
4	Гидроабразивная резка металла при различных давлениях и при использовании различного абразивного материала	Испытание проведено на металлической пластине толщиной <b>4,0</b> мм

При проведении испытаний время фиксировалось с момента подачи воды до появления сквозного отверстия в материале (при этом ствол высокого давления вместе с насадком упирался в прорезаемый материал). Максимальное время испытания составляло 1 мин. Каждый образец испытывали 5 раз, затем определяли среднее время  $\Delta t$ .

Результаты испытаний представлены в таблице 4.

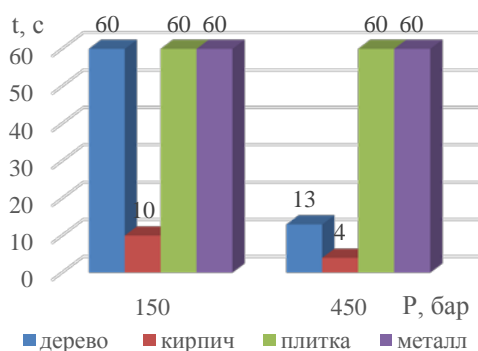
**Таблица 4. – Результаты испытаний**

№ п/п	Врезка в строительный элемент	Давление, бар	$\Delta t$ , с	Характеристики форсунки	Вид абразивного материала
1	Дерево	450	13	450/22	Без абразива
2	Кирпич	450	4	450/22	Без абразива
3	Плитка	450	60	450/22	Без абразива
4	Металл	450	60	450/22	Без абразива
5	Дерево	450	11	450/22	Гранатовый песок
6	Кирпич	450	2	450/22	Гранатовый песок
7	Плитка	450	60	450/22	Гранатовый песок
8	Металл	450	15	450/22	Гранатовый песок
9	Дерево	450	12	450/22	Кварцевый песок
10	Кирпич	450	2	450/22	Кварцевый песок
11	Плитка	450	60	450/22	Кварцевый песок
12	Металл	450	17	450/22	Кварцевый песок
13	Дерево	300	28	450/22	Гранатовый песок
14	Кирпич	300	4	450/22	Гранатовый песок
15	Плитка	300	60	450/22	Гранатовый песок
16	Металл	300	24	450/22	Гранатовый песок
17	Дерево	300	30	450/22	Кварцевый песок
18	Кирпич	300	5	450/22	Кварцевый песок
19	Плитка	300	60	450/22	Кварцевый песок
20	Металл	300	27	450/22	Кварцевый песок
21	Дерево	200	60	450/22	Гранатовый песок

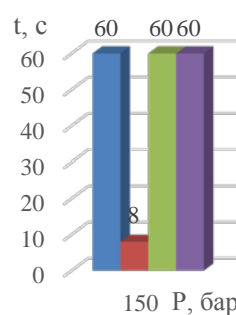
Продолжение таблицы 4

№ п/п	Врезка в строительный элемент	Давление, бар	$\Delta t$ , с	Характеристики форсунки	Вид абразивного материала
22	Кирпич	200	6	450/22	Гранатовый песок
23	Плитка	200	60	450/22	Гранатовый песок
24	Металл	200	26	450/22	Гранатовый песок
25	Дерево	200	60	450/22	Кварцевый песок
26	Кирпич	200	7	450/22	Кварцевый песок
27	Плитка	200	60	450/22	Кварцевый песок
28	Металл	200	28	450/22	Кварцевый песок
29	Дерево	150	60	450/22	Без абразива
30	Кирпич	150	10	450/22	Без абразива
31	Плитка	150	60	450/22	Без абразива
32	Металл	150	60	450/22	Без абразива
33	Дерево	150	60	450/22	Гранатовый песок
34	Кирпич	150	8	450/22	Гранатовый песок
35	Плитка	150	60	450/22	Гранатовый песок
36	Металл	150	60	450/22	Гранатовый песок
37	Дерево	150	60	450/22	Кварцевый песок
38	Кирпич	150	8	450/22	Кварцевый песок
39	Плитка	150	60	450/22	Кварцевый песок
40	Металл	150	60	450/22	Кварцевый песок
41	Дерево	150	60	150/22	Без абразива
42	Кирпич	150	8	150/22	Без абразива
43	Плитка	150	60	150/22	Без абразива
44	Металл	150	60	150/22	Без абразива
45	Дерево	150	60	150/22	Гранатовый песок
46	Кирпич	150	5	150/22	Гранатовый песок
47	Плитка	150	60	150/22	Гранатовый песок
48	Металл	150	22	150/22	Гранатовый песок
49	Дерево	150	60	150/22	Кварцевый песок
50	Кирпич	150	6	150/22	Кварцевый песок
51	Плитка	150	60	150/22	Кварцевый песок
52	Металл	150	25	150/22	Кварцевый песок

При анализе результатов, отображенных на рисунке 2а, видно, что форсунка Ф1 при давлении 150 бар неэффективна в применении при отсутствии абразивного материала: только в кирпиче было образовано сквозное отверстие. Во всех остальных материалах сквозного отверстия не было, и по истечении одной минуты испытание было остановлено.



а – с использованием форсунки Ф1



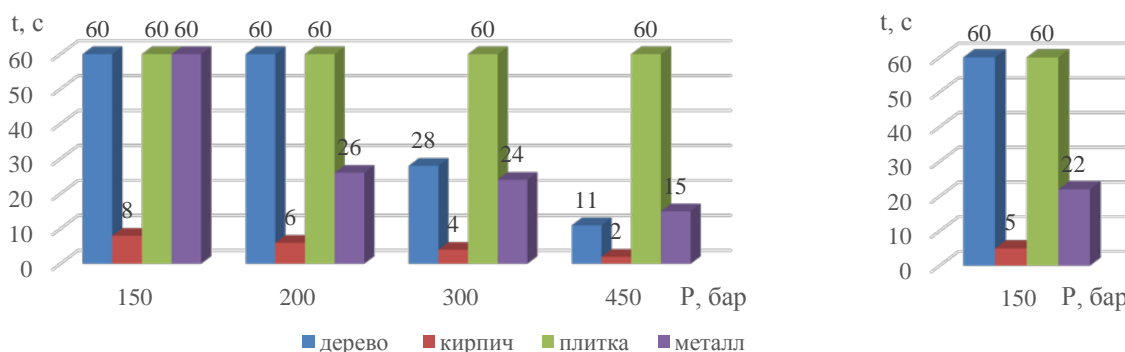
б – с использованием форсунки Ф2

Рисунок 2. – Зависимость времени прорезания строительных элементов от давления без применения абразивного материала

При повышении давления до 450 бар наблюдается положительная динамика, поскольку насквозь было прорезано и дерево. Однако при прорезании металла и плитки сквозного отверстия не было. При этом следует отметить, что при давлении 450 бар в стволе появилась большая реактивная сила, для противостояния которой ствольщику требовалось приложить намного больше усилий, чем при давлении 150 бар.

Анализ результатов испытаний форсунки Ф2 при давлении 150 бар без использования абразива показал, что полученные параметры практически идентичны параметрам, полученным при испытаниях форсунки Ф1 при том же давлении (рис. 2б).

При добавлении в поток струи абразивного материала Garnet MESH 80 (гранатовый песок), исследуемые материалы с применением форсунки Ф1 при давлениях от 150 до 450 бар прорезаются значительно эффективнее (рис. 3а). При этом время прорезания уменьшается при повышении давления в насосе.



а – с использованием форсунки Ф1  
 б – с использованием форсунки Ф2  
**Рисунок 3. – Зависимость времени прорезания строительных элементов от давления при применении гранатового песка**

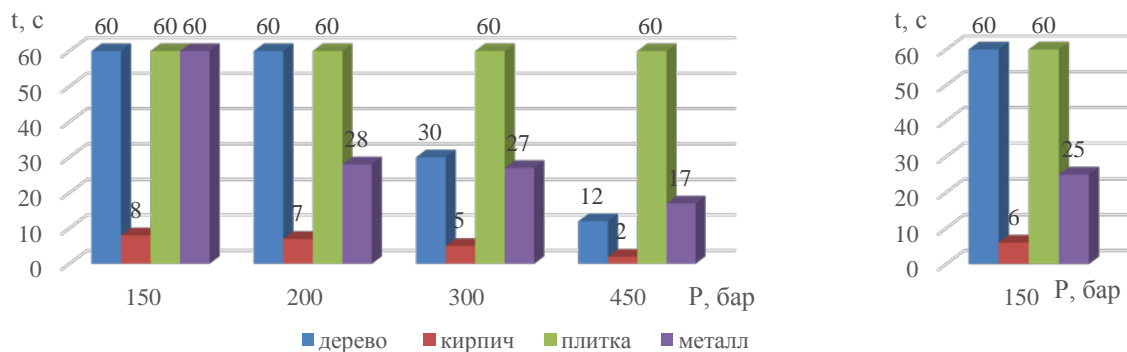
Достичь сквозного отверстия при прорезании плитки не удалось по причине невозможности удержания ствола в одной точке (отсутствия упора на насадке), а также отсутствия отвода использованной воды (рис. 4).



**Рисунок 4. – Прорезание плитки**

При анализе результатов испытаний форсунки Ф2 с применением гранатового песка видно, что полученное время прорезания по всем испытуемым материалам схоже с результатами при испытании форсунки Ф1. Только при давлении 150 бар результаты по времени прорезания металла (60 и 22 с соответственно) значительно отличаются (рис. 3б). Объясняется это тем, что при понижении давления на насосе на форсунке снижается и расход воды, уменьшение которого и влияет на конечный результат.

При замене абразивного материала Garnet MESH 80 на кварцевый песок полученные показатели практически идентичны показателям с применением гранатового песка в тех же условиях (рис. 5). Следует отметить, что расход абразивного материала независимо от его природы остается практически неизменным.



а – с использованием форсунки Ф1  
 б – с использованием форсунки Ф2  
**Рисунок 5. – Зависимость времени прорезания строительных элементов от давления при применении кварцевого песка**

### Заключение

В результате испытаний по определению эффективности гидроабразивной резки установлено, что наименьшее время для продельвания сквозного отверстия в металлической пластине толщиной 4 мм (рис. 6а) составило 15 с при давлении 450 бар и расходе 22 л/мин. Для определения минимального давления, при котором возможна резка, постепенно понижалось давление. При давлении 150 бар резка была неэффективной при использовании форсунки Ф1. Форсунка Ф2 при давлении 150 бар оказалась наиболее эффективной. Размер прорезанного отверстия в диаметре составил 5–6 мм.

При прорезании тротуарной плитки сквозное отверстие не было образовано во всех случаях из-за невозможности удержания ствола в одной точке вследствие большой реактивной силы, отсутствия упора и направленного отвода воды (рис. 6б).

При прорезании деревянного бруса диаметром 150 мм (рис. 6в) выявлено, что время прорезания напрямую зависит от давления на стволе (при давлении 450 бар без абразива – 13 с, с абразивом – 11 с; при давлении ниже 300 бар сквозного отверстия не было с абразивом и без него) и практически не зависит от наличия абразивного материала в струе воды. Это указывает на то, что при прорезании определенных строительных материалов испытываемый ствол способен выполнять свои функции и без абразивного материала, но при этом увеличивается время работы.

При прорезании полнотелого кирпича во всех экспериментах было образовано сквозное отверстие (рис. 6 г–д).

Особую сложность представляло удержание ствола в одной точке из-за наличия большой реактивной силы и отсутствия отвода использованной воды. Поэтому во время испытаний насадок кругло-торцевой частью упирался в прорезаемый материал, что привело к выработке его передней части. Было определено, что в дальнейшем нужно разработать наконечник на ствол высокого давления, позволяющий осуществлять отвод использованной воды, упор и удержание ствола в одном положении.

Следует отметить, что абразивный материал подавался не равномерно, а порционно по причине большого диаметра и длины шланга.

Для совершенствования данного способа в дальнейшем следует исследовать зависимость скорости врезки в материалы: от диаметра форсунки при постоянном давлении; длины



насадка ствола высокого давления; диаметра spryska насадка; расстояния от насадка до про-резаемой конструкции; диаметра отверстия для забора абразивного материала; длины шланга забора абразивного материала; природы и фракции абразивного материала.



*a* – металлическая пластина тол-щиной 4 мм



*б* – тротуарная плитка «Кирпичик» высотой 80 мм



*в* – свежеспиленный сосновый брус диаметром 150 мм



*z* – входное отверстие при испытании кирпича полнотелого одинарного КРО М-175



*d* – выходное отверстие при испытании кирпича полнотелого одинарного КРО М-175

**Рисунок 6. – Вид строительных материалов после проведения испытаний**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Василевич, Д.В. Перспективные средства тушения пожаров с применением установок подачи огнетушащих веществ высокого давления / Д.В. Василевич, В.В. Лахвич, Д.С. Миканович // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 283–290. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.283.

**Влияние давления воды и природы абразивных материалов на время гидроабразивной врезки ствола высокого давления в строительные конструкции**

**Influence of water pressure and abrasive materials nature on the duration of the high-pressure abrasive water jet cutting in building structures**

***Василевич Дмитрий Владимирович***

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: dzmitry112vasilevich@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-1976-0344

***Dzmitry V. Vasilevich***

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

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus  
e-mail: dzmitry112vasilevich@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-1976-0344

***Лаквич Вячеслав Вячеславович***

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

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

***Viachslau V. Lakhvich***

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

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

***Родак Вячеслав Яковлевич***

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

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

***Viachslau Y. Rodak***

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

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

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.397>

**INFLUENCE OF WATER PRESSURE AND ABRASIVE MATERIALS NATURE  
ON THE DURATION OF THE HIGH-PRESSURE ABRASIVE WATER JET  
CUTTING IN BUILDING STRUCTURES**

**Vasilevich D.V., Lakhvich V.V., Rodak V.Y.**

*Purpose.* Improving the efficiency of abrasive water jet cutting by choosing rational process parameters and abrasive material.

*Methods.* Full-scale tests within the program of a full-factor experiment on cutting a high-pressure barrel into building structures, statistical data processing.

*Findings.* Experimental data on the time of the high-pressure cutting barrel into building structures made of various materials have been obtained.

*Application field of research.* The research results can be used by fire rescue units in emergency response.

*Keywords:* abrasive water jet, water cutting of building structures, high pressure water supply unit, high-pressure barrel, sandblasting nozzle, abrasive material.

(The date of submitting: June 22, 2020)

**REFERENCES**

1. Vasilevich D.V. Perspektivnye sredstva tusheniya pozharov s primeneniem ustanovok podachi oagnetushashchikh veshchestv vysokogo davleniya [Promising means of fire extinguishing agents using high-pressure installations]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No 3. Pp. 283–290. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.283.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.406>

УДК 614.8; 614.841.3; 632.123; 528.88

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗНОГО МОНИТОРИНГА ФАКТОРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ

Кравцов С.Л., Голубцов Д.В., Романович К.А., Савко И.Л.

*Цель.* Совершенствование системы прогнозного мониторинга пожарной опасности территории.

*Методы.* Для получения качественно нового результата применяется подход «больших данных», включая статические (относительно медленно меняющиеся во времени) данные, наземную информацию от метеорологических станций и спутниковые данные за длительный период.

*Результаты.* Разработана система прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории. Система содержит сервис удаленного доступа (предоставление данных пользователям), базу статистических данных прогнозного мониторинга, подсистемы обработки и анализа данных. Структура системы является относительно универсальной, позволяющей дополнять и изменять как сами функции, так и решаемые задачи. Это позволяет рассматривать систему как предварительный этап на пути внедрения в Республике Беларусь современных подходов к прогнозированию пожарной опасности территории. Создание системы является началом реализации нового прогнозного этапа в развитии механизмов реагирования на природные пожары в Республике Беларусь.

*Область применения исследований.* Результаты работы системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории, могут быть использованы в повседневной деятельности подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь и Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь по снижению ущерба вследствие природных пожаров.

*Ключевые слова:* система, прогнозный мониторинг, пожарная опасность, спутниковые данные, наземные данные, детальность, динамичность.

(Поступила в редакцию 22 июля 2020 г.)

### Введение

К природным пожарам относятся лесные, степные и торфяные пожары [1]. Разделение вызвано ярко выраженными отличительными особенностями физики горения, характера распространения и способов тушения. Эти особенности, в свою очередь, обусловлены характеристиками растительных горючих материалов, рельефом местности, пожарной опасностью по условиям погоды. На 1 января 2018 г. площадь лесных земель Республики Беларусь составила 8261 тыс. га (около 40 % общей площади страны). Породный состав, возрастная структура и иные факторы определяют высокую пожарную горимость лесов. Ежегодно возникает в среднем около 1130 лесных пожаров, охватывающих площадь до 800 га. В отдельные годы с наиболее неблагоприятными погодными условиями (2–3 раза за десятилетие) лесные пожары могут принимать характер стихийных бедствий (как, например, в 1992 г.). В среднем за год пройденная лесными пожарами общая площадь составляет 3180 га, сгорает и повреждается леса на корню – 64 160 м<sup>3</sup>.

В Республике Беларусь имеется более 9192 торфяников суммарной площадью 2939 тыс. га (14,2 % общей площади страны). Пожароопасными являются все выработанные торфяные месторождения с действующей осушительной сетью, осушенные торфяные почвы, а также разрабатываемые торфяные месторождения. Ежегодно происходит в среднем около 1630 торфяных пожаров на площадях до 400 га. Ежегодно выгорает от 2,5 до 12 тыс. га торфяников (включая окружающие леса и другие экосистемы), средняя площадь – около 6,2 тыс. га. Основная часть пожаров приходится на выбывшие из эксплуатации торфяные

месторождения и осушенные лесные болота. Данная проблема особенно актуальна для загрязненных радионуклидами территорий, где пожары инициируют их эмиссию в атмосферу.

Природные пожары чрезвычайно сложно предотвратить, однако их последствия могут быть значительно уменьшены (от 10 до 20 %) осуществлением предупредительных мер за счет более качественного прогнозного мониторинга. Он позволяет обеспечить:

- своевременное прибытие спасательных служб;
- подготовку мероприятий по преодолению последствий;
- предупреждение населения, а при необходимости его эвакуацию;
- отгон и укрытие животных;
- вывоз материальных ценностей.

Кроме того, снижение (за счет прогнозного мониторинга) масштаба и повышение эффективности мероприятий по ликвидации природных пожаров позволяет уменьшить экологические угрозы населению, атмосфере, гидросфере и литосфере. С учетом того что общие потери от природных пожаров в Республике Беларусь за год измеряются десятками миллионов долларов, становится очевидной важность совершенствования подхода к прогнозному мониторингу пожарной опасности территории.

### Основная часть

Общая схема функционирования системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории. Разрабатываемая система содержит следующие составляющие (рис. 1):

– сервис удаленного доступа (предоставление данных пользователям): обеспечивает возможность удаленного выбора и просмотра пользователем исходных данных и результатов прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории;

– подсистема обработки данных: обеспечивает автоматическую загрузку данных продуктов MOD11 и MOD13 со спутников Terra/Aqua MODIS, а также данных с метеостанций, их предварительную обработку и сохранение в базе статистических данных прогнозного мониторинга. Предварительная обработка данных продуктов MOD11 и MOD13 со спутников Terra/Aqua MODIS включает «обрезку», преобразование в картографическую проекцию СК-95, а также вычисление: индекса состояния растительности VCI (Vegetation Condition Index, VCI), индекса температурного состояния TCI (Temperature Condition Index, TCI) и вегетационно-температурного индекса VTI (Vegetation-Temperature Index, VTI) [2; 3]. Предварительная обработка данных с метеостанций включает вычисление гидротермического коэффициента Селянинова, а также расчет (путем интерполяции) карт его значений и данных с метеостанций (температуры и влажности воздуха, скорости ветра, количества осадков);

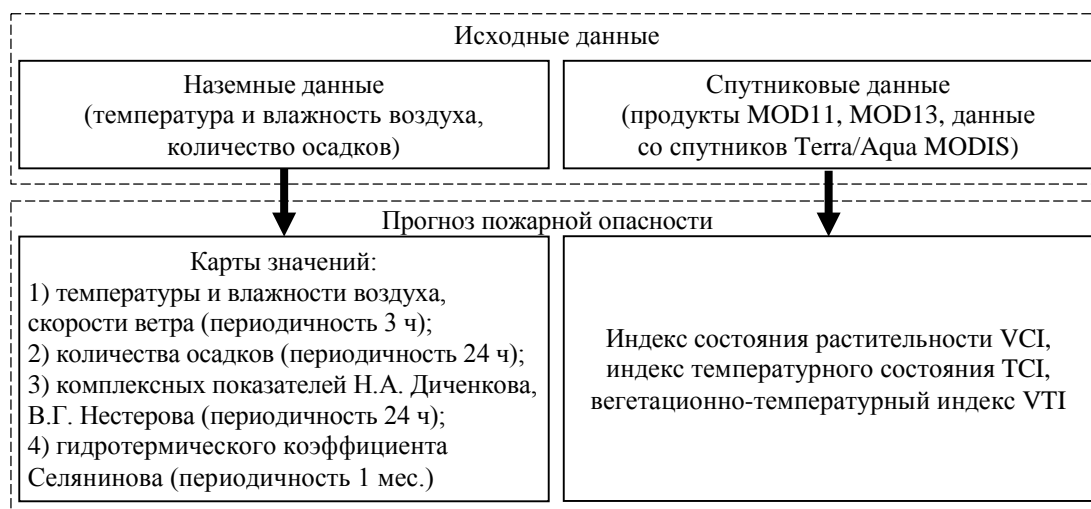
– база статистических данных прогнозного мониторинга: обеспечивает хранение данных с метеостанций, данных продуктов MOD11 и MOD13 со спутников Terra/Aqua MODIS, производных продуктов, а также результатов прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории;

– подсистема анализа данных: обеспечивает решение задач, поставленных перед системой прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории.



