



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал  
**Вестник**  
**Университета гражданской защиты**  
**МЧС Беларуси**  
**(Journal of Civil Protection)**  
**Том 3, № 2, 2019**

**Редакционная коллегия:**

*главный редактор:*

**Полевода  
Иван Иванович**

кандидат технических наук,  
доцент

*зам. главного редактора:*

**Гончаренко  
Игорь Андреевич**

доктор физико-математических наук,  
профессор

**Платонов Александр  
Сергеевич**

кандидат физико-математических  
наук, доцент

*ответственный секретарь:*

**Жаворонков  
Илья Сергеевич**

**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); Герасимчик Александр Петрович, кандидат психологических наук, доцент; Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Каван Степан, доктор технических наук (Чехия); Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, 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; Ласута Геннадий Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лебедкин Александр Владимирович, доктор военных наук, профессор; Пастухов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Украина); Порхачев Михаил Юрьевич, кандидат педагогических наук, доцент (Россия); Раймбеков Кендебай Жанабильевич, кандидат технических наук (Казахстан); Соколов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор (Россия); Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Фурманов Игорь Александрович, доктор психологических наук, профессор; Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич, доктор технических наук (Казахстан).

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

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

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

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

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

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

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

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

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

E-mail редакции: [vestnik@ucsp.by](mailto:vestnik@ucsp.by)

**ISSN 2519-237X**

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

## СОДЕРЖАНИЕ

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

- Рева О.В., Назарович А.Н., Богданова В.В.** Закрепление нетоксичных антипиренов на поверхности полиэфирных волокон ..... 107
- Дмитриченко А.С., Здитовецкая С.В., Мамедова С.И.** Расчет предела огнестойкости однослойного стеклопакета ..... 117
- Ильюшонок А.В., Гончаренко И.А., Лешенюк Н.С., Кулешов В.К., Терешенков В.И.** О влиянии электрического поля на процесс горения ..... 127

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

- Ласута Г.Ф., Гоман П.Н.** Моделирование процессов возникновения и распространения лесного низового пожара с оценкой уровня тепловой нагрузки от фронта пламени ..... 138
- Ехилевский С.Г.** Плотность вероятности координаты элементарного акта сорбции и мощность источников экзотермического тепла в регенеративном патроне изолирующего респиратора ..... 155
- Миканович Д.С., Ласута Г.Ф.** Исследование фильтрационных свойств грунтов ограждающих сооружений шламохранилищ с учетом влияния эффекта пристенного скольжения ..... 166

### **Гражданская оборона**

- Карпиленя Н.В., Булва А.Д.** Военная доктрина как научно-теоретическая основа совершенствования гражданской обороны ..... 178
- Шамукова Н.В., Бордак С.С.** Подготовка мероприятий гражданской обороны на основе анализа распределений прогнозных показателей возможной обстановки ..... 195
- Кирдун А.Л., Назин А.Е., Кулешов Ю.Е.** Методика определения критически важных объектов инфраструктуры обеспечения жизнедеятельности населения ..... 206

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

- Сергеев В.Н.** Модель нормативно предписанного поведения спасателя в условиях боевой работы ..... 216

### **Разное (обзоры)**

- Ахмедов М.А., Салямова К.Дж.** Применение силы воды гидротехнических сооружений в вооруженных конфликтах ..... 232
- Правила предоставления статей ..... 240

## CONTENTS

### Fire and industrial safety (technical sciences)

- Reva O.V., Nazarovich A.N., Bogdanova V.V.** Fixation of nontoxic antipyrens on the surface of polyester fibers ..... 107
- Dmitrichenko A.S., Zditovetskaya S.V., Mamedova S.I.** Calculation of the limit of fire resistance of single-layer glass unit ..... 117
- П'ushonok A.V., Goncharenko I.A., Leshenyuk N.S., Kuleshov V.K., Tereshenkov V.I.** On the influence of electric field on combustion processes ..... 127

### Safety in emergencies (technical sciences)

- Lasuta G.F., Homan P.N.** Modeling of the processes of the occurrence and spread of forest groundfire with the estimation of the level of flame front heat load. .... 138
- Ekhilevskiy S.G.** The density of probability of the coordinate of the elementary sorption act and power of exothermic heat sources in the regenerative cartridge of isolating respirator ..... 155
- Mikanovich D.S., Lasuta G.F.** Effect of wall sliding effect on filtration properties of soils of protecting constructions of slurry storage ..... 166

### Civil defense

- Karpilenya N.V., Bulva A.D.** Military doctrine as a scientific and theoretical basis for the improvement of civil defense. .... 178
- Shamukova N.V., Bordak S.S.** Preparation of civil defense measures based on the analysis of distributions of forecast indicators of possible situation ..... 195
- Kirdun A.L., Nazin A.E., Kuliashou Yu.E.** Methods for determining the critical infrastructure of the life support of the population ..... 206

### Safety in emergencies (psychological sciences)

- Sergeev V.N.** The model of standard-prescribed behavior of a rescuer in a situation of combat work ..... 216

### Miscellaneous (reviews)

- Akhmedov M.A., Salyamova K.Dzh.** Using of the water force of hydrotechnical constructions in armed conflicts ..... 232
- Rules of submitting articles for publication ..... 240

УДК 677.494.675

## ЗАКРЕПЛЕНИЕ НЕТОКСИЧНЫХ АНТИПИРЕНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКОН

Рева О.В., Назарович А.Н., Богданова В.В.

Установлены режимы формирования в спиртовых растворах хлорида олова реакционноспособных коллоидных наноразмерных частиц, обеспечивающих прочную привязку к полиэфирной матрице азот-фосфорсодержащего ингибитора горения. Установлено наличие химического взаимодействия компонентов антипирена с адгезионным подслоем соединений олова с формированием новых соединений и мостиковых связей.

*Ключевые слова:* адгезионные нанослои, коллоидные частицы, нетоксичные замедлители горения, огнестойкие полиэфирные волокна, аммонийные металлофосфаты.

(Поступила в редакцию 8 апреля 2019 г.)

**Введение.** Полиэфирные нетканые материалы – утеплители, шумоизоляторы и наполнители – широко используются для изготовления одежды, мебели, предметов интерьера, отделочных и конструкционных строительных материалов. Связано это с уникальными свойствами полиэфирных волокон: помимо высоких технических характеристик (однородность по толщине, высокая прочность, химическая стойкость, устойчивость к многократным деформациям, истиранию), они характеризуются хорошими воздухопроницаемостью, гигиеничностью и гипоаллергенностью. Почти единственный недостаток изделий из полиэфирных волокон – их высокая горючесть. Достаточно эффективными методами огнезащиты синтетических волокнообразующих полимеров являются: внесение замедлителей горения в расплав полимера, модификация химического состава мономеров и поверхностная обработка волокон на стадии их получения [1–3]. Вместе с тем введение замедлителей горения в реакцию смесь на стадии получения полимера или в его расплав приводит к падению физико-механических и волокнообразующих свойств полимерного материала, а поверхностная пропитка замедлителями горения неустойчива к водным обработкам из-за химической инертности полиэфирного материала и бездефектности поверхности его волокон (рис. 1а–в) [4].

Еще одним способом огнезащиты синтетических волокон является крейзинг-модификация: пластическая деформация полимера в адсорбционно-активных средах, содержащих антипирен, в результате которой в объеме полимера возникает уникальная фибриллярно-пористая структура [5]. При снятии механического напряжения происходит механический захват замедлителя горения, который после дальнейшей термообработки остается в объеме полимера в виде наноразмерного включения [8]. Однако на стадии термообработки антипирены подвержены деструкции, а полиэфирные волокна теряют упругость и механическую прочность.

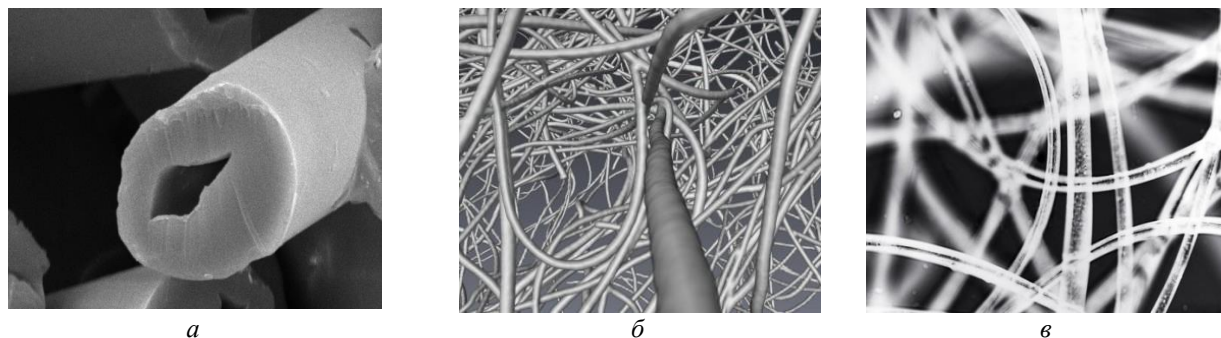


Рисунок 1. – Микроскопические снимки поверхности полиэфирных волокон (а) и структуры объемных ПЭТФ-утеплителей (ПЭТФ – полиэтилентерефталат; холлофайбер (б), синтепон (в))

Для закрепления замедлителей горения на поверхности волокон в последнее время используют плазменную обработку,  $\beta$ - и  $\gamma$ -облучение (что эффективно только в случае веществ, способных к радиационно-привитой сополимеризации) [6], термическое припекание антипиренов к поверхности полимерной матрицы [7]. Однако для воздушно наполненных объемных материалов, таких как синтепон или тинсулейт, термические методы обработки неприменимы, поскольку материалы теряют упругость, объем и потребительские свойства. Одновременно необходимо учитывать санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к антипиренам, и токсичность продуктов горения огнезащищенных ими полимерных материалов. Этим требованиям в наибольшей степени соответствуют неорганические и органические фосфорсодержащие соединения или их смеси [8, 9].

Решением проблемы может быть химическое закрепление замедлителя горения на поверхности полиэфирных волокон через систему организованных связей. Первой стадией такой «хемосборки» является создание на поверхности полимера активных функциональных групп, к которым при дальнейших обработках вследствие ионного обмена или ориентированной хемосорбции может произойти химическая прививка антипиренов [10]. Часто первичных групп недостаточно для прививки целевой добавки, и требуется промежуточное формирование дополнительных активирующих или адгезионных слоев. При последовательном синтезе функциональных слоев для каждого полимерного материала необходим экспериментальный поиск оптимальных условий каждой стадии многоступенчатого метода обработки.

Из-за физико-химических свойств соединений, входящих в известные огнезащитные составы, проблематично создать средство, адресно воздействующее на лимитирующие процессы, влияющие на тепломассообмен между пламенной зоной и подвергающимся пиролизу в конденсированной фазе горючим материалом. Этим недостатком лишены синтетические наноразмерные продукты на основе аммонийных фосфатов металлов, имеющие широкий диапазон физико-химических и термических свойств в зависимости от природы металла, соотношения компонентов и условий проведения синтеза [11].

Ранее нами был разработан метод предварительного травления полиэфирных материалов, приводящий к гидрофилизации поверхности полимера и появлению способности к адсорбции неорганических ионов и коллоидных частиц [12]. Экспериментально доказано, что наиболее эффективный по химическому составу раствор травления содержит фосфорную и соляную кислоты [13]. В случае создания на протравленной им полиэфирной поверхности промежуточных адгезионных слоев из подкисленных водных коллоидных растворов  $\text{SnCl}_2$  наблюдается заметное повышение огнестойкости полиэфирного тканого полотна: эффективный привес огнезащитной композиции к полиэфирному нетканому материалу в 1,5 раза выше, чем в других случаях, причем этот эффект устойчив к стиркам [12].

Однако водные коллоидные растворы гидроксосоединений олова подвержены весьма быстрому (10–15 суток) старению с коагуляцией частиц и потерей активационной способности [14, 15]. Кроме того, смачиваемость полиэфирных объемных материалов в водной среде даже после травления явно недостаточна, что существенно увеличивает длительность обработки. Неводные коллоидные растворы  $\text{Sn}(\text{II})$  для активации поверхности полимеров используются значительно реже, и закономерности процессов, протекающих в этих растворах, практически не изучены. Предположительно, органополи  $\text{Sn}(\text{II})$  должны быть существенно стабильнее водных растворов, если исходить из данных о более низкой растворимости кислорода в органических растворителях по сравнению с водой. Вероятно, в неводных растворах  $\text{SnCl}_2$  могут формироваться частицы, обладающие большей стабильностью к окислению и гидролизу, чем частицы, образующиеся в водных растворах.

Цель данной работы – исследовать закономерности формирования и характеристики коллоидных частиц в спиртовых растворах  $\text{SnCl}_2$  и определить параметры, при которых исследуемые системы имеют высокую активирующую способность по отношению к обес-

печению прочной химической привязки к поверхности ПЭТФ-волокон азот-фосфорсодержащих замедлителей горения.

**Методика исследований.** Для активации полиэфирных утеплителей типа синтепон и холлофайбер использовали растворы  $\text{SnCl}_2$  в этаноле с концентрацией  $0,22 \text{ моль/дм}^3$  в присутствии стабилизирующих добавок: 25 %-ного водного раствора аммиака в количестве  $5 \text{ мл/дм}^3$  и аминсоединений: этилендиамина (ЭДА) и моноэтаноламина (МЭА) – по  $2 \text{ мл/дм}^3$ , которые способствуют повышению стабильности коллоидных частиц. Изучение размеров, формы и сопоставительного количества коллоидных частиц в объеме исследуемых растворов проводили методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с помощью прибора ЭМВ-100ЛМ, нанося капли данных растворов на пленки коллодия на медных сеточках.

Огнезащитная обработка полиэфирного утеплителя включала следующие стадии: предварительное травление в смеси фосфорной и соляной кислот; промывку, активацию в неводном растворе  $\text{SnCl}_2$  ~20 мин и пропитку огнезащитной композицией в виде мелкодисперсной суспензии аморфных фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония с дигидрофосфатом аммония, общего химического состава в пересчете на оксиды в масс. %:  $\text{P}_2\text{O}_5:\text{NH}_3:\text{CaO}:\text{MgO}:\text{Fe}_2\text{O}_3 = 28,4:7,5:0,72:0,15:2,39$  в течение ~20 мин. Далее ПЭТФ-утеплители сушили при  $\sim 80\text{--}90 \text{ }^\circ\text{C}$  (при более высоких температурах материал съезживается и теряет упругость). Эффективность огнезащитной обработки полиэфирных утеплителей до и после стирок определяли по СТБ 11.03.02-2010 [16].

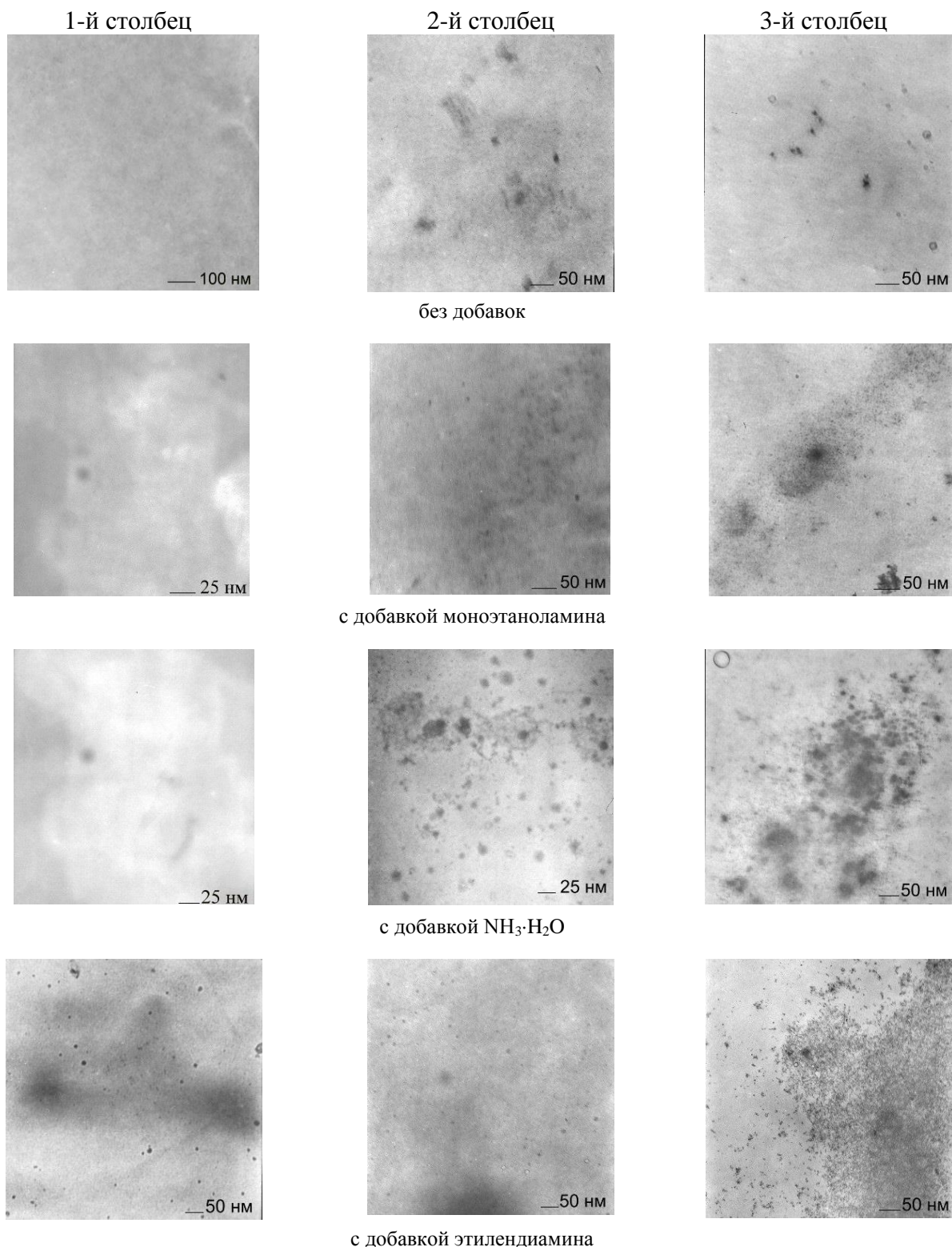
Рентгенофотозлектронные спектры (РФЭС) на разных стадиях обработки ПЭТФ регистрировали на электронном спектрометре ЭС-2401 с рентгеновским излучением  $\text{MgK}\alpha$  ( $h\nu = 1253 \text{ эВ}$ ) в вакууме  $10^{-7} \text{ Па}$ . Диаметр зонда составлял 6 мм, энергетическое разрешение по спектру – 0,1 эВ. Расшифровку РФЭ-спектров и идентификацию соединений по энергиям химической связи проводили путем разложения пиков сложной формы на гауссовские составляющие с помощью пакета программ PROF на основе справочных данных [17, 18].

**Основная часть.** Сопоставительное исследование количества и размеров коллоидных частиц, формирующихся в объеме этанольных растворов  $\text{SnCl}_2$  без стабилизирующих добавок, показало, что образование очень мелких (~1–3 нм) коллоидных частиц начинается после 15 суток их хранения (в объеме водных растворов – уже за 1 сутки хранения). С увеличением срока хранения до 45 суток количество коллоидных частиц в объеме спиртовых растворов существенно растет; причем размеры их практически не увеличиваются (3–5 нм), при этом наблюдается формирование агрегатов с небольшими размерами (10–15 нм) из мелких первичных частиц (рис. 2). При введении в этанольные растворы  $\text{SnCl}_2$  азотсодержащих добавок формирование коллоидных частиц явно интенсифицируется: четко различимые частицы с размерами 3–8 нм образуются уже в растворах со сроком хранения 5–7 суток (рис. 2).

Активизация коллоидообразования может быть вызвана включением добавок в сольватную оболочку частиц, предположительно, с ее стабилизацией. Наиболее четкие, однородные и равномерно распределенные округлые коллоидные частицы с размерами не более 10 нм наблюдаются в этанольных растворах с добавками раствора аммиака и этилендиамина. Особенно важен тот факт, что по мере хранения спиртовых растворов соединений двухвалентного олова концентрация коллоидных частиц продолжает расти, а их размеры практически не изменяются. По сравнению с водными коллоидными растворами  $\text{SnCl}_2$  стабильность спиртовых растворов выше, не менее чем в 10 раз.

Согласно литературным данным [17, 18] наибольшей активирующей способностью в процессе сенсбилизации твердой поверхности, в частности в процессах химической металлизации диэлектриков, обладают растворы  $\text{SnCl}_2$  с высокой концентрацией мелких коллоидных частиц (не более 3–15 нм), которые формируют на активируемой поверхности равномерный монослой. В таком случае (на основании полученных экспериментальных данных) наиболее активные интермедиативные слои на поверхности полиэфирных волокон

должны были бы образоваться при использовании спиртовых растворов  $\text{SnCl}_2$  со сроком хранения не менее 15 суток.



**Рисунок 2.** – ПЭМ-фотографии коллоидных частиц в объеме этанольных растворов  $\text{SnCl}_2$  различного срока хранения: 1-й столбец – 5 сут.; 2-й столбец – 25 сут.; 3-й столбец – 45 сут.

Действительно, огнестойкость подвергнутых ступенчатой обработке, а затем постигранных полиэфирных утеплителей в случае использования для нанесения активирующего подслоя органоэтей  $\text{SnCl}_2$  со сроком хранения менее 10 суток, в объеме которых еще не



сформировалось достаточное количество коллоидных частиц, не достигает требуемых показателей и соответствует категории «легковоспламеняемый». По мере хранения используемых для ступенчатой огнезащитной обработки растворов  $\text{SnCl}_2$  эффективность огнезащиты возрастает, но только в случае применения для нанесения адгезионного подслоя из соединений двухвалентного олова спиртовых растворов  $\text{SnCl}_2$  со сроком хранения 20–40 суток, в объеме которых имеется множество мелких однородных коллоидных частиц.

Как показали огневые испытания по методике СТБ 11.03.02-2010, исходный образец нетканого полиэфирного утеплителя после кратковременного поджигания продолжает горение с активным растеканием горящих капель, пока не сгорит практически полностью (рис. 3а).



**Рисунок 3. – Образцы полиэфирного нетканого утеплителя после огневого испытания:**  
**а – исходного материала; б – после ступенчатой огнезащитной обработки**

При оптимальном сочетании условий проведения всех стадий обработки (предварительного травления, состава и срока хранения зольей  $\text{SnCl}_2$ ) после отнятия пламени полиэфирный утеплитель сразу же затухает, что соответствует наивысшей категории огнестойкости для текстильных материалов – «трудновоспламеняемый». На рисунке 3б видно, что сгорела только та часть образца, которая находилась непосредственно в пламени горелки. Оставшаяся неповрежденная часть утеплителя практически не деформирована и не потеряла функциональных свойств.

Таким образом, использование спиртовых коллоидных растворов  $\text{SnCl}_2$  для создания интермедиативного адгезионного слоя позволило придать воздушным полиэфирным материалам огнестойкость на уровне «трудновоспламеняемый», обеспечить устойчивость огнезащитного эффекта к стиркам и существенно повысить воспроизводимость результатов.

Причиной достигнутого эффекта, вероятно, является ориентированная хемосорбция коллоидных частиц на образованных при травлении полиэфира функциональных группах и их последующее взаимодействие с компонентами антипирена.

Исследование химического состава приповерхностной зоны полиэфирного волокна методом рентгенофотоэлектронной спектроскопии показало, что в спектрах огнезащищенного ПЭТФ присутствуют пики, соответствующие кислородсодержащим соединениям олова (рис. 4а). Также в спектрах обнаружены пики, соответствующие различным группировкам фосфора и азота, связанным с углеводородными радикалами, в том числе через кислородные мостики (рис. 4б, в).

Значения энергии связи пика N 1s 398,6–399,0 эВ свидетельствуют о том, что атомы азота входят в состав не только аммонийных, но и кислородсодержащих групп типа >N–O-, отсутствующих в составе антипирена (рис. 4б). Судя по наличию максимумов спектра P 2р при 132,7; 130 и 129 эВ, на поверхности полиэфирных волокон присутствуют соединения фосфора с кислородом (фосфаты или фосфиты) и группировки типа  $\text{R}_3\text{P}$  (рис. 4в), также отсутствующие в составе антипирена. Тогда как для исходного волокна или при отсутствии стадии травления и/или активации ПЭТФ коллоидными растворами  $\text{SnCl}_2$  эти пики в спектрах полиэфира практически не наблюдаются.

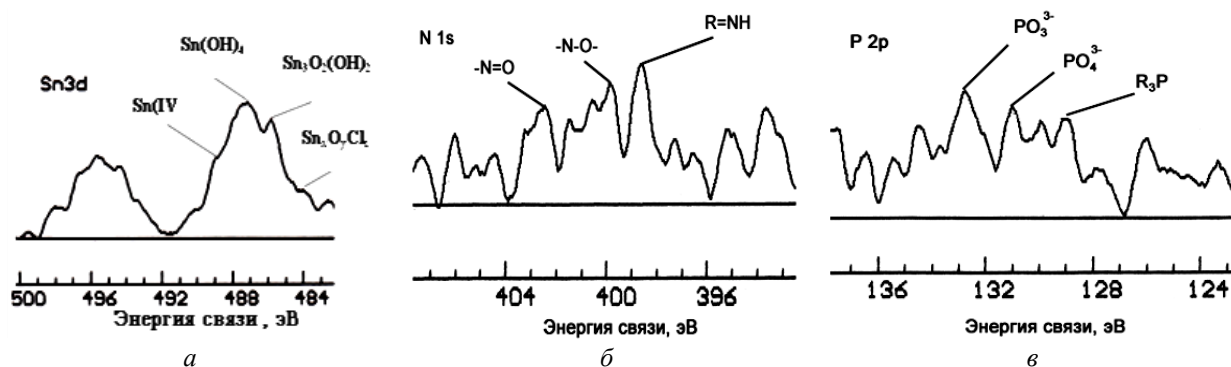


Рисунок 4. – РФЭ-спектры поверхности огнезащитного полиуретана с промежуточной обработкой соединениями олова: а – Sn 3d; б – N 1s; в – P 2p

Необходимо отметить, что в результате обработки суспензией антипирена полиэфирного утеплителя, содержащего подслои соединений олова, существенно возрастает относительное количество атомов кислорода в поверхностном слое образцов (толщиной около 1 нм). Так, соотношение интенсивностей пиков кислорода и углерода в РФЭ-спектрах увеличивается в 2–4 раза. Этот факт можно объяснить появлением на поверхности ПЭТФ-кислородсодержащих соединений типа  $\text{Sn}_x\text{OH}_y\text{Cl}_z$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и связанной воды. В отсутствие модифицирующих подслоев обработка ПЭТФ антипиреном не приводит к заметному изменению относительной интенсивности пика кислорода, что свидетельствует о незначительной привязке замедлителя горения. Следовательно, при ступенчатой огнезащитной обработке на поверхности ПЭТФ явно происходит не только адсорбция, но и химическое взаимодействие компонентов различных нанослоев с формированием новых соединений и мостиковых связей.

**Заключение.** Полученные результаты свидетельствуют, что спиртовые растворы  $\text{SnCl}_2$  более перспективны для активирующей обработки полимерных материалов, в частности объемных полиэфирных утеплителей перед нанесением огнезащитных композиций, чем водные, поскольку окисление Sn (II) в них происходит значительно медленнее и коллоидные частицы в их объеме значительно дольше сохраняют оптимальные частотно-размерные характеристики.

Установлено, что полиэфирные утеплители, прошедшие ступенчатую огнезащитную обработку с применением спиртовых растворов  $\text{SnCl}_2$  с высокой концентрацией коллоидных частиц, размеры которых не превышают 10–15 нм, характеризуются не только наивысшей категорией стойкости к горению, но и устойчивостью огнезащитной обработки к многократным стиркам.

Выявлено, что на протравленной поверхности ПЭТФ происходит образование сложноструктурированной нанослоистой системы «полимер–адгезив–антипирен», в которой адгезионные слои из наноразмерных коллоидных частиц оксо-гидроксо соединений олова химически связаны как с полиэфирной матрицей, так и с азот- и фосфорсодержащими замедлителями горения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гимадитдинов, Р.Н. Современные подходы к способам придания огнезащитных свойств полимерным текстильным материалам / Р.Н. Гимадитдинов // Вестник Казанского технологического ун-та. – 2013. – № 17. – С. 116–118.
2. Тарануха, Я.А. Придание огнезащитных свойств тканевым материалам на основе натуральных и синтетических волокон / Я.А. Тарануха, А.М. Каратеев // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2006. – № 4. – С. 37–42.
3. Перепелкин, К.Е. Горючесть текстиля как одна из его важнейших характеристик / К.Е. Перепелкин // Хим. волокна. – 2001. – № 5. – С. 8–42.

4. Анализ структуры нетканых полотен «Холлофайбер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.thermopol.ru/thermopol.ru/chto-vnutri.html>. – Дата доступа: 05.04.2019.
5. Зубкова, Н.С. Снижение горючести текстильных материалов. Решение экологических и социально-экономических проблем / Н.С. Зубкова, Ю.С. Антонов // Российский химический журнал. – 2002. – Т. 46, № 1 – С. 96–102.
6. Сабирзянова, Р.Н. Модификация текстильных материалов низкотемпературной плазмой пониженного давления / Р.Н. Сабирзянова, И.В. Красина // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 17. – С. 56–62.
7. Тучкова, О.А. Поведение текстильных материалов при высокоинтенсивном нагреве / О.А. Тучкова, В.С. Гасалов, Р.Н. Сабирзянова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 22. – С. 34–36.
8. Дусметова, Г.И. Исследование технологических параметров огнезащитной пропитки тканевых материалов / Г.И. Дусметова [и др.] // Технические науки. Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6, ч. 2. – С. 243–245.
9. Гоношилов, Д.Г. Новые пропиточные огнезащитные составы на основе фосфорборосодержащего олигомера полиакриламида / Д.Г. Гоношилов, В.Ф. Каблов, Н.А. Кейбал, С.Н. Бондаренко // Технические науки. Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8, ч. 3. – С. 627–630.
10. Химия привитых поверхностных соединений / авт.-сост. Г.В. Лисичкин, А.Ю. Фадеев, А.А. Сердан, П.Н. Нестеренко, П.Г. Мингалев, Д.Б. Фурман; под ред. Г.В. Лисичкина. – М.: Физматлит, 2003. – 589 с.
11. Богданова, В.В. Синтез и физико-химические свойства фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония / В.В. Богданова, О.И. Кобец // Журнал прикладной химии. – 2014. – Т. 87, вып. 10. – С. 1385–1399.
12. Рева, О.В. Зависимость эффективности огнезащиты нетканого полиэфирного материала от химической природы азот- и фосфорсодержащего антипирена / О.В. Рева [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. – 2017. – № 2. – С. 85–93.
13. Рева, О.В. Получение оптимального состава травильной композиции для полиэфирных материалов методом математического планирования эксперимента / О.В. Рева [и др.] // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т.2, № 1. – С.45–50.
14. Химическое осаждение металлов из водных растворов / авт.-сост. В.В. Свиридов, Т.Н. Воробьева, Т.В. Гаевская, Л.И. Степанова; под ред. В.В. Свиридова. – Минск: Университетское, 1987. – 270 с.
15. Mance, A.M. Interactions of Electroless Catalysts with Ozonated Polymer Surfaces: Platability and X - Ray Photoelectron Spectroscopy Studies / A.M. Mance, S.W. Gaarenstroom, R.A. Waldo. // J. Electrochem. Soc. – 1991. – Vol. 138, № 2. – P. 417–421. DOI: 10.1149/1.2085601.
16. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.03.02-2010. – Введ. 01.01.11. – Минск: Гос. комитет по стандартизации Респ. Беларусь, 2011. – 25 с.
17. Нефедов, В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений: справочник / В.И. Нефедов. – М.: Химия, 1984. – 256 с.
18. Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / М.П. Сих, Д. Бриггс, Дж. К. Ривьер, С Хофман. – М.: Мир, 1987. – 600 с.

**Закрепление нетоксичных антипиренов на поверхности полиэфирных волокон**  
**Fixation of nontoxic antipyrens on the surface of polyester fibers**

**Рева Ольга Владимировна**

кандидат химических наук, доцент

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты МЧС  
Беларуси», кафедра процессов горения и  
взрыва, доцент

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,  
ул. Машиностроителей, 25  
e-mail: volha107@rambler.ru

**Olga V. Reva**

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

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

Address: 220118, Belarus, Minsk,  
ul. Mashinostroiteley, 25  
e-mail: volha107@rambler.ru

**Назарович Андрей Николаевич**

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты МЧС  
Беларуси», отдел научной и инновационной  
деятельности, научный сотрудник

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

**Andrei N. Nazarovich**

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

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

**Богданова Валентина Владимировна**

доктор химических наук, профессор

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

Адрес: 220030, Беларусь, г. Минск,  
ул. Ленинградская, 14  
e-mail: bogdanova@bsu.by

**Valentina V. Bogdanova**

Grand PhD in Chemistry Sciences, Professor

The Establishment of the Belarusian State  
University «Research Institute of Physical  
and Chemical Problems», Laboratory of Fire  
Extinguishing Materials, Head of the Laboratory

Address: 211440, Belarus, Minsk,  
ul. Leningradskaya, 14  
e-mail: bogdanova@bsu.by

## FIXATION OF NONTOXIC ANTIPYRENS ON THE SURFACE OF POLYESTER FIBERS

Reva O.V., Nazarovich A.N., Bogdanova V.V.

*Purpose.* The article is devoted to the development of the method of flame retardant step processing of polyester insulation by chemically fixing non-toxic flame retardants on it through the adhesive sublayer of tin compounds.

*Methods.* Methods of transmission electron microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, gravimetry, GOST fire tests.

*Findings.* It was established that polyester insulation, which underwent step fire-retardant treatment using alcohol solutions of SnCl<sub>2</sub> with a high concentration of colloidal particles of dimensions less than 10–15 nm, and ammonium metal phosphate flame retardant are characterized by the highest burning resistance category for fabrics.

*Application field of research.* Fire retardant polyester non-woven material can be used in construction as insulation, noise insulator, filler, finishing and construction material.

*Conclusions.* The conditions for the formation of reactive colloidal nano-sized particles in alcohol solutions of tin chloride, which provide a strong binding of a nitrogen-phosphorus-containing inhibitor of combustion to a polyester matrix, are determined. The presence of a chemical interaction of the flame retardant components with the polymer and the adhesive sublayer of tin compounds with the formation of bridge bonds has been proved.

*Keywords:* adhesive nanolayers, colloidal particles, nontoxic flame retardants, flame protected polyester fibers, ammonium metal phosphates.

(The date of submitting: April 8, 2019)

### REFERENCES

1. Gimaditdinov R.N. Sovremennye podkhody k sposobam pridaniya ogneshchitnykh svoystv polimernym tekstil'nym materialam [Modern approaches to the methods for fireproofing properties of polymeric textile materials]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013. No. 17. Pp. 116–118. (rus)
2. Taranukha Ya.A., Karateev A.M. Pridanie ogneshchitnykh svoystv tkanevym materialam na osnove natural'nykh i sinteticheskikh volokon [Fireproofing properties of fabric materials based on natural and synthetic fibers]. *Integrated Technologies and Energy Conservation*, 2006. No. 4. Pp. 37–42. (rus)
3. Perepelkin K.E. Goryuchest' tekstilya kak odna iz ego vazhneyshikh kharakteristik [The combustibility of textiles as one of its most important characteristics]. *Fibre Chemistry*, 2001. No. 5. Pp. 8–42. (rus)
4. *Analiz struktury netkanykh poloten «Khollofayber»* [Analysis of the structure of nonwoven fabrics «Hollofiber»], available at: <http://www.thermopol.ru/thermopol.ru/chto-vnutri.html> (accessed: April 5, 2019). (rus)
5. Zubkova N.S., Antonov Yu.S. Snizhenie goryuchesti tekstil'nykh materialov. Reshenie ekologicheskikh i sotsial'no-ekonomicheskikh problem [Reduced flammability of textile materials. Solving environmental and socio-economic problems]. *Russian Journal of General Chemistry*, 2002. Vol. 46, No. 1. Pp. 96–102. (rus)
6. Sabirzyanova R.N., Krasina I.V. Modifikatsiya tekstil'nykh materialov nizkotemperaturnoy plazmoy ponizhennogo davleniya [Modification of textile materials by low-temperature low-pressure plasma]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012. No. 17. Pp. 56–62. (rus)
7. Tuchkova O.A., Gasalov V.S., Sabirzyanova R.N. Povedenie tekstil'nykh materialov pri vysokointensivnom nagreve [Behavior of textile materials during high-intensity heating]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013. No. 22. Pp. 34–36. (rus)
8. Dusmetova G.I., Dzhakipbekova N.O., Sakibaeva S.A., Isa A.B., Sarsenbaeva A.U. Issledovanie tekhnologicheskikh parametrov ogneshchitnoy propitki tkanevykh materialov [Research of technological parameters of fire protection treatment of tissue materials]. *Fundamental research*, 2014. No. 6, Part 2. Pp. 243–245. (rus)
9. Gonoshilov D.G., Kablov V.F., Keybal N.A., Bondarenko S.N. Novye propitochnye ogneshchitnye sostavy na osnove fosfor-borosoderzhashchego oligomera poliakrilamida [New impregnating fire pro-

- tective compounds based on phosphorus boron containing oligomer and polyacrylamide]. *Fundamental research*, 2011. No. 8, Part 3. Pp. 627–630. (rus)
10. Lisichkin G.V., Fadeev A.Yu., Serdan A.A., Nesterenko P.N., Mingalev P.G., Furman D.B. *Khimiya privitykh poverkhnostnykh soedineniy* [Chemistry of grafted surface compounds]. Ed. by G.V. Lisichkin et al. Moscow: Fizmatlit, 2003. 589 p. (rus)
  11. Bogdanova V.V., Kobets O.I. Sintez i fiziko-khimicheskie svoystva fosfatov dvukh- i trekhvalentnykh metallov-ammoniya [Synthesis and physicochemical properties of Di- and trivalent metal-ammonium phosphates]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014. Vol. 87, No. 10. Pp. 1385–1399. (rus)
  12. Reva O.V., Bogdanova V.V., Lukyanov A.S., Perevoznikov S.S., Andreeva T.N. Zavisimost' effektivnosti ognезashchity netkanogo poliefirnogo materiala ot khimicheskoy prirody azot i fosforsoderzhashchego antipirena [Dependence of fire proof efficiency of nonwoven polyester material from the chemical nature of nitrogen and phosphorus-containing flame retardant]. *Journal of the Belarusian State University. Chemistry*, 2017. No. 2. Pp. 85–93. (rus)
  13. Reva O.V., Luk'yanov A.S., Arestovich D.N., Bogdanova V.V., Platonov A.S. The optimal composition of the surface preparation for polyester materials by the method of mathematical planning of the experiment. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 45–50. (rus)
  14. Sviridov V.V., Vorob'eva T.N., Gaevskaya T.V., Stepanova L.I. *Khimicheskoe osazhdenie metallov iz vodnykh rastvorov* [Chemical precipitation of metals from aqueous solutions]. Ed. by V.V. Sviridov et al. Minsk: Universitetskoe, 1987. 270 p. (rus)
  15. Mance A.M., Gaarenstroom S.W., Waldo R.A. Interactions of Electroless Catalysts with Ozonated Polymer Surfaces: Platability and X-Ray Photoelectron Spectroscopy Studies. *J. Electrochem. Soc.*, 1991. Vol. 138, No. 2. Pp. 417–421. DOI: 10.1149/1.2085601.
  16. *Sredstva ognезashchitnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy: STB 11.03.02-2010* [Means fireproof. General technical requirements and test methods. Standard of Belarus 11.03.02-2010]. Affirmed January 01, 2011. Minsk: The State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 2011. 25 p. (rus).
  17. Nefedov V.I. *Rentgenoelektronnaya spektroskopiya khimicheskikh soedineniy* [X-Ray Electron Spectroscopy of Chemical Compounds]: directory. Ed. by V.I. Nefedov. Moscow: Chemistry, 1984. 256 p. (rus)
  18. Sikh M.P., Briggs D., Riv'er Dzh. K., Khofman S. *Analiz poverkhnosti metodami Ozhe- i rentgenovskoy fotoelektronnoy spektroskopii* [Surface analysis by Auger and X-ray photoelectron spectroscopy]. Moscow: Mir, 1987. 600 p. (rus)

УДК 614.841.332

**РАСЧЕТ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ОДНОСЛОЙНОГО СТЕКЛОПАКЕТА****Дмитриченко А.С., Здитовецкая С.В., Мамедова С.И.**

Проведены расчеты, связанные с распределением температуры и напряжений в однослойном стеклопакете, с учетом температурной зависимости теплофизических характеристик стекла, воздуха и дымовых газов, конструктивных особенностей светопрозрачной конструкции и нелинейного характера изменения температуры окружающей среды при пожаре. Рассчитана зависимость предела огнестойкости по критерию достижения критических напряжений в стеклопакете, приводящих к его разрушению, от толщины панелей.

*Ключевые слова:* светопрозрачная конструкция; предел огнестойкости; термическое напряжение; тепловое воздействие.

(Поступила в редакцию 26 апреля 2019 г.)

**Введение.** Одним из способов обеспечения безопасности людей при пожаре является их своевременная эвакуация. В связи с этим помещения, этажи и здания в целом должны иметь такое объемно-планировочное и конструктивное исполнение, при котором все находящиеся внутри них люди в случае пожара могли бы своевременно и беспрепятственно эвакуироваться наружу до того момента, как опасные факторы пожара достигнут своих предельно допустимых значений и станут представлять опасность для жизни и здоровья.

Разрушение ограждающих светопрозрачных конструкций (СПК) может оказать существенное влияние на динамику развития пожара. При разрушении СПК и вскрытии проемов происходит резкий приток воздуха в зону горения, что приводит к возникновению объемной вспышки, которая способствует резкому нарастанию опасных факторов пожара. Таким образом, актуальными являются исследования, направленные на развитие теоретических основ расчета предела огнестойкости СПК при пожаре.

В Еврокодах [1–7] приводятся расчетные методы для оценки огнестойкости строительных конструкций из железобетона [2], стали [3], сталежелезобетона [4], дерева [5], камня [6], алюминия [7]. В тоже время Еврокод для оценки огнестойкости СПК до настоящего времени не разработан. В существующих нормативных документах по методам определения огнестойкости и пожарной опасности СПК [8–9] приводятся экспериментальные методы огневых испытаний. Методика, приведенная в [9], позволяет определять огнестойкость образцов стекла не менее 1200×1000 мм, не входящего в состав строительной конструкции. При этом согласно [9] устанавливается предел огнестойкости по всем предельным состояниям для данного вида СПК:

1. *Предельное состояние по критерию R (несущая способность).* Считают, что образец стекла достиг предельного состояния по критерию *R*, если наступил хотя бы один из следующих признаков:

- 1) разрушение или выпадение стекла из испытательной рамы;
- 2) достижение предельной величины прогиба по ГОСТ 30247.1;
- 3) достижение предельной скорости увеличения прогиба по ГОСТ 30247.1.

2. *Предельное состояние по критерию E (целостность).* Считают, что образец стекла достиг предельного состояния по критерию *E*, если наступил хотя бы один из следующих признаков:

- 1) выпадение стекла из испытательной рамы;
- 2) появление на неподвергаемой огневому воздействию стороне стекла устойчивого пламени в течение 10 с и более;

3. *Предельное состояние по критерию I (изоляция).* Считают, что образец стекла достиг предельного состояния по критерию *I*, если наступил хотя бы один из следующих признаков:

- 1) повышение средней температуры неподвергаемой огневому воздействию поверхности стекла более чем на 140 °С по сравнению с ее начальной средней температурой;
- 2) повышение температуры в любой точке неподвергаемой огневому воздействию поверхности стекла более чем на 180 °С по сравнению с ее начальной средней температурой.

Огнестойкость светопрозрачной конструкции заключается в ее способности сохранять несущие и ограждающие функции в условиях пожара. В общем случае эта оценка заключается в определении промежутка времени от начала огневого воздействия по стандартному температурному режиму до наступления одного из нормируемых для рассматриваемой конструкции предельных состояний по огнестойкости, перечисленных выше.

**Основная часть.** Рассмотрим светопрозрачную конструкцию, которая состоит из двух стеклянных панелей, разделенных воздушным зазором (рис. 1). Каждая стеклянная панель имеет высоту  $2H$  и заключена в раму шириной  $d$ . Начало координат разместим в центре панели на краю рамы и направим ось  $z$  вдоль кромки рамы, ось  $y$  – перпендикулярно кромке рамы по направлению к центру панели, ось  $x$  – перпендикулярно поверхности стеклянной панели толщиной  $L$ .

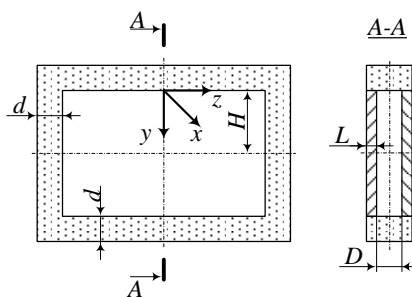


Рисунок 1. – Однослойный стеклопакет

Температура в каждой из панелей будет определяться из решения двумерного дифференциального уравнения теплопроводности [10]. Будем считать, что до момента разрушения первой панели, обращенной в сторону пожара, она поглощает весь радиационный поток и на вторую панель он не воздействует [11].

$$\rho(T_1)c(T_1)\frac{\partial T_1(x, y, t)}{\partial t} = \lambda(T_1)\left(\frac{\partial^2 T_1(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1(x, y, t)}{\partial y^2}\right) + I(t)\frac{e^{-x/\gamma}}{\gamma}\eta(y)\eta(t - \tau_{b2}) \quad \text{при } 0 < x < L, \quad -d < y < H, \quad 0 < t < \tau_{b1}; \quad (1)$$

$$\rho(T_2)c(T_2)\frac{\partial T_2(x, y, t)}{\partial t} = \lambda(T_2)\left(\frac{\partial^2 T_2(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2(x, y, t)}{\partial y^2}\right) + I(t)\frac{e^{-x/\gamma}}{\gamma}\eta(y) \quad \text{при } 0 < x < L, \quad -d < y < H, \quad 0 < t < \tau_{b2}, \quad (2)$$

где  $\rho(T)$  – плотность стекла, кг/м<sup>3</sup>;  $c(T)$  – теплоемкость стекла, Дж/(кг · К);  $T_1(x, y, t)$  – температура первой панели, К;  $T_2(x, y, t)$  – температура второй панели, К;  $\lambda(T)$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К);  $x, y$  – пространственные координаты, м;  $t$  – время, с;  $I(t)$  – плотность лучистого потока, поступающего на поверхность пластины, Вт/м<sup>2</sup>;  $\gamma$  – длина затухания (величина, обратная коэффициенту поглощения), м;  $\eta(y)$  – единичная функция Хевисайда ( $\eta(y) = 0$  при  $y < 0$ ;  $\eta(y) = 1$  при  $y > 0$ );  $\tau_{b2}$  – время разрушения наружной панели, с;  $\tau_{b1}$  – время разрушения внутренней панели, с ( $\tau_{b1} > \tau_{b2}$ ). Индексы: 1 – первая панель; 2 – вторая панель.

Начальное условие имеет вид

$$T_1(x, y, 0) = T_i; \quad T_2(x, y, 0) = T_i \quad \text{при } t = 0, \quad (3)$$



где  $T_i$  – начальная температура пластины, К.

Граничные условия имеют вид

$$-\lambda \frac{\partial T_1(0, y, t)}{\partial x} = \left[ h_1 (T_1(0, y, t) - T_{c1}(t)) + \varepsilon_{i\delta} \sigma (T_1^4(0, y, t) - T_{c1}^4(t)) \right] \eta(y); \quad (4)$$

$$-\lambda \frac{\partial T_1(L, y, t)}{\partial x} = \left[ h_{12} (T_2(0, y, t) - T_1(L, y, t)) + \varepsilon_{i2} \sigma (T_2^4(0, y, t) - T_1^4(L, y, t)) \right] \eta(y) \eta(\tau_{b2} - t) + \\ + \left[ h_2 (T_{c2}(t) - T_1(L, y, t)) + \varepsilon_{i\delta} \sigma (T_{c2}^4(t) - T_1^4(L, y, t)) \right] \eta(y) \eta(t - \tau_{b2}); \quad (5)$$

$$-\lambda \frac{\partial T_2(0, y, t)}{\partial x} = \left[ h_{12} (T_2(0, y, t) - T_1(L, y, t)) + \varepsilon_{i2} \sigma (T_2^4(0, y, t) - T_1^4(L, y, t)) \right] \eta(y); \quad (6)$$

$$-\lambda \frac{\partial T_2(L, y, t)}{\partial x} = \left[ h_2 (T_{c2}(t) - T_2(L, y, t)) + \varepsilon_{i\delta} \sigma (T_{c2}^4(t) - T_2^4(L, y, t)) \right] \eta(y); \quad (7)$$

$$\frac{\partial T_1(x, -d, t)}{\partial y} = \frac{\partial T_1(x, H, t)}{\partial y} = \frac{\partial T_2(x, -d, t)}{\partial y} = \frac{\partial T_2(x, H, t)}{\partial y} = 0, \quad (8)$$

где  $h_1(T)$ ,  $h_2(T)$  – коэффициенты конвективной теплоотдачи с поверхностями в окружающую среду, Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $T_{c1}(t)$ ,  $T_{c2}(t)$  – температура окружающей среды, К;  $h_{12}(T)$  – коэффициент конвективной теплоотдачи в зазоре между панелями, Вт/(м<sup>2</sup> · К);  $T_i(x)$  – начальная температура пластин, К;  $\varepsilon_{пр}$  – приведенная степень черноты;  $\varepsilon_{i2}$  – приведенная степень черноты системы «панель – панель»;  $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>));  $L$  – толщина панели, м.

Приведенная степень черноты системы «среда – светопрозрачная конструкция» находится из соотношения

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{1/\varepsilon_{cp} + 1/\varepsilon_{п} - 1}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon_{cp}$ ,  $\varepsilon_{п}$  – степень черноты среды и поверхности стекла соответственно.

Приведенная степень черноты системы «панель – панель» находится из соотношения

$$\varepsilon_{i2} = \frac{\varepsilon_{п}}{2 - \varepsilon_{п}}. \quad (10)$$

Коэффициенты конвективного теплообмена  $h_1$  и  $h_2$  определяем по зависимостям [10]. Коэффициент теплоотдачи в зазоре между вертикальными панелями  $h_{12}$  – из выражения [12]:

$$h_{12} = \frac{Nu_{12cp,v} \lambda_v}{H}, \quad (11)$$

где  $Nu$  – критерий Нуссельта;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · К);  $H$  – высота стеклянной панели, м. Индекс  $v$  – воздух.

Критерий Нуссельта рассчитывается по формуле

$$Nu_{12cp,v} = \left[ 1 + (0,0303 Ra_{12,v}^{0,402})^{11} \right]^{1/11}, \quad (12)$$

где  $Ra$  – критерий Рэлея.