Рисунок 1. – Общая схема функционирования системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории

*Описание методики прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории.* Традиционно для оценки пожарной опасности территории используется один из комплексных (метеорологических) показателей – Н.А. Диченкова для Республики Беларусь<sup>1</sup>, В.Г. Нестерова для Российской Федерации<sup>2</sup>. Однако подобные показатели рассчитываются на сутки, позволяя идентифицировать лишь особенности масштаба страны, и слишком грубы для использования в масштабах района или даже области. Действительно, пожарная опасность территории может значительно различаться на расстоянии лишь в несколько километров от метеостанции из-за изменения в рельефе, расстояния до ближайших водных объектов, вида растительных горючих материалов и др. Кроме того, комплексные показатели не учитывают изменения состояния растительных горючих материалов в течение суток. В связи с этим для более объективной оценки пожарной опасности территории рассчитываются дополнительные факторы, обеспечивающие повышение динамичности и детальности оценки (рис. 2).



**Рисунок 2. – Методика прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории**

Необходимость вычисления индексов засухи обусловлена тем, что возникновение и развитие природных пожаров во многом связаны с изменением устойчивости растительных горючих материалов. Особенно сильная активизация природных пожаров наблюдается в засушливые годы. Индекс засухи, полученный по данным с метеостанций (гидротермический коэффициент Селянинова), характеризуется грубым масштабом (рассчитывается путем интерполяции значений, полученных в местоположении метеостанций, – расстояние между ними составляет от 30 до 50 км) и низкой периодичностью (один месяц). Поэтому дополнительно вычисляются индексы засухи, полученные по спутниковым данным (индекс состояния растительности VCI, индекс температурного состояния TCI и вегетационно-температурный индекс VTI) – они отличаются более высоким пространственным (250 м) и временным разрешениями (8 дней).

*Исходные данные для системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории.*

1. Наземные данные. Являются основой для вычисления комплексных показателей пожарной опасности, а также необходимы для калибровки и оценки эффективности алгорит-

<sup>1</sup> Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования: СТБ 1408-2003. – Введ. – 01.01.04. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2004. – 20 с.

<sup>2</sup> Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования: ГОСТ Р 22.1.09-99. – Введ. – 01.01.00. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 11 с.

мов обработки спутниковых данных. В качестве наземных используются прежде всего данные с метеостанций Республики Беларусь и прилегающих стран, которые в настоящее время являются действующими, имеют достаточную длительность функционирования и максимальную полноту (минимальную прерывность) наблюдений.

2. Спутниковые данные. В качестве базовых в системе прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории, используются объединенные в композицию за период от 8 до 16 дней данные со спутников Terra/Aqua MODIS – продукты MOD11 и MOD13 за период с 2002 г. по настоящее время. В качестве базового выбрано пространственное разрешение 250 м. В дальнейшем, по мере доработки системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории, будет целесообразным подключение спутниковых данных среднего пространственного разрешения (в частности, со спутников Sentinel-2A, B).

3. Электронные карты. Обеспечивают адекватность получения и представления результатов прогнозного мониторинга. В соответствии с этим электронные карты (информация проекта OpenStreetMap) охватывают всю территорию Республики Беларусь и прилегающих стран, а их содержание является достаточно полным, достоверным и точным.

4. Статические (относительно медленно меняющиеся во времени) данные. Обеспечивают (в дополнение к вычисляемым по спутниковым данным индексам состояния растительности) повышение детальности мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории. В качестве статических данных используются:

– карта категорий наземного покрова: создана в рамках проекта «Инициативы в области изменения климата – категории наземного покрова» CCI-LC (Climate Change Initiative – Land Cover, CCI-LC) Европейского космического агентства с пространственным разрешением 300 м [4];

– цифровая модель рельефа: *данные международной миссии по получению данных цифровой модели рельефа территории Земли SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission, SRTM) с пространственным разрешением 31 м;*

– электронная карта загрязнения радиоактивными элементами: создана по данным Научного комитета Организации Объединенных Наций по воздействию атомной радиации UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR).

*Выходные данные системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории.* В результате функционирования системы формируются следующие информационные продукты:

– комплексные (метеорологические) показатели – Н.А. Диченкова, В.Г. Нестерова (периодичность 24 ч);

– данные с метеостанций – количество осадков (периодичность 24 ч); скорость ветра, температура и влажность воздуха (периодичность 3 ч);

– гидротермический коэффициент Селянинова (периодичность 1 мес.);

– спутниковые данные – индекс состояния растительности VCI, индекс температурного состояния TCI и вегетационно-температурный индекс VTI (периодичность 8 сут.).

Формирование указанных информационных продуктов в виде растровых данных происходит в течение пожароопасного сезона (апрель – ноябрь). Пространственное разрешение данных составляет 250 м, что обеспечивает необходимую детальность для использования.

*Результаты разработки системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории.* Для функционирования системы выбрана операционная система Ubuntu Server на основе Linux версии для долговременной эксплуатации LTS (Long-Term Support, LTS). Система прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории, разработана на базе свободно доступной геоинформационной системы с открытым кодом QGIS (Quantum Geographic Information System, QGIS). Данный программный комплекс имеет широкое распространение, является общедоступным, а лицензия позволяет его свободно копировать и распространять как с изменениями, так и без изменений, за вознаграждение или бесплатно.

1. Результаты разработки базы статистических данных прогнозного мониторинга. Производительность, функциональность и ценность системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории, во многом зависит от базы статистических данных. Ее создание и пополнение является неотъемлемой частью разработки и функционирования системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории.

База статистических данных прогнозного мониторинга обеспечивает систематизированное хранение данных с метеостанций, данных продуктов MOD11 и MOD13 со спутников Terra/Aqua, производных продуктов, а также результатов прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории. Вся информация в базе статистических данных представлена в виде растровых или векторных данных.

В базе статистических данных содержится следующая информация (рис. 3):

– базовые данные:

а) векторные данные с метеостанций Республики Беларусь и прилегающих стран – данные за период с 2006 г. по настоящее время (скорость ветра, температура и влажность воздуха – периодичность 3 ч; количество осадков – периодичность 24 ч);

б) векторные данные с метеостанций Республики Беларусь и приграничных стран – данные долгосрочных наблюдений более чем за 30 лет (скорость ветра, температура и влажность воздуха, количество осадков – периодичность 24 ч);

в) векторные данные – картографический материал (границы стран, областей и районов; реки; крупные реки и озера; населенные пункты; торфяники; леса и кустарники (информация проекта OpenStreetMap); зараженность радионуклидами);

г) растровые данные – данные продуктов MOD11 и MOD13 со спутников Terra/Aqua MODIS (8-дневные композиции нормализованного относительного индекса растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) и температуры земной поверхности LST (Land Surface Temperature, LST)) с пространственным разрешением 0,25 и 1 км соответственно;

д) растровые данные – цифровая модель рельефа местности SRTM, свойства почв (содержание песка, глины и ила; доступная корням глубина; объемная плотность);

– производные данные:

е) растровые данные – карты значений за период с 2006 г. по настоящее время: индекса состояния растительности VCI, индекса температурного состояния TCI и вегетационно-температурного индекса VTI;

ж) растровые данные – карты значений параметров с метеостанций за период с 2006 г. по настоящее время (скорость ветра, температура и влажность воздуха – периодичность 3 ч; количество осадков – периодичность 24 ч);

з) растровые данные – карты значений комплексных показателей пожарной опасности за период с 2006 г. по настоящее время (индекс Н.А. Диченкова, индекс В.Г. Нестерова – периодичность 24 ч);

и) растровые данные – карты значений индекса засухи по данным с метеостанций за период с 2006 г. по настоящее время (гидротермический коэффициент Селянинова – периодичность 1 мес.);

к) растровые данные – результаты подсистемы анализа данных.

Базовое пространственное разрешение растровых данных составляет 250 м, что обеспечивает необходимую детальность прогнозного мониторинга. Растровые данные хранятся в формате GeoTIFF, векторные данные – в формате Shape. Все данные (как векторные, так и растровые) хранятся в картографической проекции СК-95.

2. Результаты разработки сервиса удаленного доступа. Сервис удаленного доступа (предоставление данных пользователям) обеспечивает возможность удаленного выбора и просмотра пользователем исходных данных и результатов прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории.



<p>Векторные данные:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) границы стран;</li> <li>2) границы областей;</li> <li>3) границы районов;</li> <li>4) реки;</li> <li>5) крупные реки и озера;</li> <li>6) населенные пункты;</li> <li>7) торфяники;</li> <li>8) леса и кустарники;</li> <li>9) зараженность радионуклидами</li> </ol>	<p>Карты значений параметров с метеостанций за период с 2006 г.:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) скорость ветра (интервал 3 ч);</li> <li>2) температура и влажность воздуха (интервал 3 ч);</li> <li>3) количество осадков (за 24 ч)</li> </ol> <p>Данные долгосрочных наблюдений с метеостанций (за 30 лет):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) скорость ветра;</li> <li>2) температура и влажность воздуха;</li> <li>3) количество осадков</li> </ol>	<p>Карты значений комплексных показателей пожарной опасности за период с 2006 г.:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) индекс Н.А. Диченкова (интервал 1 сут.);</li> <li>2) индекс В.Г. Нестерова (интервал 1 сут.)</li> </ol> <p>Карты значений индексов засухи по данным Terra/Aqua MODIS за период с 2002 г. (интервал 8 сут.):</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) индекс состояния растительности VCI;</li> <li>2) индекс температурного режима TCI;</li> <li>3) вегетационно-температурный индекс</li> </ol>
<p>Статические растровые данные:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) цифровая модель рельефа;</li> <li>2) свойства почв</li> </ol>	<p>Результаты подсистемы анализа данных</p>	<p>Карты значений индекса засухи по данным с метеостанций за период с 2006 г. (интервал 1 мес.) – гидротермический коэффициент Селянинова</p>

Рисунок 3. – Структура базы статистических данных прогнозного мониторинга

Разработанный веб-интерфейс (клиентская часть) сервиса удаленного доступа обеспечивает достаточно простое и легко понимаемое управление (выбор и отображение) растровыми и векторными данными в довольно большом архиве данных. Веб-интерфейс работает в браузерах Internet Explorer, Firefox, Google Chrome, Safari и Opera. В центре размещена рабочая область отображения геопространственных данных, слева – панель управления геопространственными данными, а справа от нее – легенда геопространственных данных (рис. 4).

3. Результаты разработки подсистем обработки и анализа данных. В частности, разработаны программные модули:

– автоматической загрузки данных продуктов MOD11 и MOD13 со спутников Terra/Aqua MODIS, «обрезки», преобразования в картографическую проекцию СК-95 и вычисления индекса состояния растительности VCI, индекса температурного состояния TCI и вегетационно-температурного индекса VTI;

– автоматической загрузки данных с метеостанций и построения (путем интерполяции) карт скорости ветра, температуры и влажности воздуха, количества осадков (за 24 ч); карт значений комплексных показателей пожарной опасности Н.А. Диченкова и В.Г. Нестерова (рис. 5); карт значений гидротермического коэффициента Селянинова.

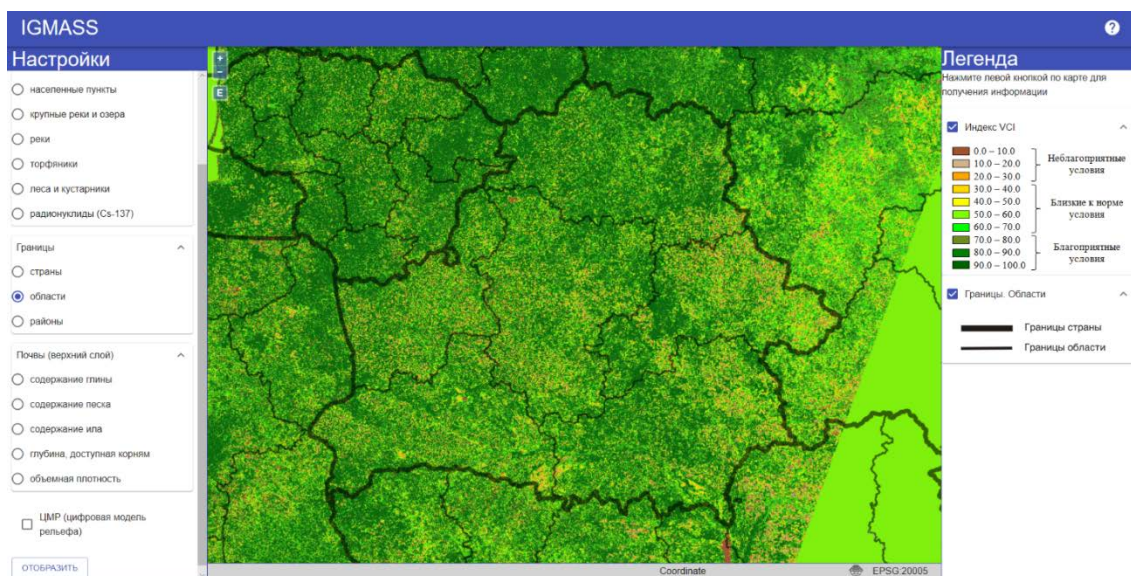


Рисунок 4. – Веб-интерфейс сервиса удаленного доступа к исходным данным и результатам работы системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории

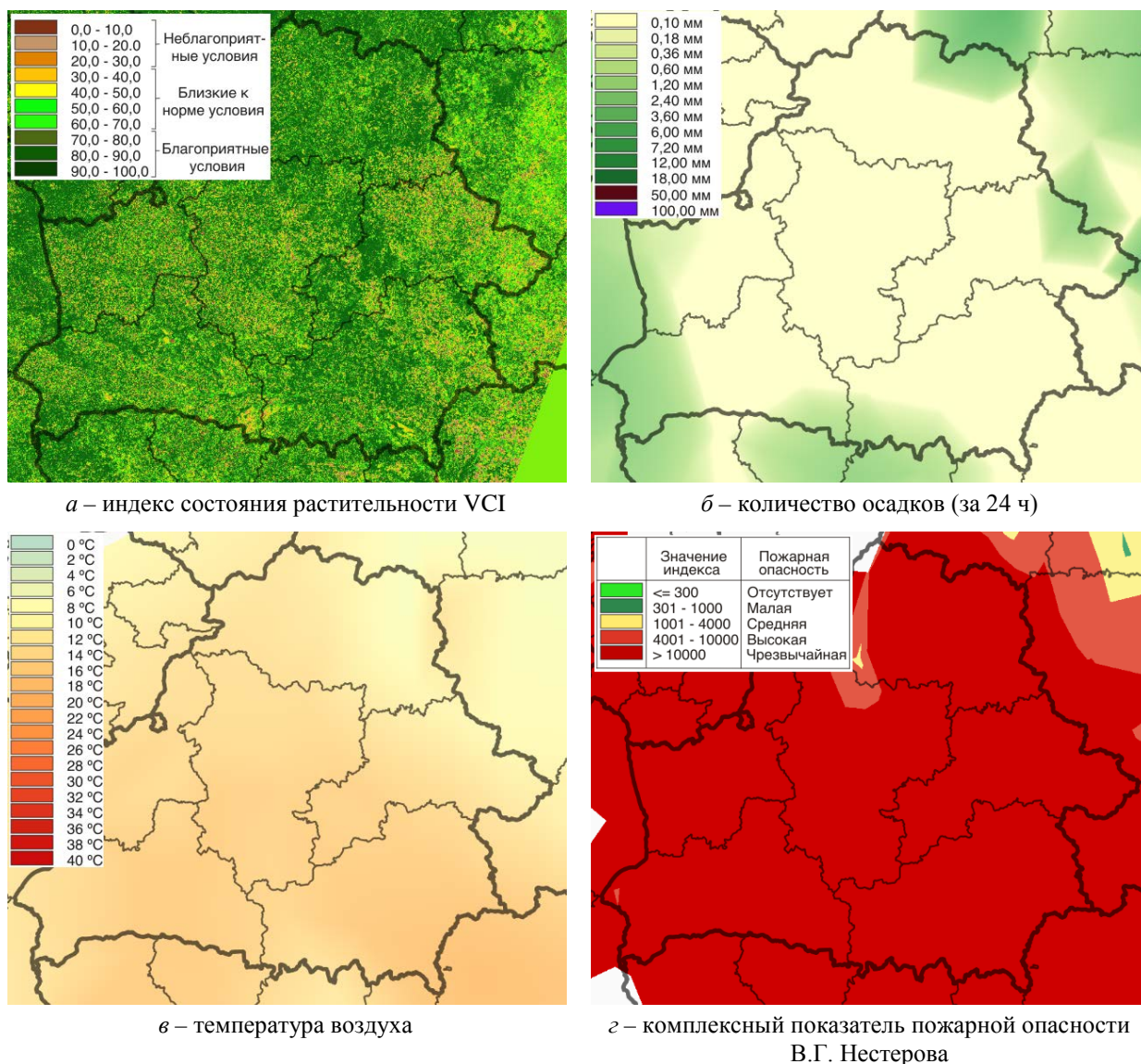


Рисунок 5. – Карты значений факторов, характеризующих пожарную опасность территории, за 1 мая 2015 г. на 18:00

### Заключение

Разработка системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожароопасность территории, явилась началом реализации нового прогнозного этапа в развитии механизмов реагирования на природные пожары в Республике Беларусь. Примененный при разработке системы подход обеспечивает гибкость (возможность дополнения, изменения, введения новых факторов, комплексных показателей и индексов пожарной опасности), динамичность (учет изменения состояния растительных горючих материалов в течение суток), детальность (до пространственного разрешения использованных для вычисления индексов состояния растительности спутниковых данных) и доступность (для пользователей результатов прогнозного мониторинга посредством сервиса удаленного доступа). Следует отметить, что разрабатываемая система является предварительным этапом на пути внедрения в Республике Беларусь современных подходов к прогнозированию пожарной опасности территории (в частности, адаптации канадской системы оценки опасности лесных пожаров CFFDRS (Canadian Forest Fire Danger Rating System, CFFDRS), включающей подсистему оценки пожароопасности по метеорологическим условиям и подсистему прогноза развития лесного пожара).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев, Ю.А. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае-Саянского экорегиона): справочное пособие / Ю.А. Андреев, А.В. Брюханов. – Красноярск, 2011. – 272 с.
2. Щербенко, Е.В. Дистанционные методы выявления сельскохозяйственной засухи / Е.В. Щербенко // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ООО «Азбука-2000», 2007. – Вып. 4. – Т. 2. – С. 408–419.
3. Kogan, F.N. Operational space technology for global vegetation assessment / F.N. Kogan // Bulletin of the American meteorological society. – 2001. – Vol. 82, № 9. – P. 1949–1964. DOI: 10.1175/1520-0477(2001)082<1949:OSTFGV>2.3.CO;2.
4. Land Cover CCI: Product User Guide. Version 2.0 / Defourny P. [et al.]. – UCL-Geomatics (Belgium), 2017. – 105 p.

**Результаты разработки системы прогнозного мониторинга факторов, характеризующих пожарную опасность территории, с использованием спутниковых и наземных данных**

**Results of the development of the forecast monitoring system of factors characterizing the fire hazard of the territory using satellite and ground data**

***Кравцов Сергей Леонидович***

кандидат технических наук

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

Адрес: ул. Сурганова, 6,  
220012, г. Минск, Беларусь  
e-mail: Krautsou\_sl@rambler.ru  
ORCID: 0000-0002-1476-9553

***Siarhei L. Kravtsov***

PhD in Technical Sciences

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

Address: Surganova str., 6,  
220012, Minsk, Belarus  
e-mail: Krautsou\_sl@rambler.ru  
ORCID: 0000-0002-1476-9553

***Голубцов Дмитрий Викторович***

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

Адрес: ул. Сурганова, 6,  
220012, г. Минск, Беларусь  
e-mail: demonix2004@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-5936-3442

***Dmitriy V. Golubtsov***

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

Address: Surganova str., 6,  
220012, Minsk, Belarus  
e-mail: demonix2004@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-5936-3442

***Романович Карина Александровна***

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

Адрес: ул. Сурганова, 6,  
220012, г. Минск, Беларусь  
e-mail: karisha147@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-3438-9830

***Karina A. Romanovich***

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

Address: Surganova str., 6,  
220012, Minsk, Belarus  
e-mail: karisha147@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-3438-9830

***Савко Илья Леонидович***

Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси», лаборатория аэрокосмического мониторинга, инженер-программист

Адрес: ул. Сурганова, 6,  
220012, г. Минск, Беларусь  
e-mail: savko.ilya@yandex.ru  
ORCID: 0000-0001-8221-9214

***Ilya L. Savko***

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

Address: Surganova str., 6,  
220012, Minsk, Belarus  
e-mail: savko.ilya@yandex.ru  
ORCID: 0000-0001-8221-9214

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.406>

## RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF THE FORECAST MONITORING SYSTEM OF FACTORS CHARACTERIZING THE FIRE HAZARD TERRITORY USING SATELLITE AND GROUND DATA

**Kravtsov S.L., Golubtsov D.V., Romanovich K.A., Savko I.L.**

*Purpose.* Improving of a forecast monitoring system of the fire hazard territory.

*Methods.* To obtain a qualitatively new result the approach of Big Data including static (relatively slowly changing in time) data, ground information from meteorological stations and satellite data over a long period of time is applied.

*Findings.* A forecast monitoring system of factors characterizing the fire hazard of the territory is developed. The system includes remote access service (providing data to users), database of forecast monitoring statistics, data processing and analysis subsystems. The structure of the system is relatively universal with the ability to complete and change both the functions themselves and the tasks to be solved. This allows considering the system as a preliminary stage of introducing modern approaches to fire hazard forecasting on the territory in the Republic of Belarus. The creation of the system is the beginning of a new forecast stage in the development of mechanisms of response to natural fires in the Republic of Belarus.

*Application field of research.* The results of a forecast monitoring system of factors characterizing the fire hazard of the territory may be used in daily activities of the departments of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus and the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus to reduce damage due to natural fires.

*Keywords:* system, forecast monitoring, fire hazard, satellite data, ground data, details level, dynamism.

(The date of submitting: July 22, 2020)

### REFERENCES

1. Andreev Y.A., Bryukhanov A.V. *Profilaktika, monitoring i bor'ba s prirodnyimi pozharami (na primere Altae-Sayanskogo ekoregiona)* [Prevention, monitoring and control of natural fires (using the example of the Altai-Sayan ecoregion): reference manual]: reference manual. Krasnoyarsk: 2011. 272 p. (rus)
2. Shcherbenko E.V. Distantionnye metody vyyavleniya sel'skokhozyaystvennoy zasukhi [Remote sensing methods for agricultural drought detecting]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2007. Vol. 2, Iss. 4. Pp. 408–419. (rus). Url: [http://d33.infospace.ru/d33\\_conf/vol2/408-419.pdf](http://d33.infospace.ru/d33_conf/vol2/408-419.pdf).
3. Kogan F.N. Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American meteorological society*, 2001. Vol. 82, No. 9. Pp. 1949–1964. DOI: 10.1175/1520-0477(2001)082<1949:OSTFGV>2.3.CO;2.
4. Defourny P., Lamarche C., Bontemps S., De Maet T., Van Bogaert E., Moreau I., Brockmann C., Boettcher M., Kirches G., Wevers J., Santoro M. *Land Cover CCI: Product User Guide. Version 2.0*. UCL-Geomatics (Belgium), 2017. 105 p.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.416>

УДК 627.8.059

## ОСОБЕННОСТИ КАСКАДНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ГИДРОУЗЛОВ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Пастухов С.М., Османов Х.С.

*Цель.* Провести анализ водохранилищного фонда Азербайджанской Республики и установить отличительные особенности расположения искусственных водных объектов по гидрологической сети.

*Методы.* Проведение теоретического анализа распределения искусственных водных объектов по наиболее крупным рекам Азербайджанской Республики с учетом их географических и гидроморфологических особенностей.

*Результаты.* Проведен анализ расположения искусственных водных объектов по территории Азербайджанской Республики и сопредельных государств. Выявлены отличительные особенности каскада гидроузлов на реке Куре. Приведено обоснование необходимости разработки методики оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций на указанном каскаде гидроузлов с учетом их отличительных особенностей.

*Область применения исследований.* Представленные результаты могут быть использованы в сфере обеспечения безопасности гидротехнических сооружений напорного фронта, при проведении вероятностной и детерминированной оценки риска возникновения на них чрезвычайных ситуаций.

*Ключевые слова:* речной бассейн, водохранилище, гидроэлектростанция, каскад гидроузлов, оценка риска, чрезвычайные ситуации.

(Поступила в редакцию 30 октября 2020 г.)

### Введение

Очевидные на первый взгляд положительные эффекты гидротехнического и, в частности, гидроэнергетического строительства (такие, как введение новых энергетических мощностей, развитие на их основе промышленности и комфортных условий жизнедеятельности, многие другие выгоды, включая несомненные преимущества гидроэнергетики перед другими способами выработки электроэнергии) нередко перечеркиваются такими негативными эффектами, как присутствие постоянного риска возникновения на них аварийных ситуаций с причинением экологического, экономического и социального ущерба [1].

Создание каскадов гидроузлов и гидроэлектростанций (ГЭС) обеспечивает более полное зарегулирование стока и использование гидроэнергетических ресурсов, позволяет в максимальной мере увязать интересы гидроэнергетики и других участников водохозяйственного комплекса. При размещении ГЭС с регулируемыми водохранилищами выше в каскаде обеспечиваются зарегулированным стоком все нижерасположенные ГЭС каскада, увеличивая энергетические показатели, а также повышение гарантированной водоотдачи потребителям на нижерасположенном участке реки<sup>1</sup> [2]. Одним из главных недостатков каскада ГЭС с точки зрения обеспечения безопасности является то, что при возникновении аварийных ситуаций на вышележащем участке возникает опасность разрушения всех нижележащих гидроузлов и сооружений на них.

С целью обеспечения безопасных условий эксплуатации гидродинамических объектов на всех жизненных циклах (проектирование, ввод в эксплуатацию и эксплуатация, проведение ремонтных работ, консервация) необходимо осуществлять оценку величины риска возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций. Указанная процедура требует разра-

<sup>1</sup> Российское акционерное общество энергетики и электрификации «ЕЭС России». Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. СО 34.21.308–2005. – Введ. 01.01.06. – СПб.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2005. – 69 с.

ботки соответствующих методических подходов и механизмов с учетом отличительных особенностей (конструктивных, географических и гидроморфологических) каждого гидроузла. Разработанные на основе результатов оценки риска меры по недопущению возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций и (или) минимизации причиненного ими вреда входят в проект гидротехнических сооружений в качестве одного из важнейших разделов<sup>2</sup>.

Одна из важнейших задач, стоящих перед Азербайджаном, – обеспечение водной безопасности, которая связана с продовольственной и энергетической безопасностью. С целью выполнения указанных задач в настоящее время разработан проект Водной стратегии страны, которая позволит определить основные направления развития водохозяйственного комплекса, охраны водных объектов, защиты населения и объектов экономики от отрицательного воздействия вод, а также установит принципы государственной политики в области интегрированного управления водными ресурсами, рационального использования и охраны водных объектов, принятие законодательных и подзаконных актов по обеспечению охраны водных экосистем, а также взаимоприемлемые и взаимовыгодные отношения между всеми субъектами<sup>3</sup>.

Таким образом, необходимо отметить, что обеспечение безопасности искусственных водных объектов в Азербайджане является одним из элементов обеспечения Национальной безопасности страны в социальной, экономической, экологической и научной сферах<sup>4</sup>.

Выявленные в результате детального анализа водохранилищного фонда Азербайджанской Республики отличительные особенности каскадного расположения гидроузлов в последующем будут учтены при разработке методики оценки риска возникновения на них чрезвычайных ситуаций и мероприятий по защите населения и объектов экономики от отрицательного воздействия сооружений напорного фронта.

### Основная часть

В Азербайджане четко прослеживается неравномерное распределение водных ресурсов по всей территории. Всего 10 % от общего запаса водных ресурсов Южного Кавказа приходится на долю Азербайджана<sup>5</sup>. Более 65 % водных ресурсов поступают на территорию страны трансграничными и приграничными реками. По расчетам Международного института запасов Азербайджанская Республика к 2025 г. войдет в число самых малообеспеченных водными ресурсами 13 стран, где на одного жителя будет приходиться приблизительно 972 м<sup>3</sup> воды в год. Географическое положение Азербайджана определяется также высокой чувствительностью к изменению климата [3].

Территория Азербайджана находится на северной оконечности субтропической зоны, и две трети страны расположены в бассейне реки Кура – Аракс. Климатическое разнообразие страны обусловлено сложным географическим положением и ландшафтом, близостью Каспийского моря, влиянием солнечной радиации и воздушных масс различного происхождения. Общие запасы воды в стране при среднегодовой обеспеченности составляют 28,5–30,5 км<sup>3</sup>, а в маловодные годы эти запасы уменьшаются до 22,6 км<sup>3</sup> [4]. В общей сложности

<sup>2</sup> О безопасности гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]: Закон Азербайджанской Республики, 27 дек. 2002 г., № 412-ПQ; в ред. Закона Азербайдж. Респ. от 18.12.2015 г. № 46-VQD // Законодательство стран СНГ. – Режим доступа: [http://base.spinform.ru/show\\_doc.fwx?rgn=85025](http://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=85025). – Дата доступа: 29.10.2020.

<sup>3</sup> Ахудов, А. Деятельности по обеспечению безопасности плотин в Азербайджане [Электронный ресурс] / А. Ахудов, С. Гасанзаде // DOCPLAYER. – 2020. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/49827450-Deyatelnosti-po-obespecheniyu-bezopasnosti-plotin-v-azerbay-dzhane.html>. – Дата доступа: 23.10.2020.

<sup>4</sup> О национальной безопасности [Электронный ресурс]: Закон Азербайджанской Республики, 29 июня 2004 г., № 712-ПГ; в ред. Законов Азербайдж. Респ. от 21.12.2010 г. № 38-IVQD, 21.12.2012 г. № 522-IVQD // Законодательство стран СНГ. – Режим доступа: [http://base.spinform.ru/show\\_doc.fwx?rgn=7431](http://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=7431). – Дата доступа: 29.10.2020.

<sup>5</sup> Казибеков, Н. Интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) в Азербайджане [Электронный ресурс] / Н. Казибеков // CA Water Info: Портал знаний о водных ресурсах и экологии Центральной Азии. – 2020. – Режим доступа: <http://www.cawater-info.net/library/rus/almaty2004/kazibekov.pdf>. – Дата доступа: 20.10.2020.

Азербайджан имеет 8350 рек, которые распределены на три основных речных бассейна: бассейн реки Куры, бассейн реки Аракс, бассейн рек, непосредственно впадающих в Каспийское море, создавая среднюю плотность речной сети 0,36 км/км<sup>2</sup> [5]. Из всех рек 21 является трансграничной, они впадают в Азербайджан из Армении, Грузии, России или Ирана. Длина рек варьируется – 2 реки распространяются более чем на 500 км, 22 реки между 101–500 км, 324 реки – между 11 и 100 км соответственно. Длина остальных рек не превышает 10 км [3].

Река Кура общей длиной 1515 км – самая большая река республики. Второй по величине водной артерией Азербайджана является река Араз. Общая площадь бассейна рек Кура – Аракс составляет около 190 110 км<sup>2</sup>, из которых 65 % расположены в странах Южного Кавказа: 31,5 % в Азербайджане, 18,2 % в Грузии и 15,7 % в Армении. Оставшаяся часть распределяется между Исламской Республикой Иран – 19,5 % и Турцией 15,1 % [5].

Река Аракс берет начало в Турции и через 300 км становится частью международной границы между Арменией и Турцией, Азербайджаном и Турцией, Арменией и Исламской Республикой Иран, а также между Азербайджаном и Исламской Республикой Иран. Река Аракс длиной около 1072 км имеет средний расход 210 млн м<sup>3</sup> в год. Общий годовой поток из Армении в Азербайджан через реку Аракс и ее притоки оценивается примерно в 5,62 км<sup>3</sup>, а из Исламской Республики Иран – в 7,5 км<sup>3</sup> [5].

По данным государственного Агентства водных ресурсов, в настоящее время в Азербайджане эксплуатируется 135 искусственных водных объектов, относящихся к категории водохранилищ, 49 100 оросительных каналов, более 30 000 коллекторно-дренажных систем, 117 000 гидротехнических сооружений, из них из камня, бетона или бетонные плотины – 132 км, 941 насосная станция общей мощностью более 700 МВт; более 1800 км противоселевых и противопаводковых защитных валов [3].

Большинство водоемов используется комплексно для выработки электроэнергии, ирригации, рыбозаведения и питьевых целей. Общий объем водоемов составляет более 21,5 км<sup>3</sup>, которые занимают площадь 877 км<sup>2</sup>, полный объем установленных гидроэлектростанций составляет 1000 МВт [4]. Распределение водохранилищ Азербайджанской Республики по их целевому назначению приведено на рисунке 1.

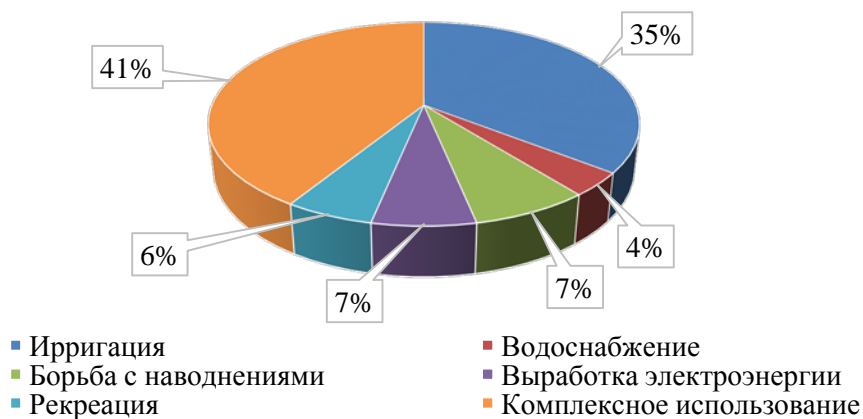
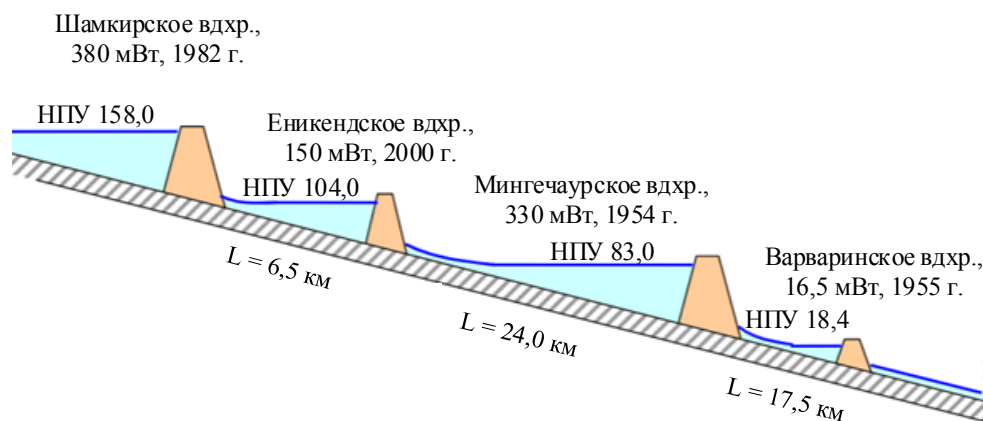


Рисунок 1. – Распределение водохранилищ Азербайджанской Республики по их назначению

Исходя из анализа опубликованных данных ICOLD (*International Commission of Large Dams*), можно сделать вывод, что низконапорные водоемы используются преимущественно с целью ирригации (орошения), назначение средненапорных водохранилищ дополняется регулированием стока с целью борьбы с наводнениями и дождевыми паводками, а также энергетическими целями. Высоконапорные гидроузлы являются, как правило, водоемами комплексного использования (рекреация, ирригация, регулирование стока, техническое водоснабжение) с ярко выраженным назначением по выработке электроэнергии [6].



Крупнейшими водохранилищами являются: Мингечаурское водохранилище (введено в эксплуатацию в 1953 г., общий объем составляет 15 730 млн м<sup>3</sup>), Шамкирское водохранилище (введено в эксплуатацию в 1982 г., общий объем составляет 2677 млн м<sup>3</sup>), водохранилище Араз (введено в эксплуатацию в 1971 г., общий объем составляет 1254 млн м<sup>3</sup>), Сарсангское водохранилище (введено в эксплуатацию в 1976 г., общий объем составляет 565 млн м<sup>3</sup>). Кроме того, 4 водохранилища (Шамкирское, Еникендское, Мингечаурское и Вараваринское) зарегулированы в каскад на русле реки Куры (рис. 2) [3; 5].



$L$  – расстояние между верхним и нижним бьефами гидроузлов; НПУ – нормальный подпорный уровень, м

**Рисунок 2. – Каскад водохранилищ на на реке Кура**

С вводом в 1982 г. в эксплуатацию Шамкирского водохранилища река Кура в среднем течении полностью потеряла свой естественный режим. Эти 2 крупных водохранилища (Шамкирское и Мингечаурское), а также существующие Вараваринское и Еникендское в комплексе создали возможность многолетнего регулирования стока и преобразовали среднее течение реки Куры в каскад водохранилищ и ГЭС [7].

Немаловажное значение в регулировании стока реки Куры имеют и многочисленные ирригационные водохранилища, созданные на ее притоках. Наиболее крупными из них являются: Сарсангское (площадь 13,85 км<sup>2</sup>, объем 560 млн м<sup>3</sup>), Акстафачайское (площадь 6,3 км<sup>2</sup>, объем 120 млн м<sup>3</sup>), Хачинчайское (площадь 1,76 км<sup>2</sup>, объем 23 млн м<sup>3</sup>), Ахынджачайское (площадь 0,92 км<sup>2</sup>, объем 14 млн м<sup>3</sup>), а также наливные: Ноуркшпакское (площадь 1,96 км<sup>2</sup>, объем 16,2 млн м<sup>3</sup>) и Екаханинское (площадь 3,70 км<sup>2</sup>, объем 19 млн м<sup>3</sup>).

Ряд водохранилищ создан на реках, непосредственно впадающих в Каспийское море. Наиболее крупным среди них является наливное Джейранбатанское водохранилище. Оно создано в 1958 г. на Апшеронском полуострове с подпитывающим Самур-Апшеронским каналом длиной 182 км и пропускной способностью 85 м<sup>3</sup>/с. Этот водоем площадью 3,9 км<sup>2</sup> и объемом 186 млн м<sup>3</sup> широко использует Баку и Сумгаит и отводящим Апшеронским каналом орошаются 16 тыс. га земель [3; 5].

Исходя из проведенного анализа установлено, что наибольший интерес с точки зрения обеспечения безопасности представляет собой каскад гидроузлов, расположенный на реке Кура в пределах территории Азербайджана, включающий Шамкирское, Еникендское, Мингечаурское и Вараваринское водохранилища.

Отличительными особенностями указанного каскада водохранилищ являются:

расположение гидроузлов не только на главной реке, но и на притоках первого и второго порядка (р. Большая Лиавхи – Кехви ГЭС; р. Аракс – гидроузел Аракс, Худаферинская ГЭС; р. Храмы – Храмовый каскад ГЭС, образующий Цалкское водохранилище с двумя ГЭС: Храмы ГЭС-1 и Храмы ГЭС-2; р. Арагви – Жинвальская ГЭС);

наличие ярко выраженной регулирующей функции крупных водохранилищ (Мингечаурское, Шамкирское) в режиме работы всей водоресурсной системы речного бассейна реки Куры [7];

формирование водного режима бассейна реки Куры в высокогорных, горных и предгорных зонах со значительной неравномерностью характеристик стока во времени и по территории, а также наличие резко разграничительных областей формирования и использования стока [7];

распределение гидроузлов по территориям стран, граничащих с Азербайджаном (Грузия, Армения, Турция и Южная Осетия), и, как следствие, необходимость оптимизации режимов рационального распределения стока при строительстве и вводе в эксплуатацию новых гидроузлов<sup>6</sup>;

наличие в пределах одного каскада водоемов, находящихся в подпоре друг с другом, а также свободного участка русла между ними с нормальной глубиной, что приводит к различному влиянию смежных водохранилищ друг на друга при максимальных водосбросных расходах [8].

### Заключение

На основании проведенного анализа водохранилищного фонда Азербайджанской Республики можно сделать вывод о низкой обеспеченности водными ресурсами и неравномерном их распределении по территории страны. Рассматривая искусственные водные объекты, отметим ярко выраженный каскад гидроузлов, расположенный в бассейне рек Кура – Аракс. Водоохранилища, как правило, используются комплексно с упором на орошение, рекреацию, а также в энергетических целях.

С учетом выявленных географических и гидроморфологических особенностей можно сделать вывод, что наибольшей потенциальной опасностью обладает каскад гидроузлов, представленный Шамкирским, Еникендским, Мингечаурским и Вараваринским водохранилищами. Особое место отводится Мингечаурскому водохранилищу. Другие водохранилища выше по течению реки Куры помимо водообеспечения служат дополнительным резервом воды, которая, будучи сработанной в Мингечаурское водохранилище, может быть отдана из него потребителям в требуемом режиме. Относительно небольшое расстояние между Еникендским и Шамкирским гидроузлами (участок русла около 6,5 км) позволяет их рассматривать находящимися в подпоре друг с другом, что приводит к необходимости дополнительного учета в обеспечении безопасности Мингечаурского гидроузла.