Критерий Рэлея для воздуха рассчитывается по формуле

$$Ra_{12,v} = Gr_{12,v} Pr_v, \quad (13)$$

где  $Pr$  – критерий Прандтля;  $Gr$  – критерий Грасгофа.

При этом критерий Грасгофа вычисляется по формуле

$$Gr_{12,в} = \frac{g \beta_t (T_{п1} - T_{п2}) D^3}{\nu_B^2}, \quad (14)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ ;  $\beta_t = 1/T$  – термический коэффициент объемного расширения,  $K^{-1}$ ;  $T_{п}$  – температура поверхности стеклянной панели,  $^{\circ}C$ ;  $D$  – ширина зазора между панелями,  $m$ ;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $m^2/c$ . Индексы: 1 – первая панель; 2 – вторая панель.

Критерий Прандтля для воздуха находится из соотношения

$$Pr_B = \frac{\nu_B}{a_B}, \quad (15)$$

где  $a$  – коэффициент теплопроводности,  $m^2/c$ .

Теплофизические и динамические параметры берутся при температуре

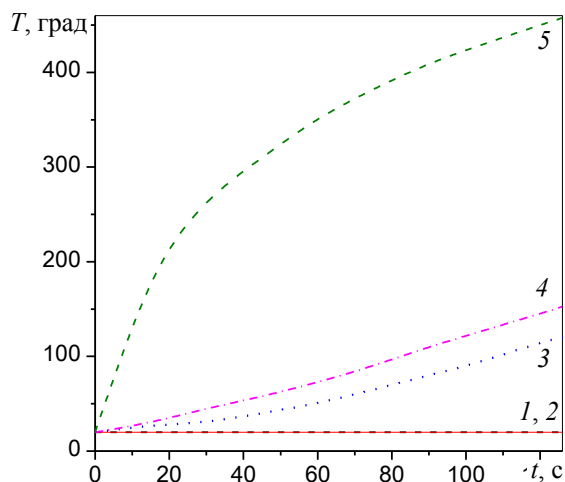
$$T_{cp12} = \frac{T_{пв1} - T_{пв2}}{2}, \quad (16)$$

где  $T_{пв}$  – температура внутренней поверхности,  $K$ .

Для расчета распределения температуры в системе двух стеклянных панелей с учетом температурной зависимости теплофизических характеристик стекла, воздуха и дымовых газов, нелинейного характера изменения температуры окружающей среды по стандартной кривой пожара и коэффициентами теплоотдачи с поверхностями пластины (11) – (16) в среде пакета Flexpde [13] был разработан программный код решения краевой задачи (1) – (10) методом конечных элементов. Физические свойства стекла и диапазон их изменения приведены в [14, 15].

С помощью разработанного программного кода рассчитаны профили температуры по толщине двух стеклянных панелей и зависимости от времени изменения температуры панелей. На рисунке 2 приведены зависимости от времени температуры поверхностей системы СПК из двух вертикальных панелей высотой 1,5 м и толщиной 5 мм. Расстояние между панелями – 20 мм, длина поглощения  $l = 2$  мм, интенсивность падающего излучения  $I = 5$  кВт/м<sup>2</sup>.

Как видно из приведенных зависимостей, в начале пожара и росте температуры газовой среды начинается прогрев панели, обращенной к пожару. За счет конвективного и радиационного переноса тепла в воздушном зазоре между панелями начинает нагреваться и вторая панель. В зависимости от механических свойств стекла (критических напряжений, при которых происходит разрушение) панель, обращенная к пожару, разрушается через некоторое время. Из зависимостей, приведенных на рисунке 2, видно, что для стекла с модулем упругости  $E = 7 \cdot 10^{10}$  Па и коэффициентом линейного расширения  $\beta = 8,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  (критические напряжения  $\sigma_b = 66$  МПа) первая панель, обращенная к пожару, разрушается через 126 с после начала пожара. Заметим, что при таких же условиях разрушение одиночной панели произошло бы через 132 секунды после начала пожара. Это объясняется тем, что коэффициент теплоотдачи с необогреваемой стороны одиночной панели выше, чем коэффициент теплоотдачи в воздушный зазор между панелями. Поэтому время достижения перегрева центральной зоны, приводящего к возникновению критических напряжений, относительно холодного края первой панели однослойного пакета меньше, чем аналогичное время перегрева одиночной панели. Будем считать, что после разрушения первой панели сразу происходит ее выпадение из рамы и на вторую панель начинают воздействовать тепловое излучение и газовая среда, нагретая пожаром.

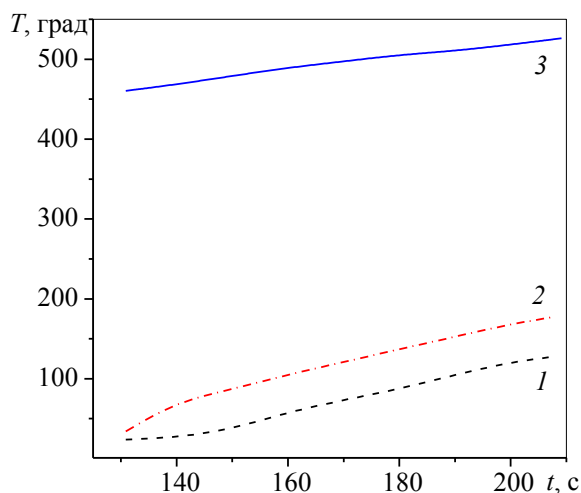


1, 2 – поверхности второй панели; 3 – необогреваемая сторона первой панели;  
4 – обогреваемая сторона первой панели; 5 – стандартная кривая пожара

**Рисунок 2.** – Зависимость температуры поверхностей панелей от времени от начала возникновения пожара, до разрушения первой панели, обращенной к огневому воздействию

Следует отметить, что после разрушения первой панели, ее выпадение из рамы происходит не сразу и носит вероятностный характер. Оно зависит от изменения давления среды в помещении, где происходит пожар, и от особенностей закрепления панелей в раме. Согласно рисунку 2 в момент разрушения первой панели вторая панель прогревается всего на несколько градусов. Сторона, обращенная в сторону воздушного зазора и первой панели, – на 4,5 °С, а сторона, обращенная в сторону окружающей среды, – на 2,5 °С. Температура окружающей среды со стороны пожара достигает при этом 462 °С.

При таких начальных условиях рост температуры поверхностей второй панели происходит по зависимостям, приведенным на рисунке 3. Расчет показывает, что вторая панель разрушается через 79 с после разрушения первой панели. Таким образом, в данном случае светопрозрачная конструкция, состоящая из двух панелей, разрушается на 73 с позднее, чем однопанельная светопрозрачная конструкция.

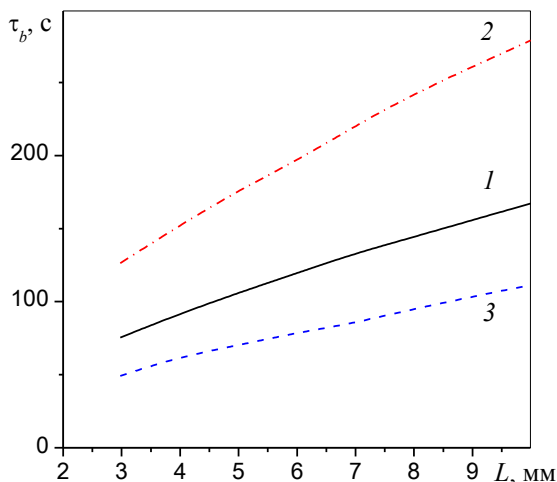


1 – необогреваемая сторона второй панели; 2 – обогреваемая сторона второй панели;  
3 – стандартная кривая пожара

**Рисунок 3.** – Зависимость температуры поверхности второй панели от времени от момента разрушения первой панели до момента разрушения второй панели

На рисунке 4 показана зависимость предела огнестойкости по критерию достижения критических напряжений в однослойном стеклопакете, приводящих к его разрушению, от

толщины панелей. При этом половина ширины панели  $H = 0,75$  м, расстояние между панелями – 2 см, интенсивность падающего излучения –  $5 \text{ кВт/м}^2$ , длина поглощения – 1 мм, критическая температура –  $110 \text{ }^\circ\text{C}$ .



1 – время наступления разрушения однослойной панели; 2 – время наступления разрушения однослойного стеклопакета; 3 – разность времени разрушения однослойной панели и однослойного стеклопакета

**Рисунок 4. – Зависимость предела огнестойкости по критерию достижения критических напряжений в однослойной панели и однослойном стеклопакете, приводящих к их разрушению, от толщины панелей**

Из приведенных на рисунке 4 зависимостей видно, что, время наступления разрушения возрастает с увеличением толщины панели. Причем вторая панель разрушается быстрее первой за счет того, что на нее воздействуют более горячие дымовые газы, так что общее время разрушение однослойного стеклопакета превосходит время разрушения однослойной панели не в два раза, а примерно в 1,66 раза.

**Заключение.** На основе разработанного программного кода с использованием пакета Flexpde рассчитаны профили температуры по толщине двух стеклянных панелей и зависимости от времени изменения температуры панелей.

Показано, что в однослойном стеклопакете панель, обращенная к пожару, разрушается быстрее, чем одиночная панель при таких же условиях. При этом вторая панель разрушается быстрее первой за счет того, что на нее воздействуют более горячие дымовые газы.

Рассчитана зависимость предела огнестойкости по критерию достижения критических напряжений в однослойном стеклопакете, приводящих к его разрушению, от толщины панелей. Показано, что время наступления разрушения возрастает с увеличением толщины панели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Actions on structures: Eurocode 1. Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire: EN 1991-1-2:2002. – Brussels: European committee for standardization, 2002. – 61 p.
2. Design of concrete structures: Eurocode 2. Part 1–2: General rules – Structural fire design: EN 1992-1-2:2004. – Brussels: European committee for standardization, 2004. – 99 p.
3. Design of steel structures: Eurocode 3. Part 1–2: General rules – Structural fire design: EN 1993-1-2:2005. – Brussels: European committee for standardization, 2005. – 78 p.
4. Design of composite steel and concrete structures: Eurocode 4. Part 1–2: General rules – Structural fire design: EN 1994-1-2:2005. – Brussels: European committee for standardization, 2005. – 109 p.
5. Design of timber structures: Eurocode 5. Part 1–2: General rules – Structural fire design: EN 1995-1-2:2004. – Brussels: European committee for standardization, 2004. – 69 p.

6. Design of masonry structures: Eurocode 6. Part 1–2: General rules – Structural fire design: EN 1996-1-2:2005. – Brussels: European committee for standardization, 2005. – 83 p.
7. Design of aluminium structures: Eurocode 9. Part 1–2: General rules – Structural fire design: EN 1999-1-2:2007. – Brussels: European committee for standardization, 2007. – 61 p.
8. Fire resistance tests. Part 1: General requirements: EN 1363-1:1999. – М.: BSI, 1999. – 52 p.
9. Стекло и изделия из него. Метод испытания на огнестойкость: Межгосударственный стандарт: ГОСТ 33000-2014. – Введ. 01.04.2016. – М.: Стандартиформ, 2015. – 13 с.
10. Дмитриченко, А.С. Исследование термонапряженного состояния светопрозрачной конструкции при огневом воздействии / А.С. Дмитриченко [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3. Физ.-матем. науки – 2018. – № 2. – С. 76–81.
11. Cuzzillo, V. R. Thermal Breakage of Double-pane Glazing by Fire / V.R. Cuzzillo, P.J. Pagni // Journal of Fire Prot. Engr. – 1998. – Vol. 9, № 1. – P. 1–11.
12. Мартыненко, О.Г. Свободно-конвективный теплообмен. Справочник. / О.Г. Мартыненко, Ю.А. Соковишин. – Минск: Наука и техника, 1982. – 399 с.
13. FlexPDE finite element model builder for Partial Differential Equations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pdesolutions.com>. – Дата доступа: 15.09.2018.
14. Bansal, N.P. Handbook of Glass Properties / N.P. Bansal, R.H. Doremus. – NY.: Academic Press Inc., 1986. – 680 p.
15. McLellan, G.W. Glass Engineering Handbook / G.W. McLellan, E.B. Shand. – NY.: McGrawHill Book Co., 1984. – 484 p.

**Расчет предела огнестойкости однослойного стеклопакета**  
**Calculation of the limit of fire resistance of single-layer glass unit**

---

***Дмитриченко Александр Степанович***

кандидат технических наук, доцент

Белорусский государственный  
технологический университет, кафедра  
энергосбережения, гидравлики  
и теплотехники, заведующий кафедрой

Адрес: 220006, Беларусь, г. Минск,  
ул. Свердлова, 13а

e-mail: [egit@belstu.by](mailto:egit@belstu.by)

***Aleksandr S. Dmitrichenko***

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Belarusian State Technological University,  
Chair of Energy Saving, Hydraulics and Heat  
Engineering, Head of the Chair

Address: 220118, Belarus, Minsk,  
ul. Sverdlova, 13a

e-mail: [egit@belstu.by](mailto:egit@belstu.by)

---

***Здитовецкая Светлана Валентиновна***

кандидат технических наук

Белорусский государственный  
технологический университет, кафедра  
энергосбережения, гидравлики  
и теплотехники, старший преподаватель

Адрес: 220006, Беларусь, г. Минск,  
ул. Свердлова, 13а

e-mail: [teka\\_11@mail.ru](mailto:teka_11@mail.ru)

***Svetlana V. Zditovetskaya***

PhD in Technical Sciences

Belarusian State Technological University,  
Chair of Energy Saving, Hydraulics and Heat  
Engineering, Senior Lecturer

Address: 220118, Belarus, Minsk,  
ul. Sverdlova, 13a

e-mail: [teka\\_11@mail.ru](mailto:teka_11@mail.ru)

---

***Мамедова Севиндж Иззат***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты МЧС  
Беларуси», адъюнкт

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

***Sevindzh I. Mamedova***

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

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

## CALCULATION OF THE LIMIT OF FIRE RESISTANCE OF SINGLE-LAYER GLASS UNIT

**Dmitrichenko A.S., Zditovetskaya S.V., Mamedova S.I.**

*Purpose.* The article provides a method for calculating the fire resistance of translucent structures. As a translucent structure, we consider a single-layer double-glazed glass unit consisting of a frame and two glasses separated by an air space. The fire resistance limit is determined by the limit state – the criterion of integrity.

*Methods.* Calculations of temperature and stress distribution in a limited glass panel are performed numerically using the Flexpde software package.

*Finding.* When calculating the fire resistance limit, the temperature dependence of thermal characteristics of glass, air and flue gases, design features of translucent structures and nonlinear nature of changes in ambient temperature during fire exposure are taken into account. As a result of the calculations, it was shown that the time of destruction onset increases with increasing of panel thickness. Moreover, the second panel is destroyed faster than the first one because it is exposed to hotter flue gases, so that the total time of destruction of a single-layer double-glazed glass unit does not exceed the time of destruction of a single glass twice, but only by 1.66 times.

*Application field of research.* The obtained results can be used in the development of the draft additions and changes in the TCP 45-2.02-110-2008.

*Conclusion.* The developed method makes it possible to calculate the fire resistance limit by the criterion of achieving critical stresses in a single-layer glass unit leading to its destruction.

*Keywords:* translucent structure, limit of fire resistance, thermal tension, thermal influence.

(The date of submitting: April 26, 2019)

### REFERENCES

1. *European Standard EN 1991-1-2:2002. Eurocode 1: Actions on structures. Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire.* Brussels: European committee for standardization, 2002. 61 p.
2. *European Standard EN 1992-1-2:2004. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1–2: General rules – Structural fire design.* Brussels: European committee for standardization, 2004. 99 p.
3. *European Standard EN 1993-1-2:2005. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1–2: General rules – Structural fire design.* Brussels: European committee for standardization, 2005. 78 p.
4. *European Standard EN 1994-1-2:2005. Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1–2: General rules – Structural fire design.* Brussels: European committee for standardization, 2005. 109 p.
5. *European Standard EN 1995-1-2:2004. Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1–2: General rules – Structural fire design.* Brussels: European committee for standardization, 2004. 69 p.
6. *European Standard EN 1996-1-2:2005. Eurocode 6: Design of masonry structures. Part 1–2: General rules – Structural fire design.* Brussels: European committee for standardization, 2005. 83 p.
7. *European Standard EN 1999-1-2:2007. Eurocode 9: Design of aluminium structures. Part 1–2: General rules – Structural fire design.* Brussels: European committee for standardization, 2007. 61 p.
8. *European Standard EN 1363-1:1999. Fire resistance tests. Part 1: General requirements.* Moscow: BSI, 1999. 52 p.
9. *Mezhhgosudarstvennyy standart. Steklo i izdeliya iz nego. Metod ispytaniya na ognestoykost' GOST 33000-2014* [Glass and glassware. A test method on fire resistance: Interstate Standard GOST 33000-2014]. Affirmed April 1, 2016. Moscow: Standartinform, 2015. 13 p. (rus)
10. Dmitrichenko A.S., Zditovetskaya S.V., Yanovskiy S.Yu., Kerimov K.D. Issledovanie termonapryazhennogo sostoyaniya svetoprozrachnoy konstruktsii pri ognevom vozdeystvii [Study of the thermal stress state of glazing assembly induced by fire]. *Trudy BGTU. Ser.3. Fhys.and Maths. Siences*, 2018. No. 2. Pp. 76–81. (rus)
11. Cuzzillo B.R., Pagni P.J. Thermal Breakage of Double-pane Glazing by Fire. *Journal of Fire Prot. Engr.*, 1998. Vol. 9, No. 1. Pp. 1–11.
12. Martynenko O.G., Sokovishin Yu.A. *Svobodno-konvektivnyy teploobmen. Spravochnik* [Free convective heat transfer. Reference book]. Minsk: Nauka i tehnika, 1982. 399 p. (rus)

13. *FlexPDE finite element model builder for Partial Differential Equations. Safety*, available at <http://www.pdesolutions.com> (accessed: September 15, 2018).
14. Bansal N.P., Doremus R.H. *Handbook of Glass Properties*. New York: Academic Press Inc., 1986. 680 p.
15. McLellan G. W., Shand E. B. *Glass Engineering Handbook*. New York: McGrawHill Book Co., 1984. 484 p.



УДК 536.46

**О ВЛИЯНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ****Ильющонок А.В., Гончаренко И.А., Лешенюк Н.С., Кулешов В.К., Терешенков В.И.**

Дан краткий обзор ряда работ, посвященных исследованию влияния электрического поля на процесс горения.

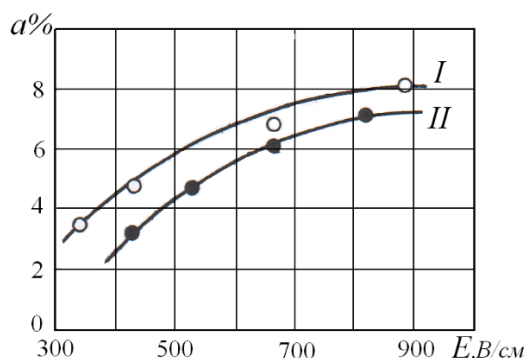
*Ключевые слова:* электрическое поле, пламя, процесс горения, тушение горения.

(Поступила в редакцию 18 марта 2019 г.)

Исследования влияния электрического поля на процессы горения проводятся на протяжении длительного времени. Из первых работ отметим [1], где описаны эксперименты по выяснению влияния напряженности поля на скорость распространения воспламененной газовой смеси при разных давлениях. Зажигание смеси ацетилена с воздухом проводилось в стеклянной трубке диаметром 2,12 см и длиной 22 см. Внутри помещались две медные пластинки, образующие вдоль трубки клиновидный конденсатор длиной 20 см с просветами 2,8 мм в нижней части и 7,8 мм в верхней части. Напряжение на конденсатор подавалось от батареи аккумуляторов и могло меняться в пределах 0–1200 В. Подбирая скорость протекания газовой смеси, равную скорости распространения пламени, авторы [1] наблюдали стационарное горение газовой смеси под уменьшенным давлением на определенной высоте между пластинами конденсатора.

Опуская детали проведения эксперимента, приведем некоторые результаты.

На рисунке 1 представлены графики зависимости выраженного в процентах уменьшения скорости горения от напряженности электрического поля в конденсаторе. Кривая *I* соответствует давлению  $6 \cdot 10^4$  Па, кривая *II* – давлению в трубке  $8,4 \cdot 10^4$  Па. Из графиков следует, что при более низком давлении действие электрического поля сильнее.



**Рисунок 1.** – Изменение скорости горения в зависимости от напряженности электрического поля, выраженное в процентах от скорости в отсутствие поля

На рисунке 2 приведены графики зависимости между давлением в трубке и скоростью распространения воспламенений без электрического поля при сгорании смеси на разных сечениях конденсатора. Замечательным результатом явилось то, что при включении электрического поля происходило тушение пламени, когда напряженность электрического поля достигала определенных значений. Числа на кривых указывают значение напряженности поля в В/см, при которых это происходит. Из графиков также следует, что величина напряженности электрического поля, вызывающего тушение, возрастает с увеличением скорости горения.

В описанных экспериментах электрическое поле является поперечным (напряженность поля перпендикулярна оси пламени). Влияние продольного электрического поля на процессы горения газовой смеси анализировалось, в частности в [2], где авторы, основываясь на результатах ранее проведенных экспериментов, указывают, что при определенных значениях напряженности электрического поля удавалось гасить пламя смесей различных углеводородов с воздухом.

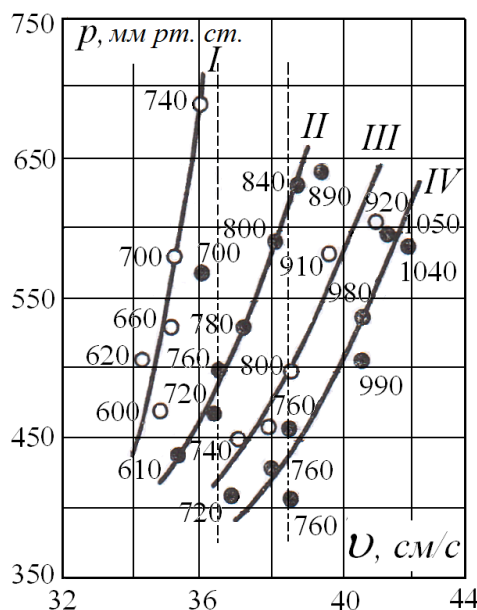


Рисунок 2. – Тушение пламени электрическим полем при различных давлениях

Результаты и анализ большого количества экспериментов, проводимых позже разными исследователями, приведены в [3]. Авторы рассматривают различные варианты наложения поля на пламя. Способы наложения продольного электрического поля показаны на рисунке 3. При включении поля по схеме *a* на горелку подается отрицательный потенциал, на электрод – положительный. Как следствие, положительно заряженные ионы движутся к горелке, а электроны – к электроду. Если поле включается по варианту *б*, направление движения электронов меняется на противоположное. В вариантах *в* и *г* электрод отсутствует, а горелке сообщается отрицательный либо положительный заряд.

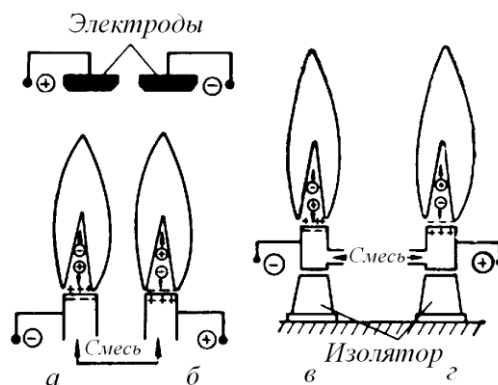


Рисунок 3. – Способы наложения электрического поля

В [3] проведен теоретический анализ влияния электрического поля на пламя посредством возникновения ионного ветра, превращения энергии электрического поля в тепловую и прямого воздействия поля на процесс горения. Последний механизм предполагает, что под действием поля электроны, сгенерированные самим пламенем, приобретают энергию, достаточную для образования при столкновении с нейтральными частицами новых активных центров.

Наблюдения показывают, что высота газо-воздушного пламени при наложении продольного электрического поля уменьшается, причем это уменьшение имеет место при любом направлении продольного электрического поля. На рисунке 4 приведен график зависимости высоты пламени горения городского газа, содержащего от 70 до 95 % метана, от напряжения на горелке. Аналогичный эффект наблюдался авторами [3] при сжигании бензина.

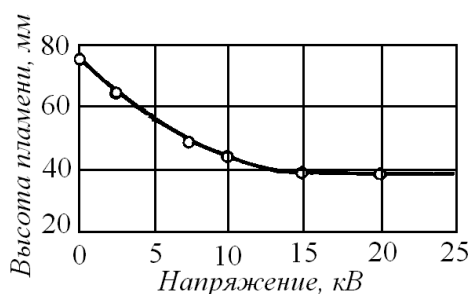


Рисунок 4. – Уменьшение высоты пламени городского газа в постоянном электрическом поле

В поперечном электрическом поле наблюдается отклонение пламени к катоду, что приводит к изменению геометрии пламени и скорости процесса горения. На рисунках 5 и 6 приведены полученные разными авторами графики скорости распространения пламени в зависимости от напряжения между электродами.

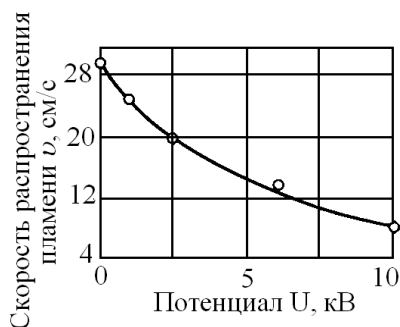


Рисунок 5. – Изменение скорости распространения углеводородного пламени в зависимости от прилагаемого потенциала

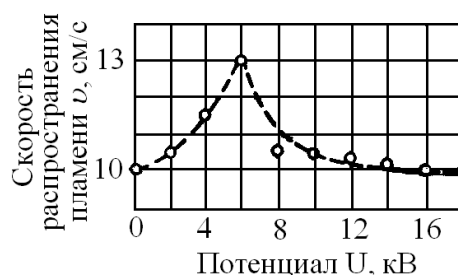


Рисунок 6. – Изменение скорости распространения пламени СО в зависимости от прилагаемого потенциала

По-видимому, наличие максимума на рисунке 6 отражает изменение кинетики процесса горения.

В [3] описаны эксперименты по стабилизации ацетиленового пламени электрическим зарядом, который подавался на горелку.

В работе [4] приведены результаты исследования влияния на пламя пропан-бутановой смеси продольного и поперечного электрического поля аксиальной геометрии. Ламинарное пламя формировалось на срезе заземленной однотрубной горелки, внутренний диаметр которой равнялся 10 мм. При подаче напряжения на кольцевой электрод диаметром 50 мм, находящийся на высоте 50–100 мм над срезом горелки, создавалось продольное электрическое поле. Для создания поперечного электрического поля использовался цилиндрический электрод, коаксиальный с горелкой и изготовленный из металлической сетки с размером ячейки 1×1 мм. Диаметр электрода равнялся 70 мм, высота – 200 мм, его нижняя кромка была ниже среза горелки на 20–30 мм, верхняя – выше вершины пламени примерно на такую же величину.

Как показали эксперименты, продольное электрическое поле очень слабо влияет на высоту, диаметр и форму пламени. Однако, когда напряжение достаточно велико, а условия горения близки к предельным, удается добиться гашения пламени.

При подаче на цилиндрический электрод небольшого положительного потенциала геометрия пламени остается практически неизменной. При подаче же отрицательного потенциала ~ 1 кВ в пламени возникают заметные мелкомасштабные возмущения, которые растут при увеличении подаваемого напряжения. Пламя приобретает форму цветка, после чего гаснет при небольшом увеличении напряжения.

По мнению авторов [4], результаты экспериментов могут быть объяснены следующим образом. В зоне подготовки фронта пламени локализованы преимущественно положительно заряженные ионы. С внешней стороны светящейся зоны сосредоточены преимуще-

ственно отрицательно заряженные ионы. При подаче на сеточный электрод отрицательного потенциала электрическое поле заставляет положительно заряженные ионы двигаться к внешней части пламени, а отрицательно заряженные – к внутренней. Ионы вовлекают в движение и нейтральные частицы, возникает ионный ветер, который двигает горячие продукты реакции на периферию пламени. Это приводит к охлаждению зоны реакции и, как следствие, при достижении достаточных напряжений – гашению пламени. При подаче на электрод положительного потенциала ионный ветер направлен к оси пламени и приводит к его стабилизации. Эксперименты также показали, что при подаче переменного напряжения частотой 50 Гц напряжение гашения возрастает.

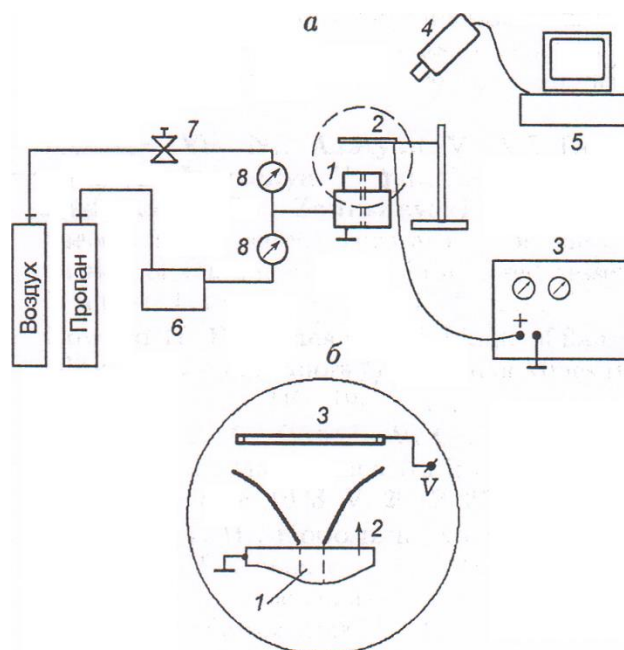
Механизмы воздействия внешнего электрического поля на процессы воспламенения и горения проанализированы в работе [5]. Подчеркивается, что воздействие поля может быть обусловлено возникновением ионного ветра, прямым влиянием на кинетику химических реакций или воздействием джоулева тепла, однако влияние последнего фактора на характеристики воспламенения и горения различных топливных композиций пренебрежимо мало вследствие малости величины допробойного тока в пламени. Степень же влияния каждого из двух первых факторов существенно зависит от полярности прикладываемого напряжения, вида топлива и конструкции камеры сгорания. Отметим также работу [6], в которой изучалось влияние электрического поля на концентрационные пределы распространения пламени пропана в воздухе.

Эксперименты, имевшие целью сравнение влияния на пламя постоянного и переменного электрического поля высокой частоты ( $5 \cdot 10^5$ – $6 \cdot 10^5$  Гц), были проведены еще в 20-е и 30-е годы прошлого столетия и описаны в [7]. Горение смеси  $C_2H_2$  с воздухом проходило в клиновидном конденсаторе, состоявшем из двух латунных и двух стеклянных пластинок. Газовая смесь подводилась к конденсатору снизу по трубке и поджигалась пламенем спиртовки возле верхнего края конденсатора. При использовавшихся концентрациях ацетилена в смеси (23–25 % и 18–20 %) пламя разделялось на две части: внешний конус, горевший у верхнего края конденсатора, и внутренний конус, горевший на некоторой глубине, которая зависела от скорости подачи смеси, концентрации  $C_2H_2$  в ней и поперечного сечения конденсатора. Исследование влияния поля на пламя производилось над этим внутренним конусом. Напряженность постоянного электрического поля менялась в пределах 200–1500 В/см, переменного – в пределах 300–2900 В/см.

Результаты экспериментов показали, что скорость распространения пламени в смесях ацетилена с воздухом уменьшается как в постоянном, так и в переменном электрическом поле. Влияние постоянного электрического поля на процент уменьшения скорости пламени примерно в два раза больше, чем переменного. Влияние как постоянного, так и переменного электрического поля на скорость распространения пламени уменьшается с увеличением этой скорости. Отметим, что не обнаружено влияния на скорость распространения пламени в смеси водорода с воздухом как постоянного, так и переменного поля.

Одним из результатов экспериментов явилось то, что при распространении пламени в смеси ацетилена с воздухом при скоростях пламени  $\sim 23,8$  см/с наблюдалось полное ионное гашение внутреннего конуса пламени, когда напряженность постоянного поля равнялась 1428 В/см и переменного – 2857 В/см.

Влияние постоянного и импульсно-периодического электрического поля на горение пропановоздушной смеси изучалось, в частности, в работе [8]. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 7. В экспериментах сопло было заземлено. Смесь вытекала из сопла диаметром 20 мм со средней скоростью  $0,5 \div 2$  м/с. Электрод-кольцо диаметром 28 мм располагался на высоте 40 мм. На электрод подавалось постоянное либо импульсно-периодическое напряжение  $0 \div 4$  кВ. Геометрическая форма пламени фиксировалась камерой технического зрения по изучению пламени на длине волны радикала  $C_2$ .



*а* – общий вид: 1 – горелочное устройство (сопло); 2 – электрод; 3 – электрическая схема; 4 – камера; 5 – компьютер; *б* – блок дозирования газов; 7 – воздушный редуктор; 8 – расходомеры; *б* – схема стабилизации: 1 – стабилизатор (центральное тело); 2 – поток смеси; 3 – кольцо (положительный электрод)

**Рисунок 7. – Схема экспериментальной установки**

Эксперименты показали, что при подаче напряжения происходит изменение формы пламени, причиной которого может быть возникновение ионного ветра. В ламинарном режиме горения при изменении постоянного напряжения до 3,4 кВ скорость распространения пламени увеличивается примерно на 20 %. Для турбулентного режима эта скорость увеличивается примерно на 30 %. При подаче на электрод переменного напряжения 1 кВ при изменении частоты подачи импульсов длительностью 4 мс от 150 Гц увеличение частоты приводит к значительному увеличению скорости распространения пламени, имевшей место при наложении постоянного поля. В экспериментах обнаружено также влияние постоянного электрического поля на устойчивость пламени при переходе от ламинарного режима горения к турбулентному.

Результаты исследования влияния импульсно-периодического электрического поля на горение пропановоздушной смеси изложены также в работах [9] и [10]. В экспериментах, описанных в [9], на плоские вертикальные электроды подавалось импульсно-периодическое напряжение величиной до 3,8 кВ. Частота импульсов равнялась 5 Гц, длительности импульса – 100 мс. Камера технического зрения регистрировала геометрическую форму пламени по его свечению на длине волны радикала СН. Наблюдалось изменение положения фронта пламени и его растяжение при наложении поля. Как отмечают авторы, положение фронта пламени зависит от частоты и длительности импульсов напряжения, что может быть использовано для управления положением области горения.

В работе [10] приведены результаты экспериментов по исследованию влияния импульсно-периодического поля на фронт пропановоздушного пламени горелки типа Бунзена. На рисунке 8 представлена схема эксперимента. Внутренний диаметр трубки, в которой происходило горение, равнялся 13,5 мм, ее длина – 800 мм. Использовались кольцевые электроды диаметром 20 мм с расстоянием между ними 25 мм, а также плоскопараллельные пластины размером 70×60 мм, расстояние между которыми равнялось 30 мм. На электроды подавались импульсы напряжения величиной до 3 кВ.

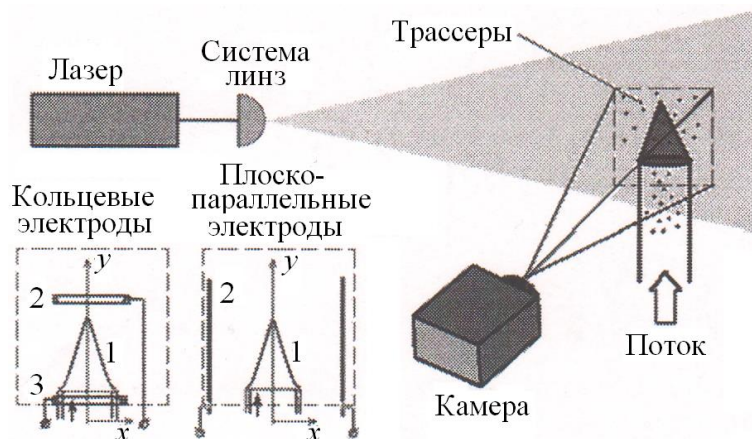


Рисунок 8. – Схема эксперимента: 1 – пламя; 2, 3 – электроды

Методом эмиссионной томографии проведено восстановление радиального распределения радикала СН в ламинарном пропановоздушном пламени в отсутствии электрического поля и после его включения (рис. 9).

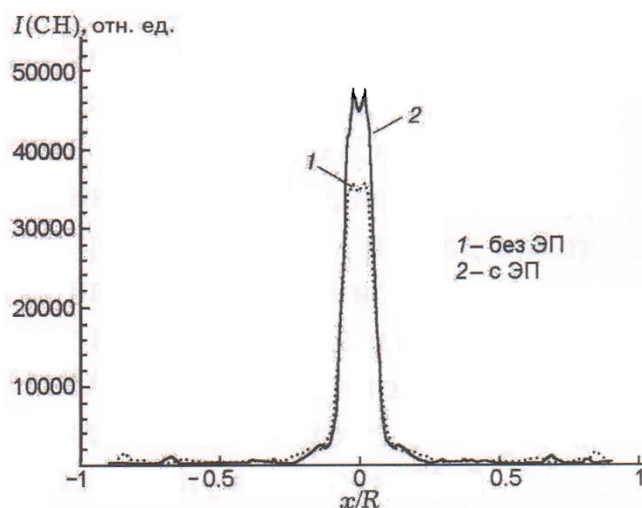


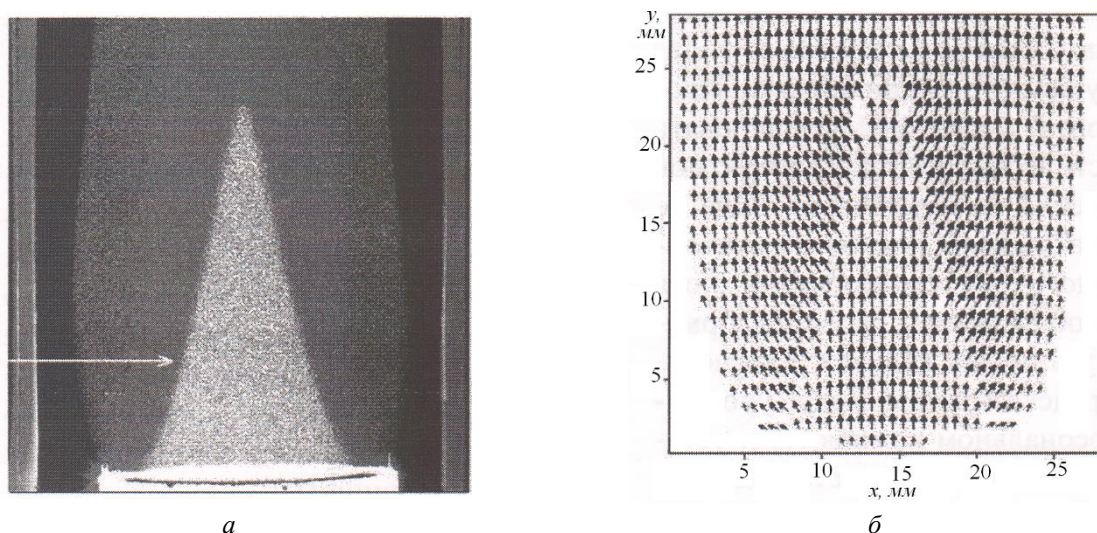
Рисунок 9. – Томографическое восстановление радиального распределения радикала СН в вершине пламени

Полученные авторами [10] данные говорят о локальном воздействии электрического поля на зону химических реакций и об отсутствии влияния поля на процессы в предпламенной зоне.

Для определения распределения поля скорости в пламени методом PIV поток газа засеивался частицами оксида титана со средним диаметром 1 мкм. Изображение пламени и определенное по нему поле скоростей (без электрического поля) представлены на рисунке 10.

Эксперимент показал, что при включении поля скорость потока внутри конуса пламени не меняется, а заметные изменения поля скорости происходят в области реакции и за зоной горения. При этом наблюдается деформация фронта пламени и возрастает скорость его распространения.

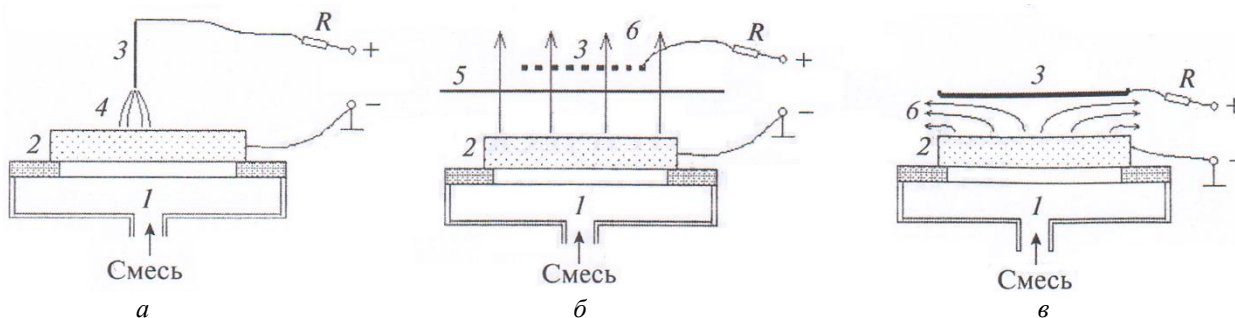
Воздействие электрического поля на поверхностное горение описано, в частности, в [11]. Опыты проводились на горелочном устройстве с плоской проницаемой матрицей, изготовленной из пенометалла, толщина которой составляла 8 или 12 мм, диаметр – 80 мм, объемная пористость – 82 %, поверхностная проницаемость – 0,4, диаметр пор – 0,8 мм. В опытах была использована горючая смесь природного газа и воздуха. Горение смеси проходило над поверхностью матрицы.



*a* – получаемое изображение; *б* – поле скоростей

**Рисунок 10.** – Регистрация скоростей пропановоздушного пламени горелки типа Бунзена методом PIV

Электрическое поле создавалось между электродами, одним из которых служила матрица. На некотором расстоянии  $H$  от нее был расположен второй электрод, в качестве которого бралась тонкая стальная проволока, ориентированная перпендикулярно матрице (рис. 11*а*), или тонкая металлическая сетка, параллельная матрице (рис. 11*б*). Помимо этого, в некоторых экспериментах был использован электрод в виде непроницаемого диска, параллельного матрице (рис. 11*в*).

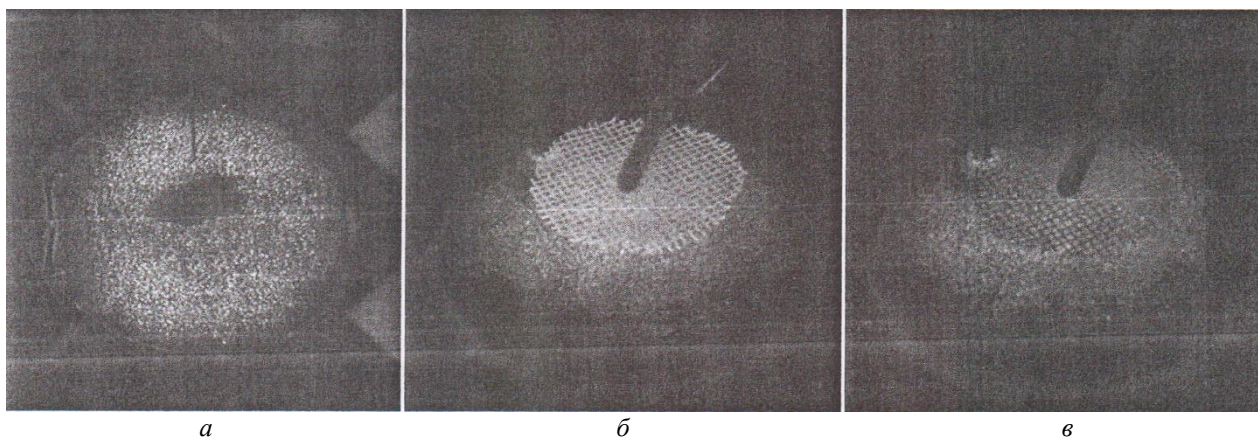


*1* – горелочное устройство; *2* – матрица; *3* – электрод; *4* – электрическое поле;  
*5* – нихромовая проволока; *6* – поток продуктов сгорания

**Рисунок 11.** – Схемы экспериментов

Вид поверхностного горения показан на рисунке 12. В опытах положительный или отрицательный потенциал до 10 кВ подавался на электрод через сопротивление  $R = 3 \text{ МОм}$  от источника высоковольтного напряжения.

Как отмечается в [11], в опытах с проволочным электродом обнаруживается интересный эффект. При подаче высокого положительного потенциала на электрод наблюдается «запирание» поверхностного горения в области под электродом. На светящейся матрице образуется темное пятно (рис. 12*а*), которое при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,2$ , удельной мощности горения  $w = 30 \text{ Вт/см}^2$  и  $H = 15 \text{ мм}$  имеет характерный размер  $\sim 20 \text{ мм}$  при подаче максимального предпробойного напряжения  $U = 8 \text{ кВ}$ . Размер темной области сокращается с уменьшением напряжения.



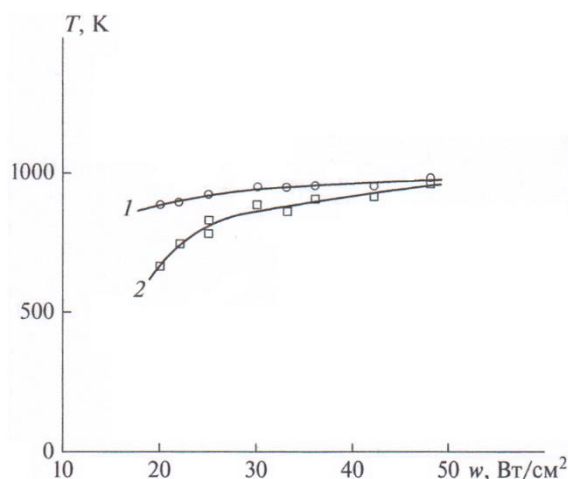
*a* – при подаче напряжения в 8 кВ на проволочный электрод; *b* – без напряжения на сетчатом электроде; *v* – при подаче напряжения в 2,3 кВ на электрод

**Рисунок 12. – Поверхностное горение**

Зависимость эффективной температуры поверхности матрицы от напряжения на проволочном электроде приведена на рисунке 13. Как указывается в [11], эффект «запирания» поверхностного горения может быть обусловлен двумя причинами: либо удалением фронта пламени от поверхности, либо уменьшением локальной мощности горения вследствие увеличения локального газодинамического сопротивления потоку благодаря противодействию ионного ветра. Первый случай может реализовываться при высокой неравновесной концентрации электронов на фронте пламени, приводящей к образованию большого количества ионов кислорода.

Во втором случае «запирание» возможно из-за противодействия ионного ветра, который создается преимущественно положительно заряженными атомами азота.

Измерение усредненной по области пятна диаметром 20 мм под электродом температуры показало, что ее падение в темной области матрицы при запирании поверхностного горения достигает величины 230 К.



**Рисунок 13. – Зависимость температуры поверхности матрицы в присутствии поля (2) и без него (1) для проволочного электрода от удельной мощности горения при  $a = 1,05$ ;  $U = 1$  кВ;  $H = 20$  мм**

При замене проволочного электрода на сетку при напряженности поля  $E = 1,9$  кВ/см,  $w = 40$  Вт/см<sup>2</sup>,  $H = 12$  мм под сеткой не происходило «запирание» поверхностного горения. Однако наблюдался эффект падения температуры и, как следствие, снижение радиационного потока от сетки к матрице, уменьшение температуры ее поверхности на 30–50 К. Это происходит потому, что движение положительных ионов от сетки создает ионный ветер, в результате чего поток заворачивает в сторону и коэффициент теплоотдачи к сетке уменьшается.



В случае горения смесей с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha < 1$  проволочный электрод над поверхностью матрицы раскалялся, но при подаче высокого напряжения он темнел, а поверхность матрицы раскалялась. Охлаждение электрода обусловлено уменьшением теплоотдачи от пламени, нагрев поверхности матрицы является следствием прижатия пламени к ее поверхности. Электрическое поле влияет на кинетику химических реакций, увеличивая скорость горения. Пламя прижимается к поверхности, когда эта скорость превышает скорость газовой смеси на выходе из матрицы.

При положительной полярности матрицы не наблюдалось ее потемнения под электродом. Опыты с дисковым электродом показали также, что температура матрицы и электрода уменьшается примерно на 40–45 К при напряжении 10 кВ. Электрическое поле вызывает расширение потока, вследствие чего уменьшается коэффициент теплоотдачи продуктов сгорания к электроду.

Таким образом, в пламени содержится значительное количество заряженных частиц – положительных и отрицательных ионов, электронов. Управляя их движением посредством наложения электрического поля, можно управлять процессом горения и тем самым решать различные технические задачи, в частности задачу повышения степени сгорания топлива. Причем, в отличие от управления процессом горения посредством акустических волн [12], в методе управления посредством электрического поля практически отсутствуют энергозатраты, т. к. сила тока незначительна.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Малиновский, А.Э. Влияние электрического поля на процессы горений при пониженных давлениях / А.Э. Малиновский, К.Е. Егоров // ЖЭТФ. – 1934. – Т. 4, вып. 2. – С. 208–214.
2. Лавров, Ф.А. Влияние продольного электрического поля на процесс горения газовых смесей / Ф.А. Лавров, А.Э. Малиновский // ЖФХ. – 1933. – Т. IV, вып. I. – С. 104–108.
3. Степанов, Е.М. Ионизация в пламени и электрическое поле / Е.М. Степанов, Б.Г. Дьячков. – М.: Металлургия, 1968. – 310 с.
4. Гуляев, Г.А. О влиянии постоянного электрического поля на горение смеси пропан-бутан с воздухом / Г.А. Гуляев, Г.А. Попков, Ю.Н. Шебеко // ФГВ. – 1985. – Т. 21, № 4. – С. 23–35.
5. Ягодников, Д.А. Влияние внешнего электрического поля на особенности процессов воспламенения и горения / Д.А. Ягодников, А.В. Воронежский // ФГВ. – 1994. – Т. 30, № 3. – С. 3–12.
6. Пантелеев, А.Ф. Влияние электрического поля на концентрационные пределы распространения пламени пропана в воздухе / А.Ф. Пантелеев, Г.А. Панков [и др.] // ФГВ. – 1991. – Т. 27, № 1. – С. 26–28.
7. Малиновский, А.Э. Влияние переменного электрического поля высокой частоты на скорость горения газа / А.Э. Малиновский, В.С. Россыхин, В.П. Тишковский // ЖЭТФ. – 1934. – Т. 4, вып. 2. – С. 183–187.
8. Гаранин, А.Ф. Влияние постоянного и импульсно-периодического электрического поля на горение пропановоздушной смеси / А.Ф. Гаранин, П.К. Третьяков, А.В. Тупикин // ФГВ. – 2008. – Т. 44, № 1. – С. 22–25.
9. Воронцов, С.С. Динамика фронта ламинарного пламени гомогенной пропановоздушной смеси при импульсно-периодическом воздействии электрического поля / С.С. Воронцов, О.В. Ганеев, П.К. Третьяков, А.В. Тупикин // ФГВ. – 2009. – Т. 45, № 5. – С. 29–32.
10. Третьяков, П.К. Ламинарное пропановоздушное пламя в слабом электрическом поле / П.К. Третьяков, А.В. Тупикин [и др.] // ФГВ. – 2012. – Т. 48, № 2. – С. 9–14.
11. Шмелев, В.М. О воздействии электрического поля на поверхностное горение / В.М. Шмелев // Химическая физика. – 2016. – Т. 35, № 2. – С. 33–40.
12. Ильюшонок, А.В. О влиянии звуковых волн на процессы горения // А.В. Ильюшонок, И.А. Гончаренко, Н.С. Лешенюк, В.К. Кулешов, В.И. Терешенков // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь. – 2017. – Т. 1, № 1. – С. 26–34.