Таким образом, выявленные особенности каскадного расположения гидроузлов Азербайджанской Республики свидетельствуют о необходимости проведения комплексной оценки риска возникновения на них аварийных ситуаций с разработкой соответствующего методического аппарата и мероприятий по его минимизации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по оценке риска аварий гидротехнических сооружений водохранилищ и накопителей промышленных отходов: утв. НИИ ВОДГЕО, соглас. МЧС РФ 14.08.2001 № 9-4/02-644: текст по сост. на 1 дек. 2002 г. – М., 2001. – 34 с.
2. Плачков, И.В. Энергетика: развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики [Электронный ресурс] / И.В. Плачков, Н.И. Дунаевская, В.С. Подгуренко [и др.]. – Киев, 2012. – Кн. 3. – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-2/2>. – Дата доступа: 23.10.2020.
3. Ханан, Т. Аналитический обзор по гидрологии. Проект ПРООН/ГЭФ Снижение трансграничной деградации в бассейне рек Кура – Аракс / Т. Ханан, Х. Льюмменс, М. Мэттьюз. – Тбилиси – Баку – Ереван, 2013. – 30 с.
4. Иманов, Ф.А. Водные ресурсы и их использование в трансграничном бассейне реки Куры / Ф.А. Иманов. – СПб.: Свое издательство, 2016. – 164 с.

<sup>6</sup> Более 15 ГЭС будет построено на реке Кура в рамках грандиозного проекта [Электронный ресурс] // Sputnik Грузия. – Режим доступа: <https://sputnik-georgia.ru/economy/20141209/217198057.html>. – Дата доступа: 24.09.2020.

5. Халилов, Ш.Б. Основные географические проблемы взаимодействия крупных водохранилищ с окружающей средой (на примере Азербайджанской Республики): автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / Ш.Б. Халилов; Ин-т геогр. им. акад. Г.А. Алиева АН Азербайдж. Респ. – Баку, 1996. – 46 с.
6. ICOLD (International commission of Large Dams), Bulletin 99, Dam Failures, Statistical Analysis, Commission Internationale des Grands Barrages. – Paris, 1995. – 73 p.
7. Джафаров, Г.В. Методика определения рациональных режимов работы Кура-Аракского каскада водохранилищ: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04 / Г.В. Джафаров. – Баку, 1991. – 135 л.
8. Михневич, Э.И. Устойчивость русел открытых водотоков / Э.И. Михневич. – Минск: Ураджай, 1988. – 240 с.

**Особенности каскадного расположения гидроузлов Азербайджанской Республики**  
**Distinctive features of cascaded hydraulic units location in the Republic of Azerbaijan**

**Пастухов Сергей Михайлович**

кандидат технических наук, доцент

Министерство по чрезвычайным  
ситуациям Республики Беларусь,  
отдел науки и инновационного развития,  
начальник отдела

Адрес: ул. Революционная, 5,  
220030, г. Минск, Беларусь

e-mail: plamennyj98@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1437-1913

**Sergey M. Pastukhov**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Ministry of Emergency Situations  
of the Republic of Belarus,  
Science and Innovation Development  
Department, Head of Department

Address: Revolucionnaya str., 5,  
246023, Minsk, Belarus

e-mail: plamennyj98@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1437-1913

**Османов Хикмет Собирович**

Министерство по чрезвычайным ситуациям  
Азербайджанской Республики,  
главное управление кадровой политики,  
начальник управления

Адрес: ул. М. Мушвига, 501,  
AZ1073, г. Баку, Азербайджан

e-mail: az.hikmet@gmail.com

**Khikmet S. Osmanov**

Ministry of Emergency Situations  
of the Republic of Azerbaijan,  
Main Department of Personnel Policy,  
Head of Department

Address: M. Mushviga str., 501,  
AZ1073, Baku, Azerbaijan

e-mail: az.hikmet@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.416>

## **DISTINCTIVE FEATURES OF CASCAD HYDRAULIC UNITS LOCATION IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN**

**Pastukhov S.M., Osmanov Kh.S.**

*Purpose.* To analyze the reservoir fund of the Republic of Azerbaijan and to establish the distinctive features of the location of artificial water bodies along the hydrological network.

*Methods.* Theoretical analysis of the distribution of artificial water bodies along the largest rivers of the Republic of Azerbaijan taking into account their geographical and hydromorphological features.

*Findings.* The analysis of the location of artificial water bodies in the territory of the Republic of Azerbaijan and neighboring states has been carried out. Distinctive features of the cascade of waterworks on the Kura river have been identified. The substantiation of the need to develop a methodology for assessing the risk of emergencies at the specified cascade of hydroelectric complexes, taking into account their distinctive features is given.

*Application field of research.* The presented results can be used in the field of ensuring the safety of hydrotechnical pressure front structures when carrying out the probabilistic and deterministic assessment of risk of emergencies on them.

*Keywords:* river basin, water reservoir, hydroelectric power plant, cascade of hydrological units, risk assessment, emergency situations.

(The date of submitting: October 30, 2020)

### **REFERENCES**

1. *Metodicheskie rekomendacii po ocenke riska avariyn gidrotekhnicheskix sooruzheniy vodohranilish I nako-piteley promyshlennyx otkodov* [Methodological recommendations for assessing the risk of accidents in hydraulic structures of reservoirs and industrial waste storage facilities]: approved NII VODGEO, agrees. EMERCOM of the Russia, August 14, 2001 № 9-4/02-644: text as of December 1, 2002. Moscow, 2001. 34 p. (rus)
2. Plachkov I.V., Dunaevskaya N.I., Podgurenko V.S. *Energetika: razvitie teploenergetiki i gidroenergetiki* [Energy: development of thermal power and hydropower]. Kiev, 2012. Book 3, available at: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-2/section-2/2> (accessed: October 23, 2020). (rus)
3. Hanan T., Luimens X., Mettuiz M. *Analiticheskiy obzor po gidrologii. Proekt PROON/GEF Snizenie transgranichnoy degradacii v basseine reki Kura Araks* [Analytical review on hydrology. UNDP / GEF Project reducing transboundary degradation in the Kura Araks river basin]. Tbilisi – Baku – Erevan, 2013. 30 p. (rus)
4. Imanov F.A. *Vodnye resursy i ix ispolzovanie v transgranichnom basseine r. Kury* [Water resources and their use in the transboundary basin of the Kura river]. St. Petersburg: Svoe izdatelstvo, 2016. 164 p. (rus)
5. Halilov Sh.B. *Osnovnye geograficheskie problem vzaimodeistviya krupnyx vodoxranilish s okruzayushey sredoi (na primere Azerbayjanskoy Respubliki)* [The main geographic problems of the interaction of large reservoirs with the environment (on the example of the Republic of Azerbaijan)]. Grand PhD geographical sci. diss. Synopsis. Baku, 1996. 46 p. (rus)
6. *ICOLD (International commission of Large Dams)*, Bulletin 99, Dam Failures, Statistical Analysis, Commission Internationale des Grands Barrages. Paris, 1995. 73 p.
7. Dzafarov G.B. *Metodika opredeleniya racionalnyx regimov raboty Kura-Araksogo kaskada vodohranilish* [Methodology for determining the rational operating modes of the Kura-Arak cascade of reservoirs]. PhD technical sci. diss. Synopsis: 05.23.04. Baku, 1991. 135 p. (rus)
8. Mihnevich E.I. *Ustoychivost rusl otkrytyx vodotokov* [Stability of open watercourses]. Minsk: Uradjai, 1988. 240 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.424>

УДК 614.878:519.6

## ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ФАКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ЗАРАЖЕНИЯ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС

Котов Г.В., Фисенко С.П.

*Цель.* Разработка полуэмпирической модели расчета влияния водяных завес на распространение паров опасного химического вещества с ветровым потоком от локального источника выброса (пролива).

*Методы.* Лабораторные исследования абсорбции газообразной примеси движущимися водяными каплями. Полигонные испытания по определению параметров фактической зоны заражения в условиях проливов аммиака и хлора при свободном распространении примеси и в условиях постановки водяных завес. Метод Фуллера. Метод Галеркина. Метод прямых. Математическое моделирование. Трехмерное решение уравнения турбулентной диффузии. Интер- и экстраполяционные оценки. Полуэмпирические расчеты с использованием результатов лабораторных исследований, полигонных испытаний и математического моделирования.

*Результаты.* При распространении аммиака и хлора с ветровым потоком от источника выброса (пролива) рассчитаны поглощательная способность и коэффициент пропускания водяных завес, создаваемых с применением рукавного распылителя. Предложено выражение для расчета числовой плотности примеси с учетом коэффициента пропускания и доли примеси, не абсорбируемой водяной завесой. Определены границы фактической зоны заражения при свободном распространении аммиака и хлора с поверхности пролива и в условиях постановки водяных завес. Предложен метод расчета глубины фактической зоны заражения с использованием коэффициента пропускания завесы. Разработана полуэмпирическая модель расчета влияния водяных завес на распространение паров опасного химического вещества с ветровым потоком от локального источника выброса (пролива).

*Область применения исследований.* Прогнозирование параметров фактической зоны заражения при выбросе (проливе) опасного химического вещества в ходе ведения аварийно-спасательных работ.

*Ключевые слова:* опасное химическое вещество, пролив, зона заражения, водяная завеса, полуэмпирическая модель расчета.

(Поступила в редакцию 27 октября 2020 г.)

### Введение

Выброс (пролив) опасных химических веществ (ОХВ) при аварии на химически опасных объектах может привести к возникновению чрезвычайной ситуации. Принимая во внимание то обстоятельство, что объекты хозяйствования, на которых используются или хранятся ОХВ, нередко приближены к местам компактного проживания, поступление опасных химических веществ во внешнюю среду представляет серьезную угрозу здоровью и жизни людей. Наибольшая опасность возникает в случаях распространения от источника выброса газообразных опасных веществ под действием ветра.

В ходе аварийно-спасательных работ (АСР) при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЛЧС), связанных с выбросом (проливом) ОХВ, как правило, производится постановка водяных завес (ВЗ). Широкое применение ВЗ обусловлено рядом существенных преимуществ, важнейшими из которых являются мобильность, использование технических средств, имеющих на вооружении подразделений по ЛЧС, доступных расходных материалов и высокая эффективность. Вместе с тем существует определенная проблема, связанная с прогнозированием ситуации, определяемой эффективностью влияния завес на распространяющийся поток опасной примеси.

В настоящее время количественную оценку влияния ВЗ на концентрацию опасной примеси в ветровом потоке, распространяющемся от источника выброса, теоретически осуществить не представляется возможным. Имеющиеся в литературе данные о такой оценке опираются на результаты проведенных авторами натурных испытаний либо основываются на расчетах с помощью моделей прямого численного моделирования, реализованных в программных комплексах [1]. В последнем случае верификация, как правило, осуществляется с использованием уже известных результатов натурных испытаний.

Принимая во внимание сложность проведения полномасштабных полигонных испытаний, возникла необходимость в разработке полуэмпирической модели расчета параметров фактической зоны заражения в условиях применения водяных завес, опирающейся на результаты экспериментальных и натурных исследований, а также математического моделирования.

### Основная часть

В соответствии с теорией диффузии примесей [2] для нейтральной плавучести атмосферы среднее значение числовой плотности примеси в первичном облаке  $n_{0im}$  выражается как [3]

$$n_{0im} = \frac{n_{im \max}(T)}{h} \int_0^h \exp(-x/l_{dif}) dx, \quad (1)$$

где  $n_{im}$  – числовая плотность примеси,  $m^{-3}$ ;  $h$  – высота слоя примеси, м;  $l_{dif}$  – характерная диффузионная длина рассеивания, м;  $x$  – направление распространения ветрового потока.

Для расчета концентрации инертной примеси над поверхностью жидкого пролива введено понятие характерной высоты облака примеси  $h$ . На высоте, превышающей значение  $h$ , числовая плотность примеси стремится к нулю. Таким образом, величина  $h$  соответствует расстоянию от поверхности, ограничивающему область основного содержания частиц примеси.

Для случая распространения примеси, испаряющейся с поверхности жидкого пролива, значение  $h$  может быть определено как [4]

$$h \approx \sqrt{D_t d / u_0}, \quad (2)$$

где  $D_t$  – коэффициент турбулентной диффузии примеси,  $m^2/c$ ;  $d$  – размер пролива в направлении ветра (длина), м;  $u_0$  – скорость ветра на высоте 2 м, м/с.

Коэффициент турбулентной диффузии зависит от скорости ветра и характера поверхности, над которой происходит распространение ветрового потока:

$$D_t = u(z)\delta, \quad (3)$$

где  $u$  – скорость ветра, м/с;  $z$  – направление по вертикали;  $\delta$  – размер шероховатости, м.

На основе предварительного расчета распределения значений концентрации примеси на границе пролива в пределах высоты слоя распространения  $h$  был произведен расчет распределения примеси в ветровом потоке за пределами пролива.

При получении аналитических результатов введено выражение характерной длины рассеивания примеси  $l$  вследствие турбулентной диффузии:

$$l = \frac{u_0 h^2}{D_t} = \frac{h^2}{\delta}. \quad (4)$$

Учитывая геометрические соображения о форме следа и закон сохранения числа молекул примеси, для расчета средней числовой плотности  $\langle n(L) \rangle$  в приземном следе на расстоянии  $L$  от границы пролива могут быть использованы величины начальной числовой плотности  $n_0$ , высоты слоя и площади поперечного сечения следа [5]:

$$\langle n(L) \rangle = n_0 \frac{dh}{S(L)}, \quad (5)$$

где  $S(L)$  – площадь поперечного сечения следа на расстоянии  $L$ , м<sup>2</sup>.

Справедливость данного выражения подтверждается результатами полигонных испытаний. Например, сделана качественная оценка средней числовой плотности аммиака и определено эмпирическое усредненное выражение, позволяющее осуществлять интерполяционные оценки на основе имеющихся данных [5], в соответствии с выражением

$$\langle n(L) \rangle \approx n_0 \frac{d^{1.5}}{S^2}. \quad (6)$$

В условиях постановки завесы на пути ветрового потока происходит снижение концентрации примеси прежде всего за счет турбулентной диффузии в вертикальном направлении. В этом случае средняя числовая плотность примеси с учетом выражения (2) может быть определена как

$$\langle n(L) \rangle = n_0 \frac{dh}{S(L)} K, \quad (7)$$

где  $K$  – коэффициент пропускания завесы.

Коэффициент пропускания завесы является ее важнейшей характеристикой, определяющей эффективность обеззараживающего действия. Коэффициент пропускания зависит от природы примеси, параметров ВЗ и скорости ветра. Величина  $K$  представляет собой отношение количества примеси, прошедшей сквозь объем завесы, к ее исходному количеству в ветровом потоке. Наиболее достоверным способом ее определения является расчет на основе данных полигонных испытаний. В таком случае коэффициент пропускания определяется как

$$K = q_1 / q_0, \quad (8)$$

где  $q_0$  – расход примеси в отсутствие завесы, кг/с;  $q_1$  – расход примеси, прошедшей сквозь объем завесы, кг/с.

С учетом возможности абсорбции примеси завесой, коэффициент пропускания завесы рассматривается как произведение

$$K = K(u_0) A_f, \quad (9)$$

где  $K(u_0)$  – коэффициент пропускания завесы, определенный в условиях инертной примеси, соответствующий скорости ветра  $u_0$ ;  $A_f$  – доля примеси, не абсорбируемой водяной завесой.

Доля примеси, не абсорбированной водяной завесой, рассчитывается с использованием величины поглотительной способности:  $A_f = 1 - A_w$ . Поглотительная способность  $A_w$  может быть определена в условиях полигонных испытаний с учетом величин расходов примеси:

$$A_w = q_{abc} / q_0, \quad (10)$$

где  $q_{abc}$  – расход примеси, абсорбированной водяной завесой, кг/с.

Знание величин  $K_u$  и  $A_f$  позволяет прогнозировать значение коэффициента пропускания завес для случаев различных примесей, отличных по плотности паров (применяется интерполяционная оценка  $K_u$ ) и по растворимости в воде (применяется интерполяционная оценка  $A_f$ ).

С учетом сложности получения экспериментальных данных в отношении влияния завес на распространение потока примеси, особенно в части проведения полномасштабных полигонных испытаний, возникла необходимость применения методов математического моделирования с целью осуществления интер- и экстраполяционных оценок.



Были проведены лабораторные исследования процесса абсорбции газообразной примеси (аммиака и хлора) движущимися водяными каплями. По результатам исследований проведено математическое моделирование. При определении количества примеси, абсорбируемой движущейся каплей в условиях, соответствующих объему водяных завес, использовано выражение [6]:

$$\frac{dm_{im}}{d\tau} = 4\pi R^2 \gamma_{im}(\text{Re}) (\rho_{im} - \rho_{eq}(m_{im}, R, T_d)), \quad (11)$$

где  $m_{im}$  – масса примеси, абсорбированной каплей, кг;  $\tau$  – время падения (контакта), с;  $R$  – радиус капли, м;  $\gamma_{im}(\text{Re})$  – коэффициент массообмена примеси, м<sup>2</sup>/с;  $\rho_{im}$  – плотность паров примеси в воздушной смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{eq}$  – равновесная плотность паров примеси у поверхности капли, кг/м<sup>3</sup>;  $T_d$  – температура капли, К.

В отношении аммиака, отличающегося хорошей растворимостью в воде, приближенное аналитическое интегрирование уравнения (11) дает возможность расчета массы аммиака, поглощенного каплей за время падения (контакта):

$$m_{am}(\tau) \sim \frac{\rho_{am}}{p_1} (1 - \exp[-D_{am}(2 + 0,5 \text{Re}^{0,5})2\pi R p_1 \tau]), \quad (12)$$

$$p_1 = \frac{3}{4\pi R^3} \frac{18a.e.m. \cdot 10^5}{\rho_w H(T_d) k T_d},$$

где  $\rho_{am}$  – плотность паров аммиака, кг/м<sup>3</sup>;  $D_{am}$  – коэффициент диффузии молекул аммиака, м<sup>2</sup>/с;  $\text{Re}$  – число Рейнольдса;  $H$  – постоянная Генри, 1/Па;  $\rho_w$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/К.

Значение коэффициента диффузии молекул аммиака в воздухе  $D_{am}$  рассчитывалось по методу Фуллера [7].

В результате расчетов были определены значения массы примеси, поглощенной движущейся водяной каплей, в зависимости от концентрации аммиака и времени падения капли. Применительно к условиям водяных завес, создаваемых рукавными распылителями, показано, что величина их максимальной поглощательной способности не превышает 15 % даже в отношении такой хорошо растворимой в воде примеси, как аммиак.

Для расчета значений концентрации примеси в ветровом потоке использовано уравнение турбулентной диффузии. В трехмерной модели турбулентной диффузии уравнение для числовой плотности  $n = n(x, y, z)$  имеет вид

$$u \frac{\partial n}{\partial x} = D_t \frac{\partial^2 n}{\partial y^2} + D_t \frac{\partial^2 n}{\partial z^2}. \quad (13)$$

Ищем частное решения (13) в виде  $n(x, y, z) = n(x, z) \exp(-2y^2 W^2)$  и после применения метода Галеркина получаем двухмерное уравнение [8; 9]

$$u(z) \frac{\partial n(x, z)}{\partial x} = D_t \left( \frac{\partial^2 n(x, z)}{\partial z^2} - \frac{4n(x, z)}{W^2} \right), \quad (14)$$

где  $W$  – ширина пролива, м.

С использованием данного выражения, с учетом вертикального профиля скорости ветра уравнение турбулентной диффузии решалось с помощью метода прямых [10] в среде Mathcad 14. Были получены значения концентрации примеси, распространяющейся с поверхности пролива в ветровом потоке за его пределами. Сравнение экспериментальных и расчетных данных показало, что область высоких концентраций лучше описывается при решении двухмерного уравнения турбулентной диффузии, а область низких концентраций – при приближенном решении трехмерного уравнения. Принимая во внимание данное обстоятельство, был произведен прогнозный расчет значений глубины фактической зоны

заражения при проливе аммиака и хлора при различных значениях площади пролива  $S_{st}$  и скорости ветра при решении трехмерного уравнения турбулентной диффузии (рис. 1).

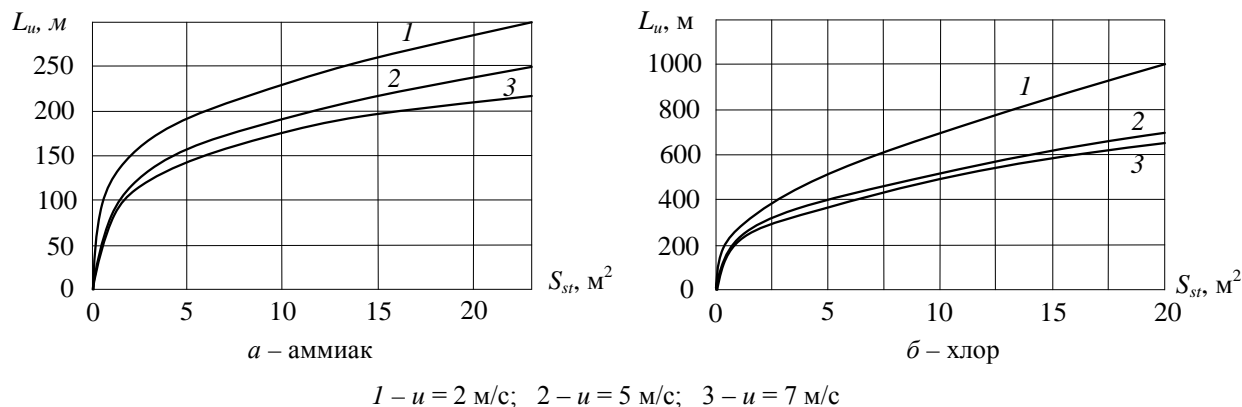


Рисунок 1. – Глубина фактической зоны заражения при свободном распространении примеси

Следующим этапом стало определение параметров фактической зоны заражения, в частности, ее глубины в условиях применения водяных завес. Используя значение ПДК опасной примеси и зная коэффициент пропускания завесы, можно рассчитать изменение величины глубины фактической зоны заражения. Ключевым моментом здесь становится определение коэффициента пропускания завесы.