**О влиянии электрического поля на процесс горения**  
**On the influence of electric field on combustion processes**

**Ильюшонок Александр Васильевич**

кандидат физико-математических наук, доцент

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты МЧС  
Беларуси», кафедра естественных наук,  
заведующий кафедрой

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

**Alexander V. Il'ushonok**

PhD in Physics and Mathematics Sciences,  
Associate Professor

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

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

**Гончаренко Игорь Андреевич**

доктор физико-математических наук, профессор

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты МЧС  
Беларуси», кафедра естественных наук,  
профессор

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,  
ул. Машиностроителей, 25  
e-mail: igor02@tut.by

**Igor A. Goncharenko**

Grand PhD in Physics and Mathematics Sciences,  
Professor

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

Address: 220118, Belarus, Minsk,  
ul. Mashinostroiteley, 25  
e-mail: igor02@tut.by

**Лешенюк Николай Степанович**

доктор физико-математических наук, профессор

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты МЧС  
Беларуси», кафедра естественных наук,  
профессор

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

**Nikolay S. Leshenyuk**

Grand PhD in Physics and Mathematics Sciences,  
Professor

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

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

**Кулешов Владимир Константинович**

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты МЧС  
Беларуси», кафедра естественных наук,  
заведующий лабораторией

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

**Vladimir V. Kuleshov**

PhD in Technical Sciences

The 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 Laboratory

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

**Терешенков Владимир Иванович**

кандидат физико-математических наук, доцент

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

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

**Vladimir I. Tereshenkov**

PhD in Physics and Mathematics Sciences,  
Associate Professor

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

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

## ON THE INFLUENCE OF ELECTRIC FIELD ON COMBUSTION PROCESSES

Il'yushonok A.V., Goncharenko I.A., Leshenyuk N.S., Kuleshov V.K., Tereshenkov V.I.

*Purpose.* The purpose of the paper is to present the brief survey of the state of research in the field of interaction of the flame with electric field.

*Findings.* The electric field could be effectively utilized for controlling the combustion process for the purpose of increasing the fuel using efficiency and decreasing the pollutant emission.

*Application field of research.* The obtained results could be used for development of alternative methods of fire control and extinguishing.

*Conclusions.* The presented researches showed that the flame contains the substantial quantity of the charged particles: positive and negative ions, electrons. By controlling their movement with the help of applied electric field it is possible to control the combustion process and solve various technical problems, in particular, the problem of increasing the fuel burn rate.

*Keywords:* electric field, flame, combustion process, extinguishing of combustion.

(The date of submitting: March 18, 2019)

### REFERENCES

1. Malinovskiy A.E., Egorov K.E. Vliyanie elektricheskogo polya na protsessy goreniy pri ponizhennykh davleniyakh [Influence of the electric field on combustion processes under decreased pressure]. *JETP*, 1934. Vol. 4, No. 2. Pp. 208–214. (rus)
2. Lavrov F.A., Malinovskiy A.E. Vliyanie prodol'nogo elektricheskogo polya na protsess goreniya gazovykh smesey [Influence of the longitudinal electric field on combustion process gas mixture]. *Journal of Physical Chemistry*, 1933. Vol. IV, No. I. Pp. 104–108. (rus)
3. Stepanov E.M. *Ionizatsiya v plameni i elektricheskoe pole* [Ionization in flame and electric field]. Moscow: Metallurgy, 1968. 310 p. (rus)
4. Gulyaev G.A., Popkov G.A., Shebeko Yu.N. O vliyanii postoyannogo elektricheskogo polya na gorenje smesi propan-butana s vozdukhom [On the influence of continuous electric field on combustion of the mixture of propane-butane with air]. *Physics of combustion and explosion*, 1985. Vol. 21, No. 4. Pp. 23–35. (rus)
5. Yagodnikov D.A., Voronetskiy A.V. Vliyanie vneshnego elektricheskogo polya na osobennosti protsessov vosplamneniya i goreniya [Influence of the external electric field on ignition and combustion processes features]. *Physics of combustion and explosion*, 1994. Vol. 30, No. 3. Pp. 3–12. (rus)
6. Panteleev A.F., Pankov G.A., Shebeko Yu.N., Tsarichenko S.G., Gorshkov V.I. Vliyanie elektricheskogo polya na kontsentratsionnye predely rasprostraneniya plameni propana v vozdukhke [Influence of the electric field on concentration limits of the propagation of propane flame in air]. *Physics of combustion and explosion*, 1991. Vol. 27, No. 1. Pp. 26–28. (rus)
7. Malinovskiy A.E., Rossyhin V.S., Tishkovskiy V.P. Vliyanie peremennogo elektricheskogo polya vysokoy chastoty na skorost' goreniya gaza [Influence of the high frequency alternative electric field on gases combustion rate]. *JETP*, 1934. Vol. 4, No. 2. Pp. 183–187. (rus)
8. Garanin A.F., Tret'yakov P.K., Tupikin A.V. Vliyanie postoyannogo i impul'sno-periodicheskogo elektricheskogo polya na gorenje propanovozdushnoy smesi [Influence of the continuous and pulse-periodic electric field on combustion of propane-air mixture]. *Physics of combustion and explosion*, 2008. Vol. 44, No. 1. Pp. 22–25. (rus)
9. Vorontsov S.S., Ganeev O.V., Tret'yakov P.K., Tupikin A.V. Dinamika fronta laminarnogo plameni gomogennoy propanovozdushnoy smesi pri imul'sno-periodicheskom vozdeystvii elektricheskogo polya [Dynamics of the laminar flame front of homogeneous propane-air mixture]. *Physics of combustion and explosion*, 2009. Vol. 45, No. 5. Pp. 29–32. (rus)
10. Tret'yakov P.K., Tupikin A.V., N.V. Denisova, O.V. Ganeev, V.V. Zamastchikov, Yu.S. Kozorezov. Laminarnoe propanovozdushnoe plamya v slabom elektricheskom pole [Laminar propane-air flame in a weak electric field]. *Physics of combustion and explosion*, 2012. Vol. 48, No. 2. Pp. 9–14. (rus)
11. Shmelev V.M. O vozdeystvii elektricheskogo polya na poverkhnostnoye gorenje [On the effect of electric field on surface combustion]. *Chemical Physics*, 2016. Vol. 35, No. 2. Pp. 33–40. (rus)
12. Il'yushonok A.V., Goncharenko I.A., Leshenyuk N.S., Kuleshov V.K., Tereshenkov V.I. On the influence of acoustic waves on combustion processes. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 1. Pp. 26–34. (rus)

УДК 614.841.41:[614.841.42:630]

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНОГО НИЗОВОГО ПОЖАРА С ОЦЕНКОЙ УРОВНЯ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ОТ ФРОНТА ПЛАМЕНИ

Ласуга Г.Ф., Гоман П.Н.

Представлены результаты экспериментально-аналитического исследования процессов возникновения и распространения лесного низового пожара. Выявлены значения температуры факела пламени при горении напочвенного покрова соснового леса, определен уровень прогрева лесного горючего материала при воздействии теплового излучения. Осуществлен расчет плотности лучистого теплового потока от фронта пламени цилиндрической формы с последующим прогнозом реализуемых в условиях лесного пожара уровней теплового воздействия.

*Ключевые слова:* лесной низовой пожар, лесной горючий материал, фронт пламени, тепловое излучение, горение.

(Поступила в редакцию 2 апреля 2019 г.)

**Введение.** В последние годы по причине глобального потепления в ряде стран мира обстановка с лесными пожарами усложнилась. Вследствие пожаров ухудшается экология регионов, уничтожаются природные экосистемы, населенные пункты.

К крупнейшим лесным пожарам последнего десятилетия можно отнести возникшие в 2009 году в Австралии (уничтожено порядка 450 тыс. га леса, погибли 173 человека). В России в 2010 году в результате аномальной жары лесные пожары охватили площадь около 2 млн. га, более 60 человек погибли, 2,5 тыс. семей остались без крова. Жертвами лесных пожаров в Португалии в 2017 году стали 111 человек. Значительная часть погибших были автомобилистами, которые пытались эвакуироваться в безопасные районы, но попали в огненную ловушку на одной из дорог (рис. 1). Лесные пожары в 2018 году в Калифорнии стали крупнейшими за всю историю штата. Погибли 85 человек, порядка 250 считаются пропавшими без вести. Огнем было уничтожено около 14 тыс. домов [1, 2].

Особую опасность представляют пожары на радиационно загрязненных территориях, ситуация с которыми в последние годы также усугубилась. Так в 2015, 2017 и 2018 годах крупные пожары возникали в Чернобыльской зоне отчуждения на территории Украины [3, 4]. В указанных лесных насаждениях вследствие ограничения лесохозяйственной деятельности скапливается большое количество горючего материала, что повышает пожарную опасность и риск возникновения возгораний, в том числе трансграничного характера. Пожары на данной категории земель приводят к повторной миграции радионуклидов на значительные расстояния, что вызывает ухудшение экологической обстановки ряда стран и является серьезной международной проблемой (рис. 2).

В Республике Беларусь только с 2012 года произошло более 3,6 тыс. лесных пожаров на общей площади свыше 19 тыс. га. При этом наиболее пожароопасным выдался 2015 год, когда было зафиксировано 1,2 тыс. пожаров, а площадь, пройденная огнем, составила 16,9 тыс. га. Одним из наиболее сложных по статистике 2015 года является пожар, возникший 13 июня в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике, на тушение которого было привлечено более 100 работников МЧС, задействованы три вертолета «Ми-8» и один вертолет «Ми-26». Тушение пожара продолжалось три дня [5].

В сложившейся ситуации для повышения уровня пожарной безопасности природных экосистем и снижения количества и площади пожаров особую важность приобретают научные исследования, связанные с изучением процессов возникновения и распространения лесных пожаров в условиях глобального потепления климата. Указанные исследования главным образом должны быть направлены на раннее обнаружение пожаров, прогнозирование условий их возникновения и развития, создание условий для ограничения распро-

странения и разработку современных способов тушения. Данная работа посвящена вопросам прогнозирования условий возникновения и развития лесных пожаров.



Рисунок 1. – Лесной пожар в Португалии 2017 года



Рисунок 2. – Лесной пожар в Чернобыльской зоне отчуждения 2018 года

**Обзор литературы.** Проблемой лесных пожаров активно занимаются специалисты разных стран мира. На территории постсоветского пространства значительный вклад в борьбу с пожарами в природных экосистемах внесли В.В. Усеня, В.Г. Гусев, А.М. Гришин, Г.А. Доррер, Е.С. Арцыбашев, И.В. Овсянников, Н.В. Барановский, М.В. Жарикова и ряд других исследователей [6–13]. Указанными авторами получены существенные результаты в области повышения пожарной безопасности природных экосистем [6, 10, 11], прогнозирования возникновения лесных пожаров и их экологических последствий [12], физико-математического моделирования распространения пожаров [7–9], создания современных огнетушащих и огнепреграждающих составов [6].

В ряде европейских и других стран большой вклад в развитие теории и практики защиты лесов от пожаров внесли: R. Ford, R. Weber, V. Babrauskas, J. Dupuy, R. Linn, W. McCaw, F. Albin и другие ученые [14–20]. На современном этапе достаточно полно исследованы процессы возникновения и распространения возгораний в природных экосистемах [14, 18], разработаны физические [15, 21–23], математические [16, 17, 20, 24–26], полевые [27, 28], численные модели лесных пожаров [19, 29, 30]. На основе разработанных моделей созданы программные комплексы (Behave, Farsite, FireLab и др.) для своевременного прогнозирования динамики развития пожаров. Данные комплексы в ряде стран мира внедрены в деятельность специализированных центров: Канадский межведомственный центр по лесным пожарам, Центр глобального мониторинга лесных пожаров в Германии, Национальный объединенный пожарный центр в США, Координационный центр реагирования на чрезвычайные ситуации в Греции, Республиканский центр управления и реагирования на чрезвычайные ситуации в Беларуси и др.

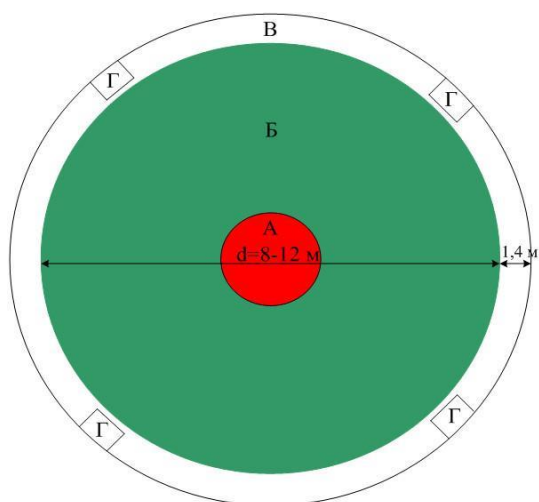
Следует отметить, что несмотря на существенные результаты в области обеспечения пожарной безопасности природных экосистем усугубление обстановки с лесными пожарами в последние годы говорит о недостаточной эффективности применяемых мер лесопожарной защиты и целесообразности дальнейшего исследования процессов возникновения и распространения пожаров в условиях глобального потепления климата для уточнения разработанных моделей прогнозирования динамики возгорания и разработки эффективных пожарно-профилактических мероприятий в природных экосистемах.

**Материалы и методы исследования.** В работе использована комбинация экспериментально-аналитических методов исследования процессов возникновения и распространения лесных пожаров. Целью исследования являлось установление условий возникновения и распространения лесных низовых пожаров. Объектом исследования стал лесной низовой пожар. Предметом исследования были закономерности возникновения и распростра-

нения лесного низового пожара с оценкой уровня возможного теплового воздействия. Исследование проводилось в три этапа.

**На первом этапе** с применением метода натурального моделирования проведена серия экспериментов по установлению условий возникновения и распространения очага лесного пожара [31]. В ходе экспериментов создавался фронт пламени цилиндрической формы, определялись значения температуры факела пламени при горении лесного горючего материала (далее – ЛГМ) наземной группы, устанавливалась динамика напочвенного горения, выявлялись уровни прогрева ЛГМ при воздействии лучистого теплового потока от фронта пламени.

Экспериментальные исследования проведены на полигоне Института леса НАН Беларуси, а также на территории лесного фонда Стародорожского района Минской области. На горизонтальных участках соснового леса были созданы экспериментальные площадки, включающие в себя центральную *А* и периферийную *Б* зоны, из которых первая выступала для инициирования возгорания. Периферийная зона предназначалась для выявления динамики низового пожара; по ее периметру создавалась минерализованная полоса *В* шириной 1,4 м с оставленными зонами *Г* для контроля температуры в слое напочвенного покрова, отделенная от зоны *Б* на 0,2 м (рис. 3 [32]). Для получения устойчивого пламенного горения в начальной стадии эксперимента на ЛГМ зоны *А* равномерно распределялся 1 л легко воспламеняющейся жидкости.



*А* – зона пуска огня ( $d = 1$  м); *Б* – зона ЛГМ ( $d = 8-12$  м);  
*В* – минерализованная полоса шириной 1,4 м;  
*Г* – зона ЛГМ для контроля температуры в его слое

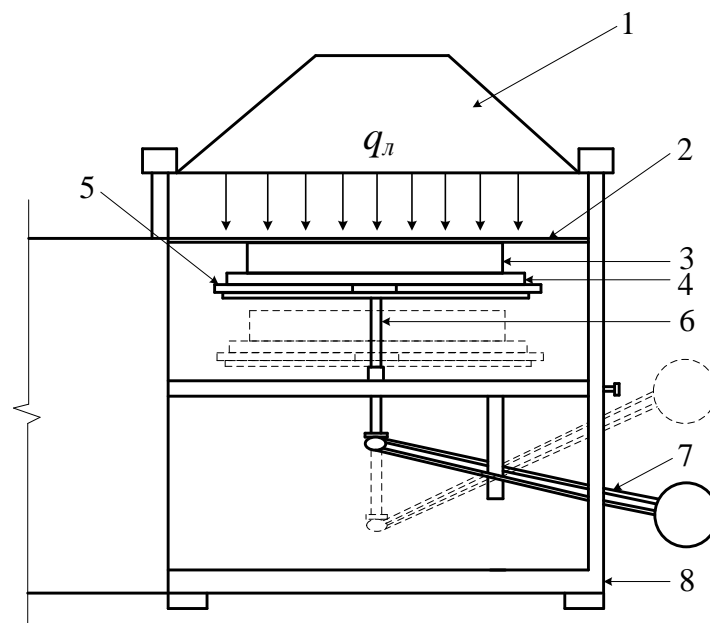
**Рисунок 3.** – Общая схема модельного очага лесного низового пожара

После воспламенения напочвенного покрова мгновенно охваченная огнем зона *А* инициировала формирование и распространение цилиндрического фронта пламени низового пожара. Замеры диаметра контура пожара и его высоты проводили с интервалом в 1 мин с помощью мерных реек. После достижения тепловым фронтом минерализованной полосы измеряли высоту пламени и его температуру в нескольких точках, а также температуру на участках напочвенного покрова в зоне *Г*. Температуру факела пламени и напочвенного покрова контролировали посредством измерителей-регуляторов «Сосна-003» с термоэлектрическими преобразователями. Измерения осуществлялись до полного выгорания зоны *Б*.

Во время эксперимента комплексный показатель горимости по данным Гидрометцентра изменялся от 4050 до 4310, что отвечает IV классу пожарной опасности в лесу по условиям погоды, при скорости ветра в диапазоне 0–1 м/с, температуре воздуха около 20 °С и влажности горючего материала порядка 20 %. Напочвенный покров, состоящий из мха, лишайника, опада хвои, мелких веток, коры, травы и листьев, использовали в естественном состоянии, а также формировали, чтобы охватить по толщине достаточно широкий диапазон значений от 0,07 м при плотности 50 кг/м<sup>3</sup> до 0,01 м при плотности 75 кг/м<sup>3</sup>.

**На втором этапе** с применением метода аналитического моделирования был осуществлен расчет тепловой нагрузки от фронта пламени цилиндрической формы [33]. С использованием известных математических выкладок получено выражение, характеризующее уровень тепловой нагрузки на напочвенный покров леса в зависимости от параметров фронта пламени (по высоте, диаметру, температуре). Далее посредством полученного выражения моделировались условия проведенного натурального эксперимента и выявлялись значения плотности лучистого теплового потока, воздействующего на ЛГМ в процессе реального горения. Кроме того, получены прогнозные значения тепловой нагрузки, реализуемой в условиях лесных пожаров с интенсивным горением.

**На третьем этапе** с применением метода лабораторного эксперимента на установке по исследованию воспламеняемости материалов [34] моделировались условия воздействия на ЛГМ тепловой нагрузки докритического диапазона (не приводящей к воспламенению). Исследуемый на данном этапе ЛГМ по составу и характеристикам полностью соответствовал изученному на первом этапе. Целью эксперимента являлось установление предрасположенности напочвенного покрова к прогреву при воздействии теплового излучения пожара. Значения воздействующей на ЛГМ тепловой нагрузки устанавливались в диапазоне значений, характерных для проведенного натурального эксперимента и рассчитанных по второму этапу. Далее проводилось сравнение температуры в слое материала, полученной в ходе натурального и лабораторного экспериментов. Хорошая сходимость полученных результатов позволила сделать вывод о применимости данного подхода. Общий вид лабораторной установки представлен на рисунке 4.



- 1 – радиационная панель с нагревательным элементом; 2 – защитная плита с отверстием в центре  $d=150$  мм; 3 – кольцо из асбеста для расположения образца;  
4 – асбестоцементный лист; 5 – держатель образца; 6 – передвижная платформа;  
7 – рычаг с противовесом; 8 – опорная станина в сборе

**Рисунок 4.** – Схема установки для моделирования воздействия на горючий материал теплового излучения

В соответствии с методикой исследования до начала эксперимента образец ЛГМ равномерно размещался в кольце из асбеста, расположенном на держателе образца. Далее в образец внедрялись датчики контроля температуры, и установка выводилась на требуемый температурный режим. При проведении экспериментов посредством радиационной панели установки на лицевую поверхность ЛГМ моделировалось воздействие тепловой нагрузки, характерной для проведенного натурального эксперимента. В процессе испытания фиксировалось распределение температуры по высоте образца. Испытание каждого последующего

образца проводилось после охлаждения держателя образца и кольца из асбеста до комнатной температуры.

Ниже приведена детализация действий по проведению указанных этапов исследования.

**Результаты экспериментальных исследований процесса горения напочвенного покрова соснового леса.** В результате проведенных экспериментов установлено, что в начальный период развития пожара при переходе пламени из зоны *A* в зону *B* скорость распространения фронта пламени возрастает постепенно, что характерно для периода разгорания. В дальнейшем развитие пожара с перемещением его фронта происходит почти с постоянной скоростью. Это отвечает увеличению периметра пожара по закону, близкому к линейному с течением времени (рис. 5 [32]). Горизонтальность испытательных площадок и относительная слабость ветра привели к реализации контура пламени почти круглой формы. Тем не менее высота пламени вдоль фронта изменялась с течением времени, что отображено на рисунке 6.

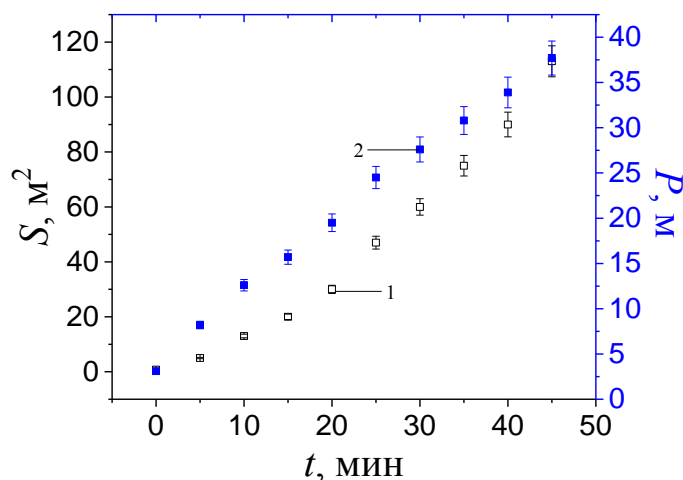


Рисунок 5. – Зависимость площади (1) и периметра (2) пожара от времени горения модельных очагов; температура окружающей среды – 20°С, скорость ветра – 1 м/с, запас ЛГМ – 1,4 кг/м<sup>2</sup>, его влажность – 20 %

Скорость перемещения фронта пламени по плотному напочвенному слою с преобладанием опада хвои толщиной около 0,01 м невелика; для достижения границы зоны *B* огню потребовалось около 45 мин. Для слоев с преобладанием мха и лишайника скорость распространения огня сравнима и на 20–30 % превышает установленную для опада хвои, при подобии графической зависимости площади от времени. В целом по всем 10 экспериментальным площадкам время достижения пламенем границы минерализованной полосы составляло 30–50 мин в зависимости от размеров модельного очага.

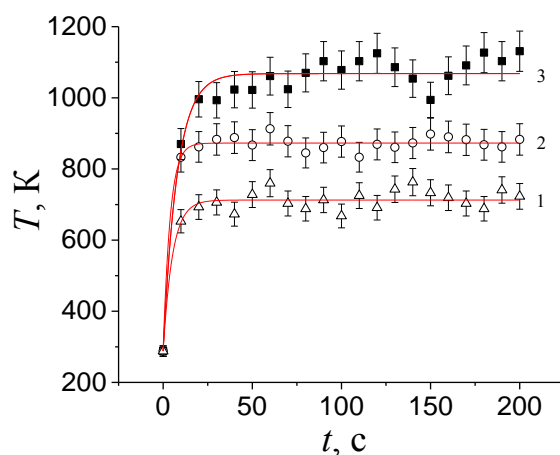
Уровень прогрева лесной подстилки под действием лучистого теплового потока и, соответственно, эффективность примененного противопожарного барьера в виде минерализованной полосы были выявлены непосредственно в ходе натурального эксперимента. Как известно [14], разогрев напочвенного покрова в первую очередь определяется уровнем тепловой нагрузки, который во многом определяется температурой фронта пламени, а также его высотой и шириной.





Рисунок 6. – Горение ЛГМ при проведении натурального эксперимента

В литературе встречаются различные значения температуры горения веществ и материалов [36, 37]. Однако, применительно к условиям лесного пожара, наиболее достоверным является непосредственное измерение температуры в различных точках по высоте пламени входе натурального эксперимента. По результатам проведенных испытаний для проводников горения в виде мха, лишайника, опада хвои, листвы, коры, мелких веток температура факела пламени достигает 1070 К (рис. 7), что ниже температуры пламени при горении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (бензин, керосин и др.) – 1150 К, сухой древесины – 1270 К, сжиженных газов – 1470 К [36]. Как следует из рисунка 7, формирование пламени происходит весьма быстро с последующими колебаниями температуры во времени, связанными с перемещением конвекционных потоков продуктов сгорания и поступлением более холодных воздушных масс в зону реакции горения.



1 – зона контакта с горючим материалом; 2 – центр факела; 3 – верхняя область факела

Рисунок 7. – Температура факела пламени с течением времени горения напочвенного покрова соснового леса

При воздействии теплового потока на напочвенный покров происходит его прогрев, сушка, пиролиз и последующее воспламенение продуктов пиролиза по достижении критической температуры, которая по данным [14] составляет 590–620 К. Быстрота необходимого прогрева во многом определяется удаленностью материала и наличием препятствий в виде минерализованных полос и других противопожарных барьеров, способных нейтрализовать воздействие теплового потока [6, 15]. В ходе натурального эксперимента установлено, что значения температуры в слое напочвенного покрова на различном удалении от фронта пламени отвечают гиперболическому закону. В качестве примера на рисунке 8 приведена

зависимость температуры в середине слоя ЛГМ от расстояния до цилиндрического фронта пламени.

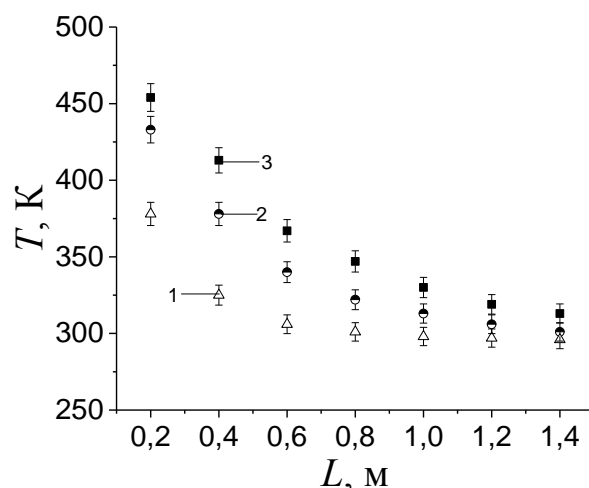


Рисунок 8. – Температура в середине слоя напочвенного покрова толщиной 0,07 м при воздействии теплового излучения от цилиндрического фронта пламени низового пожара для значений высоты пламени ( $h$ ), м: 0,25 (1); 0,5 (2); 0,75 (3)

Как видно на рисунке 8, с увеличением расстояния до фронта пламени температура напочвенного покрова снижается. Например, при высоте пламени  $h = 0,5$  м удаление ЛГМ от огня на 1 м приводит к уменьшению температуры в его слое до 315 К, что минимизирует вероятность дальнейшего распространения огня. При воздействии фронта пламени высотой 0,75 м на расстоянии 0,2 м обеспечивается прогрев ЛГМ до 450 К, а увеличение расстояния до 1,4 м способствует снижению температуры материала в 1,4 раза. В целом, можно заключить, что слой напочвенного покрова, удаленный от фронта пламени на расстояние 0,2 м, при условиях, отвечающих четвертому классу горимости, и высоте фронта пламени 0,75 м, не способен достичь критической температуры за счет воздействия теплового излучения.

Однако для низовых пожаров большей интенсивности условия безопасности следует рассматривать отдельно с учетом возможности сочетания результатов натурального эксперимента с данными расчета плотности лучистого теплового потока от протяженных фронтов пламени и критериями воспламеняемости наземного горючего материала. Другими словами, для оценки уровня облученности напочвенного покрова при воздействии повышенных тепловых нагрузок от фронтов пламени целесообразно экстраполировать результаты натурального эксперимента на большие масштабы теплового фронта, для чего имеет смысл решить задачу аналитически. Это позволит оценить уровни тепловой нагрузки от масштабных тепловых фронтов и выявить взаимосвязь между плотностью теплового потока, воздействующего на горючий материал, и температурой в его слое.

**Экстраполяция результатов экспериментальных исследований на большие параметры теплового фронта.** В связи с тем, что проведение масштабных натуральных экспериментов с созданием обширных по высоте и ширине тепловых фронтов затруднительно ввиду опасности возникновения неконтролируемого горения, для оценки уровня облучения напочвенного покрова целесообразно экстраполировать результаты натурального эксперимента на большие параметры теплового фронта [15]. Соответственно, возникает необходимость выявления закономерностей формирования и пространственного распределения лучистого теплового потока, создаваемого поверхностями цилиндрической формы. Существенно, что среди имеющихся литературных источников совсем немного данных по оценке плотностей тепловых потоков, испускаемых излучателями указанной формы [38, 39]. Так, в работе [38] приведены выражения для угловых коэффициентов облученности между цилиндром и прямоугольной поверхностью, расположенной в плоскости параллельной оси цилиндра, а также для двух неограниченно длинных цилиндров, размещенных на некотором расстоянии. В рамках рассмотренной геометрии излучатель и при-

нимающая поверхность позиционируются как одинаковые по высоте, что не соответствует ситуации проведенного натурального эксперимента и ограничивает возможности практического применения полученных выражений для угловых коэффициентов облученности. В другой работе [39] приведено выражение по выявлению термического поражения мишени в зоне действия цилиндрического фронта. Приведенная в источнике геометрия также не в полной мере отвечает ситуации проведенного натурального эксперимента и может быть уточнена посредством детального моделирования условий натурального эксперимента по воздействию теплового излучения на напочвенный покров от подошедшего к противопожарному барьеру в виде минерализованной полосы протяженного фронта пламени цилиндрической формы.

Ниже представлены результаты расчета плотности лучистого теплового потока от цилиндрического источника, которые позволяют выявить возможные уровни тепловой нагрузки на наземный горючий материал, расположенный в области действия теплового фронта.

Если расстояние от облучаемой поверхности до излучателя невелико по сравнению с его размерами, что действительно имеет место в значительном количестве практических случаев, то применение закона обратных квадратов для определения энергетической освещенности не совсем корректно. Источник следует представлять как большое количество точечных излучателей с последующим суммированием вкладов от каждого [33, 35].

Общая схема исследования и исходные геометрические построения представлены на рисунке 9.

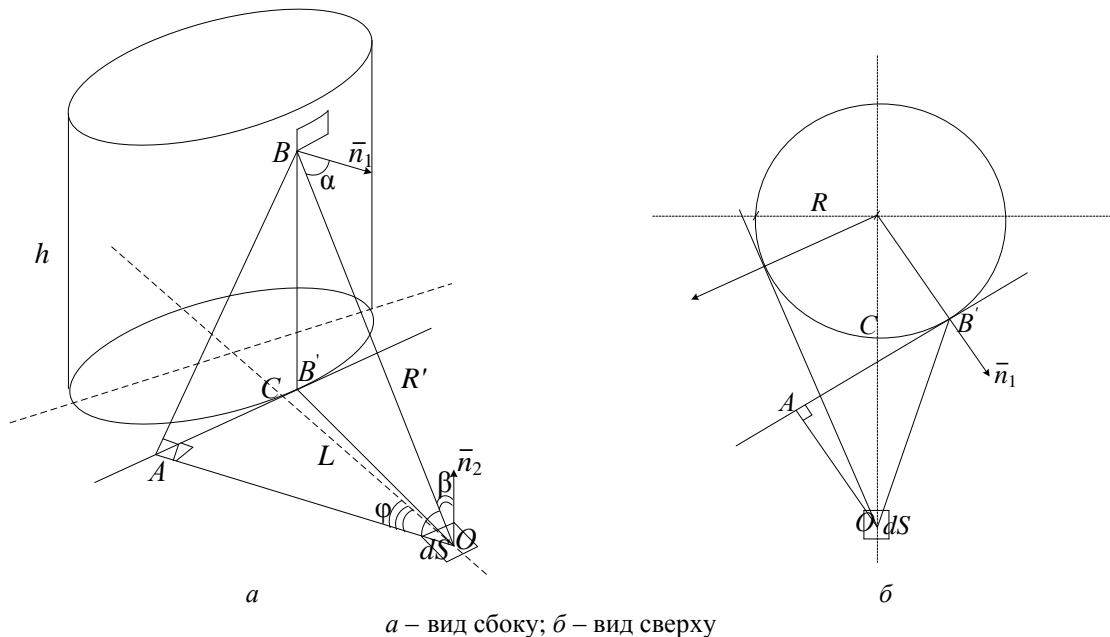


Рисунок 9. – Схема расчета тепловой нагрузки от цилиндрического источника на напочвенный покров леса

Источник цилиндрической формы радиуса  $R$  и высоты  $h$  рассмотрен в предположении, что посылаемый поток по всем направлениям одинаков, т. е. излучающая поверхность по лучистой яркости отвечает Ламбертовому источнику. На горизонтальной облучаемой поверхности конечных размеров с центром  $O$ , расположенной в плоскости основания теплового источника, на расстоянии  $L$  от излучающей поверхности, тепловой поток воздействует на горючий материал наземной группы, что отвечает условиям проведенных натуральных экспериментов. При расчете учтена величина видимого элементарного участка излучающего фронта из точки  $O$ , а также эффективная величина участка поверхности, подвергнутой облучению вдоль заданного направления. Затем произведено суммирование вкладов от всех элементарных участков по видимой поверхности теплового источника.

Посылаемый на облучаемую поверхность элементарный поток от излучателя пропорционален участку излучателя, который виден из точки  $O$ , т. е.  $dx dy \cos \alpha$ , и величине телесного угла  $d\Omega$ , опирающегося на облучаемую поверхность  $dS$ . Если нормаль  $\bar{n}_2$  к поверхности  $dS$  составляет угол  $\beta$  с осью конуса, являющегося границей телесного угла  $d\Omega$ , то искомый поток пропорционален косинусу угла между нормалью  $\bar{n}_2$  и осью телесного угла  $d\Omega$ , который записывают как [40]

$$d\Omega = \frac{dS \cos \beta}{R'^2}, \quad (1)$$

где  $R'$  – расстояние от элементарного участка излучателя до облучаемой поверхности. Следовательно, падающий искомый элементарный поток  $dF$  на поверхность  $dS$  вдоль нормали  $\bar{n}_2$  к ней может быть выражен как [40]

$$dF = BdS \frac{\cos \alpha \cos \beta}{R'^2} dx dy, \quad (2)$$

где  $B$  – энергетическая яркость источника. Соответственно, величина плотности лучистого теплового потока  $dq$  от элемента излучателя  $dx dy$  как  $\frac{dF}{dS}$  может быть представлена в виде [40]

$$dq = \frac{B}{R'^2} \cos \alpha \cos \beta dx dy. \quad (3)$$

После суммирования всех вкладов от элементарных участков излучателя получено выражение, характеризующее закономерности распределения плотности лучистого теплового потока от протяженного цилиндрического фронта пламени с учетом его радиуса, высоты, температуры, а также расстояния до облучаемой поверхности [40]:

$$q = \frac{\sigma T^4}{2\pi} (a_{L,R}(h) [b_{L,R}(h) - c_{L,R}(h)] + b_{L,R}(0) - c_{L,R}(0)), \quad (4)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана;  $q$  – плотность лучистого теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $T$  – температура цилиндрического излучателя, К;  $R$  – радиус цилиндрического излучателя, м;  $h$  – высота цилиндрического излучателя, м;  $L$  – расстояние от излучателя до облучаемой поверхности, м. Величины  $a_{L,R}(h)$ ,  $b_{L,R}(h)$  и  $c_{L,R}(h)$  вычисляются по формулам:

$$a_{L,R}(h) = -\frac{L^2 + 2LR + h^2}{\sqrt{(L^2 + h^2)((L + 2R)^2 + h^2)}};$$

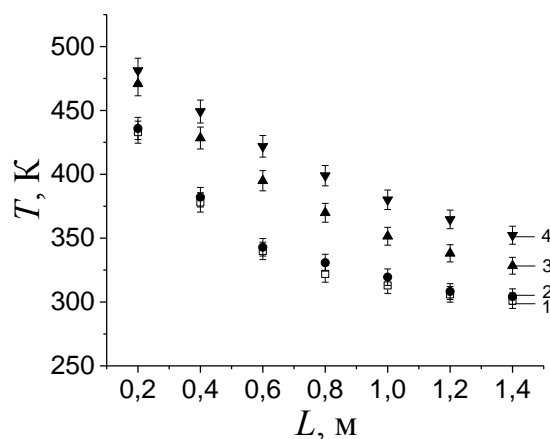
$$b_{L,R}(h) = \operatorname{arctg} \left[ \frac{L + R}{\sqrt{(L^2 + h^2)((L + 2R)^2 + h^2)}} \left[ \frac{(L + R)^2 + R^2 + h^2}{R} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{R^2}{(L + R)^2}} \right) - 2R \right] \right];$$

$$c_{L,R}(h) = \operatorname{arctg} \left[ \frac{L + R}{\sqrt{(L^2 + h^2)((L + 2R)^2 + h^2)}} \left[ \frac{(L + R)^2 + R^2 + h^2}{R} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{(L + R)^2}} \right) - 2R \right] \right].$$

Выражение (4) характеризует излучение абсолютно черного тела на абсолютно черную поверхность без учета возможного переизлучения, что отвечает наихудшим условиям при пожаре и направлено на повышение эффективности профилактических мероприятий.

**Результаты лабораторных исследований процесса воздействия теплового излучения на напочвенный покров соснового леса, их сравнение с результатами натурального эксперимента.** Выявленные закономерности распределения потоков излучения от цилиндрического источника позволяют посредством лабораторной установки для определения воспламеняемости материалов смоделировать условия проведенного натурального эксперимента [34]. Используя данный подход, в лабораторных условиях смоделировали процесс воздействия на напочвенный покров тепловой нагрузки от фронта пламени, характерной для условий проведенного натурального эксперимента и определенной по (4); посредством термопар определили значения температуры в слое напочвенного покрова и произвели ее сравнение с температурой, измеренной в естественных условиях.

В качестве примера на рисунке 10 приведены результаты сопоставления данных, полученных в ходе лабораторных и натуральных экспериментов, по температуре в слое горючего материала при воздействии теплового излучения от фронта пламени высотой 0,5 м. Также приведены расчетные оценки уровня прогрева напочвенного покрова при образовании более масштабных по высоте фронтов. Уровень тепловой нагрузки на напочвенный покров от радиационной панели лабораторной установки изменялся в диапазоне от минимального  $1,2 \text{ кВт/м}^2$  для моделирования случая удаления образца на расстояние 1,4 м при высоте фронта пламени 0,5 м до максимального  $19,50 \text{ кВт/м}^2$  для моделирования случая удаления образца на расстояние 0,2 м при высоте фронта пламени 1,5 м.



1 – результаты натурального эксперимента; 2, 3, 4 – результаты лабораторного эксперимента

**Рисунок 10.** – Зависимость температуры в середине слоя напочвенного покрова толщиной 0,07 м от расстояния до облучаемой поверхности при температуре и радиусе цилиндрического фронта пламени 970 К и 5 м соответственно для высоты излучателя ( $h$ ), м: 0,5 (1, 2); 1 (3); 1,5 (4)

Как видно на рисунке 10, данный подход позволяет получать значения температуры в слое напочвенного покрова, которые согласуются с результатами натурального эксперимента. Расхождение полученных в лабораторных и естественных условиях данных по температуре в слое напочвенного покрова в зависимости от параметров тепловых фронтов, которые наблюдались в условиях натурального эксперимента, не превышает 10 %. Соответственно, выражение (4) может быть использовано для оценки пространственного распределения лучистого теплового потока от цилиндрического фронта пламени, характерного для лесных пожаров.

**Оценка возможного теплового воздействия от цилиндрического фронта пламени лесного пожара.** Для получения прогнозных оценок по уровню теплового воздействия в условиях формирования лесных низовых и полевых пожаров на рисунках 11 и 12 представлены зависимости плотности лучистого теплового потока от характерных и реализуемых в реальных условиях параметров фронтов пламени по ширине, высоте и температуре.

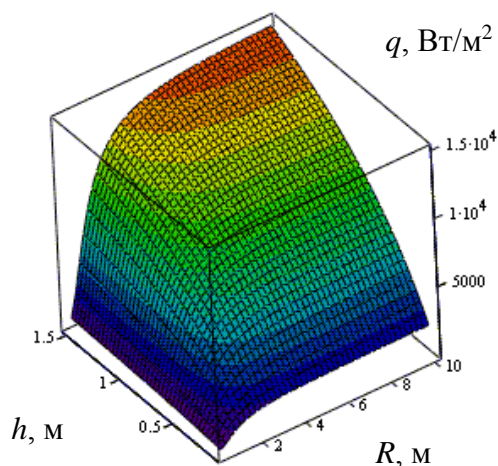


Рисунок 11. – Зависимость тепловой нагрузки от высоты и радиуса цилиндрического фронта пламени при температуре излучателя 1070 К и расстоянии до облучаемой поверхности 1 м

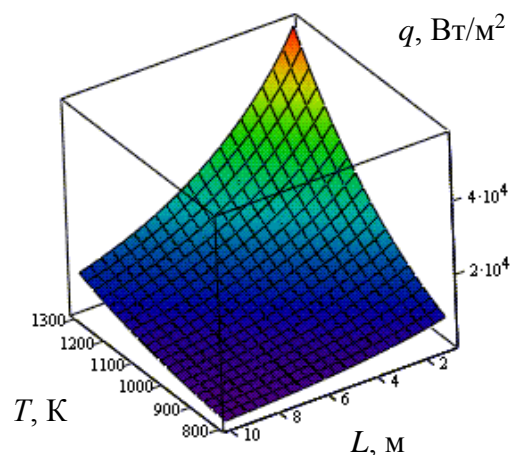


Рисунок 12. – Зависимость тепловой нагрузки от температуры цилиндрического фронта пламени и расстояния до облучаемой поверхности при высоте и радиусе излучателя равных 10 м

Как можно видеть на рисунке 11, в условиях лесных низовых пожаров с формированием масштабных цилиндрических фронтов пламени температурой 1070 К уровень тепловой нагрузки на расстоянии 1 м может изменяться от 0,6 кВт/м<sup>2</sup> при минимальных значениях высоты и радиуса излучателя, равных 0,25 и 1 м соответственно, до 14,7 кВт/м<sup>2</sup> при максимальных значениях высоты и радиуса излучателя, равных 1,5 и 10 м соответственно. При этом увеличение радиуса цилиндрического фронта пламени более, чем на 2 м перестает существенно сказываться на уровне облученности горючего материала, что более выражено при небольшой высоте излучателя и, вероятно, обусловлено незначительным вкладом удаленных участков в результирующую плотность лучистого теплового потока.

В случае возникновения поварных пожаров с основным проводником горения в виде сухой древесины (рис. 12) температура факела пламени может быть выше и достигать 1270 К [36], что приведет к существенному увеличению уровня тепловой нагрузки при пожаре. В данных условиях при значениях высоты и радиуса цилиндрического фронта пламени, равных 10 м, плотность лучистого теплового потока на расстоянии 1 м от излучателя составит 52,3 кВт/м<sup>2</sup>. При этом с удалением от фронта пламени плотность лучистого теплового потока снижается и на расстоянии 10 м составляет 10,9 кВт/м<sup>2</sup>.

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлены закономерности возникновения и распространения лесных низовых пожаров в природных экосистемах умеренного климатического пояса. Получено аналитическое решение, позволяющее прогнозировать уровень тепловой нагрузки от цилиндрического фронта пламени, зачастую наблюдаемого в условиях лесных низовых и поварных пожаров. Методами натурного и лабораторного моделирования выявлены закономерности прогрева ЛГМ при воздействии теплового излучения от фронта пламени.

В качестве наиболее важных результатов работы можно выделить следующие:

- температура факела пламени развившегося пожара при горении напочвенного покрова соснового леса в составе мха, лишайника, опада хвои, листвы, коры, мелких веток, достигает 1070 К, что несколько ниже температуры горения древесины;

- при воздействии теплового излучения от фронта пламени лесного низового пожара высотой до 0,75 м уровень прогрева напочвенного покрова, удаленного от фронта пламени на расстояние 0,2 м, не превышает 450 К, что ниже требуемой для воспламенения критической температуры. При этом увеличение расстояния до 1,4 м приводит к снижению температуры ЛГМ в 1,4 раза;

- при возникновении лесных низовых пожаров с формированием цилиндрического фронта пламени температурой 1070 К, высотой 1,5 м и радиусом 10 м уровень теплового

воздействия вблизи фронта пламени достигает  $14,7 \text{ кВт/м}^2$ , что не вызывает воспламенения напочвенного покрова, расположенного за противопожарным барьером в виде минерализованной полосы шириной 1,4 м;

– при возникновении повальных лесных пожаров с формированием цилиндрического фронта пламени температурой 1270 К, высотой и радиусом, равными 10 м, уровень теплового воздействия вблизи фронта пламени достигает  $52,3 \text{ кВт/м}^2$ , что представляет угрозу поражения людей и создает риск перехода огня через имеющиеся минерализованные полосы и аналогичные противопожарные барьеры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Крупнейшие лесные пожары в мире. Досье [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tass.ru/info/5397861>. – Дата доступа: 26.02.2019.
2. В Калифорнии локализован природный пожар [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://ru.euronews.com/2018/11/25/california-camp-fire-contained>. – Дата доступа: 26.02.2019.
3. Богорад, В.И. Радиационные последствия пожара в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / В.И. Богорад [и др.] // Ядерная и радиационная безопасность. – 2016. – Вып. 1(69). – С. 64–68.
4. В Чернобыльской зоне отчуждения вновь возник пожар [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interfax.ru/world/616303>. – Дата доступа: 26.02.2019.
5. Лесные пожары и площадь, пройденная лесными пожарами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/lesnoe-khozyaistvo/godovye-dannye/lesnye-pozhary-i-ploshchad-proydenная-lesnymi-pozharami/>. – Дата доступа: 27.03.2019.
6. Усеня, В.В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними / В.В. Усеня. – Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2002. – 206 с.
7. Гусев, В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах / В.Г. Гусев. – СПб.: НИИ ЛХ, 2005. – 200 с.
8. Гришин, А.М. Математические модели лесных пожаров / А.М. Гришин. – Томск: Томский ун-т, 1981. – 278 с.
9. Доррер, Г.А. Динамика лесных пожаров / Г.А. Доррер. – Новосибирск: СО РАН, 2008. – 404 с.
10. Арцыбашев, Е.С. Лесные пожары и борьба с ними / Е.С. Арцыбашев. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 152 с.
11. Овсянников, И.В. Противопожарное устройство лесов / И.В. Овсянников. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 112 с.
12. Кузнецов, Г.В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий / Г.В. Кузнецов, Н.В. Барановский. – Новосибирск: СО РАН, 2009. – 301 с.
13. Ходаков, В.Е. Лесные пожары: методы исследования / В.Е. Ходаков, М.В. Жарикова. – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 470 с.
14. Ford, R. Investigation of Wildfires / R. Ford. – Bend: Maverick Publications, 1995. – 176 p.
15. Weber, R. Modelling fire spread through fuel beds / R. Weber // Progress in Energy and Combustion Science. – 1991. – Vol. 17. – P. 62–82.
16. Dupuy, J. Fire spread through a porous forest fuel bed: A radiative and convective model including fire-induced flow effects / J. Dupuy, M. Larini // Int. J. Wildland Fire. – 1999. – Vol. 9, № 3. – P. 155–172.
17. McCaw, W. Predicting fire spread in Western Australia mallee-heath shrubland. PhD sci. diss. Synopsis / W. McCaw; University of New South Wales. – Canberra, Australia, 1998. – 256 p.
18. Babrauskas, V. Ignition Handbook / V. Babrauskas. – Issaquah: Fire Science Publishers, 2003. – 1118 p.
19. Linn, R. A transport model for prediction of wildfire behaviour. PhD sci. diss. / R. Linn; New Mexico State University. – Las Cruces, 1997. – 195 p.
20. Albin, F. A mathematical model for predicting the maximum potential spotting distance from a crown fire / F. Albin, M. Alexander, M. Cruz // Int. J. Wildland Fire. – 2012. – № 21. – P. 609–627.
21. Morvan, D. Physical phenomena and length scales governing the behaviour of wildfires: a case for physical modelling / D. Morvan // Fire Technol. – 2011. – № 47. – P. 437–460.
22. Mell, W. A physics-based approach to modelling grassland fires / W. Mell, M.A. Jenkins, J. Gould, P. Cheney // Int. J. Wildland Fire. – 2007. – № 16. – P. 1–22.
23. Sun, L. Comparison of burning characteristics of live and dead chaparral fuels / L. Sun, X. Zhou, S. Mahalingam, D.R. Weise // Combust. Flame. – 2006. – № 144. – P. 349–359.

24. Sullivan, A.L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 1: physical and quasi-physical models / A.L. Sullivan // *Int. J. Wildland Fire*. – 2009. – № 18. – P. 349–368.
25. Chuah, K.H. The prediction of flame heights and flame shapes of small fire whirls / K.H. Chuah, G. Kushida // *Proc. Combust. Inst.* – 2007. – № 31. – P. 2599–2606.
26. Battaglia, F. Simulating fire whirls / F. Battaglia, K. McGrattan, R. Rehm, H. Baum // *Combust. Theory Model.* – 2000. – № 4. – P. 123–138.
27. Nelson, R.M. Re-analysis of wind and slope effects on flame characteristics of Mediterranean shrub fires / R.M. Nelson // *Int. J. Wildland Fire*. – 2015. – № 24. – P. 1001–1007.
28. Lei, J. Experimental research on combustion dynamics of medium-scale fire whirl / J. Lei, N. Liu, L. Zhang, H. Chen, L. Shu, P. Chen, et al. // *Proc. Combust. Inst.* – 2011. – № 33. – P. 2407–2415.
29. Morvan, D. Numerical study of the behaviour of a surface fire propagating through a firebreak built in a Mediterranean shrub layer / D. Morvan // *Fire Saf. J.* – 2015. – № 71. – P. 34–48.
30. Gavrilov, K. Numerical simulation of coherent structures over plant canopy / K. Gavrilov, G. Accary, D. Morvan, D. Lyubimov, S. Méradji, O. Bessonov // *Flow, Turbul. Combust.* – 2011. – № 86. – P. 89–111.
31. Гоман, П.Н. Экспериментально-численное моделирование процесса горения и распространения огня в условиях лесного низового пожара [Электронный ресурс] / П.Н. Гоман, В.Р. Соболев, Д.В. Баровик, В.Б. Таранчук // *Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал*. – Вып. 3(37). – 2011. – 14 с. – Режим доступа: <http://elib.bspu.by/bitstream/doc/2029/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%20%D0%A2%D0%A2%D0%91.pdf>. – Дата доступа: 16.02.2019.
32. Гоман, П.Н. Оценка способности наземного лесного горючего материала к воспламенению и поддержанию процесса горения по своей поверхности / П.Н. Гоман // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 446–454.
33. Соболев, В.Р. О влиянии формы протяженного теплового источника на плотность лучистого потока энергии / В.Р. Соболев, П.Н. Гоман, В.И. Януг // *Весці БДПУ. Сер. III, Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія*. – 2010. – № 4. – С. 3–9.
34. *Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость: ГОСТ 30402–96*. – Введ. 30.03.97. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь: ФГУП ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1996. – 27 с.
35. Соболев, В.Р. К вопросу о пространственном распределении интенсивности лучистого потока энергии от источника большой площади / В.Р. Соболев, П.Н. Гоман, В.И. Януг // *Чрезвычайные ситуации: образование и наука*. – 2011. – № 2(6) – С. 116–124.
36. *Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91*. – Введ. 01.07.92. – М.: Гос. ком-т по стандартизации: МВД СССР, 1991. – 80 с.
37. Cruz, M.G. Ignition of crown fuels above a spreading surface fire. PhD sci. diss. / M.G. Cruz; University of Montana. – Missoula, 2004. – 126 p.
38. Уонг, Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: справочник / Пер. с англ. / Х. Уонг. – М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.
39. Степанов, К.Л. Тепловое излучение взрыва: Оценка риска термического поражения людей и возникновения пожаров / К.Л. Степанов, Л.К. Станчиц, Ю.А. Станкевич // *Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Республики Беларусь*. – 2011. – № 1(13). – С. 31–45.
40. Гоман, П.Н. Аналитическое решение задачи по определению уровня тепловой нагрузки от цилиндрического фронта пламени лесного пожара / П.Н. Гоман // *Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве: материалы IV Междунар. заочн. науч.-практ. конф., Минск, 22 декабря 2017 г. / Университет гражданской защиты МЧС Беларуси; редкол.: И.И. Полевцова [и др.]*. – Минск, 2017. – С. 54–59.



**Моделирование процессов возникновения и распространения лесного  
низового пожара с оценкой уровня тепловой нагрузки от фронта пламени**

**Modeling of the processes of the occurrence and spread of forest groundfire  
with the estimation of the level of flame front heat load**

***Ласута Геннадий Федорович***

кандидат сельскохозяйственных наук

Министерство по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь, заместитель Министра

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

***Gennadiy F. Lasuta***

PhD in Agricultural Science

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

Address: 220118, Belarus, Minsk,  
ul. Revolyutsionnaya, 5

***Гоман Павел Николаевич***

кандидат технических наук, доцент

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

Адрес: 220118, Беларусь, г. Минск,  
ул. Машиностроителей, 25  
e-mail: g\_pn83@mail.ru

***Pavel N. Homan***

PhD in Technical Science, Associate Professor

The 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: 220118, Belarus, Minsk,  
ul. Mashinostroiteley, 25  
e-mail: g\_pn83@mail.ru

## MODELING OF THE PROCESSES OF THE OCCURRENCE AND SPREAD OF FOREST GROUND FIRE WITH THE ESTIMATION OF THE LEVEL OF FLAME FRONT HEAT LOAD

**Lasuta G.F., Homan P.N.**

*Purpose.* The article is devoted to the study of the processes of occurrence and spread of forest ground fires in order to predict the level of heat load from the flame front and improve forest fire prevention measures. The object of the study is a forest ground fire. The subject of the study are the patterns of occurrence and spread of forest ground fire.

*Methods.* A combination of experimental and analytical methods for investigating the processes of the emergence and spread of forest ground fires was used, the analysis of the obtained results was carried out and compared with the data of a full-scale experiment.

*Findings.* Experimental data on flame temperature at burning of ground fuel combustible material were obtained, as well as the estimates of the heat load levels realized under conditions of forest ground fire during the formation of large-scale cylindrical flame fronts, which are important for the theory of forest fires. It has been established that the temperature of the flame of a developed fire during the burning of ground cover of coniferous plantations containing moss, lichen, needles, foliage, bark, small branches reaches 1070 K, which is lower than the burning temperature of wood. It was revealed that under conditions of low intensity ground fire a flame front up to 1 m high is formed, unable to ignite ground cover, located behind standard fire barriers in the form of a 1.4 m wide mineralized strip. It was established that at high intensive forest fires with the flame front formation of a cylindrical shape with a height of up to 10 m and the diameter of up to 20 m, the level of heat exposure near the flame front can reach 26 kW/m<sup>2</sup>.

*Application field of research.* The results can be used by emergency bodies and units to predict the conditions of occurrence and spread of forest fires.

*Conclusions.* As a result of the research the regularities of the occurrence and spread of ground fires in natural ecosystems of the temperate climate zone were established. An analytical solution has been obtained that makes it possible to predict the level of heat load from a cylindrical flame front, often realized in conditions of ground forest fires. The methods of full-scale and laboratory modeling revealed patterns of heating of combustible forest material when exposed to thermal radiation from the flame front.

*Keywords:* forest ground fire, forest combustible material, flame front, heat radiation, burning.

(The date of submitting: April 2, 2019)

### REFERENCES

1. *Krupneyshie lesnye pozhary v mire* [Dos'e The largest forest fires in the world. Dossier], available at: <https://tass.ru/info/5397861> (accessed: February 26, 2019). (rus)
2. *V Kalifornii lokalizovan prirodnyy pozhar* [Wildfire localized in California], available at: <https://ru.euronews.com/2018/11/25/california-camp-fire-contained> (accessed: February 26, 2019). (rus)
3. Bogorad V.I., Litvinskaya T.V., Shevchenko I.A., Dybach A.M., Slepchenko A.Yu. Radiatsionnye posledstviya pozhara v zone otchuzhdeniya Chernobyl'skoy AES [Radiation effects of fire in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant]. *Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost'*, 2016. Iss. 1(69). Pp. 64–68. (rus)
4. *V Chernobyl'skoy zone otchuzhdeniya vnov' vznik pozhar* [In the Chernobyl exclusion zone re-emerged fire], available at: <https://www.interfax.ru/world/616303> (accessed: February 26, 2019). (rus)
5. *Lesnye pozhary i ploshchad', proydennaya lesnymi pozharami* [Forest fires and area covered by forest fires], available at: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoehozyaystvo/lesnoe-khozyaystvo/godovye-dannye/lesnye-pozhary-i-ploshchad-proydennaya-lesnymi-pozharami/>. (accessed: March 27, 2019). (rus)
6. Usenya V.V. *Lesnye pozhary, posledstviya i bor'ba s nimi* [Forest fires and their consequences]: tutorial. Gomel: Institut lesa NAN Belarusi, 2002. 206 p. (rus)
7. Gusev V.G. *Fiziko-matematicheskie modeli rasprostraneniya pozharov i protivopozharnye bar'ery v sosnovykh lesakh* [Physical and mathematical models of the spread of fires and fire barriers in pine forests]: tutorial. Saint Petersburg: NII lesnogo khozyaystva, 2005. 200 p. (rus)

8. Grishin A.M. *Matematicheskie modeli lesnykh pozharov* [Mathematical models of forest fires]: tutorial. Tomsk: Tomsk State University, 1981. 112 p. (rus)
9. Dorrer G.A. *Dinamika lesnykh pozharov* [Dynamics of forest fires]: tutorial. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008. 404 p. (rus)
10. Artsybashev E.S. *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi* [Forest fires and fighting against them]: tutorial. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1974. 152 p. (rus)
11. Ovsyannikov I.V. *Protivopozharnoe ustroystvo lesov* [Fireproof forest facilities]: tutorial. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1978. 112 p. (rus)
12. Kuznetsov G.V., Baranovskiy N.V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Forecast of forest fires and their environmental consequences]: tutorial. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 301 p. (rus)
13. Khodakov V.E., Zharikova M.V. *Lesnye pozhary: metody issledovaniya* [Forest fires: research methods]: tutorial. Kherson: Grin' D.S., 2011. 470 p. (rus)
14. Ford R. *Investigation of Wildfires*: tutorial. Bend: Maverick Publications, 1995. 176 p.
15. Weber R. Modelling fire spread through fuel beds. *Progress in Energy and Combustion Science*, 1991. Vol. 17. Pp. 62–82.
16. Dupuy J., Larini M. Fire spread through a porous forest fuel bed: A radiative and convective model including fire-induced flow effects. *Int. J. Wildland Fire*, 1999. Vol. 9, No. 3. Pp. 155–172.
17. McCaw W. *Predicting fire spread in Western Australia mallee-heath shrubland*. PhD sci. diss. Synopsis. University of New South Wales, Canberra, Australia, 1998. 256 p.
18. Babrauskas V. *Ignition Handbook*: tutorial. Issaquah: Fire Science Publishers, 2003. 1118 p.
19. Linn R. *A transport model for prediction of wildfire behaviour*. PhD sci. diss., New Mexico State University, Las Cruces, 1997. 195 p.
20. Albin F., Alexander M., Cruz M. A mathematical model for predicting the maximum potential spotting distance from a crown fire. *Int. J. Wildland Fire*, 2012. No. 21. Pp. 609–627.
21. Morvan D. Physical phenomena and length scales governing the behaviour of wildfires: a case for physical modelling. *Fire Technol*, 2011. No. 47. Pp. 437–460.
22. Mell W., Jenkins M.A., Gould J., Cheney P. A physics-based approach to modelling grassland fires. *Int. J. Wildland Fire*, 2007. No. 16. Pp. 1–22.
23. Sun L., Zhou X., Mahalingam S., Weise D.R. Comparison of burning characteristics of live and dead chaparral fuels. *Combust. Flame*, 2006. No. 144. Pp. 349–359.
24. Sullivan A.L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 1: physical and quasi-physical models. *Int. J. Wildland Fire*, 2009. No. 18. Pp. 349–368.
25. Chuah K.H., Kushida G. The prediction of flame heights and flame shapes of small fire whirls. *Proc. Combust. Inst.*, 2007. No. 31. Pp. 2599–2606.
26. Battaglia F., McGrattan K., Rehm R., Baum H. Simulating fire whirls. *Combust. Theory Model.*, 2000. No. 4. Pp. 123–138.
27. Nelson R.M. Re-analysis of wind and slope effects on flame characteristics of Mediterranean shrub fires. *Int. J. Wildland Fire*, 2015. No. 24. Pp. 1001–1007.
28. Lei J., Liu N., Zhang L., Chen H., Shu L., Chen P., et al. Experimental research on combustion dynamics of medium-scale fire whirl. *Proc. Combust. Inst.*, 2011. No. 33. Pp. 2407–2415.
29. Morvan D. Numerical study of the behaviour of a surface fire propagating through a firebreak built in a Mediterranean shrub layer. *Fire Saf. J.*, 2015. No. 71. Pp. 34–48.
30. Gavrilov K., Accary G., Morvan D., Lyubimov D., Méradji S., Bessonov O. Numerical simulation of coherent structures over plant canopy. *Flow, Turbul. Combust.*, 2011. No. 86. Pp. 89–111.
31. Goman P.N., Sobol' V.R., Barovik D.V., Taranchuk V.B. Eksperimental'no-chislennoe modelirovanie protsessa goreniya i rasprostraneniya ognya v usloviyakh lesnogo nizovogo pozhara [Experimental and numerical simulation of the combustion process and the spread of fire in a forest ground fire]. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti: Internet-zhurnal*, 2011. No. 3(37). 14 p., available at: <http://elib.bspu.by/bitstream/doc/2029/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F%20%D0%A2%D0%A2%D0%91.pdf> (accessed: February 16, 2019). (rus)
32. Goman P.N. Otsenka sposobnosti nazemnogo lesnogo goryuchego materiala k vosplameneniyu i podderzhaniyu protsessa goreniya po svoey poverkhnosti [Assessment of the ability of terrestrial fuel combustible material to ignite and maintain the combustion process on its surface]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 4. Pp. 446–454.

33. Sobol' V.R., Goman P.N., Yanut' V.I. O vliyaniy formy protyazhennogo teplovogo istochnika na plotnost' luchistogo potoka energii [On the influence of the shape of an extended heat source on the density of the radiant energy flux]. *Vestsi BDPU. Ser. III, Fizika. Matematyka. Infarmatyka. Biyalogiya. Geografiya*, 2010. No. 4. Pp. 3–9.
34. *Materialy stroitel'nye. Metod ispytaniya na vosplamenaemost': GOST 30402-96* [Building materials. Flammability Test Method. Interstate standard 30402-96]. Affirmed March 30, 1997. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 1997. 27 p. (rus)
35. Sobol' V.R., Goman P.N., Yanut' V.I. K voprosu o prostranstvennom raspredelenii intensivnosti luchistogo potoka energii ot istochnika bol'shoy ploshchadi [To the question of the spatial distribution of the intensity of the radiant flux of energy from a large area source]. *Chrezvychaynye situatsii: obrazovanie i nauka*, 2011. No. 2(6). Pp. 116–124.
36. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya: GOST 12.1.004-91* [Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements. Interstate standard 12.1.004-91] Affirmed July 01, 1992. Moscow: State Committee for Standardization, 1992. 80 p. (rus)
37. Cruz M.G. *Ignition of crown fuels above a spreading surface fire*. PhD sci. diss. University of Montana, Missoula, 2004. 126 p.
38. Uong Kh. *Osnovnye formuly i dannye po teploobmenu dlya inzhenerov: per. s angl. Spravochnik* [Basic formulas and data on heat transfer for engineers: translation from English. Directory]: tutorial. Moscow: Atomizdat, 1979. 216 p. (rus)
39. Stepanov K.L., Stanchits L.K., Stankevich Yu.A. Teplovoe izluchenie vzryva: Otsenki riska termicheskogo porazheniya lyudey i vozniknoveniya pozharov. [Heat radiation of an explosion: Estimates of the risk of thermal injury to people and the occurrence of fires]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2011. No. 1(13). Pp. 31–45.
40. Goman P.N. Analiticheskoe reshenie zadachi po opredeleniyu urovnya teplovoy nagruzki ot tsilindricheskogo fronta plameni lesnogo pozhara [Analytical solution of problems of determining the level of heat load from a cylindrical flame front of a forest fire] *Proc. IV Intern. corresp. scientific-practical conf. «Problems of safety of people in case of fire and explosion», Minsk, December 22, 2017*. University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus. Ed. by: I.I. Polevoda [et al.]. Minsk, 2017. Pp. 54–59. (rus).

УДК 622.867.322

**ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ КООРДИНАТЫ ЭЛЕМЕНТАРНОГО АКТА СОРБЦИИ И МОЩНОСТЬ ИСТОЧНИКОВ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕПЛА В РЕГЕНЕРАТИВНОМ ПАТРОНЕ ИЗОЛИРУЮЩЕГО РЕСПИРАТОРА****Ехилевский С.Г.**

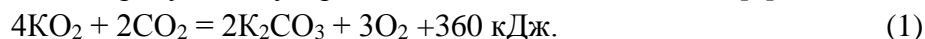
Рассмотрен альтернативный подход к математическому моделированию рабочего процесса изолирующего дыхательного аппарата на химически связанном кислороде. В его рамках уравнения математической физики, описывающие динамику сорбции углекислого газа кислородсодержащим продуктом регенеративного патрона, используются для вычисления статистических моментов случайной координаты элементарного акта сорбции молекул  $\text{CO}_2$ . Зависимости от времени математического ожидания и дисперсии этой случайной величины позволяют установить асимптотику ее дифференциальной функции распределения исходя из максимальности энтропии Шеннона. Таким образом, устанавливается эволюция ширины и положения работающего слоя хемосорбента. Использование статистических моментов высших порядков позволяет учесть влияние на структуру работающего слоя асимметрий и эксцессов при конечных временах. Показано, что мощность сосредоточенных в единице объема хемосорбента внутренних источников экзотермического тепла пропорциональна плотности вероятности случайной координаты элементарного акта хемосорбции.

*Ключевые слова:* респиратор, регенеративный патрон, динамика сорбции, случайный процесс, работающий слой, тепловой режим.

(Поступила в редакцию 18 марта 2019 г.)

**Введение.** В чрезвычайных ситуациях возникает необходимость защиты органов дыхания сразу от нескольких опасных и вредных факторов: ядовитых газов, нехватки кислорода, высокой температуры, дыма. Все массово посещаемые объекты (торговые комплексы, кинотеатры, гостиницы) целесообразно обеспечить изолирующими средствами защиты дыхания, т. к. фильтрующие дыхательные аппараты не справляются со своей функцией при наличии смеси отравляющих газов и совершенно неприменимы при выгорании или вытеснении кислорода [1].

В настоящий момент применяются аппараты баллонные изолирующие и с химически связанным кислородом [2]. В связи с более высокой плотностью упаковки второй способ резервирования кислорода перспективнее, т. к. позволяет при меньшей массе и компактных габаритах аппарата обеспечить больший срок защитного действия и высокую оперативность применения, что особенно важно в чрезвычайной ситуации [3]. Кроме того, в аппарате на химически связанном кислороде, в отличие от баллонного, не нужен отдельный поглотитель углекислого газа и оборудование, регулирующее подачу кислорода при изменении физической нагрузки человека. Кислород в аппарате на химически связанном кислороде выделяется при связывании выдыхаемых молекул  $\text{CO}_2$  расположенными в регенеративном патроне пористыми гранулами супероксидов щелочных металлов [4]:



Т. е. при увеличении физической нагрузки выделяется больше  $\text{CO}_2$ , а значит, и необходимого для дыхания кислорода. В выдыхаемом человеком воздухе содержится 4,5 % углекислого газа. Отравление углекислым газом начинается, если на выходе из регенеративного патрона в воздушном потоке остается (и возвращается на вдох) 1,5% углекислого газа [3]. После этого пользоваться дыхательным аппаратом нельзя. Поэтому такой проскок углекислого газа через регенеративный патрон является критическим.

Согласно (1) хемосорбция углекислого газа сопровождается выделением значительного количества тепла, что делает пребывание в аппарате менее комфортным и в тяжелом режиме эксплуатации может привести к послойному спеканию гранул хемосорбента [5], вследствие чего их поры закрываются, скорость внутренней диффузии, а с ней и динамиче-

ская сорбционная активность регенеративного патрона падает [6, 7]. В результате критический проскок CO<sub>2</sub>, ведущий к отравлению человека, наступает быстрее. Особенно это нежелательно в рассчитанных на небольшой срок защитного действия самоспасателях [8]. Согласно приведенным в [9] оценкам в результате спекания гранул фактический срок защитного действия дыхательных аппаратов оказывается на 37–67 % меньше теоретического.

В связи с изложенным для оптимизации температурного режима регенеративного патрона важно знать мощность его внутренних источников тепла как функцию времени и координаты.

**Динамика хемосорбции как случайный процесс.** Согласно [10] после формирования квазистационарного профиля концентрации молекул CO<sub>2</sub> в регенеративном патроне при наличии на входе в него стационарных граничных условий доля непоглощенных молекул  $\omega$  является решением интегро-дифференциального уравнения

$$-\omega'_\xi = e^{-\tau} \left( e^{-\xi} + \int_0^\tau e^\tau d_\tau \omega \right), \quad (2)$$

где  $\xi$  и  $\tau$  – соответственно, обезразмеренные координата и время, связанные с обычными переменными соотношениями:

$$\xi = \frac{x\beta}{v}; \quad \tau = \beta\gamma t, \quad (3)$$

в которых  $v$  – скорость фильтрации выдыхаемого воздуха,  $x$  – глубина его проникновения в слой поглотителя,  $t$  – время,  $\beta$  и  $\gamma$  – феноменологические постоянные, задающие скорость хемосорбции CO<sub>2</sub> и ее ресурс [11].

Решив (2), можно предсказать величину  $\omega$  в любой момент времени в любом месте регенеративного патрона. Тем не менее координата любого элементарного акта сорбции – величина случайная, и возможен предложенный в [12, 13] теоретико-вероятностный подход к описанию динамики сорбции. В его рамках  $1 - \omega(\xi, \tau)$  – статистическая вероятность поглощения молекулы CO<sub>2</sub> слоем сорбента толщиной  $\xi$ , а дифференциальная функция распределения координаты элементарного акта сорбции имеет вид:

$$f(\xi, \tau) = \frac{\partial(1 - \omega(\xi, \tau))}{\partial\xi} = -\omega'_\xi(\xi, \tau). \quad (4)$$

Плотность источников экзотермического тепла максимальна в начале работы регенеративного патрона в лобовых слоях кислородсодержащего продукта, где максимален концентрационный напор углекислого газа и не израсходован поглотительный ресурс его хемосорбента. Поэтому в данной работе представляет интерес реализация теоретико-вероятностного подхода при малых временах, в частности при  $\tau = 0$  из (2), (4) следует

$$f(\xi, 0) = e^{-\xi} = \omega(\xi, 0), \quad (5)$$

что легко интерпретируется, ибо максимум энтропии на полубесконечной оси обеспечивается экспоненциальным законом распределения случайной величины [14]. Выясним, как эволюционирует  $f(\xi, \tau)$  в дальнейшем. Известно [14, 15], что вся информация о законе распределения случайной величины содержится в ее статистических моментах. С помощью (2) можно найти начальные моменты произвольных порядков:

$$v_n(\tau) = \int_0^\infty \xi^n f(\xi, \tau) d\xi. \quad (6)$$

Для этого с учетом (4) выполним в (6) интегрирование по частям, приняв во внимание, что проскок через бесконечный фильтр отсутствует:

$$v_n(\tau) = nJ_{n-1}(\tau), \quad (7)$$

где

$$J_k(\tau) = \int_0^{\infty} \xi^k \omega(\xi, \tau) d\xi. \quad (8)$$

Для вычисления несобственного интеграла  $J_k(\tau)$  кроме вытекающего из определения плотности вероятности соотношения (4) нужна связь между  $f(\xi, \tau)$  и  $\omega(\xi, \tau)$ , учитывающая специфику модели (2). Подставив (4) в (2) и выполнив дифференцирование по  $\tau$ , получим

$$\omega'_\tau(\xi, \tau) = f(\xi, \tau) + f'_\tau(\xi, \tau). \quad (9)$$

С учетом (9) производная  $J_k(\tau)$  по времени имеет вид

$$J'_k(\tau) = \int_0^{\infty} \xi^k \omega'_\tau(\xi, \tau) d\xi = \int_0^{\infty} \xi^k [f(\xi, \tau) + f'_\tau(\xi, \tau)] d\xi = v_k(\tau) + \frac{\partial}{\partial \tau} v_k(\tau). \quad (10)$$

Подставив (5) в (8) и выполнив  $n$ -кратное интегрирование по частям, найдем начальное условие  $J_k(0) = k!$ , необходимое для решения уравнения (10). С его помощью вычислим

$$J_k(\tau) = \int_0^{\tau} v_k(\tau) d\tau + v_k(\tau) - v_k(0) + k!, \quad (11)$$

и, подставив результат в (7), получим рекуррентное соотношение

$$v_n(\tau) = n \cdot \left[ v_{n-1}(\tau) + \int_0^{\tau} v_{n-1}(\tau) d\tau \right]. \quad (12)$$

Вместе с условием нормировки

$$v_0(\tau) = \int_0^{\infty} f(\xi, \tau) d\xi = 1 \quad (13)$$

соотношение (12) позволяет последовательно определять любые  $v_n(\tau)$  ( $n=1, 2, \dots$ ):

$$v_1(\tau) = \tau + 1, \quad v_2(\tau) = \tau^2 + 4\tau + 2, \dots \quad (14)$$

и заметить общую закономерность

$$v_n(\tau) = n! \sum_{k=0}^n (-1)^k \frac{\tau^k}{k!} \sum_{l=0}^k C_{n+1}^l (-1)^l, \quad (15)$$

где  $C_n^l$  – число сочетаний из  $n$  объектов по  $l$ .

Согласно (14)

$$m(\tau) = v_1(\tau) = 1 + \tau, \quad (16)$$

$$\sigma^2(\tau) = v_2(\tau) - v_1^2(\tau) = 1 + 2\tau = \mu_2(\tau), \quad (17)$$

где  $m(\tau)$  – математическое ожидание,  $\sigma(\tau)$  – среднее квадратическое отклонение  $\xi$ .

В общем случае связь центральных моментов с начальными имеет вид

$$\mu_n(\tau) = \sum_k^{n-2} C_n^{n-k} (-1)^k v_{n-k}(\tau) v_1^k(\tau) + (-1)^n (1-n) v_1^n(\tau) \quad (18)$$

С помощью (15), (17), (18) можно найти асимметрии и эксцессы произвольных порядков:

$$A_{2n-1}(\tau) = \frac{\mu_{2n-1}(\tau)}{\sigma^{2n-1}(\tau)} \quad (n=2, 3, \dots); \quad (19)$$

$$E_{2n}(\tau) = \frac{\mu_{2n}(\tau)}{\sigma^{2n}(\tau)} - 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1). \quad (20)$$

Согласно (16), (17) при  $\tau = 0$  математическое ожидание  $m(\tau)$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma(\tau)$ , как это и должно быть, совпадают:  $m(0) = \sigma(0) = 1$ . Именно таким свойством обладает экспоненциальное распределение (5).

Имея в виду асимптотику (5), плотность вероятности  $f(\xi, \tau)$  при отличных от нуля временах будем искать в виде

$$f(\xi, \tau) = e^{-\xi} \left( 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\tau^n}{n!} R_n(\xi) \right), \quad (21)$$

где

$$R_k(\xi) = \sum_{l=0}^k R_{kl} \xi^l, \quad (22)$$

полиномы с искомыми коэффициентами  $R_{kl}$ . Для их получения воспользуемся (15) и определением начальных моментов (6). Подставив (22) в (21), а результат в (6), для  $(n = 0, 1, 2, \dots)$  получим с учетом (15)

$$n! \sum_{k=1}^n (-1)^k \tau^k \frac{1}{k!} \sum_{l=0}^k C_{n+1}^l (-1)^l = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\tau^k}{k!} \sum_{l=0}^k R_{kl} (n+l)!. \quad (23)$$

Система (23) позволяет вычислить все  $R_{kl}$  для какого угодно  $k$ . Для этого нужно написать  $k + 1$  уравнений, содержащих  $\tau^k$ , и приравнять их коэффициенты при  $\tau^k$ . В результате получим определенную систему линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов  $k$ -го полинома. Решив ее для  $k = 0, 1, 2, 3$ , можно заметить общую закономерность

$$R_{kl} = (-1)^{k-l} C_k^l / l! \quad (l = 0, 1, \dots, k). \quad (24)$$

Подставив (24), (19) в (18), найдем искомую плотность вероятности координаты элементарного акта хемосорбции

$$f(\xi, \tau) = e^{-\xi} \sum_{k=0}^{\infty} \tau^k \sum_{l=0}^k \frac{(-1)^{k-l} \xi^l}{(k-l)! (l!)^2}. \quad (25)$$

**Плотность мощности источников экзотермического тепла.** Согласно [10] после формирования квазистационарного профиля концентрации  $\text{CO}_2$  скорость ее роста в регенерируемом воздухе на 3–4 порядка ниже скорости поглощения углекислого газа в данном месте регенеративного патрона, что объясняется высокой сорбционной емкостью надпероксида калия. Один выдох – вдох длится секунды, а срок защитного действия аппарата измеряется в часах. Т. е. за время работы дыхательный аппарат восстанавливает несколько тысяч порций воздуха, помещающегося в регенеративном патроне. По этой причине в уравнении баланса молекул  $\text{CO}_2$  можно пренебречь ростом их концентрации в воздушном потоке в данном сечении регенеративного патрона. После чего уравнение неразрывности примет вид

$$\partial U / \partial t = -v \partial W / \partial x, \quad (26)$$

в котором  $U(x, t)$  и  $W(x, t)$  – соответственно объемные концентрации поглощенных и несвязанных молекул  $\text{CO}_2$ , причем

$$W(x, t) = W_0 \omega(\xi(x), \tau(t)), \quad (27)$$

где  $W_0$  концентрация  $\text{CO}_2$  на входе в регенеративный патрон.

Перейдя в правой части (26) к обезразмеренной координате  $\xi$ , с учетом (4) получим, что загрязненность данного места регенеративного патрона растет со скоростью

$$\partial U(x, t) / \partial t = \beta W_0 f(\xi(x), \tau(t)). \quad (28)$$



Уравнение (1) позволяет определить количество тепла  $q$ , выделяющегося при связывании одной молекулы  $\text{CO}_2$ , и с помощью (28) найти плотность мощности  $Q(x,t)$  источников экзотермического тепла

$$Q(x,t) = q\beta W_0 f(\xi(x), \tau(t)). \quad (29)$$

Чтобы узнать, сколько тепла выделится на участке  $(x, x + \Delta x)$  за время  $(t, t + \Delta t)$ , нужно умножить  $Q(x,t)$  на площадь поперечного сечения патрона  $S$  и проинтегрировать по времени и координате. При малых  $\Delta x$  и  $\Delta t$  ответ пропорционален плотности вероятности обезразмеренной координаты элементарного акта хемосорбции  $\text{CO}_2$ , которую по этой причине можно считать обезразмеренной плотностью тепловой мощности. С помощью формулы (25) построены графики ее зависимости от координаты в различные моменты времени (рис. 1).

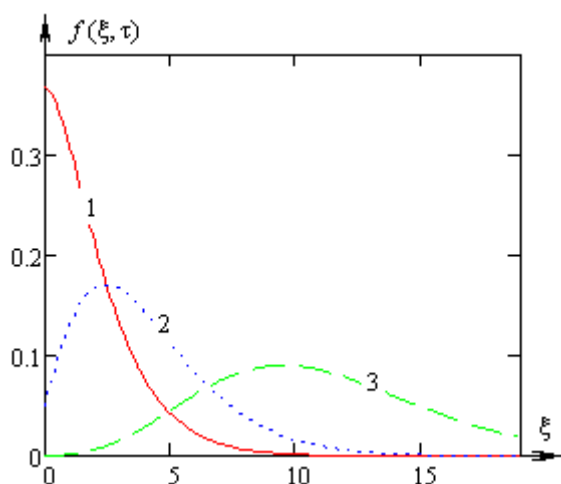


Рисунок 1. – Распределение мощности источников экзотермического тепла в различные моменты времени (1:  $\tau = 1$ ; 2:  $\tau = 3$ ; 3:  $\tau = 10$ )

Видно, как по мере удаления работающего слоя от входа в патрон формируется нормальное распределение  $\xi$ :

$$f(\xi, \tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(\tau)} e^{-\frac{(\xi - m(\tau))^2}{2\sigma(\tau)^2}}. \quad (30)$$

Причина в том, что согласно (16), (17)  $\sigma(\tau)$  растет медленнее, чем  $m(\tau)$ , т. е. (в соответствии с правилом трех сигм [14]) промежуток возможных значений  $\xi$  становится как бы бесконечным, и максимум энтропии Шеннона на нем обеспечивается нормальным законом распределения [14]. Прямое доказательство эволюции экспоненциального распределения  $\xi$  в нормальное осуществляется с помощью формул (15), (18) – (20), позволяющих построить зависимость от времени асимметрий и эксцессов произвольных порядков. В частности при больших временах  $A_3(\tau)$  и  $E_4(\tau)$  стремятся к нулю, как и должно быть при формировании нормального распределения случайной координаты элементарного акта хемосорбции молекул  $\text{CO}_2$  (рис. 2).

Представленные на рисунке 2 начальные значения ( $A_3(0) = 2$  и  $E_4(0) = 6$ ) соответствуют экспоненциальному закону (5), в чем легко убедиться аналитически.

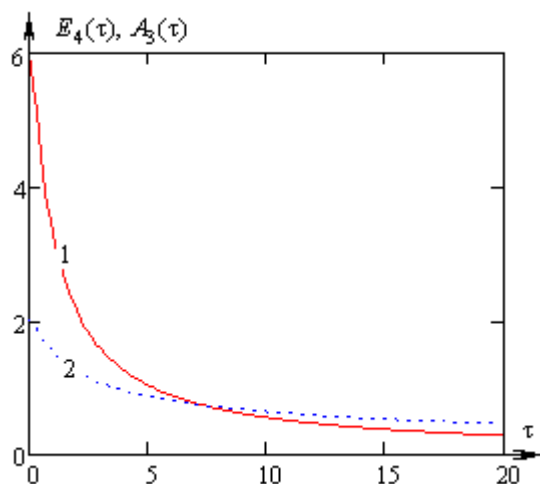


Рисунок 2. – Эволюция эксцесса (кривая 1) и асимметрии (кривая 2) плотности вероятности координаты элементарного акта хемосорбции

**Повышение эффективности использования ресурса дыхательного аппарата на химически связанном кислороде.** Подставив распределение (30) в условие нормировки (13) и выполнив под интегралом замену переменных (3), можно получить нормальное распределение плотности вероятности обычной (необезразмеренной) координаты элементарного акта сорбции  $x$  и установить зависимость от обычного времени  $t$  математического ожидания и среднеквадратического отклонения этой случайной величины:

$$m\{x\} = v\gamma t + v/\beta = m_x(t); \quad (31)$$

$$\sigma\{x\} = \sqrt{\frac{2vm\{x\}}{\beta} - \left(\frac{v}{\beta}\right)^2} = \sigma_x(t), \quad (32)$$

Тот же результат получается, если в (16), (17) с помощью (3) перейти к размерным величинам:

$$\beta m_x(t)/v = \beta\gamma t + 1; \quad (33)$$

$$(\beta\sigma_x(t)/v)^2 = 2\beta\gamma t + 1. \quad (34)$$

Умножив (33) на  $v/\beta$ , получим (31). А выразив из (33)  $\beta\gamma t$  и подставив результат в (34), получим (32). Т. е. формулы (31), (32) верны не только после формирования нормального закона, но и при любых временах.

Лимитирующей стадией процесса регенерации фильтруемого воздуха является диффузия молекул  $\text{CO}_2$  внутрь пористых гранул хемосорбента [6]. Поэтому величина  $\beta$  обратно пропорциональна квадрату их диаметра [16]:

$$\beta \sim 1/d^2. \quad (35)$$

В соответствии с (31), (32), чем дальше поперечное сечение от входа в патрон, тем дольше у него статус работающего и тем больше времени на рассеивание в окружающую среду выделяющегося в нем экзотермического тепла. По этой причине расположенные на входе в патрон гранулы кислородсодержащего продукта могут спекаться. Вторая причина неэффективного использования защитного ресурса дыхательного аппарата – мертвый слой хемосорбента, сосредоточенный в основном в замыкающих слоях кислородсодержащего продукта, не до конца отрабатываемых к моменту  $\tau_{kp}$  критического проскока углекислого газа через регенеративный патрон. В соответствии с ранее изложенным время его наступления  $\tau_{kp}$  определяется из условия:

$$\omega(\eta, \tau_{kp}) = 0,375 = 1,5/4,5, \quad (36)$$

т. к.  $\omega(\xi, \tau)$  – доля молекул  $\text{CO}_2$  не поглощаемых в момент времени  $\tau$  на расстоянии  $\xi$  от входа в регенеративный патрон. В (36)  $\eta$  – обезразмеренная длина регенеративного патрона.

Чем больше  $\sigma\{x\}$  к моменту  $\tau_{kr}$ , тем шире мертвый слой и выше его доля в фиксированной массе кислородсодержащего продукта (связанной в данном режиме эксплуатации с обезразмеренной длиной патрона  $\eta$  [9]). Например, если  $\sigma(\tau)$  с самого начала так велико, что

$$\int_{\eta}^{\infty} f(\xi, 0) d\xi \geq 0,375, \quad (37)$$

весь кислородсодержащий продукт окажется мертвым слоем.

В соответствии с изложенным, чтобы предотвратить спекание гранул кислородсодержащего продукта и уменьшить его мертвый слой, нужно сделать  $\sigma_x(0) = v/\beta$  достаточно большим и зафиксировать ширину работающего слоя кислородсодержащего продукта ( $\sigma_x(t) = \sigma_x(0)$ ).

Согласно (32) сделать это можно двумя способами: либо уменьшая скорость фильтрации  $v$  по мере продвижения воздушного потока вглубь патрона [17, 18], либо (приняв во внимание (35)) уменьшая диаметр гранул по мере удаления от входа в патрон, чтобы  $\beta$  росла по тому же закону, что и  $m\{x\}$ . Практическая реализация второго способа намного проще, т. к. не требует изменений конструкции дыхательного аппарата.

Т. е., увеличив экспериментально диаметр гранул для предотвращения спекания лобовых слоев в самом тяжелом (с максимальным  $v$ ) режиме эксплуатации аппарата, согласно (32), (35) нужно уменьшать их диаметр по закону:

$$d(x) = 1/\sqrt{x} \quad (x \geq v/\beta), \quad (38)$$

где  $x = m_x(t)$  – место, куда приходит работающий слой к моменту времени  $t$ .

Следует отметить, что зависимость (38) – лишь первый шаг итерационной процедуры, для дальнейшей реализации которой и расчета прироста  $\tau_{kr}$  нужно обобщить модель (2) на случай переменной  $\beta = \beta(x)$ .

Альтернативный способ оптимизации зависимости  $\beta(x)$  с целью повышения эффективности использования химически связанного кислорода состоит в скачкообразном увеличении  $\beta$  (уменьшении  $d$ ) по мере удаления от входа в патрон. Чтобы определить место и величину скачков, модель (2) нужно обобщить на случай возрастающей концентрации  $\text{CO}_2$  на входе в следующую часть патрона по мере исчерпания поглотительного ресурса предыдущей. В [19] такой подход реализован для патрона, разделенного на две части с разными  $d$ . Увеличение числа скачков  $\beta$  позволит приблизить ступенчатую зависимость  $\beta(x)$  к оптимальной.

В результате время работы всех сечений (независимо от глубины их залегания) будет одинаковым (не приводящим к последовательному спеканию гранул) и сузится работающий (а значит, и мертвый) слой сорбента к моменту его прихода в конец регенеративного патрона.

**Выводы.** В работе представлен альтернативный (теоретико-вероятностный) подход к математическому моделированию динамики сорбции  $\text{CO}_2$  регенеративным патроном изолирующего дыхательного аппарата. В его рамках установлены зависимости от времени математического ожидания и дисперсии случайной координаты элементарного акта хемосорбции. Найдены также статистические моменты высших порядков этой случайной величины, что позволило восстановить ее плотность вероятности и связать последнюю с мощностью источников экзотермического тепла, расположенных в единице объема кислородсодержащего продукта на основе надпероксида калия. Это способствовало установлению причин неэффективного использования защитного ресурса существующих аппаратов. Предложены простые пути улучшения данного показателя. Для их оптимальной реализа-

ции намечены основные направления развития теории рабочего процесса изолирующих дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде.

В завершение отметим, что предлагаемый в статье подход позволяет выйти за рамки собственно математической физики и подключить к моделированию динамики сорбции мощный дополнительный ресурс в виде основных положений теории вероятностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Басманов, П.И. Средства индивидуальной защиты: справочное руководство / П.И. Басманов [и др.]. – СПб.: Искусство России, 2002. – 400 с.
2. Диденко, Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н.С. Диденко. – М.: Недра, 1990. – 158 с.
3. Физиолого-гигиенические требования к изолирующим средствам индивидуальной защиты: утв. Минздравом СССР 23.06.80. – М.: Медицина, 1981. – 27 с.
4. Вольнов, И.И. Перекисные соединения щелочных металлов / И.И. Вольнов. – М.: Наука, 1980. – 160 с.
5. Пак, В.В. Об использовании ресурса шахтных респираторов с химически связанным кислородом / В.В. Пак, С.Г. Ехилевский // Изв. вузов. Горный журнал. – 1996. – № 1. – С. 66–71.
6. Каналина, В.С. Внутридиффузионное торможение в каталитических процессах / В.С. Каналина, В.М. Померанцев, Г.В. Мещеряков // Успехи в химии и химической технологии. – 2007. – Т. XXI, № 9 (77). – С. 84–86.
7. Фандеев, В.П. Методы исследования пористых структур / В.П. Фандеев, К.С. Самохина // Научное ведение. – 2015. – Т. 7, № 4. – С. 1–21.
8. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Аппараты изолирующие автономные с химически связанным кислородом (самоспасатели) Общие технические требования. Методы испытаний: ГОСТ Р 12.4.220–2001. – Введ. 21.08.2001. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 19 с.
9. Ехилевский, С.Г. Повышение ресурса дыхательных аппаратов на химически связанном кислороде: дис. ... д-ра тех. наук: 05.26.01 / С.Г. Ехилевский. – Донецк, 2002. – 279 л.
10. Пак, В.В. Математическая модель рабочего процесса изолирующего шахтного респиратора / В.В. Пак [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. – 1994. – № 1. – С. 54–57.
11. Пак, В.В. Значение феноменологических параметров модели хемосорбции в регенеративных патронах шахтных респираторов / В.В. Пак [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. – 1998. – № 11. – С. 108–112.
12. Ехилевский, С.Г. Вклад высших моментов случайной величины в асимптотику функции распределения / С.Г. Ехилевский, Д.В. Пяткин // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2009. – № 3. – С. 100–108.
13. Ехилевский, С.Г. Метод моментов и динамика сорбционной активности при малых временах / С.Г. Ехилевский, О.В. Голубева, С.А. Ольшанников // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикл. науки. – 2013. – № 3. – С. 150–156.
14. Гнеденко, Б.В. Курс теории вероятностей / Б.В. Гнеденко. – М.: Наука, 1969. – 400 с.
15. Ехилевский, С.Г. Связь плотности вероятности с начальными моментами случайной величины / С.Г. Ехилевский, О.В. Голубева // Изв. Донецкого горного ин-та. – 2009. – № 2. – С. 30–35.
16. Ехилевский, С.Г. Влияние формы и размеров пористой гранулы на скорость внутренней диффузии / С.Г. Ехилевский [и др.] // Изв. Донецкого горного ин-та. – 2010. – № 1. – С. 105–113.
17. Ехилевский, С.Г. Оптимальное пропускание воздуха через регенеративные патроны шахтных респираторов / С.Г. Ехилевский, В.В. Пак // Уголь Украины. – 1996. – № 1. – С. 25–26.
18. Регенеративный патрон дыхательного аппарата с химически связанным кислородом: пат. UA 23427 / С.Г. Ехилевский, В.В. Пак, Э.Г. Ильинский. – Опубл. 08.07.1998.
19. Ехилевский, С.Г. Оптимизация теплового режима шахтного самоспасателя на химически связанном кислороде / С.Г. Ехилевский, С.А. Ольшанников // Изв. вузов. Горный журнал. – 2013. – № 6. – С. 35–42.

**Плотность вероятности координаты элементарного акта сорбции  
и мощность источников экзотермического тепла  
в регенеративном патроне изолирующего респиратора**

**The density of probability of the coordinate of the elementary sorption act and power  
of exothermic heat sources in the regenerative cartridge of isolating respirator**

*Ехилевский Степан Григорьевич*  
доктор технических наук, доцент

Учреждение образования «Полоцкий  
государственный университет», кафедра  
технологий программирования, профессор

Адрес: 211440, Беларусь, Витебская обл.,  
г. Новополоцк, ул. Блохина, 29  
e-mail: ekhilevskiy@yandex.ru

*Stepan G. Ekhilevskiy*  
Grand PhD in Technical Sciences,  
Associate Professor

Educational institution «Polotsk state University»,  
Chair of Programming Technologies, Professor

Address: 211440, Belarus, Vitebsk region,  
Novopolotsk, ul. Blokhina, 29  
e-mail: ekhilevskiy@yandex.ru

## THE DENSITY OF PROBABILITY OF THE COORDINATE OF THE ELEMENTARY SORPTION ACT AND POWER OF EXOTHERMIC HEAT SOURCES IN THE REGENERATIVE CARTRIDGE OF ISOLATING RESPIRATOR

Ekhilevskiy S.G.

*Purpose.* The article is devoted to the search and justification of ways to improve the efficiency of the protective resource of breathing apparatus on chemically bound oxygen.

*Methods.* Mathematical and computer simulation of the working process of the insulating breathing apparatus on chemically bound oxygen using the data of previous experimental studies.

*Findings.* The dependences of the time of the initial and central moments of the random coordinate of the elementary act of chemisorption of carbon dioxide in the regenerative cartridge of the respiratory apparatus on chemically bound oxygen are found. The dependence of the probability density of the coordinate of the elementary act of chemisorption on the time is established and its proportionality of the power of internal sources of exothermic heat is shown.

*Application field of research.* The obtained results about the law of reduction of the diameter of the oxygen-containing granules of the product in the direction of filtration of the exhaled air can be used in the creation of new and improvement of existing self-contained breathing apparatus for chemically bound oxygen.

*Conclusions.* The increase in diameter of the oxygen-containing granules of the product at the inlet to the regenerative cartridge prevents the sintering of the most loaded front layers of the chemical adsorbent. Decreasing pellet diameter enclosing layers of oxygen-containing product reduces the dead layer of the chemical adsorbent, unused to the critical point of breakthrough of carbon dioxide gas through the regenerative cartridge.

*Keywords:* respirator, regenerative cartridge, sorption dynamics, random process, working layer of the heat mode.

(The date of submitting: March 18, 2019)

### REFERENCES

1. Basmanov P.I. et al. *Sredstva individualnoy zashchity: spravochnoye rukovodstvo* [Regenerative respirators for mine rescue]: textbook. Saint Petersburg: Iskustvo Rossii, 2002. 400 p. (rus)
2. Didenko N.S. *Regenerativnyye respiratory dlya gornospasatelnykh rabot* [Regenerative respirators for mine rescue]. Moscow: Nedra, 1990. 158 p. (rus)
3. *Fiziologo-gigiyenicheskiye trebovaniya k izoliruyushchim sredstvam individualnoy zashchity* [Physiological and hygienic requirements for isolating personal protective equipment]. Affirmed June 23, 1980. Moscow: USSR Ministry of Health, 1981. 27 p. (rus)
4. Volnov I.I. *Perekisnyye soyedineniya shchelochnykh metallov* [Alkali metal peroxides]. Moscow: Nauka. 1980. 160 p. (rus)
5. Pak V.V., Ekhilevskiy S.G. Ob ispolzovanii resursa shakhtnykh respiratorov s khimicheski svyazannym kislorodom [On the use of the resource of mine respirators with chemically bound oxygen]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*, 1996. No. 1. Pp. 66–71. (rus)
6. Kanalina V.S., Pomerantsev V.M., Meshcheryakov G.V. Vnutridiffuzionnoye tormozheniye v kataliticheskikh protsessakh [Intradiffusion inhibition in catalytic processes]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2007. Vol. XXI, No. 9 (77). Pp. 84–86. (rus)
7. Fandeyev V.P., Samokhina K.S. Metody issledovaniya poristyykh struktur [Methods of investigation of porous structures]. *Naukovedeniye*, 2015. Vol. 7. No 4. Pp. 1–21. (rus)
8. *Sistema standartov bezopasnosti truda. Sredstva individualnoy zashchity organov dykhaniya. Apparaty izoliruyushchiye avtonomnyye s khimicheski svyazannym kislorodom (samospasateli) Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy: GOST R 12.4.220–2001* [System of occupational safety standards. Means of individual protection of respiratory organs. Devices isolating Autonomous with chemically bound oxygen (self-rescuers) General technical requirements. Test method: GOST R 12.4.220–2001]. Affirmed August 21, 2001. Moscow: Standards publishing house, 2001. 19 p. (rus)
9. Ekhilevskiy S.G. *Povysheniye resursa dykhatelnykh apparatov na khimicheski svyazannom kislorode* [Increasing the life of breathing apparatus on chemically bound oxygen]: Grand PhD tech. sci. diss.: 05.26.01. Donetsk. 2002. 279 p. (rus)

10. Pak V.V. et al. Matematicheskaya model rabocheho protsessa izoliruyushchego shakhtnogo respiratora [Mathematical model of the working process of the isolating mine respirator]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*, 1994. No. 1. Pp. 54–57. (rus)
11. Pak V.V. et al. Znachenije fenomenologicheskikh parametrov modeli khemosorbtsii v regenerativnykh patronakh shakhtnykh respiratorov [The value of the phenomenological parameters of the model of chemisorption in the regenerative ammo mine respirators]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*, 1998. No. 11. Pp. 108–112. (rus)
12. Ekhilevskiy S.G., Pyatkin D.V. Vklad vysshikh momentov sluchaynoy velichiny v asimptotiku funktsii raspredeleniya [Contribution of higher moments of a random variable to the asymptotics of the distribution function]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. C. Fundamentalnyye nauki*, 2009. No. 3. Pp. 100–108. (rus)
13. Ekhilevskiy S.G., Golubeva O.V., Olshannikov S.A. Metod momentov i dinamika sorbtsionnoy aktivnosti pri malykh vremenakh [Method of moments and dynamics of sorption activity at small times method of moments and dynamics of sorption activity at small times]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. B. Promyshlennost. Prikladnye Nauki*, 2013. No. 3. Pp. 150–156. (rus)
14. Gnedenko B.V. *Kurs teorii veroyatnostey* [Course of probability theory]. Moscow: Nauka, 1969. 400 p. (rus)
15. Ekhilevskiy S.G., Golubeva O.V. Svyaz plotnosti veroyatnosti s nachalnymi momentami sluchaynoy velichiny [Connection of probability density with initial moments of a random variable]. *Izvestiya Donetskogo gornogo instituta*, 2009. No. 2. Pp. 30–35. (rus)
16. Ekhilevskiy S.G. et al. Vliyaniye formy i razmerov poristoy granuly na skorost vnutrenney diffuzii [Effect of the shape and size of the porous granule on the internal diffusion rate]. *Izvestiya Donetskogo gornogo instituta*, 2010. No. 1. Pp. 105–113. (rus)
17. Ekhilevskiy S.G., Pak V.V. Optimalnoye propuskaniye vozdukha cherez regenerativnyye patrony shakhtnykh respiratorov [Optimal air flow through regenerative cartridges of mine respirators]. *Ugol' Ukrainy*, 1996. No. 1. Pp. 25–26. (rus)
18. Ekhilevskiy S.G., Pak V.V., Ilinskiy E.G. *Regenerativnyy patron dykhatelnogo apparata s khimicheskimi svyazannym kislorodom* [Regenerative cartridge of breathing apparatus with chemically bound oxygen]; patent UA 23427. Published July 8, 1998. (rus)
19. Ekhilevskiy S.G., Olshannikov S.A. Optimizatsiya teplovogo rezhima shakhtnogo samospasatelya na khimicheski svyazannom kislorode [Optimization of the thermal regime of the mine of the device for chemically bound oxygen]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*, 2013. No. 6. Pp. 35–42. (rus)

УДК 627.8.059.22::712.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ОГРАЖДАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ ШЛАМОХРАНИЛИЩ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА ПРИСТЕННОГО СКОЛЬЖЕНИЯ

Миканович Д.С., Ласута Г.Ф.