Коэффициент пропускания зависит от природы примеси, параметров ВЗ и скорости ветра. Величины коэффициента пропускания были установлены в ходе полигонных испытаний [4]. Данные, интересующие нас в этой области, в литературных источниках отсутствуют. Принимая во внимание сложность проведения полномасштабных полигонных испытаний, были получены только данные для определения величины  $K$  для случаев проливов аммиака и хлора при значениях площади пролива 1–4 м<sup>2</sup>, скорости ветра 2 и 5 м/с, давления в рукавной линии от 0,3 до 0,9 МПа. Вид экспериментально установленных зависимостей коэффициента пропускания от природы примеси и давления в рукавной линии представлен на рисунке 2. В данном случае использован рукавный распылитель РР (20x0,066x0,5x0,005), здесь: 20 – длина рукава; 0,066 – диаметр рукава; 0,5 – расстояние между соплами; 0,005 – диаметр сопел, м.

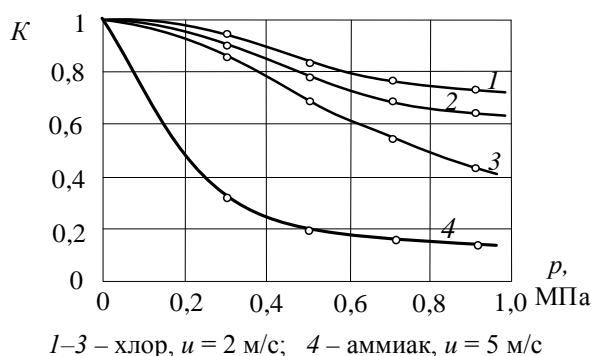


Рисунок 2. – Зависимость коэффициента пропускания от давления в рукавной линии РР (20x0,066x0,5x0,005)

На основе массива полученных экспериментальных данных был произведен расчет значений коэффициента пропускания в широком диапазоне значений скорости ветра, экспериментальные значения для которых получить не представляется возможным. Расчет был выполнен с учетом известной зависимости коэффициента турбулентной диффузии от скорости ветра (3).

На рисунке 3 представлена зависимость коэффициента пропускания завес для случаев аммиака и хлора от скорости ветра при использовании распылителя РР (20x0,066x0,5x0,005), при давлении в рукавной линии 0,5 МПа. Высота завесы 5 м. Расчетные данные соответствуют результатам натуральных испытаний, полученных при скорости ветра 2 и 5 м/с. Характер зависимостей указывает на то, что с увеличением скорости ветра значение коэффициента пропускания растет и, соответственно, снижается эффективность применения завес.

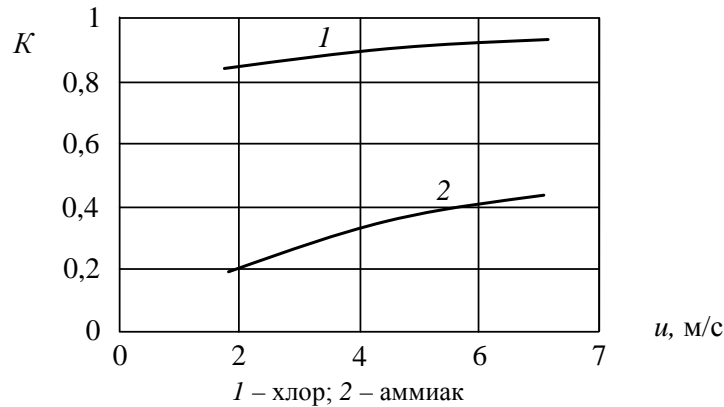


Рисунок 3. – Зависимость коэффициента пропускания завесы от скорости ветра. Распылитель РР (20x0,066x0,5x0,005),  $h_{зав} = 5$  м

Коэффициент пропускания завесы используется для расчета глубины фактической зоны заражения в области низких значений концентраций примеси в соответствии с выражением

$$L = K L_0, \quad (15)$$

где  $L_0$  – глубина фактической зоны заражения при свободном распространении примеси, м;  $L$  – глубина фактической зоны заражения после постановки водяных завес, м.

Разработанная модель при опоре на знания пропускательной способности завес и параметров фактической зоны заражения при проливах аммиака и хлора с использованием трехмерного уравнения турбулентной диффузии, а также интер- и экстраполяционных оценок позволяет рассчитывать изменения глубины фактической зоны заражения в результате постановки ВЗ с различными параметрами. На рисунке 4 представлены результаты расчета глубины фактической зоны заражения для проливов аммиака и хлора различной площади при скорости ветра 5 м/с, при свободном распространении примеси и использовании рукавного распылителя РР (20x0,066x0,5x0,005), при значении давления воды в распылителе 0,5, 0,7 и 0,9 МПа.

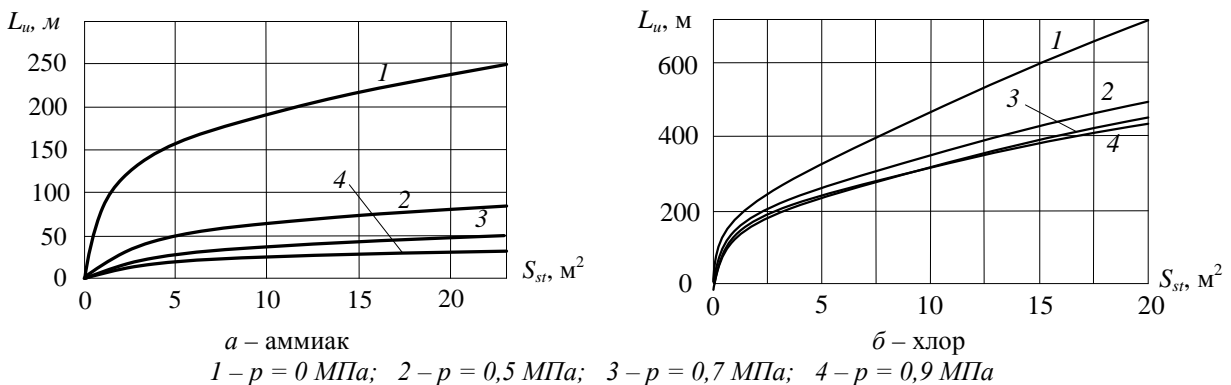


Рисунок 4. – Изменение глубины фактической зоны заражения при постановке завес. Распылитель РР (20x0,066x0,5x0,005),  $u = 5$  м/с

### Заключение

Разработана полуэмпирическая модель расчета параметров фактической зоны заражения в условиях применения водяных завес, которая базируется на результатах лабораторных исследований, полигонных испытаний и математического моделирования. Моделирование абсорбции газообразной примеси каплями воды и решение трехмерного уравнения турбулентной диффузии позволило осуществить интер- и экстраполяционные оценки процесса распространения примеси для условий, которые не могли быть достигнуты в ходе лабораторных исследований и полигонных испытаний. Полуэмпирическое выражение для расчета числовой плотности примеси дает возможность рассчитывать изменение концентрации примеси в ветровом потоке в результате постановки водяных завес.

Полуэмпирическая модель была применена при разработке нормативных документов в отношении случаев пролива аммиака до  $600 \text{ м}^2$ , хлора – до  $100 \text{ м}^2$ ; скорости ветра 2, 5, 7 м/с и выше; коэффициента пропускания завес 0,13–0,97.

С учетом интерполяционных оценок полуэмпирическая модель может применяться в отношении большого количества газообразных опасных химических веществ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов, К.М. Влияние водяной завесы на последствия залпового выброса аммиака / К.М. Кузнецов, А.Д. Галеев, С.И. Поникаров // Вестн. технол. ун-та. – 2015. – Т. 18, № 8. – С. 224–227.
2. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович [и др.]; под ред. Г.Н. Абрамовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1984. – 716 с.
3. Котов, Г.В. Изучение влияния водяных завес на распространение аммиачно-воздушного облака при возникновении чрезвычайных ситуаций / Г.В. Котов, С.П. Фисенко, А.П. Еремин // Обработка информации и управление в чрезвычайных и экстремальных ситуациях: материалы V Междунар. конф., Минск, 24–26 окт. 2006 г. / Нац. акад. наук Беларуси. Объединенный ин-т проблем информатики; ред. А.В. Тузиков. – Минск, 2006. – Т. 1. – С. 68–71.
4. Крайнов, В.П. Качественные методы в физической кинетике и гидрогазодинамике / В.П. Крайнов. – М.: Высш. шк., 1989. – 224 с.
5. Котов, Г.В. Чрезвычайные ситуации с выбросом (проливом) опасных химических веществ: использование завес при ликвидации последствий: монография / Г.В. Котов. – Минск: КИИ, 2015. – 232 с.
6. Fisenko, S.P. Evaporative cooling of water in a mechanical draft cooling tower / S.P. Fisenko, A.A. Brin, A.I. Petrichuk // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2004. – Vol. 47, № 1. – P. 165–177.
7. Reid, R.C. The properties of gases and liquids / R.C. Reid, J.M. Prausnitz, B.E. Poling. – New York: McGraw-Hill, 1987. – 741 p.
8. Флетчер, К. Численные методы на основе метода Галеркина / К. Флетчер. – М.: Мир, 1988. – 352 с.
9. Котов, Г.В. Моделирование распространения облака примеси под действием ветра в приземном слое / Г.В. Котов, С.П. Фисенко // Инженер.-физ. журн. – 2011. – Т. 84, № 3. – С. 535–539.
10. Вержбицкий, В.М. Основы численных методов: учеб. пособие / В.М. Вержбицкий. – М.: Высш. шк., 2002. – 840 с.

**Полуэмпирическая модель расчета параметров фактической  
зоны заражения при постановке водяных завес**

**Semi-empirical model of calculating the parameters of the actual zone  
of contamination when setting up water curtains**

***Котов Геннадий Викторович***

кандидат химических наук, доцент

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

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

e-mail: kotovgv@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7364-4403

***Gennadiy V. Kotov***

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

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

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

e-mail: kotovgv@mail.ru

ORCID: 0000-0001-7364-4403

***Фисенко Сергей Павлович***

доктор физико-математических наук

Институт тепло- и массообмена  
имени А.В. Лыкова Национальной академии  
наук Беларуси, лаборатория теории переноса,  
главный научный сотрудник

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

e-mail: fsp@hmti.ac.by

ORCID: 0000-0001-5935-0628

***Sergey P. Fisenko***

Grand PhD in Physical and Mathematical Sciences

A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute  
of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Transfer Theory Laboratory, Chief Researcher

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

e-mail: fsp@hmti.ac.by

ORCID: 0000-0001-5935-0628

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.424>

## SEMI-EMPIRICAL MODEL OF CALCULATING THE PARAMETERS OF THE ACTUAL ZONE OF CONTAMINATION WHEN SETTING UP WATER CURTAINS

Kotov G.V., Fisenko S.P.

*Purpose.* The development of a semi-empirical model of calculating the effect of water curtains on the propagation of hazardous chemical vapors with wind flow from a local source of release (spillage).

*Methods.* Laboratory studies of the absorption of gaseous impurities by moving water drops. Field tests to determine the parameters of the actual contamination zone in the conditions of ammonia and chlorine spills with free spread of impurities and in the conditions of setting up water curtains. Fuller's method. Galerkin's method. Method of straight lines. Mathematical modeling. Three-dimensional solution of the turbulent diffusion equation. Inter- and extrapolation estimates. Semi-empirical calculations using the results of laboratory research, field tests and mathematical modeling.

*Findings.* The absorption capacity and transmittance index of water curtains created with the use of a hose spray are calculated in case of the propagation of ammonia and chlorine with a wind flow from the source of emission (spillage). A formula is proposed for calculating the numerical density of the impurity taking into account the transmittance index and fractional impurities not absorbed by the water curtain. The boundaries of the actual contamination zone were determined with the free spread of ammonia and chlorine from the surface of the strait and under the conditions of setting up water curtains. A method is proposed for calculating the depth of the actual contamination zone using the curtain transmittance. A semi-empirical model has been developed for calculating the effect of water curtains on the propagation of hazardous chemical vapors with a wind flow from a local source of release (spillage).

*Application field of research.* Prediction of the parameters of the actual contamination zone during the release (spillage) of a hazardous chemical during the rescue operations.

*Keywords:* hazardous chemical substance, spillage, contamination zone, water curtain, semi-empirical calculation model.

(The date of submitting: October 27, 2020)

### REFERENCES

1. Kuznetsov K.M., Galeev A.D., Ponikarov S.I. Vliyaniye vodyanoy zavesy na posledstviya zalpovogo vybrosa ammiaka [Influence of a water curtain on the consequences of a bulk emission of ammonia]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2015. Vol. 18, No. 8. Pp. 224–227. (rus)
2. Abramovich G.N. [et al.] *Teoriya turbulentnykh struy* [The theory of turbulent jets]. 2-nd ed. Moscow: Nauka, 1984. 716 p. (rus)
3. Kotov G.V., Fisenko S.P., Eremin A.P. Izucheniye vliyaniya vodyanykh zaves na rasprostraneniye ammiachno-vozdushnogo oblaka pri vozniknovenii chrezvychaynykh situatsiy [Study of the effect of water curtains on the spread of an ammonia-air cloud in case of emergency]. *Proc. V Intern. scientific-practical conf. «Obrabotka informatsii i upravleniye v chrezvychaynykh i ekstremal'nykh situatsiyakh»*, Minsk, October 24–26, 2006. Joint Institute for Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk, 2006. Vol. 1. Pp. 68–71. (rus)
4. Krainov V.P. *Kachestvennyye metody v fizicheskoy kinetike i gidrogazodinamike* [Qualitative methods in physical kinetics and fluid dynamics]. Moscow: Vysshaya shkola, 1989. 224 p. (rus)
5. Kotov G.V. *Chrezvychaynye situatsii s vybrosom (prolivom) opasnykh khimicheskikh veshchestv: ispol'zovaniye zaves pri likvidatsii posledstviy* [Emergency situations with the release (spillage) of hazardous chemicals: the use of curtains in the elimination of consequences]: monograph. – Minsk: Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus, 2015. 232 p. (rus)
6. Fisenko S.P., Brin A.A., Petrukhin A.I. Evaporative cooling of water in a mechanical draft cooling tower. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2004. Vol. 47, No. 1. Pp. 165–177.
7. Reid R.C., Prausnitz J.M., Poling B.E. *The properties of gases and liquids*. New York: McGraw-Hill, 1987. 741 p.
8. Fletcher K. *Chislennyye metody na osnove metoda Galerkina* [Numerical methods based on the Galerkin method]. Moscow: Mir, 1988. 352 p. (rus)
9. Kotov G.V., Fisenko S.P. Modelirovaniye rasprostraneniya oblaka primesi pod deystviem vetra v prizemnom sloe [Modeling of impurity cloud propagation under the action of wind in the ground layer]. *J. Eng. Ph. end Thermophys*, 2011. Vol. 84, No. 3. Pp. 579–584. (rus)
10. Verzhbitskiy V.M. *Osnovy chislennykh metodov* [Basics Numerical Method]: tutorial. Moscow: Vysshaya shkola, 2002. 840 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-3.433>

УДК 159.9:614.8

## ОЦЕНКА УРОВНЯ РАЗВИТИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРОФЕССИЙ

Гермацкая Е.И.

*Цель.* Изучение уровня развития отдельных профессионально значимых психологических качеств будущих специалистов экстремальных профессий, таких как волевая саморегуляция, склонность к риску, мотивация достижения успеха или преодоления неудачи.

*Методы.* Проведение констатирующего эксперимента: психологическое тестирование с помощью методик: «Мотивация успеха и боязнь неудачи» (опросник А.А. Реана), «Исследование склонности к риску» (опросник А.Г. Шмелева), «Уровень развития волевой саморегуляции» (опросник А.В. Зверькова и Е.В. Эйдмана).

*Результаты.* Описаны результаты изучения уровня развития волевой саморегуляции, самообладания и настойчивости, мотивационной направленности и склонности к риску обучающихся 1-го и 3-го курсов Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. Кратко рассмотрены условия профессиональной деятельности специалистов экстремальных профессий. Волевые усилия для работников экстремальных видов деятельности необходимы для преодоления таких внешних препятствий, как трудности служебной деятельности, помехи различного рода, сопротивление других людей или жизненных обстоятельств. Сделан вывод, что для большинства респондентов характерен высокий уровень волевой саморегуляции, настойчивости и самообладания. У преобладающего большинства обучающихся как 1-го, так и 3-го курсов диагностирована выраженность мотивации на достижение успеха. При изучении склонности к риску выявлено, что практически у всех респондентов, принявших участие в исследовании, уровень склонности к риску средний.

*Область применения исследований.* Представленные результаты изучения могут использоваться для разработки программы развития профессионально важных психологических качеств, умений и навыков специалистов экстремального профиля, для прогнозирования основных условий и закономерностей их развития.

*Ключевые слова:* специалист-спасатель, специалисты экстремальных профессий, профессионально важные качества, умения, навыки, волевая саморегуляция, склонность к риску, мотивация достижения успеха, мотивация избегания неудачи.

(Поступила в редакцию 14 сентября 2020 г.)

### Введение

Для успешного выполнения профессиональных задач каждый человек должен обладать определенным набором профессионально значимых качеств, требуемых для конкретного вида деятельности. Поэтому представляется необходимым изучать профессионально важные качества, степень их выраженности у отдельных работников. Это особенно актуально для профессий экстремального профиля, т. к. ценой их профессиональных ошибок может быть человеческая жизнь [1].

Рассмотрим особенности профессиональной деятельности сотрудников МЧС, которая проходит в особых условиях и отличается тем, что на специалиста влияет большое количество стрессогенных факторов, действие которых при недостаточной выраженности профессионально важных качеств приводит к снижению эффективности выполнения служебных задач и профессиональному выгоранию сотрудников. Необходимые для каждого вида трудовой деятельности профессионально значимые качества специалиста развиваются в процессе его профессионального становления или компенсируются другими навыками и умениями. В экстремальных ситуациях, к которым относятся чрезвычайные происшествия

природного и техногенного характера, требования к отдельным профессионально важным качествам специалиста резко повышаются, многие из известных механизмов компенсации не действуют. Если профессиональная деятельность связана с тем, что чрезвычайные ситуации являются постоянной составляющей этой деятельности, то появляется необходимость в тщательном профессиональном отборе работников, не соответствующих по своим профессионально важным качествам требованиям экстремальной деятельности, или в перераспределении их по рабочим местам с учетом актуального уровня развития профессионально значимых качеств, навыков и умений [2].

Исходя из актуальности и необходимости изучения степени выраженности профессионально важных качеств специалистов экстремальных профессий, было проведено исследование отдельных профессионально значимых психологических качеств обучающихся 1-го и 3-го курсов Университета гражданской защиты с использованием следующих методик: «Мотивация успеха и боязнь неудачи» (опросник А.А. Реана), «Исследование склонности к риску» (опросник А.Г. Шмелева), «Уровень развития волевой саморегуляции» (опросник А.В. Зверькова и Е.В. Эйдмана). В исследовании принял участие 81 человек.

**Изучение уровня развития волевой саморегуляции.** С.Л. Рубинштейн определяет понятие волевой саморегуляции таким образом: «Воля – сознательное регулирование индивидом своего поведения (деятельности и общения), которое связано с преодолением внутренних и внешних препятствий. Это способность человека, которая проявляется в саморегуляции им своего поведения» [3].

Воля каждого отдельно взятого индивида находит выражение в том, насколько эффективно он преодолевает возникающие препятствия и трудности, в том числе в профессиональной деятельности, насколько он способен контролировать свое поведение в различных ситуациях, подчинять свои действия определенным целям и задачам. Таким образом, волевая саморегуляция – это психический процесс сознательной, целеустремленной регуляции человеком своих действий и поведения с целью достижения поставленных целей [4].

Волевою регуляцией любого вида деятельности можно описать как динамику психических состояний. У одних людей отдельные психические состояния бывают более устойчивыми, у других – менее устойчивыми. Таким образом, стойкое состояние инициативности и решительности может сочетаться с менее устойчивым уровнем настойчивости. Все волевые состояния тесно связаны с волевыми качествами личности [5].

Поведение человека определяется не одними только импульсами подсознания, а детерминируются сознанием личности. Воля человека организует все психические процессы, преобразует их в волевые состояния, обеспечивающие достижение поставленных целей. Процесс формирования воли – это процесс перехода внешнего общественного контроля к внутреннему самоконтролю личности [6].

Исследование уровня развития волевой саморегуляции обучающихся Университета гражданской защиты МЧС Беларуси проводилось с применением методики «Уровень развития волевой саморегуляции» (опросник А.В. Зверькова и Е.В. Эйдмана). Данная методика позволяет определить общий уровень волевой саморегуляции по общей шкале (В) и индексов по субшкалам «настойчивость» (Н) и «самообладание» (С).

**Таблица 1. – Сравнительный анализ результатов изучения волевой саморегуляции обучающихся**

Шкалы	1-й курс			3-й курс		
	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень
Волевая саморегуляция (В), %	88	5	7	87	8	5
Настойчивость (Н), %	79	16	5	87	8	5
Самообладание (С), %	79	12	9	84	8	8



У подавляющего большинства обучающихся 1-го и 3-го курсов общие показатели волевой саморегуляции находятся на высоком уровне. Таким образом, можно сделать вывод, что для большинства испытуемых характерны активность, самостоятельность, уверенность в себе, способность быстро принимать решения в ситуации неопределенности и дефицита информации.

По шкале «настойчивость» высокий уровень выраженности характерен для 79 % обучающихся 1-го курса и 87 % – обучающихся 3-го. Эту категорию специалистов характеризует стремление к достижению поставленных целей, высокая работоспособность, целенаправленная активность. Выделяется общий фактор настойчивости, состоящий из двух вспомогательных – физического и интеллектуального компонентов, определяются проявления воли в подвижной и интеллектуальной деятельности. Люди, воспитанные на умственном труде, чаще всего достигают успеха при решении интеллектуальных задач, при этом могут оказаться неэффективными в борьбе с физическими трудностями [7].

Экстремальные ситуации деятельности характеризуются тем, что в них обязательно должны присутствовать оба компонента – и физический, и интеллектуальный. В ситуации неопределенности и дефицита информации именно интеллект является генератором недостающей информации и способствует принятию правильных решений в максимально сжатые сроки для эффективного выхода из чрезвычайной ситуации [8].

Уровень самообладания также является высоким у 79 % и 84 % обучающихся 1-го и 3-го курсов соответственно. Это свидетельствует о высокой эмоциональной устойчивости, хорошем уровне владения собой в различных ситуациях, возникающих в профессиональной деятельности. Самообладание можно определить как способность оставаться эффективным при необходимости действовать в неожиданных или неопределенных ситуациях, проявляя при этом рассудительность и сдерживая отрицательные эмоции. Самообладание – это не только выдержка, также это понятие включает смелость и способность принимать решения, особенно в ситуациях недостатка информации или времени [9].

Воля проявляется в умении заставить себя делать то, что является необходимым в данной ситуации и в данный момент времени. Также волевые усилия необходимы для преодоления внешних препятствий, таких как трудности служебной деятельности, помехи различного рода, сопротивление других людей или жизненных обстоятельств. Если в повседневной жизни безвольный человек просто приносит мало пользы, то в ситуации опасности или риска для жизни, которыми характеризуется труд специалистов экстремальных профессий, такой человек будет опасен для окружающих. Немаловажным качеством для специалистов экстремальных видов деятельности, к которым мы относим и спасателей-пожарных, является решительность. Под ней понимается способность быстро оценивать окружающую обстановку и принимать необходимые решения, приняв их, не колебаться, а действовать целенаправленно и эффективно [10].

**Изучение выраженности мотивации успеха и боязни неудачи.** Обычно при реализации определенных видов деятельности поведением индивида управляют два вида мотивации – это мотивация стремления к успеху и мотивация избегания возможной, но не всегда реальной неудачи. Процессы принятия решений и способы достижения поставленных целей нередко зависят от того, какие именно мотивы преобладают в деятельности. Мотивация стремления к успеху направлена на конкретный результат, который возможен благодаря определенному набору профессионально значимых качеств. Она имеет позитивную векторную направленность и проявляется в способности к адекватной конкуренции, в стремлении к профессиональной и личностной самореализации. Мотивация достижения характеризуется постоянным контролем и при необходимости изменением профессиональных целей. Специалисты, мотивированные на стремление к успеху, уверены в себе и своих силах, ответственные, инициативны и активны, их отличает настойчивость в достижении цели и целеустремленность [11].

Мотивация избегания неудачи – это выработанный психикой механизм избегания возможных ошибок и неудач, практически всегда это достигается любыми путями и средствами. Для индивида с преобладающей мотивацией избегания неудачи главной целью деятельности является не допустить ошибку, даже если для этого необходимо полностью изменить основную цель действия. Мотивация на неудачу относится к неконструктивной мотивации, в основе которой заложена идея негативных ожиданий и их избегания. Специалисты, заранее замотивированные на неуспех, обычно отличаются повышенной тревожностью и низкой уверенностью в своих силах. Они пытаются избегать ответственных задач, а при необходимости их выполнения могут впасть в состояние, очень близкое к паническому, ситуативная тревожность в этом случае становится максимально высокой [12].

Мотивационная направленность обучающихся изучалась с помощью методики «Мотивация успеха и боязнь неудачи» (опросник А.А. Реана). Данная методика позволяет диагностировать четыре варианта мотивации: мотивация на избегание неудачи, тенденция мотивации на неудачу, тенденция мотивации на успех и мотивация на достижение успеха.

**Таблица 2. – Результаты изучения мотивационной направленности обучающихся 1-го и 3-го курсов**

Шкалы	1-й курс	3-й курс
Мотивация на неудачу, %	0	3
Тенденция мотивации на неудачу, %	5	3
Тенденция мотивации на успех, %	18	8
Мотивация на успех, %	77	86

Как видно из результатов, у преобладающего большинства обучающихся как 1-го, так и 3-го курсов диагностирована мотивация на стремление к достижению успеха. Это свидетельствует о том, что для данной группы обучающихся характерны такие личностные качества, как целеустремленность, инициативность и ответственность. Можно заметить, что у 18 % специалистов, находящихся на начальном этапе профессионального становления, выявлена тенденция к мотивации на успех, которая к окончанию обучения становится устойчивой мотивацией достижения успеха.

**Исследование склонности к риску.** Термин «склонность» описывает избирательную направленность человека на определенную сферу интересов, которая побуждает заниматься определенным видом деятельности. Склонность к риску характеризует направленность личности, для которой максимально желательными являются те виды активности, которые связаны с риском. Рисковое поведение – это деятельность человека, которая направлена на удовлетворение психологических, биологических, физиологических и социальных потребностей, связанных с повышенным риском [13].

Считается, что риск направлен на получение общественно значимых результатов деятельности новыми способами в условиях неопределенности и ситуации обязательного выбора. В то же время рискованное поведение может приводить к авантурным поступкам, торможению социального прогресса, к тем или иным социально-экономическим и моральным последствиям. Такой вариант развития возможен в условиях неполной исходной информации, когда в ситуации риска варианты решения выбираются без должного учета объективных закономерностей развития данного социального явления, по отношению к которому принимается решение [14].

В экстремальных ситуациях склонность к риску выступает необходимым условием эффективной деятельности в условиях дефицита оперативной информации о складывающейся обстановке. Специалисты, не склонные к риску, в чрезвычайных ситуациях испытывают более высокий уровень психической напряженности, они склонны прилагать меньше усилий для выполнения своих профессиональных задач. Длительные затруднения в период выполнения работы в условиях повышенной опасности приводят к психическому состоянию повышенной личностной и ситуативной тревожности, неуверенности в своих силах. Данная

категория лиц стремятся по возможности избегать воздействия психотравмирующих факторов, что может приводить к избеганию персональной ответственности, отказу от выполнения служебных обязанностей. Все это может препятствовать полноценной адаптации к действиям в условиях чрезвычайной ситуации. Действия специалистов экстремальных профессий, обладающих достаточным уровнем склонности к риску, приобретают такие качества, как надежность, точность, целенаправленность, ответственность и уверенность в своих силах.

Выраженность склонности к риску обучающихся изучалась с помощью методики «Исследование склонности к риску» (опросник А.Г. Шмелева).

**Таблица 3. – Результаты изучения склонности к риску обучающихся 1-го и 3-го курсов**

Степень выраженности склонности к риску	1-й курс	3-й курс
Высокий уровень, %	0	5,3
Средний уровень, %	100	94,7
Низкий уровень, %	0	0

Для всех обучающихся 1-го курса, находящихся на начальных этапах обучения профессиональной деятельности, характерен средний уровень склонности к риску. Для 94,7 % обучающихся 3-го курса, у которых уже имеется определенный уровень сформированности профессиональных навыков и умений, также характерным является средний уровень выраженности склонности к рискованному поведению. Полученные результаты позволяют предположить благоприятный прогноз профессиональной деятельности и дальнейшего обучения данной категории учащихся.

### **Заключение**

Специалисты экстремальных профессий, профессиональную деятельность которых мы рассматриваем на примере пожарных-спасателей, в процессе выполнения аварийно-спасательных работ подвергаются воздействию экстремальных условий труда. Их профессиональная деятельность тесно связана с угрозой для их собственной жизни и здоровью, а также состоянию физического и морального благополучия пострадавших в результате чрезвычайных ситуаций, ее результаты имеют высокую социальную значимость. Содержание работ, необходимость оперативного принятия решений, сложность используемых технических средств и другие специфические условия, возникающие при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, обуславливают высокие требования, предъявляемые профессиональной деятельностью к уровню знаний, навыков, умений и психологических особенностей спасателей [2].

В связи с особенностями труда специалист экстремальных видов деятельности должен обладать определенным набором профессионально значимых качеств. С целью прогнозирования успешности обучения и дальнейшей профессиональной деятельности специалистов по профилактике и предупреждению чрезвычайных ситуаций определен уровень развития таких профессионально важных психологических качеств, как волевая саморегуляция, мотивационная направленность на достижение успеха или преодоление неудачи и склонность к риску. По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что для большинства респондентов характерны высокий уровень волевой саморегуляции, настойчивости и самообладания. Это свидетельствует о том, что для данной группы испытуемых характерны активность, самостоятельность, уверенность в себе, способность быстро принимать решения в ситуации неопределенности и дефицита информации. Также у преобладающего большинства обучающихся как 1-го, так и 3-го курсов диагностирована выраженность мотивации на достижение успеха.

Это свидетельствует о том, что для этих специалистов характерны такие личностные качества, как активность, целеустремленность, инициативность, ответственность. При изучении склонности к риску выявлено, что практически у всех обучающихся, принявших участие в исследовании, уровень склонности к риску средний.

Таким образом, исследованные характеристики профессионально важных качеств достаточно выражены у обучающихся и 1-го, и 3-го курсов. Это позволяет сделать благоприятный прогноз на обучение и дальнейшую профессиональную деятельность данной категории специалистов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Самоукина, Н.В. Экстремальная психология / Н.В. Самоукина. – М.: Ассоциация авторов и издателей «ТАНДЕМ». Изд-во «ЭКМОС», 2000. – 288 с.
2. Гермацкая, Е.И. Психологические аспекты профессионально важных качеств пожарных-спасателей / Е.И. Гермацкая // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 96–105. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.96.
3. Рубинштейн, С.Л. Основы общей психологии: учеб. пособие / С.Л. Рубинштейн. – СПб.: Питер, 2013. – 713 с.
4. Сергиенко, Н.П. Воля как составляющая личности будущих работников МЧС / Н.П. Сергиенко // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сб. статей по материалам III Всероссийской науч.-практ. конф. с международным участием, Воронеж, 20 сент. 2012 г.: в 2 частях / ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2012. – Ч. 2. – С. 159–161.
5. Рудик, П.А. Воля и волевые действия / П.А. Рудик. – М.: Наука, 1974. – 480 с.
6. Иванников, В.А. Психологические механизмы волевой регуляции / В.А. Иванников – М.: Московский университет, 1991. – 264 с.
7. Полякова, Л.О. Волевая активность личности в экстремальных условиях спортивного туризма (обзор научной литературы) [Электронный ресурс] / Л.О. Полякова, В.Н. Полякова // Мир науки: интернет-журнал. – 2018. – № 3. – Режим доступа: <https://mir-nauki.com/PDF/72PSMN318.pdf>. – Дата доступа: 10.07.2020.
8. Рувинский, Л.И. Как воспитывать волю и характер / Л.И. Рувинский, С.И. Чубов. – М.: Образование, 1986. – 227 с.
9. Ильин, Е.П. Психология воли / Е. П. Ильин. – СПб.: Изд-во «Питер», 2000. – 320 с.
10. Кремень, М.А. Спасателю о психологии / М.А. Кремень. – Минск: Изд. центр БГУ, 2003. – 136 с.
11. Хекхаузен, Х. Психология мотивации достижения / Х. Хекхаузен. – СПб.: Речь, 2001. – 256 с.
12. Селиванов, В.И. Воля и ее воспитание / И.В. Селиванов. – М.: Знание, 1976. – 63 с.
13. Авдулова, Т.П. Рисковое поведение в юности: отклонение или норма / Т.П. Авдулова, Е.В. Витковская, Е.В. Поневаж // Клиническая и специальная психология. – 2013. – № 3. – С. 62–73.
14. Альгин, А.П. Риск и его роль в общественной жизни / А.П. Альгин. – М.: Мысль, 1989. – 188 с.

**Оценка уровня развития отдельных профессионально значимых психологических качеств будущих специалистов экстремальных профессий**

**Evaluation of the development level of several professionally significant psychological qualities of future specialists in extreme professions**

*Гермацкая Екатерина Игоревна*

Государственное пожарное аварийно-спасательное учреждение «Республиканский отряд специального назначения» МЧС Республики Беларусь, центр кризисной психологической помощи, старший инспектор-психолог

Адрес: ул. Карвата, 78,  
220138, г. Минск, Беларусь  
e-mail: germatskaya.cat2012@yandex.by  
ORCID: 0000-0001-8977-9273

*Ekaterina I. Germatskaya*

State Fire and Rescue Institution «Republican Special Purpose Unit» of The Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Crisis Psychological Center, Senior Inspector-Psychologist

Address: Karvata str., 78,  
220138, Minsk, Belarus  
e-mail: germatskaya.cat2012@yandex.by  
ORCID: 0000-0001-8977-9273

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.433>

## EVALUATION OF THE DEVELOPMENT LEVEL OF SEVERAL PROFESSIONALLY SIGNIFICANT PSYCHOLOGICAL QUALITIES OF FUTURE SPECIALISTS IN EXTREME PROFESSIONS

Germatskaya E.I.

*Purpose.* Studying the level of development of certain professionally significant psychological qualities of future specialists in extreme professions, such as volitional self-regulation, propensity to take risks, motivation to achieve success or overcome failure.

*Methods.* Carrying out an ascertaining experiment: psychological testing using the techniques: «Motivation of success and fear of failure» (questionnaire by A.A. Rean), «Research of the propensity to take risks» (questionnaire of A.G. Shmelev), «Level of volitional self-regulation» (questionnaire A.V. Zverkov and E.V. Eydman).

*Findings.* The results of studying the level of development of volitional self-regulation, self-control and perseverance, motivational orientation and propensity to risk of the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> year students of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus are presented. The conditions of professional activity of specialists in extreme professions are briefly considered. Strong-willed efforts for workers in extreme activities are necessary to overcome such external obstacles as difficulties in professional activities, various hindrances, confronting with other people or life circumstances. It can be concluded that the majority of respondents are characterized by a high level of volitional self-regulation, perseverance and self-control. The overwhelming majority of the first and third year students were diagnosed with pronounced motivation to achieve success. It has been found that almost all respondents participating in the study had an average level of propensity to take risks.

*Application field of research.* The presented results can be used to work out a program for the development of professionally important psychological qualities, skills and abilities of extreme profile specialists aimed at forecasting the main conditions and regularities of their formation.

*Keywords:* specialist rescuer, specialists in extreme professions, professionally important qualities, abilities, skills, volitional self-regulation, propensity to take risks, motivation to achieve success, motivation to avoid failure.

(The date of submitting: September 14, 2020)

### REFERENCES

1. Samoukina N.V. *Ekstremal'naya psikhologiya* [Extreme psychology]. Moscow: TANDEM, EKMOС, 2000. 287 p. (rus)
2. Germatskaya E.I. Psikhologicheskiye aspekty professional'no vazhnykh kachestv pozharnykh-spasateley [Psychological aspects of professionally important qualities of fire-rescuers]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 1. Pp. 96-105. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.96.
3. Rubinshteyn S.L. *Osnovy obshchey psikhologii* [Fundamentals of General Psychology]: tutorial. St. Petersburg: Piter, 2013. 713 p. (rus)
4. Sergiyenko N.P. Volya kak sostavlyayushchaya lichnosti budushchikh rabotnikov MChS [Will as a component of the personality of the future employees of the Ministry of Emergencies]. *Proc. III All-Russian scientific and practical conference with international participation «Fire safety: problems and prospects», Voronezh, September 20, 2012.* Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia. Voronezh, 2012. Part 2. Pp. 159–161. (rus)
5. Rudik P.A. *Volya i volevye deystviya* [Will and volitional actions]. Moscow: Nauka, 1974. 480 p. (rus)
6. Ivannikov V.A. *Psikhologicheskiye mekhanizmy volevoy regulyatsii* [Psychological mechanisms of volitional regulation]. Moscow: Moscow University, 1991. 264 p. (rus)
7. Polyakova L.O., Polyakova V.N. Volevaya aktivnost' lichnosti v ekstremal'nykh usloviyakh sportivnogo turizma (obzor nauchnoy literatury) [Volitional activity of personality in extreme conditions of sports tourism (review of scientific literature)]. *World of Science. Pedagogy and psychology*, 2018. No. 3, available at: <https://mir-nauki.com/PDF/72PSMN318.pdf> (accessed: July 10, 2020). (rus)
8. Ruvinskiy L.I., Chubov S.I. *Kak vospityvat' volyu i kharakter* [How to train will and character]. Moscow: Obrazovanie, 1986. 227 p. (rus)
9. Il'in E.P. *Psikhologiya voli* [Psychology of will]. St. Petersburg: Piter, 2000. 320 p. (rus)

10. Kremen' M.A. *Spasatelyu o psikhologii* [Rescuer about psychology]. Minsk: Belarusian State University, 2003. 136 p. (rus)
11. Khekkhauzen K.H. *Psikhologiya motivatsii dostizheniya* [Psychology of achievement motivation]. St. Petersburg: Rech', 2001. 256 p. (rus)
12. Selivanov, V.I. *Volya i ee vospitanie* [Will and its training]. Moscow: Znanie, 1976. 147 p. (rus)
13. Avdulova T.P., Vitkovskaya E.V., Ponevazh E.V. Riskovoye povedenie v yunosti: otklonenie ili norma [Risk behavior in adolescence: deviation or norm]. *Clinical and special psychology*, 2013. No. 3. Pp. 62–73. (rus)
14. Al'gin A.P. *Risk i ego rol' v obshchestvennoy zhizni* [Risk and its role in public life]. Moscow: Mysl', 1989. 188 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.442>

УДК 614.8:355.23::796 (476)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ МЧС БЕЛАРУСИ

Чумила Е.А., Маркач И.И., Гурин А.А.

*Цель.* Теоретическое обоснование подходов, направленных на преобразование системы профессионально-прикладной физической подготовки в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

*Методы.* Основу проведенного исследования составили содержательные аспекты педагогического процесса, направленные на обеспечение эффективности функционирования системы профессионально-прикладной физической подготовки спасателей. Использованы следующие методы исследования: структурно-функциональный, анализ, обобщение и систематизация, сравнение, формализация.

*Результаты.* Представлены подходы по преобразованию системы профессионально-прикладной физической подготовки в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Обобщены принципы и пути, представленные в научной и научно-методической литературе, которые прежде всего ориентированы на оптимизацию содержания профессионально-прикладной физической подготовки спасателей на всех этапах профессиональной подготовки. Обосновано, что каждый этап профессионального становления зависит от ряда общих и частных особенностей, а тщательное рассмотрение и ведение учета индивидуальных особенностей обеспечит эффективную деятельность системы подготовки спасателя.

*Область применения исследований.* Результаты исследований могут быть использованы в системе профессионально-прикладной физической подготовки спасателей МЧС Беларуси.

*Ключевые слова:* специалист-спасатель, профессионально-прикладная физическая подготовка, обучающийся, гуманитаризация, чрезвычайная ситуация.

(Поступила в редакцию 9 октября 2020 г.)

### Введение

В настоящее время в связи со стремительным развитием промышленности, строительства, внедрением в производство сложных технологических процессов, аппаратов и технических устройств увеличивается риск не только числа чрезвычайных ситуаций техногенного характера, но и их масштабов.

Можно с уверенностью сказать, что авария на промышленном предприятии в наше время может стать катастрофой для районов и даже целых городов. Различные оперативно-тактические характеристики объектов различного назначения и сложность их внутренней планировки требуют от спасателей не только теоретических знаний, но и организованности, высокого уровня физической подготовленности, психологической устойчивости и ряда других качеств, которые обусловлены также дефицитом времени и быстрой сменой оперативной обстановки в условиях увеличения объема чрезвычайной ситуации.

Все эти качества достигаются в ходе обучения на различных этапах профессиональной подготовки, система организации которой функционирует во всех органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Для качественного выполнения поставленных задач, грамотного руководства и правильного выбора средств и методов для ликвидации ЧС спасателям необходимо постоянно совершенствоваться. Это требует и своевременного преобразования системы профессионально-прикладной физической подготовки (далее – ППФП), от которой напрямую зависит уровень профессионального мастерства работников ОПЧС в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.