Установлена эмпирическая закономерность зависимости коэффициентов фильтрации песчаных грунтов от содержания в шламе полиакриламида в концентрации 0,17–0,90 мг/дм<sup>3</sup> (эффект пристенного скольжения). Определен коэффициент фильтрации для грунтов ограждающих сооружений шламохранилищ Республики Беларусь с учетом присутствия в фильтрующемся шламе полиакриламида. Подтверждено результатами экспериментальных исследований и натуральных наблюдений превышение скорости фильтрации шлама 0,045–0,047 см/с над скоростью фильтрации воды в 1,2–1,4 раза.

*Ключевые слова:* шламохранилище, гидродинамическая авария, поверхностно-активное вещество, подпорное сооружение, шлам, эффект пристенного скольжения, вязкость, критическая скорость фильтрации, полиакриламид.

(Поступила в редакцию 19 апреля 2019 г.)

**Введение.** За 1968–2018 гг. в мире зарегистрировано более 100 аварий на гидротехнических сооружениях шламохранилищ. Наиболее известная из них – авария 4 октября 2010 г. на крупном глиноземном комбинате производственной компании MAL Zrt (Ajkaí Timfoldgyar Zrt) в 160 км западнее Будапешта, в результате которой произошло разрушение бетонных стен, из хранилища вылилось около 1,1 млн м<sup>3</sup> красного шлама, представляющего собой нерастворимый осадок, образующийся при производстве глинозема, содержащий щелочь и тяжелые металлы. Авария привела к гибели 7 человек, 10 получили ожоги, пострадали порядка 160, 390 были временно переселены, около 5 тыс. готовились к эвакуации. На территории, подверженной разрушению, в трех областях был введен режим чрезвычайного положения, существовала опасность попадания ядовитых веществ в воды Дуная [1].

В Республике Беларусь имеется более 60 сооружений шламохранилищ, однако специальные исследования в области оценки состояния и устойчивости данных сооружений с прогнозированием возможных чрезвычайных ситуаций на них и определением вероятности возникновения гидродинамических аварий до настоящего времени не проводились. Поэтому данный аспект стал причиной нашего внимания. В ходе наших исследований было запланировано два этапа: 1) натурные обследования напорных ограждающих дамб шламохранилищ с определением коэффициента фильтрации песчаных грунтов в зависимости от содержания в шламе поверхностно-активных веществ; 2) лабораторное изучение водопроницаемости и суффозионной устойчивости грунтов, применяемых при строительстве дамб на шламохранилищах.

Следует отметить, что в нормативной и научной литературе недостаточно внимания уделяется вопросам безопасной эксплуатации сооружений шламохранилищ, хотя они обладают рядом особенностей и представляют опасность для жизнедеятельности человека. Шламы содержат в своем составе поверхностно-активные вещества, и в частности полиакриламид. Данные примеси способны изменять реологические свойства жидкости и тем самым влиять на развитие процессов деформации сооружений шламохранилищ. Наличие в шламе различных химических веществ способствует увеличению скорости фильтрации, что может привести к тяжелым экономическим и экологическим последствиям при чрезвычайной ситуации на гидротехнических сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь.



**Основная часть.** При проведении лабораторных исследований коэффициента и скорости фильтрации жидкости в зависимости от содержания в ней поверхностно-активных веществ были определены следующие параметры фильтрационного потока:

- фильтрационный расход и средняя скорость фильтрации;
- потенциальные напоры на каждом участке;
- потери напора на каждом участке;
- средние потери напора и средний гидравлический уклон на каждом участке;
- критическая и действительная скорость фильтрации;
- коэффициент фильтрации для каждого образца жидкости.

При проведении фильтрационных исследований весьма актуальной является проблема оценки способности грунтов отдавать или вмещать воду и оценка вязкости фильтрующейся жидкости. Коэффициент фильтрации определяется в фильтрационных колоннах. Высота образца грунта в опытах составляет до 1 м. Для более полного удаления воздуха из водонасыщенного образца грунт загружается на увлажненную поверхность послойно. В целях обеспечения пористости грунтов, близкой к природной, уложенный грунт равномерно уплотняется. Исследуемые грунты доводятся до полного насыщения путем подпитывания сверху вниз.

С целью оценки влияния температуры на процессы фильтрации были проведены исследования вязкости образцов шлама в зависимости от изменения температуры (5–35 °С). Проводилось измерение вязкости воды в данном диапазоне температур тем же способом для сравнения и оценки результатов исследований.

Для определения вязкости образцов шлама и воды использовали вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ-1, соответствующий ГОСТ 10028-81 [2]. Перед началом использования прибор подготавливали согласно инструкции.

Измерение вязкости образцов шлама проводили при семи различных температурах: 5, 10, 15, 20, 25, 30 и 35 °С. Для этого термостат с погруженным в него вискозиметром с исследуемой жидкостью выдерживали при заданной температуре не менее 15 минут, после чего производили измерение вязкости шлама. Измерение времени проводилось с помощью измерителя темпа электронного «Электроника ИТ-01».

Кинематическую вязкость определяли по формуле

$$\eta = \frac{g\tau K}{9,807}, \quad (1)$$

где  $K$  – постоянная вискозиметра  $0,03118 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}^2$ ;  $\tau$  – время истечения жидкости в секундах;  $g$  – ускорение свободного падения в месте измерения  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Для каждого образца измерение времени истечения проводили семь раз, после чего находили среднее значение и определяли кинематическую вязкость шлама и воды. Результаты приведены в таблице 1.

**Таблица 1. – Вязкость шлама в зависимости от температуры**

t, °С	Кинематическая вязкость шлама (изм.), $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	Кинематическая вязкость воды (изм.), $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$	Кинематическая вязкость воды (справоч.), $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
5	1,471	1,525	1,519
10	1,345	1,321	1,307
15	1,217	1,154	1,140
20	1,171	1,012	1,004
25	1,095	0,903	0,894
30	0,971	0,817	0,802
35	0,890	0,740	0,725

В результате исследований было установлено, что кинематическая вязкость шлама больше кинематической вязкости воды в среднем на 15–20 %, однако она незначительно меняется с изменением температуры жидкого шлама. Данный факт объясняется наличием в

шламе большого количества примесей, таких как калийная соль и ее составляющие, в концентрациях до 338 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 1) [3].

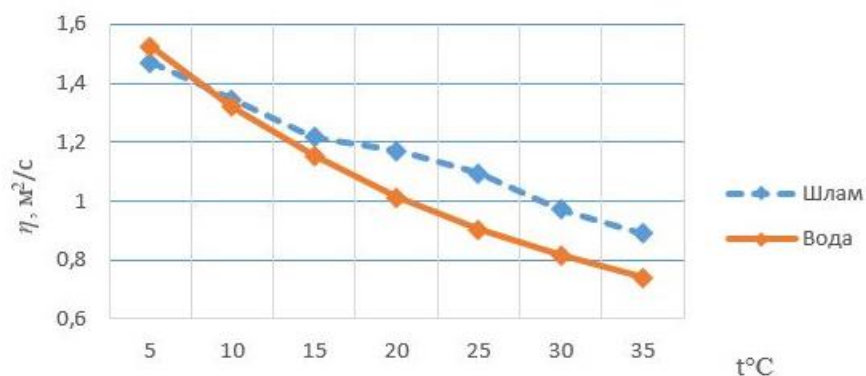


Рисунок 1. – Зависимость вязкости шлама и воды от температуры, Беларусь, 2019 г.

С целью определения качественных характеристик грунтов, используемых при строительстве ограждающих конструкций сооружений шламохранилищ, проводилась оценка их гранулометрического состава.

Гранулометрический состав песчаного грунта определялся ситовым методом в соответствии с [4] в зависимости от весового содержания в нем водостойких микроагрегатов различной крупности, выраженных в процентах по отношению к весу сухой пробы грунта, взятой для анализа.

В результате выполненных исследований было установлено, что на шламохранилищах Республики Беларусь наиболее часто встречается среднезернистый однородный грунт с коэффициентом неоднородности  $\eta = 1,96-2,18$ . Точность измерений определяется точностью лабораторных весов и составляет 0,01 г.

Для определения фильтрационного расхода и средней скорости фильтрации, а также коэффициента фильтрации для каждого образца была изготовлена экспериментальная установка (рис. 2).



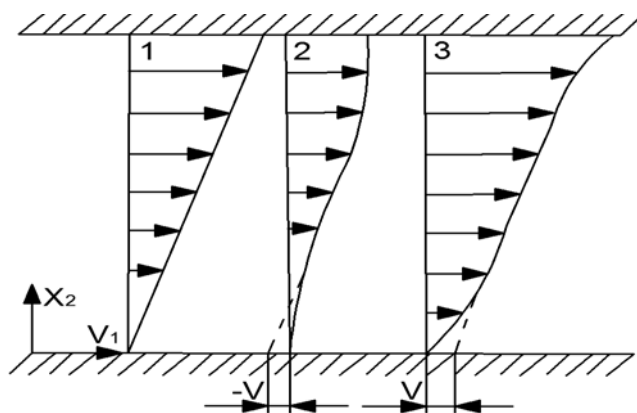
1 – вертикальная колонка прямоугольного сечения;  
2 – кран для регулирования фильтрационного расхода; 3 – металлическая решетка;  
4 – дно экспериментальной установки; a, b, c, d – пьезометры

Рисунок 2. – Схема экспериментальной установки, Беларусь, 2016 г.

При проведении исследований подготовлены три пробы грунта, вода и шлам (шламохранилища второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий»). Грунт был уложен в колонку прямоугольного сечения 1 на высоту 0,9 м. По трубке 2 из водонапорного бака в колонку 1 с испытуемым грунтом подавалась жидкость, и проводилась проверка работы пьезо-

метров  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ . После установления неизменного во времени положения уровня воды в пьезометрах при фильтрации воды через грунт проводились измерения расхода объемным способом при помощи мерного сосуда и секундомера. В ходе экспериментальных исследований по определению коэффициента фильтрации проведены три серии однотипных опытов, по 6 измерений для каждого образца грунта.

Анализ результатов исследований показал, что скорость фильтрации шлама больше скорости фильтрации воды в среднем в 1,2–1,4 раза, хотя кинематическая вязкость шлама больше кинематической вязкости воды в среднем на 15–20 %. Данный феномен объясняется возникновением эффекта пристенного скольжения [5, 8] вследствие присутствия в жидкости полиакриламида. В результате возникновения данного эффекта поведение шлама в непосредственной близости от стенок отличается от поведения в глубине объема. Пристенный слой, в котором возникает эффект, – очень тонкий, порядка 10–100 мкм, но результирующий макроскопический эффект приводит к увеличению скорости фильтрации за счет возникновения скольжения объема жидкости по нему (рис. 3 [5]).



$t = \text{const}$ ;  $V$  – кажущаяся скорость скольжения, м/с; 1 – без пристенного эффекта,  $V = 0$ ;  
2 – отрицательное скольжение,  $V < 0$ ; 3 – положительное скольжение,  $V > 0$

**Рисунок 3. – Кажущееся скольжение при условиях простого сдвигового течения**

«Существует ряд параметров макроскопического или феноменологического характера, пространственное изменение которых может быть связано с появлением механических пристенных эффектов (концентрация диспергированной фазы, вязкость, микрореологические параметры, описывающие упорядоченность и прочность гелевой структуры). Можно представить себе совокупность физических факторов, ответственных за такие локальные пристенные градиенты (ограничение степеней свободы осредненного и броуновского движения микродисперсных частиц, влияние электрического двойного слоя, хемосорбция диспергированной фазы на активных центрах поверхности). Однако ни одно из имеющихся микрореологических или термодинамических предположений до сих пор не способствовало успешному описанию экспериментально наблюдаемых пристенных эффектов» [5].

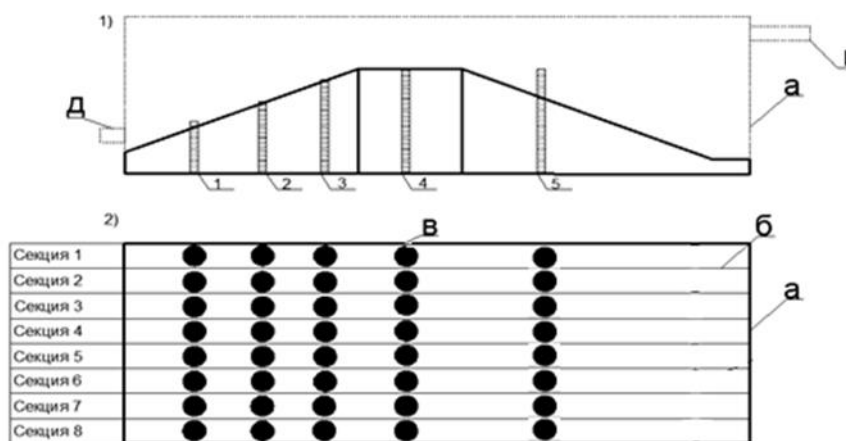
Нами изучена зависимость скорости и коэффициента фильтрации от концентрации в жидкости ПАВ. Скорость фильтрации для проб шлама с содержанием поверхностно-активных веществ в концентрации 0,17 мг/дм<sup>3</sup> меньше скорости фильтрации для проб шлама с содержанием поверхностно-активных веществ в концентрации 0,9 мг/дм<sup>3</sup> в среднем в 1,9 раза. Установлена зависимость скорости фильтрации от коэффициента неоднородности грунта: чем выше однородность грунта, тем меньше скорость фильтрации.

Определено, что коэффициент фильтрации жидкости будет зависеть от концентрации в ней ПАВ. Химические вещества, находящиеся в жидкости, способны увеличивать скорость фильтрации в несколько раз, что в свою очередь способно вызвать более интенсивный вынос грунта из тела гидротехнического сооружения. Это обстоятельство способствует увеличению вероятности достижения откосом сооружения критических градиентов

фильтрации и может вызвать его разрушение, а также привести к возникновению чрезвычайной ситуации. Следует отметить, что скорость фильтрации шлама через грунт средней группы крупности приближается к критическим значениям предела его размываемости ( $V = 0,05$  см/с) [6].

Целью дальнейших экспериментальных исследований явилось определение фильтрационного расхода в моделях плотин различного конструктивного исполнения: установление закономерностей движения фильтрационного потока, положения депрессионной кривой, удельного фильтрационного расхода и коэффициента фильтрации грунта тела дамбы при фильтрации шлама с учетом возникновения эффекта пристенного скольжения для практического применения полученных данных при определении критической скорости фильтрации и аварийного режима эксплуатации тестовых шламохранилищ ОАО «Беларуськалий».

Исследования проводились в фильтрационном лотке  $2,9 \times 1,2 \times 0,85$  м, разделенном на 6 секций с помощью герметичных перегородок, не допускающих гидравлической связи потока секций. Водоупором для моделей служило днище лотка. В лотке одновременно устанавливались модели земляных дамб: с ядром, с ядром и экраном, однородной, с наружным дренажем, с экраном, с понуром. Модели имели следующие размеры: высота – 0,4 м; ширина по гребню – 0,25 м; заложение низового откоса – 1:2, верхового откоса – 1:3 (масштаб 1:250 от тестовых объектов). Низовой откос дамбы поочередно устраивался с низовой призмой, без низовой призмы и с каналом (в зависимости от условий опыта). Для измерения уровня воды (шлама) в дамбе устанавливались трубчатые пьезометры в количестве 5 шт., выведенные на общий щиток (рис. 4). Пьезометры в секциях 1 и 2 устанавливались за ядром и ядром с понуром соответственно. Пьезометры изготавливались из поливинилхлоридных трубок диаметром 10 мм. Для сброса и измерения профильтровавшейся воды (шлама) в нижнем бьефе в стенке лотка на уровне дна имелось отверстие с водоотводящей трубкой. Для измерения пьезометрической высоты депрессионной кривой вдоль оси лотка в основании плотины было установлено 5 пьезометров для каждой модели плотин. Точность измерения отметки уровней воды при помощи пьезометра составляла 0,5 мм.



1 – поперечный разрез; 2 – план размещения пьезометров;

а – корпус лотка; б – внутренние перегородки; в (1, 2, 3, 4, 5) – пьезометры;

г – трубка для поддержания постоянного уровня в верхнем бьефе; д – сливная воронка

Рисунок 4. – Схема экспериментальной установки – фильтрационного лотка, Беларусь, 2017 г.

*Схема эксперимента.* Определялось положение кривой депрессии при различных уровнях жидкости в верхнем бьефе. Для этого модели после их изготовления замачивались путем медленного подъема уровня воды (шлама) в лотке до отметки 0,324 м (максимальный уровень тестовых объектов с учетом масштаба). После этого подача жидкости в лоток осуществлялась в объеме, компенсирующем потери на фильтрацию. После установления неизменного режима фильтрации жидкости через тело дамбы проводилось измерение

уровня в пьезометрах и фильтрационного расхода. Затем путем уменьшения расхода уровень жидкости в верхнем бьефе опускался на 0,04 м, и эксперимент повторялся. Таким образом, для каждой модели фиксировались элементы фильтрационного потока для различных отметок уровней верхнего бьефа: 0,324; 0,284; 0,244; 0,204 и 0,164 м. Уровень 0,164 м является максимальным для сработки тестовых шламохранилищ с учетом масштаба. Погрешность измерений составляет 0,5 мм.

Анализ результатов экспериментов состоял в сравнении кривых депрессии, полученных в результате фильтрации воды и шлама через тело дамбы при различных уровнях напора верхнего бьефа (рис. 5), а также определении коэффициентов фильтрации  $K_f$  песчаных грунтов при фильтрации шлама.

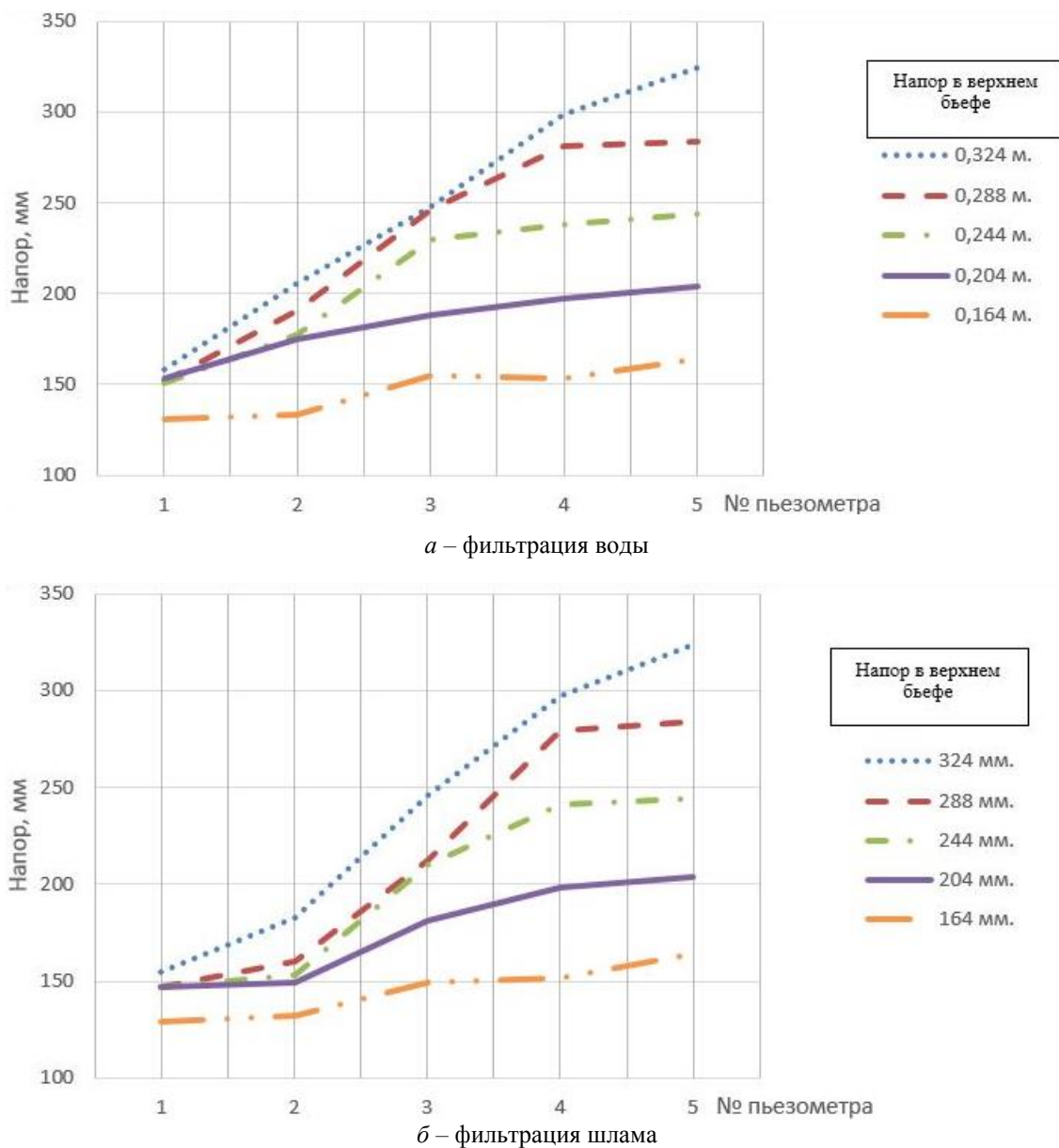


Рисунок 5. – Кривые депрессии для однородной дамбы с низовой призмой

При проведении дальнейших исследований установлена зависимость полученных коэффициентов фильтрации шлама от температуры фильтрующейся жидкости. Для этого вычислялась и учитывалась температурная поправка по формуле Пуазёйля (2). Граничным условием применения данной поправки является ламинарное течение фильтрующейся жидкости (условие соблюдалось при проведении экспериментальных исследований):

$$ТП = 1 + 0,0337T + 0,000221T^2, \quad (2)$$

где  $ТП$  – температурная поправка;  $T$  – температура во время опыта.

Далее проводился пересчет коэффициента фильтрации, полученного при температуре 20 °С для различных температур: 5, 10, 15, 20, 25, 30 и 35 °С с учетом поправки Пуазейля, использовалась зависимость:

$$ТПk_{иск} = \frac{kТП_{иск}}{ТП_{факт}}, \quad (3)$$

где  $k_{иск}$  – коэффициент фильтрации, приведенный к искомой температуре;  $k$  – коэффициент фильтрации, найденный при фактической температуре – 20 °С;  $ТП_{иск}$  и  $ТП_{факт}$  – температурные поправки, вычисленные соответственно при искомой температуре  $T_{иск}$  и фактической температуре  $T_{факт}$  во время опыта (рис. 6).

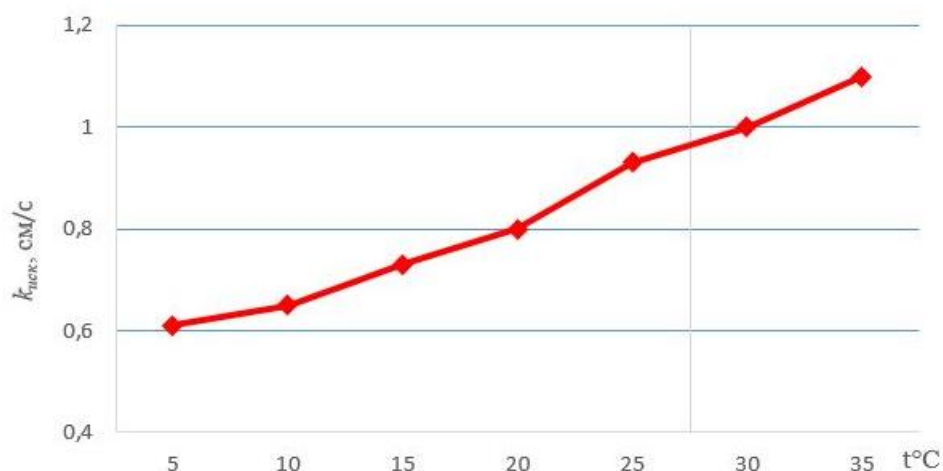


Рисунок 6. – Зависимость коэффициента фильтрации от температуры

В результате исследований было установлено, что коэффициент фильтрации для различных грунтов изменяется в зависимости от температуры от 5 до 35 °С в пределах 40 %.

В ходе дальнейших исследований проводилась оценка влияния сезонности (зима, весна, лето, осень) на коэффициент фильтрации грунтов ограждающих сооружений шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь для уточнения прогнозных расчетов возникновения чрезвычайных ситуаций. Основные шламохранилища калийного производства сосредоточены в Солигорском промышленном районе, поэтому при исследованиях использовали данные этой области по среднемесячной температуре воздуха, почвы и воды, а также глубине промерзания почвы (табл. 2) и среднемесячной температуре почвы на различных глубинах по вытяжным термометрам (табл. 3) [9].

С учетом того, что на дамбах сооружений шламохранилищ калийного производства фильтрация протекает в ламинарном режиме, для оценки зависимости коэффициента фильтрации от коэффициента проницаемости грунта использовали следующую формулу:

$$ТПk_{\phi} = \frac{k_{п}\rho_w}{\eta}, \quad (4)$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации;  $k_{п}$  – коэффициент проницаемости грунта, Д (Дарси  $\sim 1,02 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$ );  $\rho_w$  – плотность жидкости, г/см<sup>3</sup>;  $\eta$  – вязкость воды, мПа·с.

Таблица 2. – Среднемесячная температура воздуха, воды и почвы в Солигорском промышленном районе

Месяц	Среднемесячная температура воздуха, °С	Среднемесячная температура воды, °С	Среднемесячная температура поверхности почвы, °С	Глубина промерзания почвы, м
Январь	-4,5	1,5	-5	0,59
Февраль	-4,3	2,3	-5	0,70
Март	0,2	4,9	0	–
Апрель	7,5	10,3	8	–
Май	13,5	16,1	16	–
Июнь	16,3	18,6	20	–
Июль	18,3	21,7	21	–
Август	17,5	19,6	20	–
Сентябрь	12,2	16,5	13	–
Октябрь	6,8	8,1	7	–
Ноябрь	1,0	5,4	1	0,07
Декабрь	-3,2	1,2	-4	0,23

Таблица 3. – Среднемесячная температура почвы в Солигорском промышленном районе на различных глубинах по вытяжным термометрам

Месяц	Глубина, м				
	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2
Январь	0,3	0,9	1,8	3,5	6,4
Февраль	0,2	0,6	1,3	2,7	5,3
Март	1,1	1,2	1,5	2,5	4,6
Апрель	6,6	5,9	5,1	4,2	4,6
Май	13,3	12,2	10,6	8,3	6,3
Июнь	17,4	16,2	14,6	12,0	8,8
Июль	19,5	18,5	17,1	14,6	10,9
Август	18,7	18,2	17,4	15,8	12,5
Сентябрь	14,1	14,3	14,4	14,4	12,9
Октябрь	8,7	9,4	10,3	11,5	12,0
Ноябрь	3,7	4,6	5,9	7,9	10,1
Декабрь	1,1	1,9	3,1	5,2	8,0

Далее с учетом полученных данных о влиянии температуры шлама на коэффициент фильтрации песчаных грунтов (рис. 6), исследований о вязкости шлама с изменением температуры (рис. 1), среднемесячной температуре воздуха, почвы и воды, глубине промерзания почвы и формулы (4) были получены зависимости коэффициента фильтрации грунта от сезонности (зима, весна, лето, осень). В результате проведенных исследований установлено, что изменение коэффициента фильтрации по сезонам года не превышает 20–30 % (рис. 7). Это связано с особенностями шлама и технологического процесса на шламохранилищах калийного производства. Забор с обогатительной фабрики отстоявшегося шлама и подача его в сооружения в объеме до 30 м<sup>3</sup> осуществляется 1 раз в 2–3 дня. В результате этого температура жидкой фазы в зимнее время выше температуры воды в водоемах данной местности и более стабильна в течение года. Глубина промерзания грунта на сооружениях шламохранилищ на 0,1–0,15 м меньше глубины промерзания почв для данной местности в связи с накоплением солей.



Рисунок 7. – Зависимость коэффициента фильтрации шлама от сезона

Объектом дальнейших исследований стала критическая скорость фильтрации шлама для каждой модели земляной дамбы. В связи с тем, что эмпирические расчетные формулы имеют узкие пределы применимости, их использование нецелесообразно [7, с. 200–264; 320–385]. Поэтому определение критической скорости фильтрации проводилось нами экспериментальным путем. Поднимался уровень верхнего бьефа во всех опытных моделях плотин до тех пор, пока не происходило нарушение ламинарного режима фильтрации и не возникал критический вынос грунта при фильтрации шлама из тела дамбы. При создании данных условий производились измерения пьезометрического уровня и определение критической скорости фильтрации (табл. 4).

Таблица 4. – Критическая скорость фильтрации для дамб различного исполнения

Модель земляной плотины	Скорость фильтрации, см/мин
1. Однородная земляная дамба	0,63
2. Земляная дамба с ядром	1,57
3. Земляная дамба с экраном	1,93
4. Земляная дамба с понуром	2,69
5. Земляная дамба с наружным дренажем	0,74
6. Земляная дамба с ядром и экраном	4,18

Проведенные исследования показали, что фильтрационный расход и коэффициент фильтрации шлама по сравнению с водой увеличивается от 25 до 45 %. Это подтверждает возникновение при фильтрации эффекта пристенного скольжения. Установлено, что при небольших напорах в верхнем бьефе положения кривой депрессии для воды и шлама существенно не отличаются. Однако с увеличением напора в верхнем бьефе наблюдается различие положения кривой депрессии для шлама по сравнению с водой (увеличивается скорость и коэффициент фильтрации) для всех моделей экспериментальных земляных дамб. Эффект пристенного скольжения способствует достижению фильтрационным потоком критических значений градиентов при выходе на низовой откос, что приводит к увеличению вероятности возникновения гидродинамических аварий на сооружениях шламохранилищ, разрушению ограждающих конструкций данного типа сооружений. Установлена критическая скорость фильтрации для дамб различного исполнения, и на ее основании сделан вывод, что оптимальной конструкцией является профиль земляной дамбы с ядром или зем-



ляной дамбы с экраном как наиболее устойчивых к процессам фильтрации, а также менее сложных и более технологичных при строительстве.

**Заключение.** В результате выполнения исследований по оценке влияния химического состава шлама на фильтрационные свойства грунтов ограждающих сооружений шламохранилищ были получены следующие результаты:

– в результате анализа проб грунта и шлама, отобранных на шламохранилищах второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий», установлено, что грунт, образующий тело ограждающих дамб, относится к средней группе крупности, а количество содержащихся в шламе синтетических поверхностно-активных веществ колеблется в пределах 0,17–0,90 мг/дм<sup>3</sup>;

– в результате исследований кинематической вязкости шлама было установлено, что она больше кинематической вязкости воды в среднем на 30–35 %;

– определено, что кинематическая вязкость шлама меняется в пределах 35 % с изменением температуры в пределах 5–35 °С. Данный факт объясняется наличием в шламе большого количества примесей, таких как калийная соль и ее составляющие, в концентрациях до 338 мг/дм<sup>3</sup>;

– в результате выполненных исследований по определению скорости фильтрации шлама было обнаружено возникновение эффекта пристенного скольжения. Возникновение данного эффекта способствует увеличению скорости фильтрации шлама в сравнении с водой в среднем в 1,2–1,4 раза, хотя кинематическая вязкость шлама больше кинематической вязкости воды на 15–20 %;

– в результате проведенных лабораторных исследований процесса безнапорной фильтрации в теле ограждающих сооружений шламохранилищ была установлена критическая скорость фильтрации для дамб различного исполнения. На ее основании определено, что оптимальной конструкцией дамбы на шламохранилищах является профиль земляной дамбы с ядром или земляной дамбы с экраном, поскольку они наиболее устойчивы к процессам фильтрации, а также менее сложны и более технологичны при строительстве;

– установлено, что коэффициент фильтрации для различных грунтов изменяется в зависимости от температуры от 5 до 35 °С в пределах 40 %. Это способствует возникновению чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Из-за катастрофы в Венгрии в Украине начинается внеплановая проверка двух крупных заводов [Электронный ресурс]. – Киев, 2010. – Режим доступа: [http:// dozor.kharkov.ua/zhizn](http://dozor.kharkov.ua/zhizn). – Дата доступа: 15.03.2010.
2. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия (с изменениями № 1, 2): ГОСТ 10028-81 – Введ. 01.01.83. – М.: Межгос. стандарт, 2005. – 31 с.
3. Протокол испытаний природных и сточных вод № 8-В/13 / Центр. науч.-исслед. ин-т комплексного использования водных ресурсов. – Минск: ЦНИИКИВР, 2013. – 1 с.
4. Грунты, методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536–79. – Введ. 20.04.80.– М., 1979. – 39 с.
5. Астарита, Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей / Дж. Астарита, Дж. Марруччи. – М.: Мир, 1978. – 230 с.
6. Справочник по гидротехнике. – М.: Гос. изд. лит. по строительству и архитектуре, 1955. – 901 с.
7. Арзуманов, Э.С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях / Э.С. Арзуманов [и др.]. – М.: Энергия, 1978. – 385 с.
8. Уилкинсон, У.Л. Неньютоновские жидкости / У.Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 311 с.
9. Мельников, В.И. Справочник по климату Беларуси / В.И. Мельников [и др.]. – Минск: Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 2017. – 85 с.

**Исследование фильтрационных свойств грунтов ограждающих сооружений  
шламохранилищ с учетом влияния эффекта пристенного скольжения**

**Effect of wall sliding effect on filtration properties of soils of protecting  
constructions of slurry storage**

---

***Миканович Дмитрий Станиславович***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты МЧС  
Беларуси», кафедра пожарной аварийно-  
спасательной техники, старший  
преподаватель

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

***Dmitry S. Mikanovich***

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

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

---

***Ласута Геннадий Федорович***

кандидат сельскохозяйственных наук

Министерство по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь, заместитель Министра

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

***Gennadiy F. Lasuta***

PhD in Agricultural Sciences

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

Address: 220118, Belarus, Minsk,  
ul. Revolyutsionnaya, 5

## EFFECT OF WALL SLIDING EFFECT ON FILTRATION PROPERTIES OF SOILS OF PROTECTING CONSTRUCTIONS OF SLURRY STORAGE

Mikanovich D.S., Lasuta G.F.

*Purpose.* To determine the indicators that allow an objective assessment of the risk of emergencies on the protective structures of the slurry storage facilities of the Republic of Belarus.

*Methods.* Field and experimental studies, statistical processing of their results.

*Findings.* The empirical conformity of the dependence of filtration coefficient of sandy soils on the content of polyacrylamide in the sludge with the concentration of 0.17–0.9 mg/dm<sup>3</sup> (wall slip effect). The coefficient of filtration for soil of protective constructions of slurry storage of the Republic of Belarus taking into account polyacrylamide available in slurry is determined. By experimental studies and field observations 1.2–1.4 times excess of the sludge filtration rate of 0.045–0.047 cm/s over the filtration rate of water was proved.

*Application field of research.* In the assessment of the probability of the occurrence of hydrodynamic accidents at protection structures of sludge storage facilities of the Republic of Belarus.

*Conclusions.* The results of the assessment of the risk of emergencies in the sludge storage of Belarus, taking into account the new data, are of practical importance for the determination of management decisions and technical measures to prevent the occurrence of hydrodynamic accidents in this type of facilities and to minimize their consequences.

*Keywords:* sludge storage, hydrodynamic accident, surfactant, retaining structure, sludge, wall slip effect, viscosity, critical filtration rate, polyacrylamide.

(The date of submitting: April 19, 2019)

### REFERENCES

1. *Iz-za katastrofy v Vengrii v Ukraine nachinaetsya vneplanovaya proverka dvukh krupnykh zavodov* [Due to the catastrophe in Hungary in Ukraine, an unscheduled inspection of two large plants begins], available at: <http://dozor.kharkov.ua/zhizn> (accessed: March 15, 2010). (rus)
2. *Viskozimetry kapillyarnye steklyannye. Tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami No. 1, 2): GOST 10028–81* [Capillary glass viscometers. Specifications (with Changes No. 1, 2): GOST 10028–81]. Affirmed January 1, 1983. Moscow: Gostandart, 1983. 31 p.(rus)
3. *Protokol ispytaniy prirodnykh i stochnykh vod No.8-V/13* [Test report on natural and waste waters No. 8-B/13]: Central research institute of complex use of water resources. Minsk: Central research institute of complex use of water resources, 2016. 1 p. (rus)
4. *Grunty, metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava: GOST 12536–79* [Soils, laboratory methods for determining the grain-size (grain) and microaggregate composition: State standard 12536–79]. Affirmed April 20, 1980. Moscow: Gostandart, 1979. 39 p.(rus)
5. *Astarita Dzh. Osnovy gidromekhaniki nen'yutonovskikh zhidkostey* [Fundamentals of non-Newtonian fluid mechanics]. Moscow: Mir, 1978. 230 p. (rus)
6. *Spravochnik po gidrotekhnike* [Handbook on hydraulic engineering]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arkhitekture, 1955. 901 p. (rus)
7. *Arzumanov E.S. Kavitatsiya v mestnykh gidravlicheskiykh soprotivleniyakh* [Cavitation in local hydraulic resistances]. Moscow: Energiya, 1978. 385 p. (rus)
8. *Uilkinson U.L. Nen'yutonovskie zhidkosti* [Non-Newtonian fluids]. Moscow: Mir, 1964. 311 p. (rus)
9. *Mel'nikov V.I. Spravochnik po klimatu Belarusi* [Belarus climate handbook], Minsk: State Institution «Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Pollution and Environmental Monitoring», 2017. 85 p. (rus)

УДК 351.861

## ВОЕННАЯ ДОКТРИНА КАК НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

Карпиленя Н.В., Булва А.Д.

Исследованы место и роль гражданской обороны в структуре национальной безопасности Республики Беларусь. Показано, что в соответствии с национальным законодательством гражданская оборона выполняет обеспечивающую функцию для военной безопасности страны, является составной частью оборонных мероприятий. Учитывая, что систему официально принятых в Беларуси взглядов на обеспечение военной безопасности определяет военная доктрина, исследован вопрос о наличии эволюционной связи между изменениями, происходящими в системе гражданской обороны, ее роли и месте в постсоветское время, и развитием положений, устанавливающих направление военного строительства, подготовку государства и вооруженных сил к войне, способам и формам ее ведения. Показано, что эта связь на протяжении постсоветского этапа истории страны практически отсутствовала либо была номинальной, а в развитии гражданской обороны главенствующую роль играла система защиты от чрезвычайных ситуаций мирного времени, что может привести к серьезным ошибкам в планировании, организации и исполнении мероприятий именно гражданской обороны как элемента военной безопасности страны. Авторы пришли к выводу, что источником правовых отношений и научно-теоретической основы совершенствования гражданской обороны должны быть положения военной доктрины.

*Ключевые слова:* военная безопасность, военные опасности, гражданская защита, гражданская оборона, концепция, правовой акт, чрезвычайные ситуации, эволюция.

(Поступила в редакцию 19 февраля 2019 г.)

**Введение.** Современный мир характеризуется возрастающим количеством войн, террористических актов, а также чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, которые приносят значительные человеческие и материальные потери.

При этом происходит не только количественный рост масштабов последствий, но и отмечаются существенные качественные изменения в сценариях ЧС, характере военных конфликтов, методах и способах ведения вооруженной борьбы. Происходящие процессы характеризуются высокой интенсивностью и динамичностью, что требует выработки и принятия незамедлительных и адекватных мер противодействия им.

Вполне очевидно, что мировое сообщество стремится к осмыслению эффективности существующих систем защиты населения, материальных и историко-культурных ценностей от опасностей мирного и военного времени. Анализ гражданской обороны (ГО) в предложенном нами аспекте позволяет произвести изменения вплоть до концептуального пересмотра содержания не только компенсирующих мероприятий, отвечающих современным вызовам и угрозам, но и всей системы управления, обеспечивающей их планирование, организацию и исполнение.

При рассмотрении ГО с точки зрения военной науки возникает необходимость в критическом исследовании истории ее формирования и развития в качестве составной части оборонных мероприятий как в советский, так и в постсоветский периоды. А для этого необходимо прежде всего определить, что сужает горизонт и препятствует развитию ГО, а что составляет ее научно-теоретическое основание в системе знаний о войне и военной безопасности.

Система ГО Республики Беларусь в советский период мало чем отличалась от общесоюзной системы ГО [1]. Анализ ее развития, содержания защитных мероприятий нашел свое отражение в целой серии обзорных публикаций, подготовленных российскими учеными и исследователями за последние 10–15 лет, например, в работах [2–9]. Значительный вклад в исследование проблем развития ГО советского периода внесли В.А. Владимиров, А.А. Гуков, А.Н. Зайцев, О.Л. Узун, Н.Н. Щаблов и другие.

В целом этот период отмечается позитивным ростом значения, отводимого ГО, что было обусловлено произошедшими военными событиями и существующей напряженностью в военно-политической обстановке. Неоднократно авторы отмечают, что планируемые защитные мероприятия в целом были достаточно неплохо увязаны с иными оборонными задачами государства, а построение ГО осуществлялось на основании существующих взглядов на ведение войны с учетом применением оружия массового уничтожения, прежде всего ядерного. Важной особенностью этого периода является то, что ГО входила в состав Вооруженных Сил СССР, а сама система ГО, как признает ряд специалистов, в том числе и зарубежных [10], являлась одним из лучших образцов подобного рода систем защиты. Четкая организационная структура и всенародный характер ГО – главное достоинство и отличие системы ГО СССР, в том числе и Республики Беларусь, от аналогичных существующих систем зарубежных государств.

В современных публикациях, где освещается развитие системы защиты от ЧС и ГО постсоветского периода в Республике Беларусь, внимание акцентируется в основном на эволюции, прежде всего, системы защиты от ЧС, ориентированной на решении задач мирного времени. При этом ГО, если о ней и упоминается в исследованиях, чаще рассматривается в контексте мероприятий государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (далее – ГСЧС), что приводит к утрате ее изначального, традиционного, значения и особенностей решения задач в соответствии с международным законодательством [11, ст. 61]: «выполнение некоторых или всех гуманитарных задач, направленных на то, чтобы защитить гражданское население от опасностей и помочь ему устранить непосредственные последствия военных действий или бедствий, а также создать условия, необходимые для его выживания».

Тем не менее существующие публикации посвящены целому ряду аспектов, в которых сформулированы предложения, направленные на дальнейшее развитие системы ГО в Республике Беларусь.

Например, в работе [12] проанализирован опыт развития зарубежных систем защиты населения и территории от ЧС. Выполненный анализ свидетельствует, что закономерным историческим путем развития ГО в Республике Беларусь может стать формирование единой системы гражданской защиты.

Необходимость ее создания также следует из научных публикаций [13–15], подготовленных в Российской Федерации. При этом авторы предлагают и развивают теоретические и научно-методические основы гражданской защиты.

В работе [16] прогнозируются возможные этапы развития и соответствующие мероприятия по совершенствованию организации, ведению и всестороннему обеспечению ГО в Республике Беларусь, которые могут стать частью концептуальных взглядов рассматриваемой сферы.

В материалах конференции [17–18], посвященной Национальной стратегии по снижению рисков ЧС в Республике Беларусь на 2019–2030 годы, предлагается при переработке требований технических нормативных правовых актов учесть положения Военной доктрины 2016 года в части, учитывающей основные военные опасности для Республики Беларусь, характер и основы современных конфликтов и основ применения военной организации в стране. Совершенствование механизмов проектирования и разработки инженерно-технических мероприятий ГО должны рассматриваться в качестве квинтэссенции всех защитных мер. Очевидно, что содержание и объем этих мероприятий должны определяться характером современных военных конфликтов, военных опасностей, приоритетом объектов поражения, их стратегическим и культурным значением. Актуальность сформулированной задачи очевидна, т. к. действующие сегодня нормы проектирования в области ГО, несмотря на их значительную либерализацию в 2007–2012 годах, по-прежнему сохраняют следы военных доктрин Советского Союза в части возможного применения ядерного оружия, а также сверхточных ракет с ядерными боезарядами [19–21].

Сформулированные предложения, безусловно, заслуживают внимания и могут стать основой для дальнейшего развития ГО. Однако пройденный в этой сфере путь, измеряемый периодом независимого становления нашей страны, по-прежнему остается практически не подвергнутым критическому анализу и осмыслению, не определена научно-теоретическая основа и источник правовых отношений совершенствования системы ГО и ее механизмов.

На наш взгляд, такой основой может и должна служить военная доктрина, чью эволюцию следует рассматривать как системный процесс, определяющим фактором которого являются оборонные мероприятия. Именно изменения, происходящие во взглядах на систему оборонных мероприятий страны, придание значимости отдельным элементам военной организации государства, в частности ГО, требуют пересмотра модели их взаимодействия друг с другом, уточнения путей дальнейшего развития. Система управления ГО, а также ее задачи и функции в этом аспекте не являются исключением. Поэтому периоды в эволюции взглядов на систему оборонных мероприятий в стране, завершающиеся принятием очередной военной доктрины, должны быть знаковыми и для ГО, указанием, что следует подводить итог предшествующему периоду и определять цели и задачи для ее очередного этапа развития.

**Основная часть.** Методологической основой совершенствования актов законодательства в различных сферах национальной безопасности, разработки документов стратегического планирования, безусловно, является Концепция национальной безопасности [22, ст. 2].

Именно она призвана обеспечить единство подходов к формированию и реализации государственной политики, обеспечивающей состояние защищенности от внутренних и внешних угроз.

Составной частью национальной безопасности является военная безопасность, которая определяется как состояние защищенности национальных интересов Республики Беларусь от военных угроз.

При этом в военной сфере основными национальными интересами являются [22, ст. 15]:

- укрепление в обществе чувства патриотизма, готовности к защите национальных интересов Республики Беларусь;
- эффективное стратегическое сдерживание, обеспечивающее поддержание мира, региональной безопасности и предотвращение угрозы применения военной силы против Республики Беларусь;
- обеспечение защиты независимости, территориальной целостности, суверенитета республики в случае применения против нее военной силы или угрозы силой;
- развитие военной организации государства, поддержание уровня оборонного потенциала, соответствующего возможностям государства и достаточного для решения задач мирного и военного времени;
- укрепление международных и региональных механизмов обеспечения военной безопасности, партнерства и доверия;
- последовательное развитие и укрепление военного и военно-технического сотрудничества с Российской Федерацией;
- повышение эффективности Организации Договора о коллективной безопасности.

Республика Беларусь обеспечивает свою военную безопасность исходя из принципов оборонной достаточности и стратегического сдерживания потенциальной агрессии, отдавая приоритет невоенным средствам.

При этом важнейшей задачей, решаемой государством в интересах обеспечения военной безопасности, является подготовка страны к обороне [22, ст. 55].

В соответствии с Законом Республики Беларусь [23, ст. 1] под обороной понимается система правовых, политических, экономических, военных, социальных и иных мер, обеспечивающих военную безопасность страны.

Систему официально принятых в Республике Беларусь взглядов на обеспечение ее военной безопасности определяет содержание Военной доктрины, которая в военной политике государства занимает особое положение. Она одновременно является и составной частью проводимой военной политики, и ее научно-теоретическим обоснованием [24].

Содержание военной доктрины составляют такие вопросы, как отношение государства к войне, военным конфликтам и их предотвращению; характер военных опасностей; источники и возможности возникновения военных угроз; военно-политические цели возможных войн; вероятные союзники и противники государства; принципы военного строительства и применения военной силы для защиты жизненно важных национальных интересов [25, 26].

Принятие военной доктрины – объективный и закономерный процесс для любого государства. Первый такого рода нормативный правовой акт в нашей стране был принят 16 декабря 1992 года соответствующим постановлением Верховного Совета Республики Беларусь [27]. Учитывая правовой статус и рассматривая Военную доктрину в качестве национальной декларации о политике государства в области военной безопасности, полагаем, вполне очевидно, что именно этот нормативный правовой акт должен служить основным источником правовых отношений, научно-теоретической и методической базой развития ГО и определения объема планируемых защитных мероприятий для населения и организаций при ведении военных действий или вследствие этих действий.

Этот тезис не только отражает оценку роли и места ГО в системе оборонных мероприятий, но и влияет на саму систему ГО, стоящие перед ней задачи и механизмы, посредством которых данные задачи решаются.

Концептуальной основой Военной доктрины 1992 г. стала утвердившаяся в годы перестройки идеология «нового мышления», отрицавшая использование силовых средств для достижения политических целей и утверждавшая приоритет общечеловеческих интересов над классовыми, национальными и государственными. Военно-политическая сторона военной доктрины была представлена концепциями «Предотвращения войны» и «Пресечения агрессии». На наш взгляд, заслуживает отдельного внимания концепция «Пресечения агрессии», которая раскрывала подходы к обороне и пресечению агрессии и предусматривала меры экономического, дипломатического характера, направленные на принуждение государства-агрессора к отказу от подготовки к военному вторжению на территорию республики [28]. При этом вопросы ГО, как следует из проведенного анализа, в содержание первой Военной доктрины явным образом не вошли. Более того, этот программный документ свою системообразующую функцию не только для ГО, но и в целом для обороны и безопасности страны, скорее всего, выполнял недостаточно эффективно. Военная доктрина 1992 г. выступала, скорее, в качестве идеологического ориентира военной политики Республики Беларусь. Отметим, что на момент ее принятия в Беларуси уже действовали законы, которые следовало бы разрабатывать на основе Военной доктрины, – «О всеобщей воинской обязанности и военной службе», «О статусе военнослужащих», «О Вооруженных Силах Республики Беларусь» и др. В это время еще не были приняты Конституция Республики Беларусь и Концепция национальной безопасности, которым Военная доктрина должна была соответствовать. Поэтому совершенно не удивительно, что Положение о ГО (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 26 мая 1992 г. [29]), также было подготовлено без учета содержания Военной доктрины, принятие которой произошло несколько позже, хотя и в одном календарном году.

Указанные обстоятельства не могли не сказаться на развитии системы ГО, которая рассматривалась в это время в качестве комплекса специальных мероприятий по защите населения в ЧС мирного и военного времени [29, ст. 1].

Период развития ГО Республики Беларусь с 1991 по 2002 год в целом характеризовался преобладанием инерционных процессов, что подтверждалось практическим отсутствием изменений в организационной, правовой, нормативной и технической сферах ГО.