### Основная часть

Эффективность функционирования системы ППФП спасателей МЧС Беларуси – залог успешного решения задач по снижению гибели людей на пожарах и других ЧС. Известно, что ППФП является важным элементом подготовки работников спасательных подразделений к профессиональной деятельности и занимает ведущую роль в системе становления специалистов. Существенная значимость ППФП выражена на начальных этапах профессиональной подготовки, поскольку этот период активно сопровождается формированием физической готовности специалистов к выполнению профессионально значимых задач [1–4].

В качестве одного из путей, направленных на уменьшение величины прямого и косвенного ущерба от ЧС, является совершенствование системы ППФП спасателей, основанное на активном поиске и внедрении новых педагогических технологий. Это требует применения мер, направленных на обеспечение содержательного компонента физической подготовки, соответствующего основным направлениям профессиональной деятельности и отвечающего требованиям руководящих документов, регламентирующих порядок организации профессиональной подготовки в ОПЧС [5].

Ключевым вектором дальнейшего преобразования системы ППФП спасателей является совершенствование государственных стандартов и образовательных программ, направленных на всестороннее формирование личности и обеспечивающих гуманитаризацию процесса профессиональной подготовки, что в большинстве развитых стран выступает немаловажным показателем преобразования системы подготовки специалистов [6; 7].

Особо значимы в данном направлении действия отдельно взятого человека и его роль в процессе трансформирования и преобразования на современном этапе формирования социума. В последние десятилетия существенно возросла роль человеческого фактора в процессе обеспечения безопасности жизнедеятельности. Об этом свидетельствуют данные статистики причин возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

В Республике Беларусь проблема предотвращения возникновения ЧС и минимизации их последствий имеет особую значимость. Необходимость дальнейшего совершенствования подходов, обеспечивающих участие всех заинтересованных органов и организаций, к решению указанной проблемы обусловлена прежде всего достаточно большим количеством ЧС, а также величиной причиняемого ущерба. Указанная задача не может быть решена без разработки комплексной программы подготовки специалистов, участвующих в предупреждении и ликвидации ЧС.

По данным статистики Республиканского центра управления и реагирования на ЧС МЧС, в период с 2005 по 2019 г. в Республике Беларусь произошло более 118 000 ЧС, в результате которых погибли более 12 000 человек. По вине человеческого фактора ежегодно происходит более 90 % ЧС. Важным направлением по преодолению отмеченной тенденции является целенаправленное повышение уровня подготовленности спасателей посредством максимальной реализации всего комплекса их способностей, в том числе физических. Ряд авторов рассматривают данный подход как ключевой при организации педагогического процесса [8–11].

Существует множество показателей, оказывающих воздействие на максимальную реализацию потенциала будущих работников МЧС. Важным показателем выступает программа становления и развития личности обучающихся, ориентированная на возрастные показатели и уровень развития физических качеств, что безусловно способствует совершенствованию образовательного процесса посредством выбора оптимального варианта для достижения его наибольшей эффективности.

Можно утверждать, что существенные изменения в системе ППФП спасателей ориентированы на поиск и практическую реализацию технологических подходов, обеспечивающих наиболее полное с практической точки зрения соответствие составляющих показателей образовательного процесса и особенностей обучающихся. Выполнение этого требования

предусматривает целенаправленную деятельность педагогов на всех этапах функционирования системы ППФП спасателей.

Ряд авторов отмечают, что начальные этапы профессионального становления спасателей требуют акцентирования внимания на реализации целого комплекса способностей обучающихся. Особое внимание авторы обращают на физические способности, находящиеся в периоде, наиболее благоприятном для формирования психологических свойств и видов поведения. Это связано с тем, что организм обучающихся находится в процессе активного развития, предполагающего активизацию не всех физических качеств. В связи с этим исследователи особое внимание обращают на показатели, находящиеся в сенситивном периоде развития личности обучающихся. Решение указанной задачи способствует развитию физических качеств обучающихся и позволяет эффективно воздействовать на формирование у них профессионально-прикладного двигательного фонда [12–14].

На наш взгляд, используемые в настоящее время формы и методы организации образовательного процесса спасателей не в полном объеме включают созданный научной общественностью потенциал в области обеспечения профессионально-прикладной физической подготовки. Процесс формирования личности в системе ППФП показал, что в отношении профессиональной подготовки спасателей перспективным направлением является ориентация педагогического процесса в отношении требований к предстоящей профессиональной деятельности и полного раскрытия потенциала отдельно взятого обучающегося [6; 15].

Н.И. Кашин, С.В. Лобанов и В.А. Сальников указывают на то, что содержание ППФП должно учитывать специфику факторов, способствующих всестороннему развитию личности и обеспечивающих поддержание организма в оптимальном рабочем состоянии на протяжении обучения и профессионального становления [1–3].

Особое значение на начальном этапе профессионального становления спасателя занимает однородность содержательных, организационных и управленческих аспектов физической подготовки с системой физического воспитания общества, что на практике способствует решению задач по оптимизации физической подготовки спасателей и позволяет обеспечить эффективное использование средств по формированию личности. По мнению целого ряда авторов, преобразования, обеспечивающие реализацию физических качеств с учетом возрастных этапов развития обучающихся, позволят обеспечить реализацию гуманитаризации системы ППФП спасателей МЧС Республики Беларусь [6; 14; 15].

Развитие подобных систем ППФП в экономически развитых странах свидетельствует о значительном увеличении доли дисциплин, обеспечивающих гуманитаризацию образовательного процесса. Наряду с этим, можно утверждать, что содержание ППФП как в учебных заведениях, осуществляющих подготовку специалистов по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, так и в других учреждениях высшего образования силового блока, не претерпело значительных преобразований, способствующих изменению существующей практики. С этой точки зрения особая значимость должна отводиться деятельности, направленной на обоснование и практическую реализацию учебно-программной документации, содержание ППФП которой максимально бы соответствовало особенностям обучающихся. При этом неоспоримым является тот факт, что содержание ППФП должно быть направлено на развитие физических качеств обучающихся, формирование у них профессионально-прикладного двигательного фонда, определенных особенностями предстоящей профессиональной деятельности. С практической точки зрения преобразования в данном направлении позволят оптимизировать содержание ППФП спасателей на всех этапах их профессиональной подготовки. При постановке задач, направленных на обеспечение образовательного процесса, важно учитывать возрастные, психологические, социальные, физические, мотивационные и другие особенности обучающихся. В связи с этим требуется проведение системных исследований, направленных на уточнение места и роли каждого из этапов в единой системе профессионального формирования личности [1; 12].

Реализация поставленных вопросов требует детального рассмотрения структуры физических способностей и специфики их формирования посредством направленного применения педагогических воздействий на обучающихся на начальном этапе профессиональной подготовки спасателей и уточнения вопросов их обусловленности со стороны возрастной программы развития личности. Несомненно, подробного рассмотрения требуют также содержательные и организационные аспекты процесса профессиональной подготовки. Содержательные аспекты педагогического процесса на каждом из этапов профессионального становления детерминированы общими и частными особенностями (требования профессиональной деятельности, специфика обучаемых, сложившиеся традиции, материально-техническое обеспечение и т. п.). Следовательно, строгий учет перечисленных особенностей обеспечивает эффективность деятельности педагогической системы, чем определяется результат ее функционирования [1].

Наряду с этим, на сегодня также приходится учитывать влияние, оказываемое на систему подготовки спасателей со стороны таких факторов, как уровень соматического здоровья и физической подготовленности абитуриентов; дефицит учебного времени, выделяемого на физическую подготовку; воздействие увеличивающейся учебной нагрузки на организм обучающихся [4].

### **Заключение**

В результате проведенного анализа научно-методической литературы определено, что обеспечение эффективности функционирования системы ППФП спасателей МЧС, повышение уровня их подготовленности посредством реализации физических способностей и формирования профессионально-прикладного двигательного фонда, позволит повысить качество подготовки спасателей, что, в свою очередь, гарантированно улучшит качество проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, сохранит человеческие жизни.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Г20М-041).

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Кашин, Н.И. Содержание и методика профессионально-прикладной физической подготовки курсантов вузов силовых ведомств на начальном этапе обучения: на примере вузов МВД: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04 / Н.И. Кашин. – СПб., 2005. – 219 л.
2. Лобанов, С.В. Состояние и некоторые направления совершенствования физической подготовки призывников к службе в армии / С.В. Лобанов // Научные исследования и разработки в спорте. – СПб., ВИФК, 1996. – С. 40–45.
3. Сальников, В.А. Возрастные и индивидуальные особенности физического развития на различных этапах спортивного совершенствования: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04 / В.А. Сальников. – СПб., 1996. – 57 с.
4. Чумила, Е.А. О некоторых аспектах профессиональной подготовки работников ОПЧС / Е.А. Чумила // Проблемы формирования готовности сотрудников и военнослужащих государственных органов системы обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь к применению физической силы: сб. материалов Респ. науч.-метод. семинара, Минск, 30 марта 2018 г. / ГУО «ИПС РБ»; под ред. А.В. Козыревского. – Минск, 2018. – С. 60–62.
5. Барчуков, И.С. Физическая подготовка. Теория и практика / И.С. Барчуков, В.А. Собина. – М., 1999. – 420 с.
6. Карманов, А.И. Актуальные проблемы гуманитаризации подготовки военных кадров / А.И. Карманов // Информационно-методический бюллетень. – М.: Военное образование. 1996. – № 1. – С. 14–19.
7. Карманов, А.И. Актуальные проблемы совершенствования системы военного образования, повышения качества подготовки офицерских кадров / А.И. Карманов // Военное образование. 1997. – № 2. – С. 9–14.

8. Восьмирко, Е.О. Проблемы статистического изучения чрезвычайных экологических ситуаций техногенного характера: дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.19 / Е.О. Восьмирко. – М., 2000. – 135 л.
9. Губа, В.П. Возрастные основы формирования спортивных умений у детей в связи с начальной ориентацией в различные виды спорта: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04 / В.П. Губа. – М.: ВНИИФК, 1997. – 50 с.
10. Данилова, Н.Н. Психофизиология: учебник для вузов / Н.Н. Данилова. – М.: Аспект пресс, 2000. – 373 с.
11. Калашников, А.Ф. Теория и практика специальной физической подготовки курсантов и слушателей образовательных учреждений МВД России: дис. ... д-ра пед. наук / А.Ф. Калашников. – СПб.: ВИФК, 1999. – 327 с.
12. Научное обоснование структуры и содержания проектов руководств по физической подготовке и спорту в Вооруженных Силах РФ: итоговый отчет о НИР «Спектр» / ВИФК; рук. Г.А. Ивахненко. – СПб., 2001. – 117 с.
13. Ротенберг, А.Р. Адаптация спортивных единоборств в системе физической подготовки учебных заведений довузовского звена: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.04 / А.Р. Ротенберг. – СПб.: ГАФК, 2002. – 217 с.
14. Федоров, В.Г. Научно-теоретические основы многоуровневого военно-физкультурного образования: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.08 / В.Г. Федоров. – СПб.: ВИФК, 1998. – 42 с.
15. Шаповаленко, Л.Л. Направленность профессионально-прикладных разделов физической подготовки кадетов: учеб.-метод. пособие / Л.Л. Шаповаленко, А.Р. Ротенберг, Г.А. Ивахненко. – СПб.: ФНИ, 2001. – 54 с.

**Теоретические аспекты профессионально-прикладной физической подготовки спасателей МЧС Беларуси**

**Theoretical aspects of professionally applied physical training of rescuers of the Ministry of Emergencies of Belarus**

***Чумила Евгений Анатольевич***

кандидат педагогических наук, доцент  
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра физической подготовки и спорта, доцент

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

e-mail: cchhuumm@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5551-4215

***Evgeniy A. Chumila***

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Physical Training and Sports,  
Associate Professor

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

e-mail: cchhuumm@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5551-4215

***Маркач Игорь Иванович***

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

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

e-mail: pasfp\_mark14@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6885-7209

***Igor' I. Markach***

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

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

e-mail: pasfp\_mark14@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6885-7209

***Гурин Алексей Александрович***

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

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

e-mail: Arget98@mail.ru

***Aleksey A. Gurin***

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

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

e-mail: Arget98@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.442>

## THEORETICAL ASPECTS OF PROFESSIONALLY APPLIED PHYSICAL TRAINING OF RESCUERS OF THE MINISTRY OF EMERGENCIES OF BELARUS

Chumila E.A., Markach I.I., Gurin A.A.

*Purpose.* Theoretical substantiation of the approaches aimed at transforming the system of professionally applied physical training in the bodies and units for emergency situations of the Republic of Belarus.

*Methods.* The study was based on the contents aspects of the pedagogical process aimed at ensuring the effectiveness of the system of professionally applied physical training of rescuers. The following research methods were used: structural and functional, analysis, generalization and systematization, comparison, formalization.

*Findings.* The approaches to transforming the system of professionally applied physical training in the bodies and units for emergency situations of the Republic of Belarus are presented. The principles and ways presented in scientific and scientific-methodical literature focusing on the optimization of the content of professionally applied physical training of rescuers at all stages of professional training are generalized. It has been substantiated that each stage of professional development depends on a number of general and particular characteristics. Careful consideration and keeping records of individual characteristics will ensure the effective operation of the rescuer training system.

*Application field of research.* The research results can be used in the system of professionally applied physical training of rescuers of the Ministry for Emergency Situations of Belarus.

*Keywords:* specialist rescuer, professionally applied physical training, cadet, humanitarization, emergency.

(The date of submitting: October 9, 2020)

### REFERENCES

1. Kashin N.I. Soderzhanie i metodika professional'no-prikladnoy fizicheskoy podgotovki kursantov vuzov silovykh vedomstv na nachal'nom etape obucheniya: na primere vuzov MVD [The content and methodology of professionally applied physical training of cadets of higher educational institutions of law enforcement agencies at the initial stage of training: on the example of higher educational institutions of the Ministry of Internal Affairs]. PhD pedagogical sci. diss. St. Petersburg, 2005. 219 p. (rus)
2. Lobanov S.V. *Sostoyanie i nekotorye napravleniya sovershenstvovaniya fizicheskoy podgotovki prizyvnikov k sluzhbe v armii* [The state and some directions of improving the physical training of conscripts for military service]: *Nauchnye issledovaniya i razrabotki v sporte*, 1996. Pp. 40–45.
3. Sal'nikov V.A. *Vozrastnye i individual'nye osobennosti fizicheskogo razvitiya na razlichnykh etapakh sportivnogo sovershenstvovaniya* [Age and individual characteristics of physical development at different stages of sports development]. Grand PhD pedagogical sci. diss. Synopsis: 13.00.04. St. Petersburg, 1996. 57 p. (rus)
4. Chumila E.A. O nekotorykh aspektakh professional'noy podgotovki rabotnikov OPChS [On some aspects of vocational training of employees of bodies and departments for emergency situations]. Proc. scientific-methodological seminar «*Problemy formirovaniya gotovnosti sotrudnikov i voennosluzhashchikh gosudarstvennykh organov sistemy obespecheniya natsional'noy bezopasnosti Respubliki Belarus' k primeneniyu fizicheskoy sily*», Minsk, March 30, 2018. State educational institution «Institute of the Border Guard Service of the Republic of Belarus». Ed.by: A. V. Kozyrevskogo, D. N. Savich. Minsk, 2018. Pp. 60–62. (rus)
5. Barchukov I.S., Sobina V.A. *Fizicheskaya podgotovka. Teoriya i praktika* [Physical training. Theory and practice]. Moscow, 1999. 420 p. (rus)
6. Karmanov A.I. Aktual'nye problemy gumanitarizatsii podgotovki voennykh kadrov [Actual problems of humanitarization of training military personnel]. *Information and methodological bulletin*. Moscow: Voennoe obrazovanie, 1996. No. 1. Pp. 14–19. (rus)
7. Karmanov A.I. Aktual'nye problemy sovershenstvovaniya sistemy voennogo obrazovaniya, povysheniya kachestva podgotovki ofiterskikh kadrov [Actual problems of improving the military education system, improving the quality of officer training]. *Voennoe obrazovanie*, 1997. No. 2. Pp. 9–14. (rus)

8. Vos'mirko E.O. *Problemy statisticheskogo izucheniya chrezvychaynykh ekologicheskikh situatsiy tekhnogenogo kharaktera* [Problems of statistical study of environmental emergencies of man-made nature]. PhD economic sci. diss.: 08.00.19. Moscow, 2000. 135 p. (rus)
9. Guba V.P. *Vozrastnye osnovy formirovaniya sportivnykh umeniy u detey v svyazi s nachal'noy orientatsiyey v razlichnye vidy sporta* [Age-related bases for the formation of sports skills in children in connection with the initial orientation in various sports]. Grand PhD in pedagogical sci. diss. Synopsis: 13.00.04. All-Russian Scientific Research Institute of Physical Culture and Sports. Moscow, 1997. 50 p. (rus)
10. *Psikhofiziologiya* [Psychophysiology]: textbook. Ed. by N.N. Danilova. Moscow: Aspekt press, 2000. 373 p. (rus)
11. Kalashnikov A.F. *Teoriya i praktika spetsial'noy fizicheskoy podgotovki kursantov i slushateley obrazovatel'nykh uchrezhdeniy MVD Rossii* [Theory and practice of special physical training of cadets and students of educational institutions of the Ministry of Internal Affairs of Russia]. Grand PhD pedagogical sci. diss. Military Institute of Physical Education. St. Petersburg, 1999. 327 p. (rus)
12. Ivakhnenko G.A. *Nauchnoe obosnovanie struktury i sodержaniya proektov rukovodstv po fizicheskoy podgotovke i sportu v Vooruzhennykh Silakh RF* [Scientific substantiation of the structure and content of draft manuals on physical training and sports in the Armed Forces of the Russian Federation]: report (final). Military Institute of Physical Education. St. Petersburg, 2001. 117 p. (rus)
13. Rotenberg A.R. *Adaptatsiya sportivnykh edinoborstv v sisteme fizicheskoy odgotovki uchebnykh zavedeniy dovuzovskogo zvena* [Adaptation of combat sports in the system of physical training of educational institutions of pre-university level]. PhD pedagogical sci. diss.: 13.00.04. State Academy of Physical Culture named after P.F. Lesgaft. St. Petersburg, 2002. 217 p. (rus)
14. Fedorov V.G. *Nauchno teoreticheskie osnovy mnogourovnevnogo voenno-fizkul'turnogo obrazovaniya* [Scientific theoretical foundations of multilevel military-physical education]. Grand PhD pedagogical sci. diss. Synopsis. Military Institute of Physical Education. St. Petersburg, 1998. 42 p. (rus)
15. Shapovalenko L. L., Rotenberg A.R., Ivakhnenko G.A. *Napravlennost' professional'no-prikladnykh razdelov fizicheskoy podgotovki kadetov* [The focus of professionally applied sections of physical training of cadets]: teaching aid. St. Petersburg: FNI, 2001. 54 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.450>

УДК 34:614.841.3(476)

## ОПТИМИЗАЦИЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Горошко Е.Ю., Бордак С.С.

*Цель.* Анализ и формирование инновационных предложений в рамках нормативно-правового регулирования обеспечения пожарной безопасности в Республике Беларусь.

*Методы.* Используются методы индукции, дедукции, анализа и синтеза, сравнительно-правовой метод. Теоретические подходы исследования – исследования в области права. Эмпирической основой исследования является национальная нормативная база Республики Беларусь в области пожарной безопасности.

*Результаты.* Проведен анализ принятых нормативных инноваций в Закон Республики Беларусь от 15 июня 1993 г. «О пожарной безопасности», определена их практическая и теоретическая значимость.

*Область применения исследований.* Результаты исследования могут быть использованы при оптимизации нормативно-правового регулирования обеспечения пожарной безопасности, унификации республиканских и локальных нормативных актов.

*Ключевые слова:* пожарная безопасность, законодательство о пожарной безопасности, административная ответственность, уголовная ответственность.

(Поступила в редакцию 6 апреля 2020 г.)

### Введение

Обеспечение пожарной безопасности – один из актуальных вопросов безопасного функционирования субъектов хозяйствования. В Республике Беларусь в данной сфере ведется системная работа и за последние 10 лет значительно сокращено количество пожаров на различных объектах экономики. Вместе с тем проблема пожаров полностью не устранена. Объективно все это сказывается на темпах развития государства, как итог – на уровне жизни людей. Поэтому защита населения и территорий от пожаров – стратегическая задача государственных органов, подчиненных им организаций, которая должна реализовываться руководителями и должностными лицами всех уровней.

Правовую основу и принципы организации системы пожарной безопасности, действующей в целях защиты от пожаров жизни и здоровья людей, национального достояния, всех видов собственности и экономики, определяет Закон Республики Беларусь от 15 июня 1993 г. «О пожарной безопасности» (далее – Закон)<sup>1</sup>. Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в целях совершенствования законодательства в данной области был подготовлен и инициирован к принятию Закон «Об изменении Закона Республики Беларусь "О пожарной безопасности"»<sup>2</sup>.

Необходимость совершенствования законодательства в сфере пожарной безопасности обуславливалась произошедшими изменениями в национальном законодательстве, принятием новых нормативных правовых актов, таких как Декрет Президента Республики Беларусь от 23 ноября 2017 г. № 7 «О развитии предпринимательства», указов Президента Республики Беларусь от 9 февраля 2015 г. № 48 «О мерах по обеспечению государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов» и от 16 октября

<sup>1</sup> О пожарной безопасности: Закон Респ. Беларусь от 15 июня 1993 г. № 2403-ХП: в ред. Закона Респ. Беларусь от 30.12.2015 № 3341-З // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

<sup>2</sup> Об изменении Закона Республики Беларусь «О пожарной безопасности»: Закон Респ. Беларусь от 11 нояб. 2019 г. № 251-З // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.