Структура управления, задачи и содержание мероприятий и механизмы их реализации соответствовали прежнему образцу советского периода, а технического перевооружения практически не происходило. Напомним, что в это время функции органа управления ГО (штаба ГО) возлагались на Главное управление Командующего внутренними войсками Министерства внутренних дел Республики Беларусь [29, ст. 6].

При этом следует отметить существенный факт, который в дальнейшем серьезно повлиял на развитие системы управления ГО: происходило реформирование системы государственного управления в сфере предупреждения и ликвидации ЧС. В.И. Яковчук в работе [30] отмечает, что в 1999 г. завершился первый этап этого реформирования, основным результатом которого стала реорганизация МЧС, продемонстрировавшая уже в первый год с момента образования высокую боеготовность, четкость и оперативность при реагировании на возникающие ЧС, что получило высокую оценку со стороны Президента и Правительства Беларуси. Кроме того, следует отметить высокую нормотворческую активность ведомства в сфере защиты от ЧС.

Учитывая схожесть задач, решаемых штабом ГО и МЧС (применительно к различным периодам функционирования государства), вполне можно было ожидать, что две, во многом дублирующие друг друга государственные структуры, существовать параллельно друг другу не могли, и в скором времени должны были произойти организационные изменения.

Что касается Военной доктрины, то она как программный закон не могла быть утверждена один раз и навсегда. Изменения, происходящие в военно-политической обстановке в мире и государстве, требовали адекватных и своевременных мер реагирования и в оборонной сфере. Поэтому спустя 10 лет после принятия первой Военной доктрины Законом Республики Беларусь от 3 января 2002 г. утверждается ее очередной вариант [31].

К моменту его принятия в Беларуси уже действовали Конституция, Концепция национальной безопасности [32] и обновленная система законодательства в области обороны.

Анализ Военной доктрины 2002 г. свидетельствует о том, что ГО уже стала отводиться роль в составной части оборонных мероприятий. Однако значение ее все же было занижено и сводилось лишь к экономическому обеспечению военной безопасности государства. Принятый же несколько позже, спустя 4 года, Закон Республики Беларусь о ГО [33] перечень и содержание задач определял значительно шире. Включены:

- обучение населения способам защиты от опасностей, возникающих при ведении военных действий;
- подготовка и переподготовка руководящего состава органов управления и сил ГО, создание и совершенствование учебной базы ГО;
- создание и поддержание в постоянной готовности органов управления и сил ГО, средств и объектов ГО;
- создание, накопление, хранение резервов материальных ресурсов для ликвидации ЧС и использование их при выполнении мероприятий ГО;
- обеспечение устойчивого функционирования экономики и ее отдельных объектов, коммуникаций и систем жизнеобеспечения населения в военное время;
- оповещение населения, государственных органов и иных организаций об опасностях, возникающих (возникших) при ведении военных действий;
- временное отселение населения, укрытие в защитных сооружениях, предоставление средств индивидуальной защиты;
- эвакуация материальных и историко-культурных ценностей в безопасные районы в случае, если существует реальная угроза их уничтожения, похищения или повреждения;
- проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- первоочередное обеспечение населения, пострадавшего от опасностей, возникших при ведении военных действий, водой, продуктами питания, оказание медицинской помощи и принятие других необходимых мер;



- обнаружение и обозначение районов, подвергшихся радиоактивному, химическому, биологическому (бактериологическому) и иному заражению;
- санитарная обработка населения, обеззараживание территорий, техники, зданий и других объектов, подвергшихся радиоактивному, химическому, биологическому (бактериологическому) и иному заражению;
- поддержание общественного порядка в районах, пострадавших от опасностей, возникших при ведении военных действий.

Тем не менее можно заключить, что Закон Республики Беларусь «О гражданской обороне» [33] появился, скорее, вопреки, а не как следствие Военной доктрины, с принятием которой можно говорить о начале второго этапа современного становления и развития ГО. Этот этап приходится на 2002–2016 годы, характеризуется всплеском активности в рассматриваемой сфере, особенно нормотворческой. Результатом становится принятие целого ряда правовых и нормативных актов как на государственном, так и на ведомственном уровнях [1].

Изучая аспекты развития ГО в рассматриваемый период, нельзя забывать о том, что параллельно благодаря активному участию МЧС развиваются и другие направления деятельности, на которые отвлекаются значительные ресурсы и время: профилактика и тушение пожаров; развитие системы защиты населения и территории от ЧС, включающее подготовку нормативных правовых актов, оснащение сил ликвидации ЧС необходимой техникой, имуществом; формирование системы мониторинга и прогнозирования ЧС; организация подготовки руководящего состава и т. д. [1, 30]. Существенных результатов удалось достигнуть в вопросах промышленной, ядерной и радиационной безопасности, которые органично вписывались в задачи и функции, возложенные на ГСЧС.

В структуре подготовки должностных лиц органов управления и ведомственных специалистов в этот период также происходят серьезные изменения.

Прежде всего следует отметить, что управление ГО в 2003 г. переходит в ведение Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Соответствующим Указом Президента Республики Беларусь от 17 января 2003 г. № 24 [34, ст. 1.1] вносятся дополнения в Положение о МЧС, которое отныне приобретает статус республиканского органа государственного управления в сфере ГО.

Однако практического опыта, прикладных научных исследований, наработок в этой сфере, как и соответствующих специалистов, научных кадров, в молодом ведомстве было недостаточно.

Вполне ожидаемо, что на начальном этапе и в сложившихся условиях МЧС использовало в качестве основы (рабочей модели) накопленный советский и российский опыт. При этом авторитет России в этих вопросах сомнений не вызывал. К этому времени имелся значительный накопленный практический потенциал участия сил ГО в ликвидации последствий крупномасштабных ЧС, проведении гуманитарных операций, функционировали Академия гражданской защиты МЧС России, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам ГО и т. д.

Знаменательным событием для этого периода является утверждение в 2004 г. Указом Президента Республики Беларусь № 277 «Концепции совершенствования государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и ГО на 2004–2007 годы» (далее – Концепция) [35]. В ее развитие постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 3 августа 2004 г. № 935 принимается план основных мероприятий по реализации Концепции [36].

Особенностью принятых нормативных правовых актов является акцент на совершенствовании прежде всего ГСЧС. В сфере ГО основная задача Концепции сформулирована как «обеспечение готовности органов управления и сил ГО к выполнению возложенных на них задач», а в плане основных мероприятий по реализации Концепции вопросы совершенствования ГО являются составной частью задач ГСЧС.

Такой подход был вполне оправдан, т. к. главной целью была подготовка условий для формирования единой государственной системы защиты населения и территорий от ЧС, объединяющей и ГО, и ГСЧС.

Главным следствием реализации Концепции стало принятие 27 ноября 2006 г. нормативного правового акта, закреплявшего принципы и нормы регулирования общественных отношений в области ГО, – Закона Республики Беларусь «О гражданской обороне» [33].

Считаем необходимым еще раз подчеркнуть сформулированный ранее тезис, что принятый закон [33] появился вопреки, а не вследствие военной доктрины. Косвенным доказательством этому также может служить положение статьи 2 [33], в которой отмечается, что «законодательство Республики Беларусь о гражданской обороне основывается на Конституции Республики Беларусь». При этом принятые программные нормативные правовые акты, следовавшие за Конституцией, здесь не указаны: «Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь», 2001 г. [32], «Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь», 2002 г. [31].

Начиная с 2007 г. в развитие положений закона [33] принимается целый ряд подзаконных нормативных правовых и технических нормативных правовых актов, в том числе ведомственных, конкретизирующих вопросы организации и ведения ГО [1].

В 2013 г. принимается постановление Совета Министров Республики Беларусь № 1051, где сформулированы основные направления реализации государственной политики в области ГО. Значение этого нормативного правового акта следует связывать с уточнением механизмов ГСЧС и ГО, посредством которых осуществляется реализация государственной политики в сфере национальной безопасности, в том числе и военной безопасности. В военной сфере это направление сформулировано как «совершенствование методов и способов защиты населения, материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий».

Соответствующими задачами являются:

- оптимизация номенклатуры и объемов накопления средств индивидуальной защиты;
- формирование мобильного резерва средств индивидуальной защиты и порядка его задействования;
- вовлечение в хозяйственный оборот защитных сооружений в целях поддержания их в готовности по назначению;
- развитие строительства сооружений двойного назначения;
- обеспечение готовности к действию сил и средств, предназначенных для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- создание и содержание запасов материально-технических, продовольственных, медицинских и иных средств, необходимых для выполнения мероприятий гражданской защиты;
- совершенствование взаимодействия органов управления и сил гражданской защиты и территориальной обороны при решении поставленных задач.

Здесь еще раз на законодательном уровне сформулирована возможность создания единой системы гражданской защиты и впервые дано определение этой системе. В то же время следует отметить, что принятый нормативный правовой акт нельзя назвать программным. В нем не содержится стратегических целей, задач и концептуальной системы взглядов относительно будущего ГО.

Стоит отметить, что отличительной особенностью рассматриваемого периода в развитии ГО также является накопление опыта, подготовка должностных лиц органов управления, ведомственных специалистов. Однако работа по формированию системы управления ГО, планирование защитных мероприятий на военное время в целом осуществляется без должного участия органов военного управления.

Указанные обстоятельства привели к некоторой разбалансировке связей между организационной структурой управления мероприятиями ГО, их содержанием, объемом и порядком реализации с другими оборонными вопросами, прежде всего мероприятиями территориальной обороны.

Например, в среде специалистов нередко отмечалась противоречивость во взглядах органов военного управления и органов ГО на целый ряд вопросов:

- роль и место штабов ГО в период нарастания военной угрозы и в условиях военного времени;
- прогноз возможных последствий в результате вооруженных конфликтов;
- приоритеты поражения объектов тыла;
- порядок проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ в очагах поражения;
- организация и проведение эвакуационных и других защитных мероприятий;
- комплектование штабов, служб, формирований ГО и их взаимодействие с органами и силами территориальной обороны др.

На имеющиеся противоречия обращали внимание военные эксперты и работники органов и подразделений по ЧС в ходе проведения совместных командно-штабных, комплексных учений, а также при разработке оперативно-служебной документации.

И, наконец, спустя еще 14 лет, 20 июля 2016 г., принимается третья, нынешняя редакция Военной доктрины [37], и эту дату можно считать началом третьего этапа развития ГО.

Отличительной особенностью принятой Военной доктрины стал пересмотр комплекса мер, осуществляемых отныне не только военным ведомством, но и другими республиканскими органами государственного управления. При этом заметное значение отведено ГО, которая отныне позиционируется не только как одна из мер по обеспечению военной безопасности государства [37, ст. 22.9]: ее совершенствование оценивается в качестве одного из основных направлений строительства военной организации [37, ст. 39.11].

В своей статье [26] Министр обороны Республики Беларусь генерал-лейтенант А.А. Равков отмечает, что разработке Военной доктрины 2016 г. предшествовал целый ряд факторов, основными из которых явились:

- значительные изменения в военно-политической обстановке в мире и Европейском регионе;
- смешанные способы военных действий, применение как высокоэффективных систем высокоточного оружия, так и широкое использование нетрадиционных форм применения военной силы, в частности иррегулярных вооруженных формирований;
- появление концепций и механизмов смены государственной власти, изменения конституционного строя и нарушения территориальной целостности страны путем провоцирования внутреннего вооруженного конфликта;
- необходимость дальнейшего совершенствования нормативной правовой базы в области военной политики.

Все факторы, указанные Министром, требуют соответствующего учета и в механизмах реализации ГО, уточнения перечня ее задач и соответствующих мероприятий.

Некоторые произошедшие события текущего периода заслуживают определенного внимания с точки зрения развития ГО.

Например, следует отметить активную работу по подготовке проекта модельного закона Содружества Независимых Государств «О гражданской защите» [38], что как раз и характеризует выбранный Беларусью стратегический путь развития системы защиты населения и территории от ЧС, ГО. Знаковым является еще и то, что подготовка этого документа была инициирована именно белорусской стороной в 2016 г., когда по решению Совета Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ соответствующий пункт был включен в перспективный план модельного законодательства в СНГ на 2016–2020 годы.

В 2017 г. постановлением Министерства образования Республики Беларусь утвержден образовательный стандарт высшего образования второй ступени по специальности 1 - 94 81 02 «Ликвидация чрезвычайных ситуаций и гражданская оборона» [39], и в этом же году приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь утвержден паспорт специальности 05.26.07 «Гражданская оборона» [40]. Данный факт свидетельствует о том, что ГО стал отныне не только сугубо практической сферой деятельности, но и целой областью научных знаний, оборонные мероприятия будут планироваться и выстраиваться не только на основе мнений специалистов, но в том числе на научных исследованиях и глубоком теоретическом анализе имеющихся проблем.

Еще одним важным событием текущего периода является принятие в конце ноября 2018 г. Национальной стратегии по снижению риска возникновения ЧС в Республике Беларусь на 2019–2030 годы [41], в которой одним из основных направлений является создание государственной системы гражданской защиты (осуществляется разработка Кодекса о гражданской защите, плана защиты территории Республики Беларусь от крупномасштабных ЧС (пожаров, наводнений, засух и др.), плана гражданской защиты Республики Беларусь и т. д.).

Тем не менее следует отметить, что новая Военная доктрина привносит ряд дополнительных обстоятельств и условий в организацию обороны государства, которые следует учесть в действующих нормативных правовых актах на нынешнем этапе. А планируемая к утверждению Военная доктрина Союзного государства Беларуси и России [42] должна стать еще одним источником нормативных требований и правовых отношений в области организации и ведения ГО.

Указанные обстоятельства, на наш взгляд, сегодня требуют детального анализа и ревизии принятых ранее нормативных правовых и технических нормативных правовых актов в сфере ГО. Кроме того, назрела необходимость окончательно сформулировать и нормативно закрепить систему государственных концептуальных и стратегических взглядов относительно ее дальнейшего развития. При этом прежде всего следует пересмотреть задачи, функции и характер осуществляемых мероприятий ГО в период нарастания военной угрозы и в военное время.

**Заключение.** Таким образом, дальнейшая эволюция ГО Республики Беларусь, совершенствование ее механизмов сегодня не просто возможны, а обусловлены целым рядом факторов, событий, принятых решений и нормативных правовых актов, в том числе имеющих программный характер.

Предстоит определиться с будущим ГО. Необходимы четкие ответы на вопросы о ее структуре, задачах и функциях, направлениях совершенствования, этапах развития и мероприятиях, соответствующих этим этапам.

При этом очевидно, что в основу взглядов и принимаемых решений должна быть положена идея системы гражданской защиты, а мероприятия ГО (именно в сегодняшнем понимании) должны стать ее неотъемлемой частью.

Военная доктрина – это часть правовой и научно-теоретической основы совершенствования ГО, являющейся составной частью оборонных мероприятий. Именно она позволяет определять цель и учитывать необходимый перечень и объем защитных мероприятий в военное время, увязывать их с другими оборонными вопросами, экономическими возможностями страны.

В этом отношении военная доктрина, без сомнения, является научно-теоретической основой для формирования мероприятий по защите от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий, а так же при проектировании и разработке инженерно-технических мероприятий ГО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Булва, А.Д. Рэтраспектыўны погляд на беларускую сістэму абароны ад надзвычайных сітуацый: генезіс і эвалюцыя / А.Д. Булва // Вестник Полесского гос. ун-та. Сер. общественных и гуманитарных наук. – 2017. – № 1. – С. 3–12.
2. Зайцев, А.Н. История создания и развития гражданской обороны СССР до Великой Отечественной войны / А.Н. Зайцев // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2010. – Т. 1, № 1(1). – С. 266–268.
3. Заворотный, А.Г. Гражданская оборона в СССР и России: история и современность / А.Г. Заворотный, А.Н. Калайдов, С.В. Заворотная // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2012. – № 3. – С. 15–25.
4. Алексеев, И. Гражданская оборона и время / И. Алексеев // Гражданская защита. – 2011. – № 10. – С. 6–11.
5. Исторические аспекты развития системы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций // Инф. сб. ЦСИ ГЗ МЧС России. – 2001. – № 9. – С. 304–322.
6. Владимиров, В.А. Современная война и гражданская оборона / В.А. Владимиров // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – № 1. – С. 471–481.
7. Узун, О.Л. Становление законодательства в области гражданской обороны СССР в период с 1918 по 1941 годы / О.Л. Узун, К.А. Надеин // Избранные вопросы современной науки. Монография. Ч. XIII. / Науч. ред. д.п.н., проф. С.П. Акутина. – М.: Перо, 2014. – С. 155–174.
8. Гуков, А.А. Организационно-правовые основы деятельности местной противовоздушной обороны НКВД – МВД СССР (1932–1960 гг.): историко-правовой аспект: дис. на соиск. учен. степ. ... канд. юрид. наук: 12.00.01 / А.А. Гуков. – М., 2006. – 191 л.
9. Щаблов, Н.Н. История гражданской обороны / Н.Н. Щаблов. – М.: Стройиздат, 2011. – 243 с.
10. Бордак, С.С. Органы управления гражданской обороны района (города): целеполагание, функции и задачи / С.С. Бордак // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Респ. Беларусь. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 511–520.
11. Дополнительный протокол к Женевским конвенциям [Электронный ресурс] 12 авг. 1949 г., касающийся защиты жертв международных вооруженных конфликтов (протокол I) // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
12. Бордак, С.С. О возможности развития гражданской обороны в Республике Беларусь путем создания единой государственной системы гражданской защиты / С.С. Бордак, М.Н. Субботин, М.М. Тихонов // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 87–92.
13. От МПВО к гражданской защите. Страницы из истории МПВО–ГО–РСЧС субъектов Российской Федерации / М-во Рос. Федерации по делам гражд. обороны, чрезвычайн. ситуациям и ликвидации последствий стихийн. бедствий; сост.: В.А. Владимиров, Н.Н. Долгин, Ф.Г. Маланчев. – М.: Ин-октаво, 2004. – 348 с.
14. Владимиров, В.А. Общие теоретические и научно-методические основы гражданской защиты / В.А. Владимиров // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Т. 3, № 1 (4). – С. 570–579.
15. Владимиров, В.А. О теории гражданской защиты / В.А. Владимиров // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2012. – № 2. – С. 549–559.
16. Тихонов, М.М. Возможные перспективы развития гражданской обороны в Республике Беларусь / М.М. Тихонов, М.Н. Субботин, С.С. Бордак, А.С. Васюкевич // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларусии. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 91–100.
17. Булва, А.Д. Методологические аспекты проектирования мероприятий гражданской защиты / А.Д. Булва // Национальная стратегия по снижению рисков ЧС в Республике Беларусь на 2019–2030 годы: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27 сент. 2018 г. / УГЗ. – Минск, 2018. – С. 10–12.
18. Булва, А.Д. Концептуальные предпосылки проектирования и разработки инженерно-технических мероприятий гражданской обороны / А.Д. Булва // Национальная стратегия по снижению рисков ЧС в Республике Беларусь на 2019–2030 годы: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27 сент. 2018 г. / УГЗ. – Минск, 2018. – С.7–10.

19. Булва, А.Д. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны и мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций в составе проектной документации / А.Д. Булва, В.А. Панасевич // Вестник Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 256–268.
20. Батырев, В.В. Средства коллективной защиты. Оценка эффективности и качества защиты населения в чрезвычайных ситуациях / В.В. Батырев [и др.] / МЧС России. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2018. – 308 с.
21. Куликов, В.Г. Доктрина защиты мира и социализма / В.Г. Куликов. – М.: Воениздат, 1988. – 94 с.
22. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 9 нояб. 2010 г., № 575 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
23. Об обороне [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 03 нояб. 1992 г., № 1902–XII // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
24. Ксенофонтов, В.А. Военно-доктринальные взгляды на оборону страны / В.А. Ксенофонтов // Гуманитарные проблемы военного дела. – 2017. – № 2 (11). – С. 36–46.
25. Киселев, В.А. Военная доктрина в оборонительной системе государства / В.А. Киселев. // Военная мысль. – 2007. – № 4. – С. 34–35.
26. Равков, А. Документ мира и безопасности: о новой Военной доктрине Республики Беларусь / А. Равков // Беларуская думка. – 2016. – № 8. – С. 3–10.
27. О введении в действие Военной доктрины Республики Беларусь [Электронный ресурс]: пост. Верх. Совета Респ. Беларусь, 16 декаб. 1992 г., № 2049–XII // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
28. Екадумова, И.И. Политические аспекты трансформации военной доктрины Республики Беларусь / И.И. Екадумова // Науч. труды Акад. управления при Президенте Респ. Беларусь. – 2009. – Вып. 11. – С. 15–24.
29. Вопросы гражданской обороны Республики Беларусь [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 26 мая 1992 г., № 311 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
30. Яковчук, В.И. Становление и развитие системы государственного управления предупреждением и ликвидацией чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь / В.И. Яковчук // Науч. труды Респ. Ин-та высш. шк. – 2015. – № 15–1. – С. 221–227.
31. Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 3 янв. 2002 г., № 74–3 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
32. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 17 июл. 2001 г., № 390 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
33. О гражданской обороне [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 27 нояб. 2006 г., № 183–3 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
34. О внесении изменений и дополнений в некоторые указы Президента Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Указ През. Респ. Беларусь, 17 янв. 2003 г., № 24 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
35. Об утверждении Концепции совершенствования государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны на 2004–2007 годы [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 9 июн. 2004 г., № 277 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.

36. Об утверждении плана основных мероприятий по реализации Концепции совершенствования государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны на 2004–2007 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 3 авг. 2004 г., № 935 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
37. Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2016 г., № 412–3 // Нац. правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 26.07.2016, 2/2410. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=3961&p0=H11600412>. – Дата доступа: 20.01.2019.
38. Рассмотрен ход работы над проектом модельного закона СНГ «О гражданской защите» [Электронный ресурс] // МЧС Республики Беларусь, 2018. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/glavnoe/196961/>. – Дата доступа: 04.01.2019.
39. Об утверждении образовательных стандартов высшего образования второй ступени [Электронный ресурс]: постановление Минобразования Респ. Беларусь, 24 мая 2017 г., № 51 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
40. Паспорт специальности 05.26.07 – Гражданская оборона [Электронный ресурс]: приказ ВАК Респ. Беларусь от 13 нояб. 2017 г. № 260 / Высшая аттестационная комиссия Республики Беларусь, 2015. – Режим доступа: <http://www.vak.org.by/node/4039>. – Дата доступа: 23.01.2019.
41. Национальная стратегия по снижению рисков ЧС в Республике Беларусь на 2019–2030 годы [Электронный ресурс]: утв. Премьер-министром – начальником гражданской обороны Респ. Беларусь, 30 нояб. 2018 г. // Консультант Плюс: Беларусь. Технология ПРОФ / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019. – 44 с.
42. Беларусь и РФ утвердят проект Военной доктрины Союзного государства [Электронный ресурс] // БелаПАН «Белорусские новости», 2018. – Режим доступа: <https://naviny.by/new/20181029/1540821317-belarus-i-rf-utverdyat-proekt-voennoy-doktriny-soyuznogo-gosudarstva>. – Дата доступа: 01.02.2019.

**Военная доктрина как научно-теоретическая основа совершенствования  
гражданской обороны**

**Military doctrine as a scientific and theoretical basis for the improvement of civil defense**

---

***Карпиленя Николай Васильевич***

доктор военных наук, профессор

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

Адрес: 220057, Беларусь, г. Минск,  
пр-т Независимости, 220

e-mail: karpilenyanv@mail.ru

---

***Nikolay V. Karpilenya***

Grand PhD in Military Sciences, Professor

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

Address: 220057, Belarus, Minsk,  
pr-t. Nezavisimosti, 220

e-mail: karpilenyanv@mail.ru

---

***Булва Александр Дмитриевич***

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

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

e-mail: bulva@list.ru

---

***Alexander D. Bulva***

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

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

e-mail: bulva@list.ru



## MILITARY DOCTRINE AS A SCIENTIFIC AND THEORETICAL BASIS FOR THE IMPROVEMENT OF CIVIL DEFENSE

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

*Purpose.* The article analyzes the impact of the evolution of military doctrines on the development of civil defense in Belarus.

*Methods.* The methods of comparison and analysis have been used.

*Findings.* An apodictic statement was formulated about the source of legal relations and the scientific and theoretical basis for improving civil defense, which are the provisions of military doctrine.

*Applications field of research.* The obtained results can be used in the development and improvement of legal and regulatory legal acts that determine the planning and organization of civil defense, the content of engineering and technical measures of civil defense.

*Conclusions.* The main thesis of the article based on the idea that military doctrine is part of the legal, scientific and theoretical basis for improving civil defense. The doctrine makes it possible to determine the goal and take into account the necessary list and volume of protective measures in wartime, link them with other defense issues and the economic possibilities of the country. In this regard, military doctrine is a scientific and theoretical basis for the formation of measures to protect against the dangers arising from hostilities or as a result of military actions.

*Keywords:* military security, military dangers, civil defense, concept, legal act, emergencies, evolution.

(The date of submitting: February 19, 2019)

### REFERENCES

1. Bulva A.D. Retraspektyuny poglyad na belaruskuyu sistemu abarony ad nadzvychaynykh situatsyy: genezis i evalyutsyya [Retrospective look at the belarusian system of protection from emergency situations: genesis and evolution]. *Vestnik Polesskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya obshchestvennykh i gumanitarnykh nauk*, 2017. No. 1. Pp. 3–12. (bel)
2. Zaytsev A.N. Istoriya sozdaniya i razvitiya grazhdanskoy oborony SSSR do Velikoy Otechestvennoy voyny [The history of the creation and development of civil defense of the USSR before the Great Patriotic War]: *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*, 2010. Vol. 1. No. 1(1). Pp. 266–268. (rus)
3. Zavorotnyy A.G., Kalaydov A.N., Zavorotnaya S.V. Grazhdanskaya oborona v SSSR i Rossii: istoriya i sovremennost' [Civil defense in the USSR and Russia: history and modernity]: *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya*, 2012. No. 3. Pp. 15–25. (rus)
4. Alekseev I. Grazhdanskaya oborona i vremya [Civil defense and time]: *Grazhdanskaya zashchita*, 2011. No. 10. Pp. 6–11. (rus)
5. Istoricheskie aspekty razvitiya sistemy zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy [Historical aspects of the development of the system of protection of the population and territories from emergency situations]: *Information collection of the Center for strategic researches of civil protection of EMERCOM of Russia*, 2001. No. 9. (rus)
6. Vladimirov V.A. Sovremennaya voyna i grazhdanskaya oborona [Modern war and civil defense]: *Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*, 2012. No. 1. Pp. 471–481. (rus)
7. Uzun O.L., Nadein K.A. Stanovlenie zakonodatel'stva v oblasti grazhdanskoy oborony SSSR v period s 1918 po 1941 gody. Izbrannyye voprosy sovremennoy nauki [Formation of legislation in the field of civil defense of the USSR in the period from 1918 to 1941. Selected issues of modern science]: Monograph Part XIII. Moscow: Pero, 2014. Pp. 155–174. (rus)
8. Gukov A.A. Organizatsionno-pravovyye osnovy deyatelnosti mestnoy protivovozdushnoy oborony NKVD – MVD SSSR (1932–1960 gg.): istoriko-pravovoy aspekt [Organizational and legal basis of the activities of the local air defense of the NKVD – Ministry of Internal Affairs of the USSR (1932–1960): the historical and legal aspect]. PhD law sci. diss.: 12.00.01. Moscow, 2006. 191 p. (rus)
9. Shchablov N.N. *Istoriya grazhdanskoy oborony* [The history of civil defense]. Moscow: Stroyizdat, 2011. 243 p. (rus)
10. Bordak S.S. Civil defense regional governing bodies: goals, functions and tasks. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2. No. 4. Pp. 511–520. (rus)
11. *Dopolnitel'nyy protokol k Zhenevskim konventsiyam, August 12, 1949, kasayushchiysya zashchity zhertv mezhdunarodnykh vooruzhennykh konfliktov (protokol I)* [Protocol additional to the Geneva

- Conventions of. 12 August 1949, and relating to the protection of victims of international armed conflicts (Protocol I)]. Konsul'tant Plyus, Belarus. ООО «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
12. Bordak S.S., Subbotin M.N., Tikhonov M.M. O vozmozhnosti razvitiya grazhdanskoj oborony v Respublike Belarus' putem sozdaniya edinoy gosudarstvennoy sistemy grazhdanskoj zashchity [On the possibility of developing civil defense in the Republic of Belarus by creating a unified state system of civil protection]: *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2015. No. 2(22). Pp. 87–92. (rus)
  13. Vladimirov V.A., Dolgin N.N., Malanichev F.G. *Ot MPVO k grazhdanskoj zashchite. Stranitsy iz istorii MPVO–GO–RSChS sub"ektov Rossiyskoj Federatsii* [From local air defense to civil defense. Pages from history local air defense-civil defense-Russian system of prevention and elimination of emergency situations of the subjects of the Russian Federation]. Moscow: In-oktavo, 2004. 348 p. (rus)
  14. Vladimirov V.A. Obshchie teoreticheskie i nauchno-metodicheskie osnovy grazhdanskoj zashchity [General theoretical, scientific and methodological foundations of civil protection]: *Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya*, 2013. Vol. 3. No. 1(4). Pp. 570–579. (rus)
  15. Vladimirov V.A. O teorii grazhdanskoj zashchity [On the theory of civil defense]: *Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya*, 2012. No. 2. Pp. 549–559. (rus)
  16. Tihonov M.M., Subbotin M.N., Bordak S.S., Vasjukevich A.S. Possible prospects of development of civil defense in the republic of Belarus. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2. No. 1. Pp. 91–100. (rus)
  17. Bulva A.D. Metodologicheskie aspekty proektirovaniya meropriyatiy grazhdanskoj zashchity [Methodical aspects of designing civil protection measures]. *Proc. Intern. scientific-practical conf. «Natsional'naya strategiya po snizheniyu riskov ChS v Respublike Belarus' na 2019–2030 gody»*, Minsk, September 27, 2018. University of Civil Protection. Minsk: University of Civil Protection, 2018. Pp. 10–12. (rus)
  18. Bulva A.D. Metodologicheskie aspekty proektirovaniya meropriyatiy grazhdanskoj zashchity [Conceptual background of the design and development of civil defense engineering activities]: *Proc. Intern. scientific-practical conf. «Natsional'naya strategiya po snizheniyu riskov ChS v Respublike Belarus' na 2019–2030 gody»*, Minsk, September 27, 2018. University of Civil Protection. Minsk: University of Civil Protection, 2018. Pp. 7–10. (rus)
  19. Bulva A.D., Panasevich V.A. Engineering and technical activities of civil defense and emergency prevention activities in the composition of design documentation. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2. No. 1. Pp. 256–268. (rus)
  20. Batyrev V.V. et al. *Sredstva kollektivnoy zashchity. Otsenka effektivnosti i kachestva zashchity naseleeniya v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Collective protection. Evaluation of the effectiveness and quality of protection of the population in an emergency situation]. Moscow: All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations EMERCOM of Russia, 2018. 308 p. (rus)
  21. Kulikov V.G. *Doktrina zashchity mira i sotsializma* [Doctrine of the defense of peace and socialism]. Moscow: Voenizdat, 1988. 94 p. (rus)
  22. *Ob utverzhdenii Kontseptsii natsional'noy bezopasnosti Respubliki Belarus'* [On approval of the concept of national security of the Republic of Belarus]: *Presidential Decree of the Republic of Belarus*, November 9, 2010, No. 575. Konsul'tant Plyus, Belarus. ООО «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
  23. *Ob oborone* [About defense]: *Law of the Republic of Belarus*, November 3, 1992, No. 1902-XII. Konsul'tant Plyus, Belarus. ООО «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
  24. Ksenofontov V.A. Voенно-doktrinal'nye vzglyady na oboronu strany [Military doctrinal views on the country's defense]: *Gumanitarnye problemy voennogo dela*, 2017. No. 2(11). Pp. 36–46. (rus)
  25. Kiselev V.A. Voennaya doktrina v oboronitel'noy sisteme gosudarstva [Military doctrine in the state defense system]: *Voennaya mysl'*, 2007. No. 4. Pp. 34–35. (rus)
  26. Ravkov A. Dokument mira i bezopasnosti: o novoy Voенnoy doktrine Respubliki Belarus' [Peace and Security Document: On the New Military Doctrine of the Republic of Belarus]: *Belaruskaya dumka*, 2016. No. 8. Pp. 3–10. (rus)
  27. *O vvedenii v deystvie Voенnoy doktriny Respubliki Belarus'* [On the introduction of the Military Doctrine of the Republic of Belarus]: *Resolution of the Supreme Council of the Republic of Belarus*, December 16, 1992, No. 2049-XII. Konsul'tant Plyus, Belarus. ООО «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)

28. Ekadumova I.I. Politicheskie aspekty transformatsii voennoy doktriny Respubliki Belarus' [Political aspects of the transformation of the military doctrine of the Republic of Belarus]: *Nauchnye trudy Akademii upravleniya pri Prezidente Respublike Belarus'*, 2009. No. 11. Pp. 15–24. (rus)
29. *Voprosy grazhdanskoy oborony Respubliki Belarus'* [Issues of civil defense of the Republic of Belarus]: *Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus*, May 26, 1992, No. 311. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
30. Yakovchuk V.I. Stanovlenie i razvitie sistemy gosudarstvennogo upravleniya preduprezhdeniem i likvidatsiy chrezvychaynykh situatsiy v Respublike Belarus' [Formation and development of the public administration system for the prevention and elimination of emergency situations in the Republic of Belarus]: *Nauchne trudy Respublikanskogo Instituta vysshey shkoly*, 2015. No. 15–1. Pp. 221–227. (rus)
31. *Ob utverzhdenii Voennoy doktriny Respubliki Belarus'* [On approval of the Military Doctrine of the Republic of Belarus]: *Law of the Republic of Belarus*, January 3, 2002, No. 74-Z. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
32. *Ob utverzhdenii Kontseptsii natsional'noy bezopasnosti Respubliki Belarus'* [On approval of the concept of national security of the Republic of Belarus]: *Presidential Decree of the Republic of Belarus*, July 17, 2001, No. 390. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
33. *O grazhdanskoy oborone* [On civil defense]: *Law of the Republic of Belarus*, November 27, 2006, No. 183-Z. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
34. *O vnesenii izmeneniy i dopolneniy v nekotorye ukazy Prezidenta Respubliki Belarus'* [On introducing changes and amendments to some Decrees of the President of the Republic of Belarus]: *Decree of the President of the Republic of Belarus*, January 17, 2003, No. 24. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
35. *Ob utverzhdenii Kontseptsii sovershenstvovaniya gosudarstvennoy sistemy preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy i grazhdanskoy oborony na 2004–2007 gody* [On approval of the concept of improving the state system of prevention and liquidation of emergency situations and civil defense for 2004–2007]: *Decree of the President of the Republic of Belarus*, June 9, 2004, No. 277. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
36. *Ob utverzhdenii plana osnovnykh meropriyatiy po realizatsii Kontseptsii sovershenstvovaniya gosudarstvennoy sistemy preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy i grazhdanskoy oborony na 2004–2007 god* [On approval of the plan of basic measures for the implementation of the concept of improving the state system of prevention and elimination of emergency situations and civil defense for 2004–2007]: *Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus*, August 3, 2004, No. 935. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
37. *Ob utverzhdenii Voennoy doktriny Respubliki Belarus'* [On approval of the Military Doctrine of the Republic of Belarus]: *Law of the Republic of Belarus*, July 20, 2016, No. 412-Z, available at: <http://www.pravo.by/document/?guid=3961&p0=H11600412> (accessed: January 20, 2019). (rus)
38. *Rassmotren khod raboty nad proektom model'nogo zakona SNG «O grazhdanskoy zashchite»* [Considered the progress of work on the draft model law of the CIS «On Civil Protection»], available at: <https://mchs.gov.by/glavnoe/196961/> (accessed: January 04, 2019). (rus)
39. *Ob utverzhdenii obrazovatel'nykh standartov vysshego obrazovaniya vtoroy stupeni* [About the statement of educational standards of higher education of the second step]: *Resolution of the Council of Ministry of Education of the Republic of Belarus*, May 24, 2017, No. 51. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
40. *Pasport spetsial'nosti 05.26.07 – Grazhdanskaya oborona* [Passport specialty 05.26.07 – Civil defense]: Order of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus, November 13, 2017, No. 260, available at: <http://www.vak.org.by/node/4039> (accessed: January 23, 2019). (rus)
41. *Natsional'naya strategiya po snizheniyu riskov ChS v Respublike Belarus' na 2019–2030 gody* [National Strategy for Reducing the Risk of Emergencies in the Republic of Belarus for 2019–2030]: *approved by the Prime Minister – Head of Civil Defense of the Republic of Belarus*, November 30, 2018.

Konsul'tant Plyus, Belarus. ООО «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. 44 p. (rus)

42. *Belarus' i RF utverdyat proekt Voennoy doktriny Soyuznogo gosudarstva* [Belarus and the Russian Federation will approve the draft of the military doctrine of the Union State], available at: <https://naviny.by/new/20181029/1540821317-belarus-i-rf-utverdyat-proekt-voennoy-doktriny-soyuznogo-gosudarstva> (accessed: February 01, 2019). (rus)

УДК 351.861

## ПОДГОТОВКА МЕРОПРИЯТИЙ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРОГНОЗНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗМОЖНОЙ ОБСТАНОВКИ

Шамукова Н.В., Бордак С.С.

Излагается методический подход по формированию исходных данных, необходимых для планирования мероприятий гражданской обороны района (города). Для прогнозирования возможной обстановки, которая может сложиться при применении средств поражения, предлагается проводить анализ с использованием функций распределения случайных величин. Приводится последовательность проверки на адекватность выбранной функции для описания прогнозных показателей обстановки и расчета их суммарных численных значений. Представлены результаты, полученные в ходе вычислительного эксперимента, даны практические рекомендации по их применению. Охарактеризованы возможные направления дальнейших исследований в рассматриваемой области.

*Ключевые слова:* гражданская оборона, планирование мероприятий гражданской обороны, средства поражения, заблаговременная подготовка, закон распределения случайной величины, критерий согласия Пирсона.

(Поступила в редакцию 10 апреля 2019 г.)

**Введение.** Анализ военных конфликтов последних десятилетий свидетельствует, что в ходе их ведения зачастую поражаются объекты экономики, жизнеобеспечения, гражданской инфраструктуры. Это обусловлено стремлением участников конфликтов лишить своевременного и качественного обеспечения вооруженные силы противоборствующей стороны и, как следствие, достичь целей уже на начальном этапе конфликта. Перечисленные объекты являются наиболее уязвимыми и в полной мере не могут быть защищены только военными средствами.

В гражданской обороне (ГО) Республики Беларусь защита объектов экономики и инфраструктуры от возможного поражения противником достигается проведением комплекса мер по предупреждению, предотвращению и ослаблению воздействия поражающих факторов оружия с целью сохранения их способности функционировать и поддержания экономического потенциала страны, позволяющего в военное время в достаточном объеме удовлетворять потребности военной организации государства и нужды населения. При ликвидации последствий применения оружия будет иметь важное значение своевременное и полное проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР), что позволит не только сократить потери среди населения, но и в конечном итоге уменьшить их общий ущерб.

В соответствии с действующим законодательством в нашей стране непосредственное ведение ГО осуществляется с момента введения военного положения, объявления войны или фактического начала военных действий. Законом [1] регламентировано, что подготовка государства к ведению ГО должна осуществляться заблаговременно, в мирное время. В общем виде такая подготовка ГО включает в себя: подготовку системы управления; подготовку системы оповещения и связи; подготовку сил ГО и ее материально-техническое обеспечение; подготовительные мероприятия по защите населения и территории от опасностей; финансовое обеспечение мероприятий.

**Актуальность исследуемого вопроса.** В процессе подготовки и ведения ГО необходимым является прогнозирование и оценка возможных последствий военных действий. Исходя из результатов прогнозирования определяются возможные объемы АСДНР, порядок, способы и сроки выполнения спасательных работ, работ по жизнеобеспечению пострадавшего населения и других мероприятий ГО, а также необходимые для их проведения силы и средства. В настоящее время для прогнозирования обстановки и определения объе-

мов АСДНР в Республике Беларусь используется ряд методик, которые позволяют провести необходимые расчеты только в отношении отдельно взятой организации. Такой подход затрудняет объективное прогнозирование возможной обстановки для планирования мероприятий ГО района (города) и делает актуальными наши исследования. Существующее положение дел может привести к невозможности реализации подготовительных мероприятий ГО, достаточных для обеспечения требуемого уровня защищенности, либо к избыточному планированию защитных мероприятий и неоправданным расходам. Нашей целью является разработка методического подхода по формированию базы исходных данных, необходимых для планирования мероприятий ГО района (города) на основе прогнозирования обстановки, которая может сложиться в результате разрушения объектов организаций при применении средств поражения.

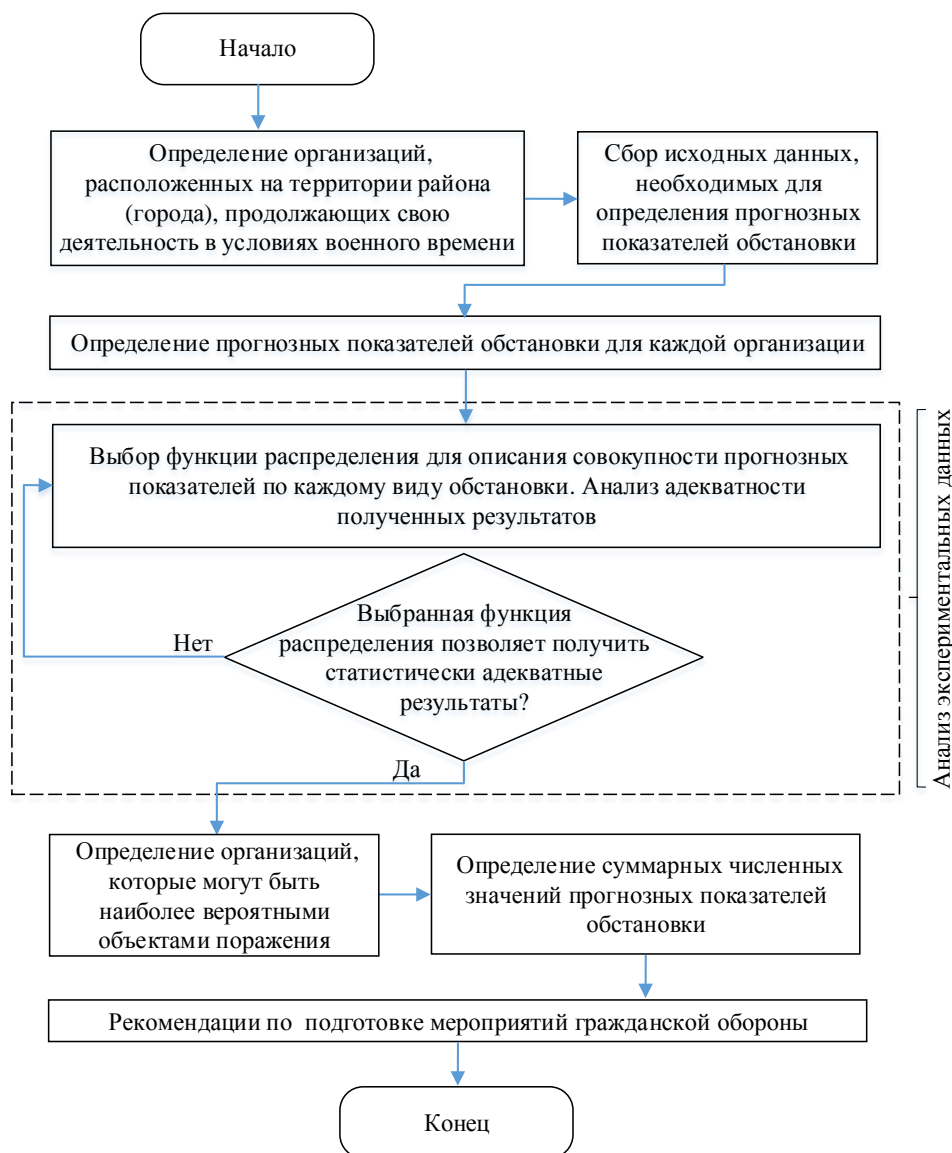
**Обоснование выбранного метода исследования.** Не вызывает сомнений, что рассматриваемые в ГО опасности, возникающие при ведении военных действий или вследствие этих действий, определяются возможными неблагоприятными последствиями и имеют стохастический характер. Полагаем, что при прогнозировании возможной обстановки для подготовки мероприятий ГО на уровне района (города) целесообразно проведение анализа, в основу которого положены законы распределения случайных величин. Это позволит выявить закономерности проявления указанных опасностей, сделать обоснованные выводы и прогнозы, а также дать оценку их вероятности. Такими случайными величинами являются прогнозные показатели обстановки для каждой из организаций, продолжающих свою деятельность в условиях военного времени.

На данный момент существует множество способов выделения из сложных вероятностных описаний основных характеристик, взаимосвязь которых подчинена определенному закону. Обычно при решении подобных задач исследователи считают, что распределение случайной величины подчинено нормальному закону, хотя на практике это не всегда так. В случае прогнозирования возможной обстановки и планирования мероприятий ГО для анализа могут быть использованы типовые распределения экстремальных значений, сила воздействия которых значительно превышает ранее наблюдаемые величины. Теории распределения экстремальных значений посвящен ряд публикаций [2–5], более детально ее анализу, направлениям развития, а также основным статистическим аспектам – работы [6–13].

Возможность использования распределений экстремальных значений применительно к специфике ГО подтверждают и многочисленные исследования, связанные с его применением в различных отраслях: исследования продолжительности человеческой жизни, интенсивности радиоактивного излучения [14, 15], прочности материалов [16], наводнений [17–21], сейсмических явлений [22], ливневых осадков [23], надежности технических устройств [24], оценке риска возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) [25].

Так, в работе [25] показано, что при прогнозировании и оценке вероятности наступления ЧС основное внимание должно уделяться не только изучению их динамических частотных закономерностей, но и вероятностным распределениям произошедших событий, а также анализу присущих им закономерностей. Такой анализ позволяет точнее оценить риск ЧС и может быть применен и в сфере ГО для оценки вероятностных значений прогнозных показателей обстановки.

**Описание эксперимента.** Сущность предлагаемого подхода заключается в расчете показателей обстановки для планирования мероприятий ГО (показателей) в отношении организаций, продолжающих свою деятельность в условиях военного времени, с целью выбора их функций распределения. Это позволит определить наиболее вероятные суммарные численные значения показателей, характеризующих возможную обстановку на территории района (города) при применении средств поражения. Общая структурно-логическая схема предлагаемого подхода представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1. – Общая структурно-логическая схема прогнозирования обстановки для планирования мероприятий гражданской обороны на уровне района (города)**

Вышеуказанное предполагает такую последовательность действий:

1. Определяются организации, которые продолжают свою деятельность в условиях военного времени. Для этого органами управления ГО района (города) из общего перечня организаций, определенных республиканскими органами государственного управления, а также местными исполнительными и распорядительными органами, выбираются организации, расположенные на территории района (города). При необходимости эти сведения могут быть получены в установленном порядке по соответствующему запросу. Составляется общий перечень данных организаций.

2. Производится сбор необходимых для определения показателей исходных данных. Они предоставляются руководителями организаций по запросу органов управления ГО. С учетом имеющихся методик данные об организации должны включать в себя:

- среднюю высоту зданий;
- площадь территории;
- плотность застройки;
- общую численность персонала;
- численность наибольшей работающей смены;
- количество и вместимость защитных сооружений ГО.

В организациях для определения средней высоты зданий, площади территории и плотности застройки используются данные, указанные в проектной документации. На основе штатного расписания организации на военное время определяются общая численность ее персонала и численность наибольшей работающей смены. В случае его отсутствия эти данные определяются с учетом нормативной технологической трудоемкости продукции, работ (услуг) и баланса рабочего времени на одного работающего в рабочем году.

3. На основании представленных исходных данных органами управления ГО по каждой организации проводятся расчеты прогнозных показателей медицинской, инженерной, пожарной, химической обстановки, а также показатели, характеризующие необходимые мероприятия для жизнеобеспечения пострадавшего населения. По результатам расчетов составляется сводная таблица численных значений показателей обстановки  $j$ -того вида по  $i$ -той организации ( $\Pi_{i,j}$ ).

4. Для каждой совокупности значений  $\Pi_{i,j}$  вычисляются основные статистические характеристики: среднее значение, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, мода, медиана. По исходным числовым данным выборки для каждого показателя устанавливается закон распределения. По выбранному закону распределения для каждого показателя рассчитываются числовые характеристики. Адекватность закона распределения проверяется по критерию согласия Пирсона при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

Для проверки адекватности выбора закона распределения диапазон изменения числовых значений  $\Pi_{i,j}$  разбивается на  $k$  интервалов, где количество интервалов вычисляется по формуле

$$k \approx 1 + \log_2 n. \quad (1)$$

Определяется число наблюдений в каждом интервале. Количество данных в интервале должно быть больше пяти.

По полученным эмпирическим данным строится гистограмма относительных частот. На основании их сравнения с графиками плотностей теоретических распределений выдвигается основная гипотеза о предполагаемом законе распределения.

Рассчитывается статистика:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (2)$$

где  $n_i$  – количество значений случайной величины, попавших в  $i$ -тый интервал;  $n$  – объем выборки;  $p_i$  – теоретическая вероятность попадания случайной величины в  $i$ -тый интервал.

Теоретическая вероятность попадания случайной величины в  $i$ -тый интервал определяется по формуле

$$p_i = F(x_{i+1}) - F(x_i), \quad (3)$$

где  $F(x)$  – гипотетический теоретический закон распределения вероятностей случайной величины (функция распределения).

Находится число степеней свободы:

$$r = k - 3. \quad (4)$$

По статистической таблице [26] определяется критерий  $\chi_{\alpha,r}^2$ , где  $\alpha$  – значение уровня значимости. Если  $\chi^2 \leq \chi_{\alpha,r}^2$ , то гипотезу о выбранном законе принимают, если  $\chi^2 > \chi_{\alpha,r}^2$ , то гипотезу отвергают.

Строятся графики функций распределения прогнозных показателей, по которым определяются их значения при заданной вероятности.

5. Определяются организации, которые могут быть наиболее вероятными объектами поражения. К их числу целесообразно отнести организации, категоризованные по ГО. Кроме того, к указанным организациям могут быть отнесены и другие объекты, имеющие



важное оборонное и (или) экономическое значение, определяемое местными распорядительными и исполнительными органами.