2017 г. № 376 «О мерах по совершенствованию контрольной (надзорной) деятельности», изменениями в законах Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации» и «О нормативных правовых актах».

В Законе предусмотрено уточнение норм, регулирующих правовые отношения в области обеспечения пожарной безопасности, вопросы государственного управления и государственного надзора в области обеспечения пожарной безопасности, а также полномочий Президента Республики Беларусь, Совета Министров Республики Беларусь, Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения пожарной безопасности.

Также усовершенствовано правовое регулирование деятельности внештатных и добровольных пожарных формирований, добровольных пожарных организаций. Внесенные изменения в Закон предусматривают установление права на участие граждан, коллективов работников в осуществлении мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, цели, виды, порядок создания и деятельности внештатных пожарных формирований. Определены новые обязанности и права членов внештатных пожарных формирований, а также гарантии членам внештатных пожарных формирований, финансирование деятельности внештатных пожарных формирований. Урегулирован правовой статус добровольных пожарных организаций, обязанности и права членов добровольных пожарных формирований, актуализированы нормы, регулирующие деятельность органов государственного пожарного надзора, введено понятие «государственный надзор в области обеспечения пожарной безопасности» и определены его составляющие.

### **Основная часть**

*Первое.* В соответствии с законодательством Республики Беларусь основные полномочия в области архитектурной, градостроительной и строительной деятельности осуществляются Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь. Так, Положением о порядке разработки, согласования и утверждения градостроительных проектов, проектной документации, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 8 октября 2008 г. № 1476, функция по согласованию обоснованных отступлений от требований технических нормативных правовых актов, взаимосвязанных с техническим регламентом Республики Беларусь «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность» (ТР 2009/013/ВУ), возложена на Минстройархитектуры<sup>3</sup>. Действовавшая редакция Закона правом согласовывать проекты на строительство объектов, в которых отсутствуют противопожарные требования, а также проекты с обоснованными отступлениями от противопожарных требований наделяла органы государственного пожарного надзора Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь<sup>4</sup>. Дублирование норм в различных законодательных актах вносило дисбаланс в практику рассматриваемой деятельности. В связи с этим из Закона исключена данная норма, тем самым четко определен субъект согласования вышеобозначенных проектов, в качестве которого выступает Минстройархитектуры.

*Второе.* Нормами ст. 426 Гражданского кодекса Республики Беларусь урегулирована обязанность продавца по передаче товара покупателю:

«1. Продавец обязан передать покупателю товар, предусмотренный договором купли-продажи.

<sup>3</sup> О порядке разработки, согласования и утверждения градостроительных проектов, проектной документации: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 8 окт. 2008 г. № 1476-3: в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 14.12.2018 № 902 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

<sup>4</sup> См. сноску 1.

2. Если иное не предусмотрено договором, продавец обязан одновременно с передачей товара передать покупателю его принадлежности, а также относящиеся к нему документы (технический паспорт, сертификат качества, инструкцию по эксплуатации и т. п.), предусмотренные законодательством или договором»<sup>5</sup>.

Частью 2 ст. 12 Закона Республики Беларусь от 9 января 2002 г. «О защите прав потребителей» регламентирована обязанность изготовителя (исполнителя, продавца) информировать потребителя об условиях безопасного использования товара:

«Изготовитель (исполнитель, продавец) обязан информировать потребителя о возможном риске и об условиях безопасного использования товара (результата работы, услуги) с помощью соответствующих обозначений, принятых в Республике Беларусь и (или) в международной практике. При этом, если для безопасного использования товара (результата работы, услуги), хранения, транспортировки или утилизации товара (результата работы) необходимо соблюдать специальные правила, изготовитель (исполнитель) обязан указать их в документации, прилагаемой к товару (результату работы, услуге), на этикетке или иным доступным (известным) и понятным потребителю способом, позволяющим ему своевременно ознакомиться с этими правилами, а продавец (исполнитель) обязан довести эти правила до сведения потребителя»<sup>6</sup>.

Вместе с тем в ч. 3 ст. 11 действовавшей редакции Закона указывалось: «Ввозимые в республику и выпускаемые на ее территории средства противопожарной защиты, а также изделия, представляющие пожарную опасность, перечень которых устанавливается Главным государственным инспектором Республики Беларусь по пожарному надзору, при реализации потребителям должны обеспечиваться документами, устанавливающими область, условия применения и меры пожарной безопасности при их использовании. Указанные документы должны составляться на белорусском или русском языке»<sup>7</sup>. В связи со вступлением в силу технического регламента Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) эта норма из Закона была исключена.

*Третье.* Ранее Законом были определены обязанности только республиканских органов государственного управления в области обеспечения пожарной безопасности. Вместе с тем законодательством о пожарной безопасности не определялся правовой статус иных государственных организаций, подчиненных Совету Министров Республики Беларусь в рассматриваемом сегменте деятельности. При этом государственные организации, подчиненные Совету Министров Республики Беларусь, имеют все признаки республиканских органов государственного управления (осуществляют проведение государственной политики, регулирование, управление в определенной сфере деятельности и т. д.). Основное различие между государственными организациями, подчиненными Совету Министров Республики Беларусь, и республиканскими органами государственного управления заключается в механизме их образования, а их обязанности в сфере обеспечения пожарной безопасности аналогичны. Указанное обстоятельство обусловило внесение изменений в статьи, регулирующие ведение первичного учета пожаров и их последствий, а также полномочия государственных органов, государственных организаций, подчиненных Совету Министров Республики Беларусь, в области обеспечения пожарной безопасности.

*Четвертое.* В целях детализации положений исследуемого Закона уточнены и конкретизированы полномочия Совета Министров Республики Беларусь и Министерства по

<sup>5</sup> Гражданский кодекс Республики Беларусь // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

<sup>6</sup> О защите прав потребителей: Закон Респ. Беларусь от 9 янв. 2002 г. № 90-3: в ред. Закона Респ. Беларусь от 13.07.2018 № 111-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

<sup>7</sup> См. сноску 1.

чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения пожарной безопасности.

Закон дополнен ст. 15 «Полномочия Президента Республики Беларусь в области обеспечения пожарной безопасности» и 17 «Полномочия Министерства по чрезвычайным ситуациям в области обеспечения пожарной безопасности».

*Пятое.* Указом Президента Республики Беларусь от 9 февраля 2015 г. № 48 «О мерах по обеспечению государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов» осуществление государственного надзора за соблюдением требований технических регламентов Таможенного союза, Евразийского экономического союза в области пожарной и промышленной безопасности возлагается на Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь<sup>8</sup>.

В целях приведения Закона в соответствие действующему законодательству, а также для систематизации и определения исчерпывающего перечня сфер надзорной деятельности ст. 4 изложена в новой редакции:

«Государственный надзор в области обеспечения пожарной безопасности включает:

- 1) государственный пожарный надзор;
- 2) надзор за соблюдением законодательства при осуществлении деятельности по обеспечению пожарной безопасности;
- 3) государственный надзор за соблюдением требований технических регламентов Таможенного союза, Евразийского экономического союза в области пожарной безопасности.

Государственный надзор в области обеспечения пожарной безопасности осуществляется органами государственного пожарного надзора.»

*Шестое.* Пунктом 1 Положения о Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь установлено, что Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь является республиканским органом государственного управления, осуществляющим регулирование и управление в сфере предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и гражданской обороны, обеспечения пожарной, промышленной, ядерной и радиационной безопасности и т. д.<sup>9</sup> Согласно Закону Республики Беларусь «О нормативных правовых актах»<sup>10</sup> Главный государственный инспектор Республики Беларусь не наделен правом согласовывать проекты нормативных правовых актов. При этом п. 2 ст. 16 предыдущей редакции Закона на республиканские органы государственного управления возлагалась обязанность разработки, утверждения и согласования с Главным государственным инспектором Республики Беларусь по пожарному надзору локальных нормативных правовых актов, в том числе технических нормативных правовых актов, по вопросам пожарной безопасности. В связи с этим данная норма в Законе упразднена.

Принимая во внимание п. 1 Положения о Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, в новой редакции Закона, в п. 3 ст. 33 слова «Главным государственным инспектором Республики Беларусь по пожарному надзору» заменены на «Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь». Кроме того, в настоящее время система органов государственного пожарного надзора, а также перечень должностных лиц, уполномоченных осуществлять деятельность от имени органов государственного пожарного

<sup>8</sup> О мерах по обеспечению государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов: Указ Президента Респ. Беларусь от 9 февр. 2015 г. № 48: в ред. Указов Президента Респ. Беларусь от 09.02.2015 № 48, от 03.06.2016 № 188, с изм., внесенными Указом Президента Респ. Беларусь от 20.02.2015 № 90 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

<sup>9</sup> О некоторых вопросах Министерства по чрезвычайным ситуациям: Указ Президента Респ. Беларусь от 29 дек. 2006 г. № 756: в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 09.08.2019 № 303 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

<sup>10</sup> О нормативных правовых актах: Закон Респ. Беларусь от 17 июля 2018 г. № 130-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

надзора, уже определены постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 17 февраля 2020 г. № 6 «О должностных лицах органов государственного пожарного надзора»<sup>11</sup>.

Существенным изменением является то, что в действующей редакции Закона Совет Министров Республики Беларусь наделяется правом устанавливать перечень нормативных правовых и технических нормативных правовых актов, образующих систему противопожарного нормирования и стандартизации. Ранее это право принадлежало Главному государственному инспектору по пожарному надзору. Соответствующие изменения внесены в права органов государственного пожарного надзора.

Вместе с тем проекты нормативных правовых актов, в том числе технических нормативных правовых актов, содержащих требования по обеспечению пожарной безопасности, подлежат согласованию с Министерством по чрезвычайным ситуациям, за исключением проектов государственных стандартов Республики Беларусь и стандартов организаций, технических условий.

*Седьмое.* Принимая во внимание особую важность внештатных пожарных формирований в обеспечении пожарной безопасности как на отдельных субъектах хозяйствования, так и в населенных пунктах, Закон значительно усовершенствован в части регулирования их деятельности. Так, в новой редакции Закона предусмотрено разграничение между внештатными пожарными формированиями и добровольными пожарными формированиями, также закреплены основные права и обязанности членов этих пожарных формирований.

Внештатные пожарные формирования создаются в формах пожарных команд, дружин и пожарно-технических комиссий по решению руководителей организаций различных форм собственности. Финансирование деятельности таких формирований осуществляется за счет средств организаций, в которых эти формирования созданы, и иных источников, не запрещенных законодательством, а пожарных команд, созданных местными органами власти, – также за счет средств местных бюджетов. Порядок создания и деятельности этих формирований определяется нормами национального законодательства<sup>12</sup>.

Добровольные пожарные формирования создаются добровольными пожарными организациями (общественными объединениями или республиканскими государственно-общественными объединениями). Порядок финансирования, материально-технического обеспечения, меры поощрения членов добровольных пожарных формирований и иные вопросы организации их деятельности определяются указанными добровольными пожарными организациями. Ограничений в части выбора видов, определения численного состава создаваемых формирований, методов их работы, а также требований к подготовке (обучению) их членов не устанавливается. Указанные организации могут определять их самостоятельно. С целью стимулирования создания добровольных пожарных организаций законодательно предусмотрено, что такие организации, созданные в форме общественных объединений, могут осуществлять в установленном порядке предпринимательскую деятельность.

Для членов внештатных пожарных формирований и добровольных пожарных формирований Законом предусмотрены следующие социальные гарантии:

участие членов добровольных и внештатных пожарных формирований в рабочее и нерабочее время в тушении пожаров является выполнением общественной обязанности. Указанная норма позволяет сохранять за ними заработок на время выполнения указанных обязанностей;

---

<sup>11</sup> О некоторых вопросах органов государственного пожарного надзора: постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 22 июля 2016 г. № 44 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

<sup>12</sup> О внештатных пожарных формированиях: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 мая 2020 г. № 296 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2020.

по решению руководителя организации, в которой они работают или в (на базе) которой создано это формирование, освобождаются от работы для участия в рабочее время в тушении пожаров;

члены пожарных команд и пожарных дружин, имеющих пожарную автоцистерну или иную приспособленную для тушения пожаров технику, имеют право на страхование на случай произошедших при выполнении возложенных на них обязанностей смерти (гибели), увечья или иного повреждения здоровья, осуществляемое в соответствии с законодательством по договорам добровольного страхования, заключенным в их пользу, за счет средств организаций, в (на базе) которых созданы эти внештатные пожарные формирования, и иных источников, не запрещенных законодательством, а члены пожарных команд, созданных местными Советами депутатов, исполнительными и распорядительными органами, – также за счет средств местных бюджетов. Члены пожарных команд и пожарных дружин, незастрахованные, и (или) не прошедшие соответствующую подготовку, и (или) не обеспеченные экипировкой, пожарным аварийно-спасательным оборудованием и инструментом для тушения пожаров, к участию в тушении пожаров не допускаются;

за участие в предупреждении и тушении пожаров членам внештатных пожарных формирований могут устанавливаться дополнительный поощрительный отпуск и другие виды поощрений в соответствии с законодательством о труде.

Руководители организаций наделены правом применять иные меры поощрения членов внештатных пожарных формирований.

Внесение в Закон данных дополнений позволило уточнить статус внештатных пожарных формирований, создать условия для их дальнейшего развития, а также обеспечило четкое разграничение правового регулирования деятельности по предупреждению и ликвидации пожаров в Республике Беларусь:

профессиональные аварийно-спасательные службы действуют в соответствии с законодательством об аварийно-спасательных службах и статусе спасателя;

внештатные пожарные формирования – в соответствии с национальным законодательством;

добровольные пожарные общественные организации и созданные ими добровольные пожарные формирования – в соответствии с законодательством об общественных организациях, а также соответствующими уставами (положениями).

### **Заключение**

Таким образом, очевидно, что нормативно-правовое регулирование обеспечения пожарной безопасности с учетом изменения национального законодательства и практической деятельности обеспечения жизнедеятельности населения сегодня находится в стадии совершенствования и претерпевает существенные изменения. Отметим, что регламентированные инновационные положения в действующем Законе позволили обеспечить единообразный подход при проектировании и строительстве, устранить юридическую коллизию между нормативными правовыми актами и в целом усовершенствовать законодательство в области пожарной безопасности.

**Оптимизация нормативно-правового регулирования  
обеспечения пожарной безопасности в Республике Беларусь**

**Optimization of legal regulation of ensuring fire safety in the Republic of Belarus**

***Горошко Елена Юрьевна***

кандидат юридических наук, доцент

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Беларуси», кафедра организации службы,  
надзора и правового обеспечения, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: lena.eu@tut.by  
ORCID: 0000-0003-0705-9155

***Elena Yu. Goroshko***

PhD in Juridical Sciences, Associate Professor

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: lena.eu@tut.by  
ORCID: 0000-0003-0705-9155

***Бордак Сергей Сергеевич***

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

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

***Sergey S. Bordak***

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

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

---

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.450>

**OPTIMIZATION OF LEGAL REGULATION OF ENSURING FIRE SAFETY  
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

**Goroshko E.Yu., Bordak S.S.**

*Purpose.* Analysis and formation of innovative proposals within the framework of legal regulation of ensuring fire safety in the Republic of Belarus.

*Methods.* Induction, deduction, analysis and synthesis methods. Theoretical approaches of the research are investigations in the sphere of general theory of law. Empirical basis of the research are the laws of the Republic of Belarus and other documents concerning fire safety.

*Findings.* The analysis of adopted regulatory innovations in the Law of the Republic of Belarus dated June 15, 1993 «On Fire Safety» was carried out, their practical and theoretical significance was determined.

*Application field of research.* The results of the study can be used to optimize the legal regulation of ensuring fire safety, the unification of republican and local regulations.

*Keywords:* fire safety, fire safety legislation, administrative responsibility, criminal liability.

(The date of submitting: April 6, 2020)

**ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ  
статей для публикации в научном журнале  
«Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси»**

1. Направляемые в «Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси» статьи должны представлять результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, краткие сообщения, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.). В этот объем входят таблицы, фотографии, графики, рисунки и список литературы.

3. Статья предоставляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала: <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, e-mail (обязательно), имеющиеся персональные идентификационные номера в наукометрических базах (при этом обязательным является указание SPIN-кода РИНЦ, идентификатора ORCID). Если авторов несколько, указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;

2) номер УДК (универсальная десятичная классификация);

3) название статьи;

4) аннотация (не менее 200 и не более 300 слов) является основным источником информации о статье, может публиковаться самостоятельно в реферативных журналах и информационных системах в отрыве от основного текста и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Аннотация должна раскрывать: *цель* (определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования); *методы* (излагаются подходы, методы и технологии исследования); *результаты* (приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна); *область применения исследований* (описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость);

5) ключевые слова и словосочетания статьи (не более 12 слов);

6) дата поступления статьи (месяц и год);

7) введение; основная часть статьи; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

8) указание на источник финансирования (если статья подготовлена в рамках выполнения гранта научных исследований);

9) список цитированной литературы. Для каждого источника указывается (при наличии) его DOI. Эксперты международных наукометрических баз данных негативно воспринимают включение в список цитированной литературы источников локального характера (постановлений, законов, инструкций, неопубликованных отчетов, диссертаций, авторефератов и т. п.), электронных материалов и ресурсов сети Интернет. Поэтому ссылки на такие источники рекомендуем оформлять в виде постраничных сносок со сквозной нумерацией.

На отдельной странице на английском языке приводятся следующие сведения: информация об авторах; название статьи; аннотация, обязательно включающая следующие пункты: purpose, methods, findings, application field of research; ключевые слова и словосочетания; транслитерация на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы.

Для русскоязычных источников в транслитерации на латинице приводятся фамилия, имя, отчество авторов, названия статей, журналов (если нет англоязычного названия), материалов конференций, издательств и на английском языке – названия публикаций и выходные сведения (город, том и номер издания, страницы). Для транслитерации на латиницу следует применять систему транслитерации BGN, при этом можно использовать интернет-ресурсы, например сайт: <http://translit.net>.

Основные требования к оформлению статей, предоставляемых в научный журнал, и пример оформления статьи размещены на сайте издания: <https://journals.ucp.by>.

6. Содержание разделов статьи, таблицы, рисунки, цитированная литература должны отвечать требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 7.1-2003 и Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением ВАК Беларуси от 28 февраля 2014 г. № 3.

7. Редакция оставляет за собой право на изменения, не искажающие основного содержания статьи. Рукописи отклоненных статей авторам не возвращаются.



**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ  
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

**Факультет заочного обучения**

**Проводит:**

**Подготовку по специальностям:**

1-94 01 01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» с присвоением квалификации «Инженер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Форма обучения – заочная. Полный срок обучения – 5 лет, сокращенный – 3 года.

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

**Факультет безопасности жизнедеятельности**

**Проводит:**

**Переподготовку лиц с высшим образованием по специальностям:**

1-94 02 73 «Ликвидация чрезвычайных ситуаций и гражданская оборона» с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

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

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

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

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

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

- «Экспертная деятельность»;
- «Экспертная деятельность» для работников проектных организаций;
- «Экспертная деятельность» для работников органов и подразделений по ЧС;
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны» (очная/заочная форма обучения);
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Промышленная безопасность» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность, радиационный контроль» (для лиц, ответственных за радиационную безопасность, радиационный контроль в организациях медицинского профиля) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность, радиационный контроль» (для лиц, ответственных за радиационную безопасность, радиационный контроль на промышленных предприятиях и в научных учреждениях) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Осуществление контроля за обеспечением радиационной безопасности» (для лиц, ответственных за осуществление контроля за обеспечением радиационной безопасности на промышленных предприятиях и в научных учреждениях);

- «Осуществление контроля за обеспечением радиационной безопасности» (для лиц, ответственных за осуществление контроля за обеспечением радиационной безопасности в организациях медицинского профиля);
- «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);
- «Защита от ЧС» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Противодействие коррупции» (заочная (дистанционная) форма обучения).

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

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Защита от ЧС» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Пожарно-технический минимум».

**Семинары по образовательным программам:**

- «Оказание первой помощи пострадавшим в чрезвычайных ситуациях»;
- «Расчет предела огнестойкости (железобетонных, металлических, деревянных, каменных строительных конструкций);
- «Расчет времени эвакуации людей при пожаре»;
- «Расчет температурного режима пожара в помещении»;
- «Расчет величины противопожарных разрывов между зданиями, сооружениями и наружными установками»;
- «Расчет площади легкобросываемых конструкций»;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Порядок проектирования пассивной противопожарной защиты зданий различного назначения»;
- «Оптимизация затрат на обеспечение требований пожарной безопасности на основании расчетных методов»;
- «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,  
тел/факс: (017) 340-71-89 (ФЗО), тел.: (017) 340-69-55, факс: (017) 340-35-58 (ФБЖ).

Дополнительная информация размещена на сайте университета: <http://ucp.by>.

Научный журнал

**Вестник**  
**Университета гражданской защиты МЧС Беларуси**  
***Том 4, № 4, 2020***

Подписано в печать 20.11.2020.  
Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 11,51. Уч.-изд. л. 10,31.  
Тираж 110 экз. Заказ 081-2020.

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.