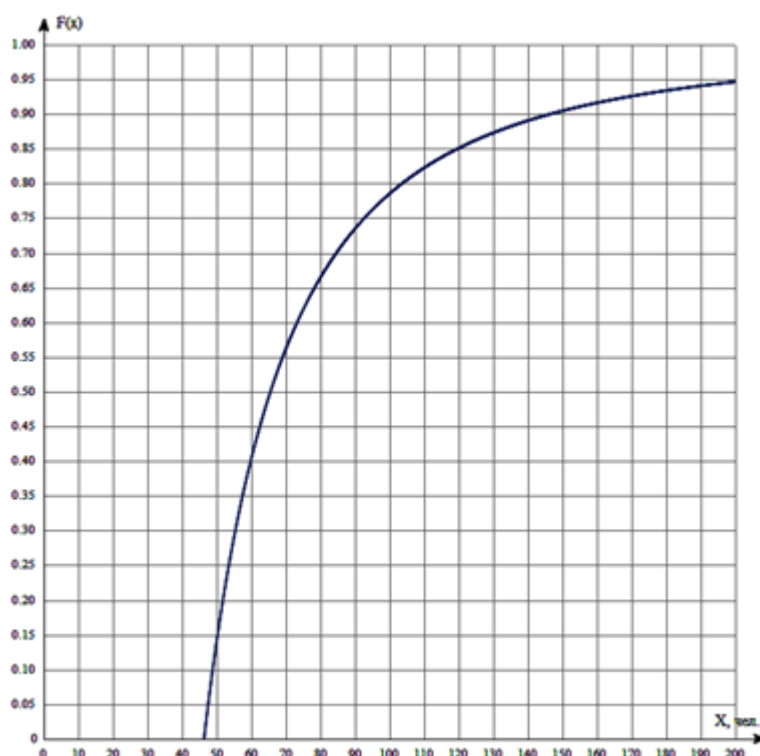
6. Определяются суммарные численные значения прогнозных показателей обстановки для организаций, которые могут быть наиболее вероятными объектами поражения, по формуле

$$П_j^{сумм} = \sum_{i=1}^N П_j^{вер}, \quad (5)$$

где  $П_j^{сумм}$  – суммарное значение прогнозного показателя обстановки  $j$ -того вида;  $П_j^{вер}$  – вероятное значение прогнозного показателя обстановки  $j$ -того вида на одном объекте;  $N$  – количество организаций, которые могут быть наиболее вероятными объектами поражения.

**Полученные результаты.** Для описания показателей нами были использованы функции распределения экстремальных значений I–III типов (Гумбеля, Фреше, Вейбулла) [2, 3], а также другие функции распределения, наиболее часто применяемые в прикладных задачах [5, с. 65]. В результате статистической обработки данных, полученных в ходе вычислительного эксперимента, для каждого вида показателя по указанной методике были определены наиболее приемлемые функции распределения, а также рассчитаны их параметры: среднее значение и среднее квадратичное отклонение. В эксперименте статистически обрабатывались данные по 193 объектам.

Это позволило определить наиболее вероятные значения прогнозных показателей обстановки соответствующих видов. Например, показатель «численность персонала, нуждающегося в жизнеобеспечении» наиболее адекватно описывается функцией распределения Парето. Ее график представлен на рисунке 2.



$$F(x) = 1 - \left( \frac{x}{46,36} \right)^{-2,000004}$$

Параметры:

среднее значение – 139;  
 среднее квадратическое отклонение – 374,05;  
 минимальное значение – 47;  
 максимальное значение – 3056;  
 объем выборки – 193.

Рисунок 2. – График функции распределения Парето для прогнозного показателя «численность персонала, нуждающегося в жизнеобеспечении»

Из представленного графика видно, что показатель «численность персонала, нуждающегося в жизнеобеспечении» на одном объекте, расположенном на территории рассматриваемого района, с вероятностью 0,95 не превысит значение, равное 200.

**Практические рекомендации по применению полученных результатов.** Предлагаемый в статье подход может быть использован для формирования исходных данных и планирования мероприятий ГО на уровне района (города), а также для оценки состояния и готовности районных звеньев территориальных подсистем государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ГСЧС) к выполнению задач в области ГО: например, для оценки достаточности количества создаваемых на местном уровне сил ГО, укомплектованности их личным составом и средствами ГО. Так, для проведения работ по жизнеобеспечению пострадавшего населения в случае применения средств поражения решением начальника ГО района (города) заблаговременно должны быть созданы следующие территориальные формирования гражданской обороны (ТГФ ГО): подвижные пункты продовольственного снабжения, подвижные пункты питания, подвижные пункты вещевого снабжения, звенья подвоза воды. С учетом рекомендаций [27] в общем виде суммарное количество таких формирований может быть определено по формуле

$$N_{\phi} = \sum \frac{N_{НЖ}}{N_{\phi_j}^{жс}}, \quad (6)$$

где  $N_{НЖ}$  – прогнозируемое количество пострадавших, нуждающихся в жизнеобеспечении, чел.;  $N_{\phi_j}^{жс}$  – минимальное количество ТГФ ГО  $j$ -того вида для проведения работ по жизнеобеспечению нормированного количества пострадавших, ед./чел.

Исходя из суммарного количества ТГФ ГО с учетом рекомендуемой их организационно-штатной структуры определяется требуемое количество персонала организаций, подлежащего зачислению в состав этих формирований.

По результатам вычислительного эксперимента для рассматриваемой административно-территориальной единицы полученное суммарное значение прогнозного показателя обстановки «численность пострадавших, нуждающихся в жизнеобеспечении» составило 4000. Отсюда следует, что в случае применения средств поражения для проведения таких работ, как доставка и выдача пострадавшим продуктов питания, обеспечение их горячим питанием, водой, одеждой, бельем и обувью, потребуется создание не менее 2 подвижных пунктов продовольственного снабжения, 27 подвижных пунктов питания, 3 подвижных пунктов вещевого снабжения, 7 звеньев подвоза воды общей численностью 310 человек, что на 23 % меньше, чем по результатам традиционного расчета. Это показывает, что в данном случае созданные формирования ГО смогут гарантированно выполнить необходимые работы, но при условии наличия ресурсных ограничений их общая численность может быть обоснованно оптимизирована.

Предлагаемый методический подход может быть использован для определения необходимого количества:

- пунктов приема временно отселяемого населения;
- пунктов выдачи средств индивидуальной защиты;
- объектов, приспособляемых для санитарной обработки людей, специальной обработки одежды и транспорта;
- защитных сооружений, подвальных и других помещений, пригодных для приспособления под укрытие в соответствии с прогнозируемой численностью пострадавших;
- объемов мероприятий по их заблаговременной подготовке.

Результаты прогнозирования обстановки, возможные объемы и специфика аварийно-спасательных и других неотложных работ должны учитываться при:

- уточнении потребности в средствах индивидуальной защиты для обеспечения пострадавшего населения, других средствах, поставляемых из состава государственного материального резерва;
- определении рационального состава и численности, требуемых ТГФ ГО;

– определении замысла планируемых учений и тренировок с руководящим составом, органами управления и силами ГО;

– уточнении тематики и перечня отрабатываемых в ходе их проведения вопросов.

Рекомендуется ежегодно проводить уточнение исходных данных и перечня организаций, которые могут быть объектами поражения. Эти мероприятия могут планироваться в организационно-методических указаниях по функционированию районных звеньев территориальных подсистем ГСЧС и гражданской обороны на очередной год.

Для выбора наиболее приемлемых функций распределения совокупных прогнозных показателей обстановки должностными лицами, не имеющими специальных познаний в области теории вероятности и математической статистики, могут использоваться специализированные программные пакеты для статистического анализа.

**Заключение.** Таким образом, анализ распределений экстремальных значений показателей дает возможность органам управления ГО спрогнозировать обстановку, которая может сложиться в случае разрушения объектов, расположенных на территории района (города) при применении средств поражения. В отличие от нормального закона распределения, графики функций экстремальных значений не симметричны и обладают более «тяжелыми» хвостами, это дает возможность прогнозировать показатели, численные значения, которых наиболее отличаются от средних по выборке.

Предложенный подход позволяет оценить возможные масштабы и характер последствий применения средств поражения и на этой основе детализировать объемы и содержание подготовительных мероприятий ГО, уточнить сроки их проведения, а также определить необходимые для выполнения этих мероприятий силы, функциональные технические системы, объекты и средства гражданской обороны. Это дает возможность определить экономически целесообразные объемы и характер защитных мероприятий, а также дифференцировать их на уровне района (города) с учетом категорий организаций по ГО.

Перспективным направлением дальнейших исследований является проведение аналогичного вычислительного эксперимента на уровне областей и г. Минска. Это позволит уточнить объемы и содержание мероприятий подготовки ГО на различных уровнях, дифференцировать защитные мероприятия с учетом групп по ГО территорий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О гражданской обороне [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 27 нояб. 2006 г., № 183-З: в ред. Закона Респ. Беларусь от 31.12.2009 г. № 114-З // Консультант Плюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
2. Fisher, R.A. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample / R.A. Fisher, L.H.C. Tippett // Proc. Cambridge Phil. Soc. – 1928. – Vol. 24. – P. 180–190.
3. Gnedenko, B.V. Sur la distribution limite du terme maximum d'une s'erie al'eatoire / B.V. Gnedenko // Annals of mathematics. – 1943. – Vol. 44, № 3. – P. 423–453.
4. David, H.A. Order Statistics / H.A. David. – 2nd edn. – Hoboken: John Wiley and Sons, 1980. – 360 p.
5. Arnold, B.C. A First Course in Order Statistics / B.C. Arnold, N. Balakrishnan, H.N. Nagaraja. – Hoboken: John Wiley and Sons, 1992. – 279 p.
6. Galambos, J. Extreme value theory in applied probability / J. Galambos // Advances in Applied Probability. – 1979. – № 11. – P. 289–290.
7. Galambos, J. The Asymptotic Theory of Extreme Order Statistics / J. Galambos. – 1st edn. – Hoboken: John Wiley and Sons, 1978. – 414 p.
8. Resnick, S.I. Extreme Values, Regular Variation and Point Processes / S.I. Resnick. – New York: Springer, 1987. – 320 p.
9. Leadbetter, M.R. Extremes and Related Properties of Random Sequences and Processes / M.R. Leadbetter, G. Lindgren, H. Rootzen. – New York: Springer, 1983. – 304 p.
10. Gumbel, E.J. Statistics of Extremes / E.J. Gumbel. New York: Columbia University Press, 1958. – 375 p.

11. Castillo, E. Extreme Value Theory in Engineering / E. Castillo. – Cambridge: Academic Press, 1988. – 389 p.
12. Reiss, R.-D. Approximate Distributions of Order Statistics: With Applications to Nonparametric Statistics / R.-D. Reiss. – New York: Springer-Verlag New York, 1989. – 355 p.
13. Harter, H.L. A bibliography of extreme-value theory / H.L. Harter. // Hague: International Statistical Institute. – 1978. – Vol. 46, № 3. – P. 279–306.
14. Gumbel, E.J. La Durée extreme de la vie humaine / E.J. Gumbel. – Paris: Hermann, 1937. – 63 p.
15. Gumbel, E.J. Les intervalles extremes entre les 6 missions radioactives / E.J. Gumbel, J. Phys // Journal de Physique et de Radium 8. – 1937. – № 8. – P. 446–452.
16. Weibull, W. A statistical theory of the strength of materials / W. Weibull. – Stockholm: Generalstabens Anstalts Förlag, 1939. – 45 p.
17. Gumbel, E.J. The return period of flood flows / E.J. Gumbel // Ann. Math. Statist. – 1941. – № 12. – P. 163–190.
18. Gumbel, E.J. On the plotting of flood discharges / E.J. Gumbel // Trans. Amer. Geophys. Union. – 1943. – № 24 (2). – P. 699–719.
19. Gumbel, E.J. Floods estimated by probability methods / E.J. Gumbel // Engrg. News Record. – 1945. – № 134. – P. 97–101.
20. Gumbel, E. J. The Statistical Forecast of Floods / E.J. Gumbel. – Columbus: Ohio Water Resources Board, 1949. – P. 1–21. – (Bulletin № 15).
21. Rantz, S.F. Magnitude and frequency of floods in the Columbia river basin / S.F. Rantz, H.C. Riggs. // Water Supply Paper, 1949. – P. 317–476. – (Water Supply Paper № 1080).
22. Nordquist, J.M. Theory of largest values, applied to earthquake magnitudes / J.M. Nordquist // Trans. Amer. Geophys. Union. – 1945. – № 26. – P. 29–31.
23. Potter, W.D. Normalcy tests of precipitation and frequency studies of runoff on small watersheds / W.D. Potter. – Washington: U.S. Department of Agriculture, 1949. – 66 p. – (Technical Bulletin № 985).
24. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
25. Акимов, В.А. Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения: монография / В.А. Акимов, А.А. Быков, Е.Ю. Щеткин. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС(ФЦ), 2009. – 524 с.
26. Fisher, R.A. Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research / R.A. Fisher, F. Yates. – 6th ed. – London: Longman Group. – 1963. – Table IV, 146 p.
27. Об установлении примерных организационно-штатных структур, табеля оснащения средствами гражданской обороны и расчета создания гражданских формирований гражданской обороны [Электронный ресурс]: постановление МЧС Респ. Беларусь, 28 авг. 2018 г., № 49 // Консультант Плюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.

**Подготовка мероприятий гражданской обороны на основе анализа распределений  
прогнозных показателей возможной обстановки**

**Preparation of civil defense measures based on the analysis of distributions  
of forecast indicators of possible situation**

---

***Шамукова Наталья Валентиновна***

кандидат физико-математических наук, доцент

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

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

***Natalya V. Shamukova***

PhD in Physics and Mathematics Sciences,  
Associate Professor

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

Address: 220118, Belarus, Minsk,  
ul. Mashinostroiteley, 25  
e-mail: shamukova\_n@mail.ru

---

***Бордак Сергей Сергеевич***

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

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

***Sergey S. Bordak***

The 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: 220118, Belarus, Minsk,  
ul. Mashinostroiteley, 25  
e-mail: bordak.ucp@gmail.com

## PREPARATION OF CIVIL DEFENSE MEASURES BASED ON THE ANALYSIS OF DISTRIBUTIONS OF FORECAST INDICATORS OF POSSIBLE SITUATION

Shamukova N.V., Bordak S.S.

*Purpose.* Development of methodological approaches to the preparation of measures of civil defense.

*Methods.* Induction, deduction, analysis and synthesis methods were used. Theoretical approaches to theory of the distribution of extreme values.

*Findings.* The article presents an approach to the formation of the initial data necessary for civil defense planning. The sequence of checking the adequacy of the selected function to describe the predictive indicators of the situation in the event of the destruction of objects located on its territory when using weapons, and calculating their total numerical values is outlined. A description of the experiment, the results obtained, as well as practical recommendations for their use.

*Application field of research.* Further researches in this area will allow distributing the available resources of forces and means of civil protection differentially, planning sufficient and economically adaptive measures of civil protection, and promote the decrease in risk level, economic damage, harm for life and human health, as well as reduce the harm to the environment.

*Conclusions.* The analysis of the distribution of indicators using the distributions of extreme values makes it possible for government agencies to predict the possible situation that may arise in case of the destruction of objects. In contrast to the law of normal distribution, the graphs of functions of extreme values allow us to predict the numerical values of the indicators, which differ from the average value in the sample.

*Keywords:* civil defense, planning of civil defense measures, means of destruction, advance preparation of civil defense, law of random value distribution, Pearson's chi-square test.

(The date of submitting: April 10, 2019)

### REFERENCES

1. *O grazhdanskoy oborone* [About civil defense]: *Law of the Republic of Belarus, November 27, 2006, No. 183-Z.* Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
2. Fisher R.A., Tippett L.H.C. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample *Proc. Cambridge Phil. Soc.*, 1928. Vol. 24. Pp. 180–190.
3. Gnedenko B.V. Sur la distribution limite du terme maximum d'une s'erie al'eatoire [On the limit distribution of the maximum term of a random series]. *Annals of mathematics*, 1943. Vol. 44, No. 3. Pp. 423–453. (fra)
4. David H.A. *Order Statistics*. Hoboken: John Wiley and Sons, 1980. 360 p.
5. Arnold B.C., Balakrishnan N., Nagaraja H.N. *A First Course in Order Statistics*. Hoboken: John Wiley and Sons, 1992. 279 p.
6. Galambos J. Extreme value theory in applied probability. *Advances in Applied Probability*, 1979. No. 11. Pp. 289–290.
7. Galambos J. *The Asymptotic Theory of Extreme Order Statistics*. Hoboken: John Wiley and Sons, 1978. 414 p.
8. Resnick S.I. *Extreme Values, Regular Variation and Point Processes*. New York: Springer, 1987. 320 p.
9. Leadbetter M.R., Lindgren G., Rootzen H. *Extremes and Related Properties of Random Sequences and Processes*. New York: Springer, 1983. 304 p.
10. Gumbel E. J. *Statistics of Extremes*. New York: Columbia University Press, 1958. 375 p.
11. Castillo E. *Extreme Value Theory in Engineering*. Cambridge: Academic Press, 1988. 389 p.
12. Reiss R.-D. *Approximate Distributions of Order Statistics: With Applications to Nonparametric Statistics*. New York: Springer-Verlag New York, 1989. 355 p.
13. Harter H.L. A bibliography of extreme-value theory. *Hague: International Statistical Institute*, Vol. 46, No. 3. 1978. Pp. 279–306.
14. Gumbel E. J. *La Durée extreme de la vie humaine* [The extreme duration of human life]. Paris: Hermann, 1937. 63 p. (fra)

15. Gumbel E.J., Phys J. Les intervalles extremes entre les 6missions radioactives [He extreme intervals between the radioactive transmissions]. *Journal de Physique et de Radium* 8, 1937. No. 8. Pp. 446–452. (fra)
16. Weibull W. *A statistical theory of the strength of materials*. Stockholm: Generalstabens Anstalts Förlag, 1939. 45 p.
17. Gumbel E.J. The return period of flood flows. *Ann. Math. Statist.*, 1941. No. 12. Pp. 163–190.
18. Gumbel E.J. On the plotting of flood discharges. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 1943. No. 24 (2). Pp. 699–719.
19. Gumbel E.J. Floods estimated by probability methods. *Engrg. News Record*, 1945. No. 134. Pp. 97–101.
20. Gumbel E.J. *The Statistical Forecast of Floods*. Columbus: Ohio Water Resources Board, 1949. P. 1–21. (Bulletin No. 15).
21. Rantz S.F., Riggs H.C. *Magnitude and frequency of floods in the Columbia river basin*. Washington: U.S. Geological Survey, 1949. Pp. 317–476. (Water Supply Paper No. 1080).
22. Nordquist J.M. Theory of largest values, applied to earthquake magnitudes *Trans. Amer. Geophys. Union*. 1945. No. 26. P. 29–31.
23. Potter W.D. *Normalcy tests of precipitation and frequency studies of runoff on small watersheds*. Washington: U.S. Department of Agriculture, 1949. 66 p. (Technical Bulletin № 985).
24. Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Solov'ev A.D. *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti* [Mathematical methods in the theory of reliability]. Moscow: Nauka, 1965. 524 p. (rus)
25. Akimov V.A., Bykov A.A., Shchetkin E.Yu. *Vvedenie v statistiku ekstremal'nykh znacheniy i ee prilozheniya: monografiya* [Introduction to extreme value statistics and its applications]: monograph. Moscow: VNIPO EMERCOM of Russia, 2009. 524 p (rus).
26. Fisher R.A., Yates F. *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*. London: Longman Group, 1963. Table IV, 146 p.
27. *Ob ustanovlenii primernykh organizatsionno-shtatnykh struktur, tabelya osnashcheniya sredstvami grazhdanskoy oborony i rascheta sozdaniya grazhdanskikh formirovaniy grazhdanskoy oborony* [On the establishment of exemplary organizational and staff structures, a sheet of equipment for civil defense and the calculation of the creation of civilian civil defense forces]: *Decree of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, August 28, 2018, No.49*. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)

УДК 351.861

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Кирдун А.Л., Назин А.Е., Кулешов Ю.Е.

Предложена методика определения критически важных объектов инфраструктуры обеспечения жизнедеятельности населения, основанная на методе анализа иерархий и экспертных оценок.

*Ключевые слова:* критическая инфраструктура, сектор критической инфраструктуры, объект критической инфраструктуры, степень важности объекта, показатель оценки степени важности объекта.

(Поступила в редакцию 3 апреля 2019 г.)

**Введение.** В настоящее время во многих странах мира большое внимание уделяется вопросу обеспечения безопасности **критически важных объектов** (КВО) инфраструктуры, нарушение функционирования которых может нанести существенный ущерб национальной безопасности государства и его гражданам в экономической, социальной и других сферах.

Под инфраструктурой понимается совокупность сооружений, зданий, систем и служб, необходимых для функционирования отраслей материального производства и обеспечения условий жизнедеятельности общества (государства) [1]. С целью выделения из множества объектов инфраструктуры КВО в Республике Беларусь, как и в большинстве стран мира, введен термин «критическая инфраструктура» (КИ). Под КИ понимается инфраструктура, являющаяся жизненно важной для государства, отказ или разрушение которой может оказать значительное отрицательное воздействие на национальную безопасность Республики Беларусь [2].

Согласно [3] критически важный объект – это ключевой элемент КИ (объекты социального, производственного, инженерно-транспортного, энергетического, информационно-коммуникационного и других секторов инфраструктуры). Разрушение (повреждение) КВО в результате акта терроризма или массовых беспорядков может способствовать дестабилизации общественного порядка и достижению иных целей терроризма и (или) повлечь за собой человеческие жертвы, причинение вреда здоровью людей или окружающей среде, значительный материальный ущерб и нарушение условий жизнедеятельности.

К КВО, как правило, относятся объекты [4]: ядерно опасные и (или) радиационно опасные; химические предприятия; биологически опасные; фармакологические и биохимические научно-исследовательские лаборатории, предприятия по производству лекарств и д. р.; техногенно опасные; пожаровзрывоопасные; государственного управления, информационной и телекоммуникационной инфраструктуры.

Следует отметить, что при выявлении (исследовании) КВО КИ возникает ряд трудностей, основными из которых являются: невозможность определения всех взаимосвязей между объектами КИ и отсутствие математического аппарата, позволяющего оценить количественные показатели степени важности и уязвимости объектов.

Данные обстоятельства вызвали необходимость разработки методики определения КВО КИ обеспечения жизнедеятельности населения, в которой эти трудности были бы преодолены.

**Основная часть.** При разработке методики использовался подход, изложенный в [4], а также метод анализа иерархий (МАИ), который нашел широкое применение в ходе решения трудноформализуемых задач [5–7]. Суть МАИ состоит в декомпозиции проблемы на все более простые составляющие части и обработке последовательности суждений лица, принимающего решение, о степени влияния факторов нижнего уровня иерархии по отношению к фактору верхнего уровня с использованием шкалы относительной важности.



В результате может быть определена степень важности (приоритет) факторов (объектов) иерархии по отношению к общей цели анализа в процентном исчислении [6].

Общая структура методики, состоящей из трех этапов, представлена на рисунке 1.

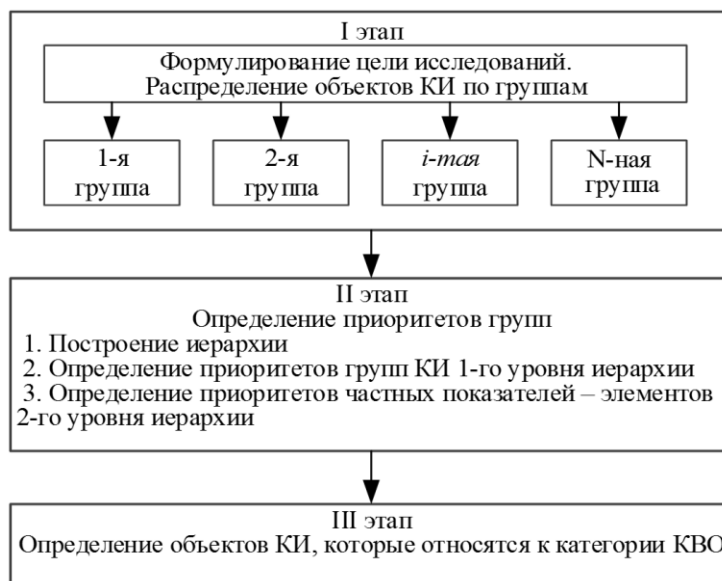


Рисунок 1. – Общая структура методики определения КВО КИ обеспечения жизнедеятельности населения

Рассмотрим подробнее содержание каждого этапа.

**I этап. Формулирование цели исследований. Распределение объектов КИ по группам.** Анализ публикаций по вопросу определения КВО КИ [4, 8–10] позволяет утверждать, что в современных войнах и вооруженных конфликтах одной из важнейших целей для поражения противника считается гражданская инфраструктура, прекращение функционирования которой приводит к ущербу для государства, сопоставимому с ударами, наносимыми вооруженными силами. С учетом этого целью исследований является определение КВО на основе оценки степени важности (приоритетов) объектов, входящих в КИ. При распределении объектов КИ по группам следует учитывать их функциональное предназначение, а также степень важности выпускаемой продукции (оказываемых услуг) и степени опасности для жизни, здоровья населения и окружающей среды при нарушении их функционирования [8–10].

Проведенное авторами исследование позволило выделить три группы объектов КИ, воздействие на которые может привести к необратимым последствиям.

**Первая группа.** Объекты секторов: топливно-энергетического, промышленного, водообеспечения, информационно-телекоммуникационного, государственного управления.

**Вторая группа.** Объекты секторов: банковско-финансового, транспортного, химической промышленности, биологически опасного.

**Третья группа.** Объекты секторов: продовольственного, здравоохранения, чрезвычайных служб, военно-промышленного комплекса.

**II этап. Определение приоритетов групп.** Данный этап состоит из трех подэтапов:

- построение иерархии;
- определение приоритетов групп КИ 1-го уровня иерархии;
- определение приоритетов частных показателей – элементов 2-го уровня иерархии.

На основе анализа вышеприведенных групп и выбранных показателей объектов была построена иерархия для оценки степени важности объектов КИ обеспечения жизнедеятельности населения, структурная схема которой представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2. – Структурная схема иерархии степени важности объектов КИ обеспечения жизнедеятельности населения**

Приоритеты частных показателей элементов иерархии 1-го уровня определяются из матрицы попарных сравнений относительно цели 0-го уровня. Приоритеты показателей элементов иерархии 2-го уровня определяются из матриц попарных сравнений 2-го уровня относительно показателей элементов иерархии 1-го уровня, а затем полученные столбцы приоритетов 2-го уровня иерархии взвешиваются путем перемножения матрицы, составленной из столбцов-приоритетов 2-го уровня, на матрицу-столбец приоритетов 1-го уровня.

Следует отметить, что при определении коэффициента значимости элементов иерархии из матрицы попарных сравнений экспертным методом может быть использована индивидуальная или групповая экспертиза. При групповой экспертизе мнения специалистов для определения элементов матрицы попарных сравнений усредняются. При этом учитываются коэффициенты степени компетентности каждого эксперта [10–12].

Рассмотрим эту процедуру подробнее.

Вектор приоритетов элементов матриц 1-го и 2-го уровней иерархии определяется следующим образом [6].

По элементам  $i$ -той строки для  $i = 1 \dots n$  матрицы  $A = (a_{ij})$  размера  $n \times n$  (в нашем случае  $n = 3$  для 1-го уровня и  $n = 7$  для 2-го уровня) по формулам (1) – (3) определяются оценки компонентов собственного вектора  $X$ , который является вектором приоритетов элементов матрицы  $A$ :

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_i \\ x_n \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $x_i$  –  $i$ -тая компонента собственного вектора приоритетов, причем  $\sum_{i=1}^n x_i = 1$ ;

$$x_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}, \quad (2)$$

где  $a_i$  – среднегеометрическое значение элементов  $i$ -той строки матрицы  $A$ ;

$$a_i = \sqrt[n]{a_{i1} a_{i2} \dots a_{in}}, \quad (3)$$

где  $a_{ij}$  – элемент матрицы  $A$  ( $i = 1 \dots n$ ;  $j = 1 \dots n$ ;  $j$  – номер столбца).

Используя формулы (1)–(3), можно определить вектор приоритетов элементов для каждой из трех матриц 1-го уровня иерархии.

Степень согласованности суждений определяется по индексу согласованности (ИС), который вычисляется формуле

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (4)$$

где  $n$  – размер матрицы;  $\lambda_{max}$  – сумма элементов вектора  $\Lambda$ , который представляет собой вектор-столбец вида

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_i \\ \lambda_n \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Т. е.  $\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ .

Вектор  $\Lambda$  определяется из выражения

$$\Lambda = AX. \quad (6)$$

После нахождения ИС определяется отношение согласованности (ОС) по формуле [6]

$$ОС = \frac{ИС}{СС} 100 \%, \quad (7)$$

где ИС – индекс согласованности; СС – средняя согласованность (определяется из таблицы 1, [6]).

**Таблица 1. – Средняя согласованность**

Размер матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СС	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Величина ОС должна быть порядка 10 % или менее, чтобы быть приемлемой. Иногда допускается 20 %, но не более. Если ОС выходит за пределы, то матрица  $A$  считается несогласованной, и суждения экспертов необходимо проверить [6].

В нашем случае, с учетом рисунка 2 при нахождении вектора приоритетов элементов иерархии 1-го уровня необходимо учитывать, что матрица попарных сравнений будет иметь размер  $3 \times 3$ . При нахождении вектора приоритетов элементов иерархии 2-го уровня будут иметь место три матрицы попарных сравнений размером  $7 \times 7$ .

Далее была составлена группа экспертов и получена одна матрица попарных сравнений размера  $3 \times 3$  для 1-го уровня иерархии и три матрицы размера  $7 \times 7$  для 2-го уровня иерархии.

Аналогично проводится обработка матриц 1-го и 2-го уровней иерархии.

ОС для матрицы попарных сравнений элементов 1-го уровня иерархии составляет 5 %.

Вычисленные значения вектора приоритетов групп КИ для 1-го уровня иерархии представлены в таблице 2.

**Таблица 2. – Значения вектора приоритетов групп КИ 1-го уровня иерархии**

Группы объектов КИ 1-го уровня иерархии	Значения приоритетов групп КИ 1-го уровня иерархии с учетом степени важности для обеспечения ЖДН, $x_i$
1-я группа	0,53
2-я группа	0,34
3-я группа	0,13
$\sum x_i (i=1...3)$	1

Как следует из таблицы 2, наивысший приоритет имеют объекты секторов 1-й группы (рис. 2). Воздействие на объекты данных секторов КИ могут ощутить широкие массы населения. Важной особенностью объектов данных секторов является минимизация прямых потерь населения.

Наименьшее влияние по всем показателям имеют объекты секторов КИ, относящиеся к 3-й группе, т. к. по сравнению с другими группами объектов секторов они играют менее существенную роль для обычной жизнедеятельности населения [4, 8, 9].

Вычисленные значения вектора приоритетов показателей объектов КИ 2-го уровня иерархии  $K_i$  представлены в таблице 3.

**Таблица 3. – Значения вектора приоритетов показателей объектов КИ 2-го уровня иерархии**

Показатели	$K_i$
П 1 – степень крупномасштабного уничтожения национальных ресурсов	0,22
П 2 – территория заражения (загрязнения), км <sup>2</sup>	0,15
П 3 – численность населения, которое может пострадать, тыс. чел.	0,23
П 4 – степень массового нарушения правопорядка	0,11
П 5 – степень ущерба, при остановке непрерывных производств	0,10
П 6 – степень ущерба при нарушении управляемости государства и регионов при возникновении чрезвычайной ситуации	0,12
П 7 – нарушение стабильности банковско-финансовой системы	0,07
$\sum K_i (i = 1 \dots 7)$	1

Согласованность всей иерархии находится путем перемножения каждого ИС матриц 2-го уровня иерархии на приоритет соответствующего фактора элементов иерархии 1-го уровня и последующего суммирования полученных чисел. Затем результат делится на среднюю согласованность, определенную для соответствующего размера матрицы по таблице 1. С учетом этого отношение согласованности всей иерархии определяется по формуле [7]

$$OC = \frac{\sum_{i=1}^n IC_i x_i}{CC} 100 \%, \quad (8)$$

где  $OC$  – отношение согласованности для всей иерархии;  $IC_i$  – индекс согласованности  $i$ -той матрицы уровня 2 ( $i = 1 \dots n$ );  $CC$  – средняя согласованность (определяется из таблицы 1);  $n$  – размер матрицы 1-го уровня;  $x_i$  –  $i$ -тая компонента вектора приоритетов матрицы 1-го уровня.

Т. к. ИС матриц 2-го уровня иерархии составили соответственно 0,07; 0,028; 0,047, из выражения (8) с учетом данных таблицы 1 получаем значение  $OC$  для всей иерархии. Оно составляет 4 %, что соответствует приемлемой согласованности всей иерархии.

**III этап. Определение объектов КИ, которые относятся к категории КВО.** Все показатели объектов ( $П_1 - П_n, n = n_1 + n_2$ ) делятся на две группы:

1-я группа ( $n_1$  показателей) – основные показатели, которые могут быть получены из сведений, имеющихся об объекте.

2-я группа ( $n_2$  показателей,  $n_2 = n - n_1$ ) – дополнительные показатели, которые определяются экспертами и отвечают на вопрос «Приводит ли нарушение функционирования данного объекта к снижению уровня качества ЖДН по этому показателю» («да» – значение 1, «нет» – значение 0).

Значения показателей объектов  $x_i$  заносятся в таблицу 4. По каждому основному показателю из таблицы 4 определяется его минимальное и максимальное значение. Результаты расчетов заносятся в соответствующие колонки формализованной таблицы, которая составляется для каждого  $j$ -того объекта (табл. 5–8).

Вклад ( $Y_i$ ) каждого основного показателя в оценку важности рассматриваемого объекта определяется по формуле

$$Y_i = k_i \frac{X_i - m}{M - m}, \quad (9)$$

где  $m$  и  $M$  – соответственно минимальное и максимальное значение показателя для каждого объекта;  $X_i$  – фактическое значение  $i$ -того показателя для рассматриваемого объекта из таблицы 4;  $k_i$  – коэффициент значимости  $i$ -того показателя, определяемого на 2-м этапе.

По каждому объекту полученные значения вкладов основных и дополнительных показателей суммируются, и определяется значение важности объекта  $Y_{\Sigma}$ . Результаты расчетов заносятся в формализованную таблицу каждого  $j$ -того объекта (табл. 5–8).

Вычисленные значения важности каждого объекта  $Y_{\Sigma j}$  заносим в таблицу 9. Используя результаты вычислений показателей (табл. 9), определяем, относятся ли исследуемые объекты к категории критически важных в соответствии с общим критерием для сравнительной оценки объектов КИ [3, 8, 9]:

1-й уровень (наиболее важный объект). Критериальное значение показателя соответствует  $0,6 \leq Y_{\Sigma j} \leq 1$ .

2-й уровень (промежуточный объект). Критериальное значение показателя соответствует  $0,25 \leq Y_{\Sigma j} \leq 0,6$ .

3-й уровень (наименее важный объект). Критериальное значение показателя соответствует  $0 \leq Y_{\Sigma j} \leq 0,25$ .

В методике принято идентифицировать объект КИ как КВО при величине показателя  $Y_{\Sigma j} \geq 0,25$  [3].

**Пример расчета показателей.** В качестве примера рассмотрим четыре условных объекта, исходные данные которых приведены в таблице 4.

**Таблица 4. – Исходные данные объектов**

Показатель	Объект 1	Объект 2	Объект 3	Объект 4
П 2	200	100	75	150
П 3	100	50	25	100

Расчеты для объектов 1–4 представлены в таблицах 5–8.

**Таблица 5. – Расчеты для 1-го объекта**

Показатель	Минимальное значение, $m$	Максимальное значение, $M$	Фактическое значение на объекте, $X_i$	Преобразованное значение, $X_i - m / M - m$	Коэф. значимости показателя, $K_i$	Вклад показателя, $Y_i$
П 1			0	0	0,22	0
П 2	75	200	200	1	0,15	0,15
П 3	25	100	100	1	0,23	0,23
П 4			1	1	0,11	0,11
П 5			0	0	0,1	0
П 6			1	1	0,12	0,12
П 7			0	0	0,07	0
$\sum K_i$					1	
$Y_{\Sigma 1}$						0,61

**Таблица 6. – Расчеты для 2-го объекта**

Показатель	Минимальное значение, $m$	Максимальное значение, $M$	Фактическое значение на объекте, $X_i$	Преобразованное значение, $X_i - m / M - m$	Коэф. значимости показателя, $K_i$	Вклад показателя, $Y_i$
П 1			1	1	0,22	0,22
П 2	75	200	100	0,2	0,15	0,03
П 3	25	100	50	0,33	0,23	0,076
П 4			0	0	0,11	0
П 5			0	0	0,1	0
П 6			1	1	0,12	0,12
П 7			1	1	0,07	0,07
$\sum K_i$					1	
$Y_{\Sigma 2}$						0,516

Таблица 7. – Расчеты для 3-го объекта

Показатель	Минимальное значение, $m$	Максимальное значение, $M$	Фактическое значение на объекте, $X_i$	Преобразованное значение, $X_i - m / M - m$	Коэф. значимости показателя, $K_i$	Вклад показателя, $Y_i$
П 1			0	0	0,22	0
П 2	75	200	75	0	0,15	0
П 3	25	100	25	0	0,23	0
П 4			1	1	0,11	0,11
П 5			1	1	0,1	0,1
П 6			0	0	0,12	0
П 7			0	0	0,07	0
$\sum K_i$					1	
$Y_{\Sigma 3}$						0,21

Таблица 8. – Расчеты для 4-го объекта

Показатель	Минимальное значение, $m$	Максимальное значение, $M$	Фактическое значение на объекте, $X_i$	Преобразованное значение, $X_i - m / M - m$	Коэф. значимости показателя, $K_i$	Вклад показателя, $Y_i$
П 1			0	0	0,22	0
П 2	75	200	150	0,6	0,15	0,09
П 3	25	100	100	1	0,23	0,23
П 4			1	1	0,11	0,11
П 5			0	0	0,1	0
П 6			1	1	0,12	0,12
П 7			0	0	0,07	0
$\sum K_i$					1	
$Y_{\Sigma 4}$						0,45

Результаты расчетов для объектов 1–4 представлены в таблице 9. Из этой таблицы видно, что объекты 1, 2 и 4 принадлежат к категории КВО, т. е.  $N_1 = 3$ .

Таблица 9. – Результаты расчетов для объектов 1–4

№ объекта	Значение важности объекта, $Y_{\Sigma j}$	Уровень относительной важности объекта	Характеристика уровня относительной важности объекта	Объект принадлежит категории КВО
1	0,61	1	наиболее важный объект	Да
2	0,516	2	промежуточный объект	Да
3	0,21	3	наименее важный объект	Нет
4	0,45	2	промежуточный объект	Да

**Вывод.** Рассмотрена методика определения критически важных объектов инфраструктуры обеспечения жизнедеятельности населения, позволяющая из множества объектов КИ выделить принадлежащие категории КВО. При этом определение принадлежности объекта категории КВО производится на основе расчета показателя степени его важности, учитывающего степень важности группы объектов секторов, в которую он входит. Применение разработанной методики позволит не только определить объекты, принадлежащие категории КВО, но и проводить оценку степени важности КВО объективно и в короткие сроки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новый энциклопедический словарь – М.: Большая Российская энциклопедия, Рипол Классик, 2005. – 1456 с.
2. О некоторых мерах по обеспечению критически важных объектов инфраструктуры [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 25 окт. 2011 г., № 486 // Консультант Плюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.

3. О комиссии по противодействию экстремизму и борьбе с терроризмом [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 17 авг. 2015 г., № 356 // Консультант Плюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
4. Методика отнесения объектов государственной и негосударственной собственности к критически важным объектам для национальной безопасности Российской Федерации. – М.: МЧС России, 2012. – 29 с.
5. Марков, Л.Н. Анализ и процедуры принятия решений: учеб. пособие / Л.Н. Марков. – Минск: Ин-т управления и предпринимательства, 2001. – 163 с.
6. Саати, Т. Аналитическое планирование / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
7. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
8. Баранник, Л. Организация обеспечения безопасности критической инфраструктуры в США / Л. Баранник, С. Климентьев // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 8. – С. 3–10.
9. Кондратьев, А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2012. – № 1. – С. 19–30.
10. Скрыпник, А.В. Методический аппарат ранжирования критически важных объектов противника в целях решения задачи силового стратегического сдерживания / А.В. Скрыпник // Вооружение и экономика. – 2011. – № 3. – С. 129–140.
11. Коломоец, Ф.Г. Основы системного анализа и теории принятия решений: пособие для исследователей, управленцев и студентов вузов / Ф.Г. Коломоец. – Минск: Тесей, 2006. – 320 с.
12. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдудевский (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – (В пер.). – Т. 3: Эффективность технических систем. – 328 с.

**Методика определения критически важных объектов инфраструктуры обеспечения жизнедеятельности населения**

**Methods for determining the critical infrastructure of the life support of the population**

---

***Кирдун Алексей Леонидович***

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

Адрес: 220103, Беларусь, г. Минск,  
ул. Славинского, 4/3  
e-mail: alkir13@bk.ru

***Aliaksei L. Kirdun***

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

Address: 220103, Belarus, Minsk,  
ul. Slavinskogo, 4/3  
e-mail: alkir13@bk.ru

---

***Назин Анатолий Егорович***

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Республики Беларусь», ведущий научный сотрудник

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

***Anatoli E. Nazin***

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Institution «Research Institute of the Armed Forces of the Republic of Belarus», Leading Researcher

Address: 220103, Belarus, Minsk,  
ul. Slavinskogo, 4/3

---

***Кулешов Юрий Евгеньевич***

кандидат военных наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», военный факультет, начальник факультета

Адрес: 220013, Беларусь, г. Минск,  
ул. П. Бровки, 6  
e-mail: Yu.Kuleshov@bsuir.by

***Yury E. Kuliashou***

PhD in Military Sciences, Associate Professor

The educational institution «Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics», Military Faculty, Head of Faculty

Address: 220013, Belarus, Minsk,  
ul. P. Brovki, 6  
e-mail: Yu.Kuleshov@bsuir.by



## METHODS FOR DETERMINING THE CRITICAL INFRASTRUCTURE OF THE LIFE SUPPORT OF THE POPULATION

**Kirdun A.L., Nazin A.E., Kuliashou Yu.E.**

*Purpose.* The article proposes a method for determining the critical infrastructure of the life support of the population.

*Methods.* The article based on the method of analyzing hierarchies and expert assessments.

*Findings.* A variant of critical infrastructure is proposed. The method allows defining critical infrastructure objects, that have critical level of importance.

*Applicacions field of research.* A method for determining the critical infrastructure of the life support of the population not only allows defining critical infrastructure objects, but also accomplishing the evaluation of importance level within a short period of time.

*Conclusions.* In the article were examined a method for determining the critical infrastructure of the life support of the population, allowing to choose objects that belongs to category of critical infrastructure objects. A method can be used in actions of public administration.

Keywords: critical infrastructure, critical infrastructure sector, critical infrastructure object, importance level of object, indicator of importance level estimation of object.

(The date of submitting: April 3, 2019)

### REFERENCES

1. *Novyy entsiklopedicheskiy slovar'* [New encyclopedic dictionary]. Moscow: Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya, Ripol Klassik, 2005. 1456 p. (rus)
2. *O nekotorykh merakh po obespecheniyu kriticheski vazhnykh ob"ektov infrastruktury* [On some measures to ensure the security of critical facilities informatization]: *Decree of the President of the Republic of Belarus No. 486, October 29, 2011*. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
3. *O komissii po protivodeystviyu ekstremizmu i bor'be s terrorizmom* [About the commission to counter extremism and the fight against terrorism]: *Decree of the President of the Republic of Belarus No. 356, August 17, 2015*. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2019. (rus)
4. *Metodika otneseniya ob"ektov gosudarstvennoy i negosudarstvennoy sobstvennosti k kriticheski vazhnym ob"ektam dlya natsional'noy bezopasnosti Rossiyskoy federatsii* [Method for the Assignment of state and private property to critical objects for the National Security of Russian Federation]. Moscow: EMERCOM of Russia, 2012. 29 p. (rus)
5. Markov L.N. *Analiz i protsedury prinyatiya resheniy: uch. pos.* [Analysis and decision making procedures: Teaching aid]. Minsk: Institute of Management and Entrepreneurship, 2001. 163 p. (rus)
6. Saaty T., Kerns K. *Analiticheskoe planirovanie* [Analytic planning process]. Moscow: Radio i svyaz', 1991. 224 p. (rus)
7. Saaty T. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy* [Decisions. Analytic Hierarchy Process]. Moscow: Radio i svyaz', 1993. 316 p. (rus)
8. Barannik L., Clementieu S. Organizatsiya obespecheniya bezopasnosti kriticheskoy infrastruktury v SShA [Organization providing security of critical infrastructure in the United States]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2009. No. 8. Pp. 3–10. (rus)
9. Kondratyev A. Sovremennye tendentsii v issledovanii kriticheskoy infrastruktury v zarubezhnykh stranakh [Current trends in the study of critical infrastructure in foreign countries]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2012. No. 1. Pp. 19–30. (rus)
10. Skripnic A.V. Metodicheskiy apparat ranzhirovaniya kriticheski vazhnykh ob"ektov protivnika v tselyakh resheniya zadachi silovogo strategicheskogo sderzhivaniya [The methodical device of ranging of crucial objects of the opponent with a view of the decision of power strategic deterrence]. *Armament and Economics*, 2011. No. 3. Pp. 129–140. (rus)
11. Kolomoets F.G. *Osnovy sistemnogo analiza i teorii prinyatiya resheniy: posobie dlya issledovateley, upravlentsev i studentov vuzov* [Fundamentals of systems analysis and decision theory]. Minsk: Tesey, 2006. 320 p. (rus)
12. Avduevskiy V.S. et al. *Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: spravochnik* [Reliability and efficiency in engineering in 10 Vol.]. Moscow: Mechanical, 1988. Vol. 3. *Effektivnost' tekhnicheskikh sistem* [Efficiency of technical systems]. 328 p. (rus)

УДК 159.99

## МОДЕЛЬ НОРМАТИВНО ПРЕДПИСАННОГО ПОВЕДЕНИЯ СПАСАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ БОЕВОЙ РАБОТЫ

Сергеев В.Н.

Представлена модель нормативно предписанного поведения спасателя, позволяющая осуществлять функциональный анализ его действий в условиях боевой работы. Отмечается, что регулятором указанного поведения является так называемый легальный тип контроля. Исследованы механизмы моделирования требуемого поведения посредством нормативных установлений, способы повышения его вероятности, инструменты трансфера поведения в различных ситуациях. Проведено различие паттернов индивидуального поведения, а также его социальных форм, способствующих совокупному эффекту совместных действий спасателей.

*Ключевые слова:* спасатель, боевые действия, боевая подготовка, нормативно предписанное поведение, легальный контроль, управляемое правилами поведение, взаимосвязанные контингенции подкрепления.

(Поступила в редакцию 10 апреля 2019 г.)

**Введение.** Предназначением спасателя в условиях боевых действий является исполнение боевых задач, а именно, спасания людей в случае угрозы их жизни и здоровью (основная боевая задача) и ликвидация пожара в кратчайшие сроки в размерах, определяемых возможностями привлеченных к его тушению сил и средств (ст. 2 Боевого устава) [1].

В этой связи ключевое значение приобретает анализ механизмов, определяющих профессиональное поведение в момент боевой работы, а также роли, которую играют в этом процессе нормативно установленные правила. Это позволит восполнить и некоторый пробел в психологических исследованиях, сформировавшийся к настоящему времени. На данный момент имеется достаточно солидный объем работ, касающихся деятельности спасателя, но большинство из них посвящено вопросам психической жизни до чрезвычайной ситуации и после нее (и в связи с ней). А инструментарий психологической оценки боевой работы как таковой развит пока недостаточно, в том числе из-за понятных сложностей с доступом к получению данных. Одним из элементов такого инструментария может стать предложенное нами понятие, раскрывающее действия спасателя в боевой обстановке, – нормативно предписанное поведение.

Под *нормативно предписанным поведением (спасателя)*, далее НПП) мы понимаем стандартизированное поведение, которое регулируется посредством правовых актов и иных нормативных установлений (Боевой устав, правила безопасности и др.) и является обязательным для выполнения элементов боевой работы. Оно основано на реализации определенных поведенческих правил, устанавливающих четкий порядок действий в той или иной ситуации и ограничивающих спонтанную активность индивида в ней. В таком случае речь идет прежде всего о так называемом *легальном* контроле действий спасателя. Нормативное регулирование в рамках легального контроля означает управление сложным поведением, поскольку статьями правовых актов предполагается более чем одна реакция в перечне обстоятельств, где требуется определенная активность. Такой контроль основан на целой сети нормативных установлений (*web of laws*), связанных с управлением поведением [2, с. 87].

Ряд исследователей обращает внимание на то, что нормативная регуляция поведения структурно воспроизводит модель контроля поведения по последствиям (т. е. включает

указания на условия, ожидаемую в этих условиях активность и ее результат) [2] и может быть проанализирована с опорой на т. н. ABC-схему<sup>1</sup> либо формулу S<sub>D</sub>-R-C<sup>2</sup>.

Так или иначе, первый шаг в понимании характера регуляции НПП заключается в исследовании того, как то или иное нормативное установление *моделирует требуемое поведение* за счет указания на условия, в которых последнее желательно, и последствия, к которым оно приведет.

Второй шаг должен быть направлен на установление *механизмов повышения вероятности* требуемого поведения, поскольку любая статья правового документа, будучи своеобразным «письменным заявлением» (*written statement*), содержит возможность различных толкований, а также риск несоблюдения [3, с. 12], в том числе в связи со стохастичностью естественной среды, тогда как специфика сферы, регулируемой Боевым уставом и иными документами, подразумевает категоричность требований к действиям спасателя, их безальтернативность.

Третий шаг предполагает выявление способов *трансфера* требуемого поведения (а точнее, контроля этого поведения) из ситуации в ситуацию и встраивание его в устойчивые стандартизированные поведенческие паттерны.

**Нормативные предписания как источник стимульного контроля.** Любой стимульный контроль, в том числе легальный, основан на установлении функциональных отношений между поведением (зависимая переменная) и набором каких-либо событий (независимые переменные). Функциональная связь подразумевает наличие устойчивой зависимости, подобной «...двум сторонам уравнения», в котором, например, средовые изменения способствуют изменениям активности, и наоборот [4, с. 45].

С. Хайнс и У. О'Брин [5, с. 651–653] систематизировали характеристики таких отношений, которые подразумевают:

- некоторую степень ковариации между переменными, отличную по критериям жесткости и контроля<sup>3</sup>;
- неисключительность (*nonexclusory*) функциональной связи, означающую возможность всех переменных ситуации вступать в отношения с другими переменными;
- возможность изменяться со временем, временный, транзиторный (*transient*) характер отношений;
- различный статус независимой переменной (в измерениях необходимости и достаточности);
- возможность формализации функциональных связей;
- ограниченность области действия функциональных отношений (они устанавливаются в определенном контексте и отсутствуют в другом);
- возможность взаимодействия переменных различного уровня (микро- и макроуровни);
- возможность реципрокности (взаимовлияния) или двунаправленности переменных<sup>4</sup>;
- приоритет причинной переменной в каузальных функциональных отношениях: «Чтобы событие было причинно-следственным, необходимо, но недостаточно, чтобы событие предшествовало тому, что оно вызывает» [5, с. 653]<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> А (*antecedent*) – antecedent, стимул, активирующий поведение; В (*behavior*) – поведение; С (*consequent*) – последствия, результат поведения (который может подкреплять поведение, увеличивая вероятность его повторения, либо служить наказанием, снижающим вероятность повторного действия).

<sup>2</sup> S<sub>D</sub> – т. н. дискриминативный стимул (antecedent, событие, запускающее реакцию); R – поведение; C (*consequence*) – последствия, результат поведения.

<sup>3</sup> Они говорят о том, что функциональные отношения могут быть каузальными либо корреляционными по природе [5, с. 651]. Классический поведенческий анализ в большей степени ориентирован на поиск каузальных связей, лежащих в основе функциональных отношений, что подходит нам в связи с предметом исследования.

<sup>4</sup> Что означает взаимное влияние поведения и среды.

<sup>5</sup> Ключевое значение имеют последствия поведения.

В случае с НПП можно обозначить некоторые требования к специфике функциональных отношений:

– в области легального контроля отношения должны быть детерминантными. Ранее мы определили детерминантные отношения как «...формирование каузальной связи средовых переменных с поведением, при том, что средовые переменные являются необходимым и достаточным условием для активации определенного поведения» [6, с. 226]. В данном случае это означает, что независимо от событийного наполнения чрезвычайной ситуации, поведение спасателя должно прежде всего подчиняться уставу и другим правилам<sup>6</sup>;

– соответственно, легальный контроль подчеркивает приоритет нормативной регуляции с целью блокировки влияния иных, «не предусмотренных» переменных (при невозможности такое влияние исключить) в ситуации, в которой данный контроль осуществляется. Тем самым исследовательская задача переносится в сферу анализа т. н. управляемого правилами поведения (*rule-governed behavior*).

**Нормативные предписания как поведенческие правила.** Правило – это вербальное установление, утверждение (*statement*), определяющее (заранее) обстоятельства и условия, в которых будут осуществляться действия с определенным результатом. В рамках поведенческого подхода любое поведение с легальным контролем, в том числе организационное, трактуется именно в контексте правил [7, с. 146].

Специфика данного типа поведения рассматривалась нами ранее [8, 9], однако в рамках данной работы следует дополнительно подчеркнуть несколько ключевых, с точки зрения предмета статьи, моментов:

– правила играют особую роль именно в случае легального контроля, когда в предоставлении последствий поведения участвуют государственные институты [10, с. 390]. Это же означает, что в случае такого контроля правило должно трактоваться как средовое, социальное по природе событие;

– поскольку правило представляет собой по сути вербальную имитацию условий, для которых предписывается требуемое поведение, институционализация контроля в некотором роде предоставляет дополнительные гарантии как *реальности последствий* (чаще авersiveных, негативных, спасением от чего является лишь требуемое поведение [10, с. 388]), так и *отсутствия чрезмерной произвольности* норм, которые основаны на практиках прошлого и законодательно установлена их желательность в будущем [10, с. 389–390]. Нормативностью правила подчеркивается социальная значимость вербально обозначенных в нем форм поведения [11, с. 49]. Социальная инстанция, посредник, контролирующий следование правилам (*rule-following*), традиционно обозначается как «вербальное сообщество» (термин Б. Скиннера) [12, с. 69];

– отмеченная выше «неисключительность» функциональных отношений затрагивает вопрос о необходимости повышения вероятности именно требуемого поведения. Это означает, прежде всего, что правило должно быть сформулировано без отсылки к конкретному, единичному событию, вступающему с поведением в функциональные отношения, дабы иметь возможность участвовать во многих таких отношениях [13, с. 30]. Один из способов соответствия этому условию – вербальная форма «если..., то...» [14, с. 67];

– правила допускают некоторую вариативность на персональном уровне. По аналогии со схемой, предложенной Р. Хоуманфаром, Н. Родригесом и Т. Вардом в своем исследовании, можно указать на многоуровневость процедуры следования правилам, регулируемого как минимум тремя группами условий:

- непосредственными (естественными) последствиями действий индивида;
- социальными последствиями (в виде реакции социального окружения, контролирующего поведение)<sup>7</sup>, часто отсроченными во времени;

<sup>6</sup> Т. е. требует приоритета «легальной» переменной.

<sup>7</sup> В нашем случае в виде легального контроля.

• производством индивидом персонального правила (*self-rule generation*) о том, следовать ли нормативному предписанию далее [15, с. 91–92].

Вербализация правила является отдельным фактором, влияющим на активность индивида, особенно в случае, когда правила не предъявляются непосредственно перед ситуацией, в которой должны быть соблюдены [16, с. 11]. Например, вербальные стимулы могут быть более значимым последствием поведения [11, с. 49], особенно если естественные события не в полной мере осознаются индивидом [17, с. 89]<sup>8</sup>.

Отмеченная особенность лишней раз указывает на роль, которую играет *характер описания условий* (где ожидается требуемое поведение), в эффективности нормативного контроля. М. Пелаэс выделяет несколько ключевых измерений содержания правил [16; 18, с. 12–13]:

*эксплицитность / имплицитность* зависит от того, насколько полно и ситуационно-специфично воспроизведены условия для следования правилам;

*(не)точность (accurate versus nonaccurate)* определяется степенью конгруэнтности ситуации и ее вербального описания в правиле;

*сложность (lower versus higher rule complexity)* определяет количество antecedentных стимулов и их последствий, вербализованных в правиле;

*источник правила, агент (rules provided by others versus self-provided rules)* устанавливает социальность или «персональность» правила;

*немедленные или отложенные последствия (immediate versus delayed contingencies)*.

**Нормативная регуляция персонального поведения.** Дабы прояснить, каким образом правило вызывает требуемое поведение, необходимо определить его место в классической функциональной структуре (АВС-схеме).

Достаточно логичной и распространенной является позиция, основанная на признании за правилом активирующей функции и, соответственно, ассоциировании его с ролью дискриминативного стимула ( $S_D$ ), запускающего определенное действие в определенной ситуации<sup>9</sup>. В этой связи мы отмечали, что «правило можно назвать своего рода вербальной имитацией классического обусловливания, поскольку в предшествующем поведению стимуле ( $S_D$ ) содержится и вербальный суррогат условного подкрепителя... Вербальное указание на последствия в правиле призвано не только повысить вероятность требуемого поведения, но и ускорить его выполнение за счет снижения поведенческой чувствительности (*behavior sensitivity*) к иным видам стимуляции» [9, с. 88].

Однако многие исследователи отмечают недостаточность такого подхода [19, с. 51], что связано с более детальным анализом того, как работает процедура дискриминации стимула<sup>10</sup>. Речь идет о том, что для исполнения своей функции контроля поведения стимул должен *присутствовать в ситуации*: «Дискриминативный стимул контролирует некое поведение, поскольку он связан с дифференцированной доступностью эффективного подкрепления для данного типа поведения. Это означает, что *последствие доступно в присутствии дискриминативного стимула и недоступно в его отсутствие* (курсив наш. – В. С.)» [20, с. 430].

С учетом того, что правила по определению описывают ситуацию *заранее*, только обещая те или иные последствия, они могут лишь формировать *предпочтения* индивидов находиться под контролем одних стимулов в противовес другим, различать одни события и

<sup>8</sup> Предположим, что это особенно характерно для боевой подготовки, в ходе которой обратная связь от преподавателя может указывать на желательность поведения даже более, чем параметры обстановки.

<sup>9</sup> Краткий обзор вопроса см. в [8].

<sup>10</sup> Т. е. «выбора» индивидом того события из всех возможных, которое принято «считать поводом» для своих действий.

игнорировать другие, т. е. дискриминировать свое поведение именно теми стимулами, которые подразумеваются правилом<sup>11</sup>.

Универсальным способом *усилить* такие предпочтения является не столько реальный результат требуемого поведения (ни поведения, ни последствий еще нет), сколько *увеличение значимости* последствий, обещанных правилом за нужное поведение. Такая процедура повышения значимости (дискриминация стимула заранее) именуется мотивационной операцией, изменяющей *ценность* подкрепления [21, с. 73].

Таким образом, «дискриминативный стимул связан с дифференцированной доступностью эффективного в данный момент подкрепления, получаемого за определенный тип поведения, а мотивационные условия связаны с дифференцированной эффективностью подкрепления, то есть мотивационные условия превращают какое-либо внешнее событие или объект в более или менее эффективное подкрепление» [20, с. 430]. Мотивационные операции, соответственно, опираются на следующий механизм: они увеличивают или уменьшают подкрепляющую способность (значимость, ценность) какого-либо последствия поведения (*reinforcer*)<sup>12</sup> и тем самым увеличивают или снижают частоту определенного поведения [21, с. 73; 20, с. 413].

**Контроль исполнения.** С точки зрения процессуального контроля индивидуального поведения выделяют *функциональные классы следования правилам* (как именно индивид должен следовать правилам). В зависимости от специфики предъявляемых правил и способа организации контроля возможны несколько паттернов «соблюдающего» поведения:

– контролируется и подкрепляется *соответствие поведения правилу* (инструкции), которое чаще всего предъявляется непосредственно, что наиболее эффективно в случае физического присутствия предъявителя (и, соответственно, подкрепителя) правила [22, с. 145]. Подразумевается, что подкрепитель способен влиять на (или обеспечивать) последствия поведенческого ответа. Данный паттерн следования правилу наименее чувствителен к прочим средовым условиям. Иными словами, в конкретной обстановке есть не «правила вообще», а воплощенный и функционально представленный контроль соответствия. Само наполнение вербального стимула («делай», «давай», «пошел») вторично, важно соответствие;

– контролируется и подкрепляется поведение, выстроенное на основе *«соответствия между правилом и определенным способом устройства мира»* [23, с. 34]. Оно не зависит от способности вербального сообщества давать текущие инструкции и подкреплять их исполнение, поскольку контролируется, скорее, *форма* поведения («в определенной ситуации веди себя определенным образом, мелкие нюансы не важны»). Данный вариант подразумевает наличие неких «правил вообще», в том числе генерируемых самостоятельно (например, «действуй по Уставу»);

– правилом устанавливаются и акцентируются последствия, *к которым приведет следование ему*, причем последствия могут быть отдаленными и вероятностными. Тем не менее, благодаря воплощению в вербальной форме, *не существующие пока* последствия *уже влияют* и изменяют условия подкрепления в данный момент [22, с. 155].

**Нормативные предписания как источник социального поведения.** Очевидным свойством легального контроля поведения является характер адресации нормативных установлений. В этой связи следует обозначить несколько ключевых моментов:

1. Подобные правила по определению предназначены для многих индивидов одновременно. Социальное же подкрепление требуемого поведения производится в отношении персонального поведения всех участников.

<sup>11</sup> Условия обстановки в ЧС стимулируют спасателя к определенным действиям лишь при непосредственном столкновении с ними. Однако благодаря правилам спасатель способен быстрее (в том числе заранее) выявить именно те из них, которые подразумевают выученную профессиональную активность.

<sup>12</sup> И последствия становятся «более подкрепляющими» именно благодаря мотивационной операции [11, с. 36]. Если бы эти последствия специально не акцентировались в правиле, они могли бы не обладать таким эффектом.

2. Способом, при помощи которого осуществляется социальный контроль, является *опосредование поведения*, функциональным воплощением которого выступает переменная, обозначенная Э. Варгас как «посредник» (*mediator*) [12, с. 68]. Переменная «посредник» есть воплощение социума («вербального сообщества») в конкретных обстоятельствах, в которых происходит поведение. Например, персональное присутствие члена сообщества: «...социальное подкрепление, как правило, представляет собой индивидуальное посредничество» [10, с. 344].

3. Институционализация социального контроля означает, что правила могут использоваться для «синхронизации или иного рода координации членов группы» [10, с. 388–389]. Условием эффективности такой синхронизации является тот факт, что все члены профессионального сообщества, к которому применяется контроль, овладевают формами требуемого поведения посредством механизма *социального научения*, отличным от индивидуального [24, с. 213]<sup>13</sup>. В результате чего в репертуаре нескольких или многих индивидов можно наблюдать схожее поведение, являющееся результатом такого научения. З. Гленн обозначила этот тип как «макроповедение» (*macrobehavior*) [25, с. 18].

4. При характеристике НПП важно учесть, что нормативные предписания также требуют от индивида социального поведения. Б. Скиннер определял последнее как «поведение двух или более людей в отношении друг друга или как их совместное поведение в отношении общей среды» [10, с. 342]. Причем поведение одного выступает в качестве antecedента или последствия для поведения второго [26, с. 111]. Иными словами, поведение каждого человека регулируется индивидуальными поведенческими условиями подкрепления (т. н. контингенциями)<sup>14</sup>, однако в случае социального поведения частью этих условий являются действия другого индивида [27, с. 5]. И тогда активность других служит не только средовым фактором, аналогичным естественным событиям, но и способствует взаимному обогащению поведенческих репертуаров участников по упомянутому механизму социального научения (подражание, моделирование, координация и т. п.) [4, с. 58]<sup>15</sup>.

5. Фактором, объединяющим всех участников ситуации, является в таком случае не только следование нормативным предписаниям (это можно утверждать в отношении спасателей, но, например, не в отношении пострадавших), но и тот факт, что все они одновременно находятся под *общим постцедентным контролем* (контроль последствиями) [14, с. 68]. Т. е. следование правилам спасателями должно также вывести из под естественных последствий опасной ситуации всех ее участников (в том числе пострадавших) и привести их к результату, предусмотренному нормативными установлениями.

6. Взаимная координация некоторой активности на основе включения поведения одного индивида в стимульную среду другого подразумевает также, что участники ситуации служат друг для друга дополнительным фактором, *ограничивающим спонтанную активность*. Например, каждый член боевого звена исходит из предположения, что другие его участники будут демонстрировать предписанное поведение по единым для всех правилам. Такая ситуация взаимного ограничения возможных действий двух или более индивидов обозначается термином «*взаимосвязанные контингенции поведения*» (далее ВКП, *interlocking behavioral contingencies*) [27, с. 6]. Указание на взаимосвязь (*interlocked*) подчеркивает ту роль, которую поведение или поведенческие результаты участников профессионального сообщества играют в качестве составляющей персональных условий (контингенций), контролирующих поведение членов внутри группы [15, с. 86].

Такие взаимосвязанные условия могут приводить к двум типам последствий:

<sup>13</sup> Это происходит в процессе достаточно длительной совместной боевой подготовки.

<sup>14</sup> Термином «контингенции (подкрепления)» в анализе поведения называют (единственно возможные) условия, в которых может быть установлена функциональная связь конкретного поведения с конкретными (именно этими) последствиями.

<sup>15</sup> Схожим образом обученные спасатели попадают в общую ситуацию, где демонстрируют схожее же поведение, в том числе взаимодействуя друг с другом.

– координация будет ситуационным, средовым фактором, переменной индивидуального поведения, наравне с другими событиями;

– ВКП будут приводить к системному эффекту в виде последствий, которые не могут быть получены в отсутствие социального поведения [28], и трактоваться как последствия многих индивидуальных действий одновременно (не будучи их простой суммой) [29, с. 7]. Такие последствия исследователями обозначаются как *совокупный продукт* (*aggregate product*) [27, с. 6], причем особо подчеркивается, что прямой функциональной связи последствий индивидуальных поведений с совокупным продуктом может не наблюдаться [30, с. 33; 29, с. 6]. Социальность нормативных установлений как раз и предполагает, что некоторые действия в рамках НПП приводят к системному эффекту (а некоторые для совокупного продукта не важны).

**Нормативные предписания как культуральный фактор.** Еще одним важным аспектом, характеризующим НПП, являются способы трансфера требуемого поведения в различные ситуации, причем как в синхронии, так и в диахронии.

Сам факт легального контроля означает надситуативность правил. Как отмечалось, взаимосвязанное и скоординированное поведение участников ситуации под общим постцедентным контролем может приводить к совокупному эффекту. Условия, в которых ВКП приводят к такому эффекту, получили название *метаконтингенции* (*metacontingency*) [31, с. 44]. Термин характеризует те случаи, когда социальной значимостью обладает не столько индивидуальное поведение участников ситуации, сколько сам совокупный продукт некоторых из них [24, с. 237; 28]. И тогда социальный контроль будет направлен не на то, чтобы обеспечить детальное повторение индивидуальных действий (буквально таких же), а на то, чтобы обеспечить условия для повторения ВКП (самой совокупности) [32, с. 29] именно с тем системным эффектом, который требуется [27, с. 6]<sup>16</sup>.

Тем самым некоторые паттерны поведения приобретают культуральное значение и происхождение [3, с. 11], что в свою очередь гарантирует трансфер требуемого поведения через индивидуальные репертуары [25, с. 17] и регулярное воспроизводство ВКП в виде, например, групповых правил [33, с. 124], в том числе между поколениями [4, с. 60].

Основным элементом, отличающим эту единицу анализа, является наличие (метаконтингенции) или отсутствие (ВКП) культуральных последствий [34, с. 135]<sup>17</sup>. В первом случае возможно обратное влияние культуральных факторов на индивидуальное поведение за счет влияния на его последствия [30, с. 33]. Как отмечает З. Гленн, случай ВКП может быть полностью объяснен историями подкрепления участвующих людей и текущей средой для поведения каждого, в то время как в случае с метаконтингенциями повторяемость ВКП объясняется какими-то дополнительными надситуативными факторами [35, с. 80; 36, с. 44].

Другими словами, на социальном уровне может быть артикулирована заинтересованность в совокупном эффекте (например, максимум спасенных, минимум ущерба). Вопрос состоит в том, насколько такая заинтересованность детерминирует индивидуальное поведение спасателя. В случае, если профессиональным сообществом какие-либо паттерны признаны принципиально важными для производства совокупного эффекта, – они будут способствовать детализации правил и стандартизации поведения. В противном случае может допускаться большая персональная вариативность.

**Формула нормативно предписанного поведения спасателя.** Традиционно модель поведения формализуется в виде формулы, «в которой указаны важнейшие переменные...: стимулы, реакции, биологические переменные, последствия и условия их взаимодействия – планы подкрепления» [37, с. 120].

<sup>16</sup> В таком случае может быть непринципиальным количество участников, топографические (форма) и другие характеристики поведения конкретного спасателя. Социальная заинтересованность касается не столько того, как именно должен вести себя конкретный спасатель, сколько того, каким будет результат его активности.

<sup>17</sup> Под которыми и понимается особая социальная значимость совокупного эффекта НПП спасателей в условиях боевой работы и социальная заинтересованность в их повторении.



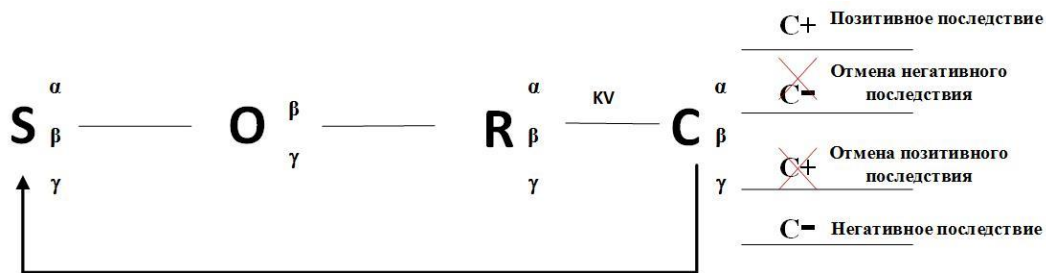
Модель диагностики НППС может быть создана на основе классической модели диагностики поведения (рис. 1) [38, с. 106], динамической модели саморегуляции (рис. 2) [39, с. 110] и так называемой вертикальной модели поведения (рис. 3).

$$S \text{ — } O \text{ — } R \xrightarrow{KV} C$$

S – стимульные условия; O – переменная организма; R – реакция (поведение); C – последствия поведения;  
KV – отношения контингентности (факт связи между реакцией и последствиями)

Рисунок 1. – Классическая формула поведения

Классическая модель чаще всего используется в клинической практике и включает минимум значимых в данном контексте переменных. Применительно к конкретным ситуациям каждый из элементов формулы может содержательно конкретизироваться (идет ли речь о внешних, психологических либо физиологических событиях):



$\alpha$  – внешние события (наблюдаемое событие или поведение);  $\beta$  – психологические феномены (когниции, эмоции, ожидания и т.п.);  $\gamma$  – физиологические явления

Рисунок 2. – «Горизонтальная» динамическая (рекурсивная) модель саморегуляции

В свою очередь в так называемой вертикальной модели акцент сделан на психологические переменные, прежде всего когнитивные, внеположенные ситуативным средовым влияниям. Многие такие переменные можно трактовать и как имеющие социальную природу. При совмещении с горизонтальной моделью такая «вертикальная» переменная (часто обозначается символом U) либо вводится как отдельная переменная индивида, либо служит расширением переменной организма, описывая механизмы саморегуляции [38, с. 109; 40, с. 37].

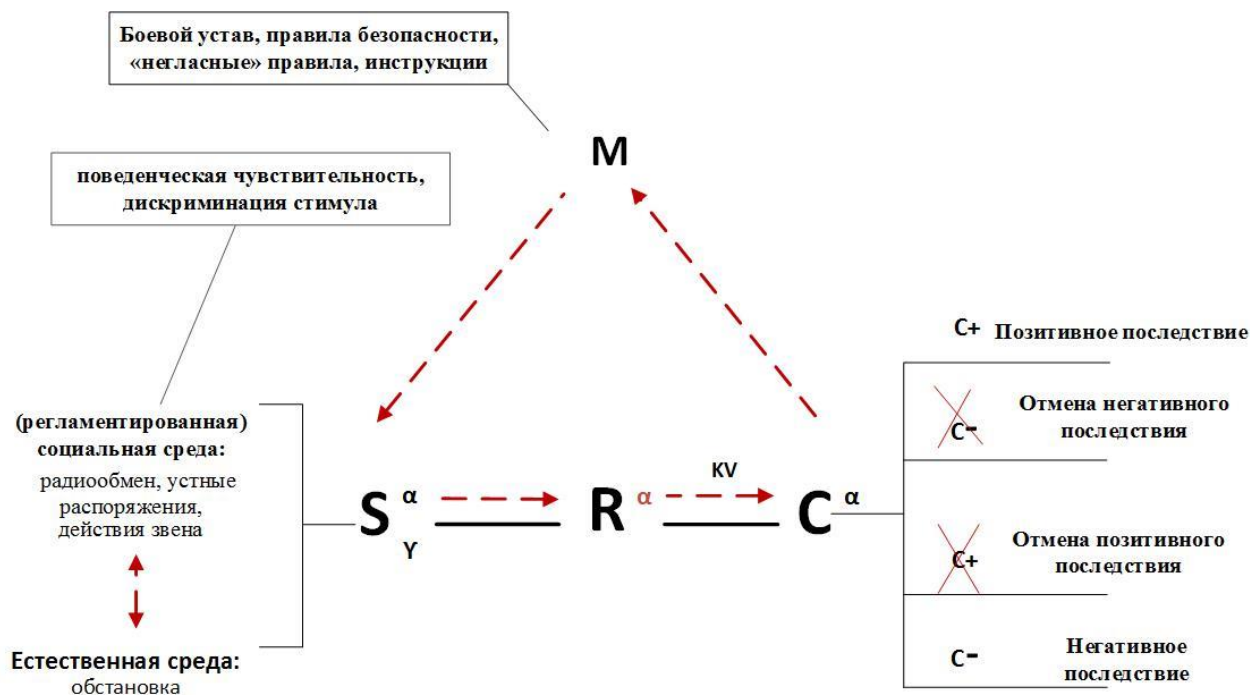
Благодаря этому в аналитической процедуре идентифицируется «...ситуация, при которой наблюдаемые (и контролируемые) средовые переменные являются необходимым, но недостаточным условием для активации требуемого поведения. В этом случае в качестве переменных должны быть включены частично наблюдаемые и ненаблюдаемые элементы, относимые к самому индивиду» [6, с. 226].

Однако в свете описанных выше требований к контролю НПП введение субъективных переменных не всегда представляется оправданным из-за очевидных затруднений в управлении ими. Мы можем предположить, что именно личностные факторы в большей степени «ответственны» за индивидуальную вариативность поведения, в т. ч. проблемную [41, с. 173].

Соответственно, в формуле НПП (как и во многих нормативных предписаниях) такие переменные должны отсутствовать как не подлежащие контролю, а научение такому поведению в некотором смысле «контриндивидуально»:



Рисунок 3. – «Вертикальная модель»



М (*mediator*) – надситуативно устанавливаемые определенные отношения между поведением и последствиями (т. е. правила) для более чем одного индивида. Подкрепляются социально (социальным медиатором). Содержат требования (руководство к действию в указанных условиях) и указания на возможные последствия требуемого поведения

Рисунок 4. – Модель нормативно предписанного поведения

**Заключение.** Как отмечалось, в основе эффективности нормативных предписаний лежит прочность функциональной связи между поведением и его средовыми социальными детерминантами [21, с. 5], определяющими отбор эффективных паттернов по их последствиям (последнее является критически важным [30, с. 33]).

1. Правила (положения Боевого устава, правил безопасности и др.) предписывают определенный порядок действий в той или иной ситуации. *Еще до самой ситуации* правилом увязывается требуемое поведения *R* и «обещанные» в связи с ним последствия *C* – «обещаются» контингентные отношения. Такие «обещания», как правило, даются в формате «если..., то...», которым вводятся некоторые независимые переменные, с учетом которых должно осуществляться и становиться эмпирическим фактом требуемое поведение [14, с. 68]. В случае с нормативными документами, инструкциями и т. п. такие последствия, как правило, заключаются в *негативном подкреплении*, т. е. *устранении аверсивной стимуляции* в результате требуемого поведения (наказания за невыполнение задачи, гибели, увечий и т. п.: «будешь делать по Уставу – не погибнешь, не совершишь ошибок, тебя не накажут за нарушение»). Это также подразумевает важность анализа *чувствительности* конкретного человека к режиму подкреплений, в т. ч. последствиям, которые *наступают сразу*, или последствиям, *отсроченным по времени* («потенциальным»).

2. *Активация поведения*, требуемого правилом, происходит при попадании в стимульные условия, которых это правило касается. Это подразумевает *распознавание ситуации* как именно той, в которой должны работать правила, что означает повышение т. н. *поведенческой чувствительности* к одним стимулам этой ситуации в противовес другим. Тогда работу отдельного правила (из всей их системы) можно примерно отразить, например, так: «Командир звена ГДЗС обязан: ... в случае движения в условиях нулевой видимости и высокой температуры *S* определить способ продвижения (ползком, полусидя), а также использовать дополнительные средства и способы защиты (водяная завеса, теплозащитные и теплоотражательные костюмы) *R*...» (ст. 29 Правил организации деятельности газодымозащитной службы [42]). Последствия как компонент правила в данном случае имплицитны.

Акцент именно на нулевую видимость (а не на что-либо другое) – результат повышения поведенческой чувствительности к отдельным внешним обстоятельствам в противовес другим.

3. Система правил актуализируется постановкой боевой задачи и подразумевает опору на набор предписаний. Тот, кто ставит и контролирует выполнение задачи, олицетворяет «вербальное сообщество» – переменную, ответственную за подкрепление социального поведения. Подкрепляющая функция вербального сообщества усиливается тем фактом, что если правила закреплены нормативно, то и другие члены боевого звена будут вести себя аналогичным образом. Это становится дополнительным фактором, предотвращающим индивидуальные отклонения от требуемого поведения [43, с. 36].

4. Предполагается также, что в соответствии с подобными правилами будут действовать любые другие спасатели в любых других ситуациях. Поэтому правила можно трактовать как культуральный феномен (или так называемые *метаконтингенции*), в сохранении совокупного эффекта от следования которым прослеживается социальная заинтересованность<sup>18</sup>. И тогда важным вопросом становится также форма присутствия в ситуации инстанции, отвечающей за (отсроченное) социальное подкрепление (например, центра оперативного управления), за счет чего может быть снижена вариативность индивидуальных действий, связанная с влиянием ситуативных переменных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боевой устав органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь по организации тушения пожаров [Электронный ресурс] // Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/>. – Дата доступа: 24.03.2019.
2. Todorov, J.C. Laws and the Complex Control of Behavior / J.C. Todorov // Behavior and Social Issues. – 2005. – Vol. 14. – P. 86–91.
3. Todorov, J.C. Behavioral analysis of non-experimental data associated with cultural practices / J.C. Todorov // Behavior and Social Issues. – 2009. – Vol. 18. – P. 10–14.
4. Glenn, S. Contingencies and Metacontingencies: Relations Among Behavioral, Cultural, and Biological Evolution / S. Glenn // Behavioral Analysis of Societies and Cultural Practices / ed. by P.A. Lamal. – New York: Hemisphere, 1991. – P. 39–73.
5. Haynes, S.N. Functional Analysis in Behavior Therapy / S.N. Haynes, W.H. O'Brien // Clinical Psychology Review. – 1990. – Vol. 10. – P. 649–668.
6. Сергеев, В.Н. Стратегии исследования личностной детерминанты в бихевиоральных подходах: сходства и различия / В.Н. Сергеев // Современные проблемы психологии: межвуз. сб. науч. статей с междунар. участием. – Минск: БГУ, 2018. – С. 223–235.
7. Glenn, S. Rules and Metacontingencies: Reply to Sandaker / S. Glenn, M.E. Malott // Behavior and Social Issues. – 2004. – Vol. 13. – P. 146.
8. Сергеев, В.Н. Вербальные правила и их методологическая экспликация в концепции радикального бихевиоризма / В.Н. Сергеев // Веснік Гродзенскага дзярж. ун-та імя Янкі Купалы. Сер. 3. Філалогія. Педагагіка. Псіхалогія. – 2017. – Том 7, № 3. – С. 135–141.
9. Сергеев, В.Н. Вербальные правила и следование им: к проблеме средовой детерминации поведения в современном бихевиоризме / В.Н. Сергеев // Журнал Белорусского государственного университета. Философия. Психология. – 2018. – № 3. – С. 83–94.
10. Скиннер Б.Ф. Наука и человеческое поведение / Б.Ф. Скиннер; пер. с англ. А.А. Федорова, А.И. Васильева. – Новосибирск, 2017. – 517 с.
11. Chris Ninness, H.A. School and behavioral psychology: applied research in human-computer interactions, functional assessment and treatment / H.A. Chris Ninness, G. McCuller, L. Ozenne. – New York: Springer Science+Business Media, 2000. – 200 p.
12. Варгас, Э.А. «Вербальное поведение» Б.Ф. Скиннера: Введение / Э.А. Варгас // Вестник НГУ. Сер.: Психология. – 2010. – Т. 4, вып. 2. – С. 56–78.

<sup>18</sup> Притом, что исследователи особо подчеркивают «несоциологическую» природу термина (метаконтингенции), относя его к одним из механизмов контроля поведения [44, с. 111].

13. Glenn, S. Rules as Environmental Events / S. Glenn // *The Analysis of Verbal Behavior*. – 1987. – № 5. – P. 29–32.
14. Todorov, J.C. Conservation and transformation of cultural practices through contingencies and metacontingencies / J.C. Todorov // *Behavior and Social Issues*. – 2013. – Vol. 22. – P. 64–73.
15. Houmanfar, R. Emergence and metacontingency: points of contact and departure / R. Houmanfar, N.J. Rodrigues, T.A. Ward // *Behavior and Social Issues*. – 2010. – № 19. – P. 78–103.
16. Pelaez, M. Morality as a system of rule-governed behavior and empathy / M. Pelaez // *Behavioral Development Bulletin*. – 2001. – Vol. 1. – P. 8–14.
17. Sampaio, A.A.S. Exploring the Role of Verbal Behavior in A New Experimental Task for The Study of Metacontingencies / A.A.S. Sampaio [et al.] // *Behavior and Social Issues*. – 2013. – Vol. 22. – P. 87–101.
18. Robertson, D.L. Behavior Analytic Concepts and Change in a Large Metropolitan Research University: The Graduation Success Initiative / D.L. Robertson, M. Pelaez // *Journal of Organizational Behavior Management*. – 2016. – Vol. 36, Iss. 2–3 – P. 123–153. – DOI: 10.1080/01608061.2016.1200513.
19. Glenn, S. On Rules and Rule-Governed Behavior: A Reply to Catania's Reply / S. Glenn // *The Analysis of Verbal Behavior*. – 1989. – № 7. – P. 51–52.
20. Майкл, Дж. Мотивационные условия / Дж. Майкл // *Прикладной анализ поведения; пер.с англ. Дж.О. Купер, Т.Э. Херон, У.Л. Хьюард*. – М.: Практика, 2016. – Гл. 16. – С. 412–432.
21. Miltenberger, R.G. Behavior Modification / R.G. Miltenberger // *Principles and Procedures, Fifth Edition*. – Wadsworth: Cengage Learning, 2012. – 554 p.
22. Törneke, N. Rule-Governed Behavior and Psychological Problems / N. Törneke, C. Luciano, S.V. Salas // *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*. – 2008. – Vol. 8, № 2. – P.141–156.
23. Zettle, R.D. Rule-Following and Human Operant Responding: Conceptual and Methodological Considerations / R.D. Zettle, M.J. Young // *The Analysis of Verbal Behavior*. – 1987. – № 5. – P. 33–39.
24. Glenn, S. Operant Contingencies and the Origin of Cultures / S. Glenn // *Behavior theory and philosophy / edited by K.A. Lattal, Ph.N. Chase*. – New York: Springer Science+ Business Media, LLC, 2013. – P. 223–242.
25. Glenn, S. Toward consistent terminology in a behaviorist approach to cultural analysis / S. Glenn [et al.] // *Behavior and Social Issues*. – 2016. – № 25. – P. 11–27.
26. Vasconcelos, I.G. Experimental Analysis of The Behavior of Persons in Groups: Selection of An Aggregate Product in A Metacontingency / I.G. Vasconcelos, J.C. Todorov // *Behavior and Social Issues*. – 2015. – № 24. – P. 111–125.
27. Morford, Z.H. Developing an experimental analysis of metacontingencies: considerations regarding cooperation in a four-person prisoner's dilemma game / Z.H. Morford, T.M. Cihon // *Behavior and Social Issues*. – 2013. – № 22. – P. 5–20.
28. Borba, A. Effects of Cultural Consequences on the Interlocking Behavioral Contingencies of Ethical Self-Control / A. Borba, E. Z. Tourinho, S. Glenn // *The Psychological Record*. – 2017. – Vol. 67(3). – P. 399–411. – DOI: 10.1007/s40732-017-0231-6.
29. Borba, A. Effects of Exposure to Macrocontingencies in Isolation and Social Situations in The Production of Ethical Self-Control / A. Borba et al. // *Behavior and Social Issues*. – 2014. – Vol. 23. – P. 5–19.
30. Vasconcelos, L.A. Exploring Macrocontingencies and Metacontingencies: Experimental and Non-experimental Contributions / L.A. Vasconcelos // *Suma Psicológica*. – 2013. – Vol. 20, № 1. – P. 31–43.
31. Hunter, Ch.S. Analyzing Behavioral and Cultural Selection Contingencies / Ch.S. Hunter // *Revista Latinoamericana de Psicología Volumen*. – 2012. – Vol. 44, № 1. – P. 43–54.
32. Krispin, J.V. What is the metacontingency? Deconstructing claims of emergence and cultural-level selection / J.V. Krispin // *Behavior and Social Issues*. – 2016. – № 25. – P. 28–41.
33. Smith, G.S. The participatory role of verbal behavior in an elaborated account of metacontingency: from conceptualization to investigation / G.S. Smith, R. Houmanfar, S.J. Louis // *Behavior and Social Issues*. – 2011. – № 20 – P. 122–146.
34. Tadaiesky, L.T. Effects of Support Consequences and Cultural Consequences on the Selection of Interlocking Behavioral Contingencies / L.T. Tadaiesky, E.Z. Tourinho // *Revista Latinoamericana de Psicología Volumen*. – 2012. – Vol. 44, № 1. – P. 133–147.
35. Glenn, S.S. Metacontingencies, Selection and OBM: Comments On «Emergence and Metacontingency» / S.S. Glenn // *Behavior and Social Issues*. – 2010. – Vol. 19. – P. 79–85.

36. Vichi, Ch. A Metacontingency Experiment: The Effects of Contingent Consequences on Patterns of Interlocking Contingencies of Reinforcement / Christian Vichi, Maria Amalia Pie Abib Andery, Sigrid S. Glenn // *Behavior and Social Issues*. – 2009. – Vol. 18. – P. 41–57.
37. Ромек, В.Г. Поведенческая психотерапия: учеб. пособие для вузов / В.Г. Ромек. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 192 с.
38. Бауманн, У. Клиническая психология / У. Бауманн, М. Перре, Д. Шульте [и др.]; пер. с нем. – 2-е междунар. изд. – СПб.: Питер бук, 2002. – 1312 с.
39. Abbruzzese, E. Verhaltensanalyse in der Verhaltenstherapie / E. Abbruzzese, U. Kübler // *Verhaltenstherapie*. – 2013. – Vol. 23, № 2. – P. 108–116.
40. Spiegler, M.D. Contemporary Behavior Therapy, Fifth Edition / M.D. Spiegler, D.C. Guevremont. – Belmont: Wadsworth, 2010. – 609 p.
41. Morrow, J.E. Metacontingencies and Cultural Practices: A Review of Behavioral Analysis of Societies and Cultural Practices, edited by P. A. Lamal / J.E. Morrow // *The Behavior Analyst*. – 1992. – Vol. 15, № 2. – P. 171–174.
42. Правила организации деятельности газодымозащитной службы в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/priказы/>. – Дата доступа: 24.03.2019.
43. Reis Soares, P.F. Effects of Verbal and Non-Verbal Cultural Consequences on Culturants / P.F. dos Reis Soares [et al.] // *Behavior and Social Issues*. – 2018. – Vol. 27. – P. 31–46.
44. Todorov, J.C. Schedules of Cultural Selection: Comments On «Emergence and Metacontingency» / J.C. Todorov // *Behavior and Social Issues*. – 2010. – Vol. 19. – P. 111–114.

**Модель нормативно предписанного поведения спасателя в условиях боевой работы**

**The model of standard-prescribed behavior of a rescuer in a situation of combat work**

**Сергеев Всеволод Николаевич**

кандидат исторических наук, доцент

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

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

e-mail: v.n.sergeev@gmail.com

**Vsevolod N. Sergeev**

PhD in Historical Sciences, Associate Professor

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

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

e-mail: v.n.sergeev@gmail.com

## THE MODEL OF STANDARD-PRESCRIBED BEHAVIOR OF A RESCUER IN A SITUATION OF COMBAT WORK

Sergeev V.N.

*Purpose.* The term of «standard-prescribed behavior (of a rescuer)» allowing to perform the functional analysis of rescuer's actions in a situation of combat activity is presented.

*Methods.* General logical methods, conceptual analysis, functional analysis, methods of conceptual behavior analysis and experimental behavior analysis.

*Findings.* The standard-prescribed behavior is based on the so-called legal type of control. The mechanisms of modeling of required behavior through standard rules, ways of increasing its probability, tools of transfer of behavior in various situations are analyzed. The distinction of patterns of individual behavior, as well as its social forms facilitating the cumulative effect is made.

*Application field of research.* The model of standard-prescribed behavior of a rescuer can be used to organize the experimental study of battle training efficiency.

*Conclusion.* The standard rules (Combat regulations, safety rules etc.) prescribe a particular order of actions in any situation. The standard regulation of behavior structurally reproduces the model of control of behavior due to existing consequences (i.e. includes guideline of conditions, expected behavior and its result) and can be analyzed with the help of the so-called ABC-scheme or formula  $S_D-R-C$ .

*Keywords:* rescuer, combat activity, combat training, standard prescribed behavior, legal control, rule-governed behavior, interlocked behavioral contingencies.

(The date of submitting: April 10, 2019)

### REFERENCES

1. *Boevoy ustav organov i podrazdeleniy po chrezvychaynym situatsiyam Respubliki Belarus' po organizatsii tusheniya pozharov* [Combat regulations of bodies and divisions of the Ministry for emergency situations of the Republic of Belarus], available at: <https://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/> (accessed: March 24, 2019). (rus)
2. Todorov J.C. Laws and the Complex Control of Behavior. *Behavior and Social Issues*, 2005. Vol. 14. Pp. 86–91.
3. Todorov J.C. Behavioral analysis of non-experimental data associated with cultural practices. *Behavior and Social Issues*, 2009. Vol. 18. Pp. 10–14.
4. Glenn S. *Contingencies and Metacontingencies: Relations Among Behavioral, Cultural, and Biological Evolution*. Behavioral Analysis of Societies and Cultural Practices. ed. by P.A. Lamal. New York: Hemisphere, 1991. Pp. 39–73.
5. Haynes S.N., O'Brien W.H. Functional Analysis in Behavior Therapy. *Clinical Psychology Review*, 1990. Vol. 10. Pp. 649–668.
6. Sergeev V.N. Strategii issledovaniya lichnostnoy determinanty v bikheviornal'nykh podkhodakh: skhodstva i razlichiya [Strategies of studying of personal determination in behavioural approaches: Similarities and differences]. *Sovremennye problemy psikhologii: interuniversity collection of scientific articles*. Minsk: Belarusian State University, 2018. Pp. 223–235. (rus)
7. Glenn S., Malott M.E. Rules and Metacontingencies: Reply to Sandaker. *Behavior and Social Issues*, 2004. Vol. 13. Pp. 146.
8. Sergeev V.N. Verbal'nye pravila i ikh metodologicheskaya eksplikatsiya v kontseptsii radikal'nogo bikheviornizma [Verbal rules and their methodological explication in the concept of radical behaviorism]: *Vesnik Grodzenskaga dzyarzhaynaga yniversiteta imya Yanki Kupaly. Seryya 3. Filalogiya. Pedagogika. Psikhologiya*, 2017. Vol. 7, No. 3. Pp.135–141 (rus)
9. Sergeev V.N. Verbal'nye pravila i sledovanie im: k probleme sredovoy determinatsii povedeniya v sovremennom bikheviornizme [Verbal rules and rule-following as a problem in modern behaviorism]: *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofiya. Psikhologiya*, 2018. No. 3. Pp. 83–94. (rus)
10. Skinner B.F. *Nauka i chelovecheskoe povedenie* [Science and human behavior]. Novosibirsk, 2017. 517 p. (rus)

11. Chris Ninness H. A., McCuller G., Ozenne L. *School and behavioral psychology: applied research in human-computer interactions, functional assessment and treatment*. New York: Springer Science+Business Media, 2000. 200 p.
12. Vargas E.A. «Verbal'noe povedenie» B.F. Skinnera: Vvedenie [«Verbal Behavior» of B. Skinner: Introduction]: *Vestnik NGU. Seriya: Psikhologiya*, 2010. Vol. 4. Iss. 2. Pp. 56–78. (rus)
13. Glenn S. Rules as Environmental Events. *The Analysis of Verbal Behavior*, 1987. No. 5. Pp. 29–32.
14. Todorov J.C. Conservation and transformation of cultural practices through contingencies and metacontingencies. *Behavior and Social Issues*, 2013. Vol. 22. Pp. 64–73.
15. Houmanfar R., Rodrigues N.J., Ward T.A. Emergence and metacontingency: points of contact and departure. *Behavior and Social Issues*, 2010. No. 19. P. 78–103.
16. Pelaez M. Morality as a system of rule-governed behavior and empathy. *Behavioral Development Bulletin*, 2001. Vol. 1. Pp. 8–14.
17. Sampaio A.A.S. et al. Exploring the Role of Verbal Behavior in A New Experimental Task for The Study of Metacontingencies. *Behavior and Social Issues*, 2013. Vol. 22. Pp. 87–101.
18. Robertson D.L., Pelaez M. Behavior Analytic Concepts and Change in a Large Metropolitan Research University: The Graduation Success Initiative. *Journal of Organizational Behavior Management*, 2016. Vol. 36, Iss. 2–3. Pp. 123–153. DOI: 10.1080/01608061.2016.1200513.
19. Glenn S. On Rules and Rule-Governed Behavior: A Reply to Catania's Reply. *The Analysis of Verbal Behavior*, 1989. No. 7. Pp. 51–52.
20. Maykl Dzh. *Motivatsionnye usloviya. Prikladnoy analiz povedeniya* [Motivational conditions. Applied behavior analysis]. Moscow: Praktika, 2016. Chapter 16. Pp. 412–432. (rus)
21. Miltenberger R.G. *Behavior Modification. Principles and Procedures*. Wadsworth: Cengage Learning, 2012. 554 p.
22. Törneke N., Luciano C., Salas S.V. Rule-Governed Behavior and Psychological Problems. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy*, 2008. Vol. 8, No. 2. Pp. 141–156.
23. Zettle R.D., Young M.J. Rule-Following and Human Operant Responding: Conceptual and Methodological Considerations. *The Analysis of Verbal Behavior*, 1987. No. 5. Pp. 33–39.
24. Glenn S. *Operant Contingencies and the Origin of Cultures. Behavior theory and philosophy*. Ed. by K.A. Lattal, Ph.N. Chase. New York: Springer Science+ Business Media, LLC, 2013. Pp. 223–242.
25. Glenn S. et al. Toward consistent terminology in a behaviorist approach to cultural analysis. *Behavior and Social Issues*, 2016. No. 25. Pp. 11–27.
26. Vasconcelos I.G., Todorov J.C. Experimental Analysis of the Behavior of Persons in Groups: Selection of an Aggregate Product in a Metacontingency. *Behavior and Social Issues*, 2015. No. 24. Pp. 111–125.
27. Morford Z.H., Cihon T.M. Developing an experimental analysis of metacontingencies: considerations regarding cooperation in a four-person prisoner's dilemma game. *Behavior and Social Issues*, 2013. No. 22. Pp. 5–20.
28. Borba A., Tourinho E., Glenn S. Effects of Cultural Consequences on the Interlocking Behavioral Contingencies of Ethical Self-Control. *The Psychological Record*, 2017. Vol. 67(3). Pp. 399–411. DOI: 10.1007/s40732-017-0231-6.
29. Borba A. et al. Effects of Exposure to Macrocontingencies in Isolation and Social Situations in the Production of Ethical Self-Control. *Behavior and Social Issues*, 2014. Vol. 23. Pp. 5–19.
30. Vasconcelos L.A. Exploring Macrocontingencies and Metacontingencies: Experimental and Non-experimental Contributions. *Suma Psicológica*. 2013. Vol. 20, No. 1. Pp. 31–43.
31. Hunter Ch.S. Analyzing Behavioral and Cultural Selection Contingencies. *Revista Latinoamericana de Psicología Volumen*, 2012. Vol. 44, No. 1. Pp. 43–54.
32. Krispin J.V. What is the metacontingency? Deconstructing claims of emergence and cultural-level selection. *Behavior and Social Issues*, 2016. No. 25. Pp. 28–41.
33. Smith G.S., Houmanfar R., Louis S.J. The participatory role of verbal behavior in an elaborated account of metacontingency: from conceptualization to investigation. *Behavior and Social Issues*, 2011. No. 20. Pp. 122–146.
34. Tadaiesky L.T., Tourinho E.Z. Effects of Support Consequences and Cultural Consequences on the Selection of Interlocking Behavioral Contingencies. *Revista Latinoamericana de Psicología Volumen*, 2012. Vol. 44. No. 1. Pp. 133–147.



35. Glenn S. Metacontingencies, Selection and OBM: Comments on «Emergence and Metacontingency». *Behavior and Social Issues*, 2010. Vol. 19. Pp. 79–85.
36. Vichi Ch., Pie Abib Andery A., Glenn S. Metacontingency Experiment: The Effects of Contingent Consequences on Patterns of Interlocking Contingencies of Reinforcement. *Behavior and Social Issues*, 2009. Vol. 18. Pp. 41–57.
37. Romek V.G. *Povedencheskaya psikhoterapiya* [Behavioral psychotherapy]: textbook. Moscow: Yurayt, 2018. 192 p. (rus)
38. Baumann U, Perrez M., Shul'te D. et al. *Klinicheskaya psikhologiya* [Clinical psychology]. Saint Petersburg: Piter buk, 2002. 1312 p. (rus)
39. Abbruzzese E., Kübler U. Verhaltensanalyse in der Verhaltenstherapie. *Verhaltenstherapie*, 2013. Vol. 23, No. 2. Pp. 108–116. (deu)
40. Spiegler M.D., Guevremont D.C. *Contemporary Behavior Therapy*, Fifth Edition. Belmont: Wadsworth, 2010. 609 p.
41. Morrow J.E. Metacontingencies and Cultural Practices: A Review of Behavioral Analysis of Societies and Cultural Practices, edited by P.A. Lamal. *The Behavior Analyst*, 1992, Vol. 15. No. 2. Pp. 171–174.
42. *Pravila organizatsii deyatelnosti gazodymozashchitnoy sluzhby v organakh i podrazdeleniyakh po chrezvychaynym situatsiyam Respubliki Belarus'* [Rules for organizing the activities of the gas and smoke protection service in the bodies and units for emergency situations of the Republic of Belarus], available at: <https://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/> (accessed: March 24, 2019). (rus)
43. Reis Soares P.F. dos et al. Effects of Verbal and Non-Verbal Cultural Consequences on Culturants. *Behavior and Social Issues*, 2018. Vol. 27. Pp. 31–46.
44. Todorov J.C. Schedules of Cultural Selection: Comments on «Emergence and Metacontingency». *Behavior and Social Issues*, 2010. Vol. 19. Pp. 111–114.

УДК 627.8

## ПРИМЕНЕНИЕ СИЛЫ ВОДЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ

Ахмедов М.А., Салямова К.Дж.

Приведен анализ использования разрушительной силы воды в военных конфликтах с 1607 г. до 80-х годов прошлого века. Рассмотрен ряд крупнейших военных конфликтов, причиной которых стала борьба за водные ресурсы. Приведены примеры, когда разрушение гидротехнических сооружений оказывает негативное воздействие на окружающую среду и создает серьезные угрозы для стран, расположенных ниже по течению.

*Ключевые слова:* вода, дефицит, военный конфликт, бассейн реки, Нил, Евфрат, Меконг, Ганг, Иордан, Шатт-эль-Араб, наводнение, разрушение, мегадамба, гидротехническое сооружение.

(Поступила в редакцию 5 февраля 2019 г.)

**Введение.** Роль воды как средства поддержания жизнеспособности всего живого на Земле очень велика. Но в истории человечества известно много фактов, когда ее использовали и как средство разрушения в военных конфликтах. Лишение противника водоснабжения гарантировало победу над ним. Для этого устраивали плотины и перегораживали реки, создавали водные преграды – искусственные озера, засыпали колодцы и отравляли воду в них и т. д.

Например, при обострении отношений с Южной Осетией Грузия сразу же ограничивала подачу воды в Цхинвал. США и Великобритания, проводя в 2003 г. операцию в Ираке, опасались применения С. Хусейном «гидрооружия» – спуска воды из водохранилищ.

В настоящее время много гидротехнических сооружений возводится не только для выработки электрической энергии, но и с целью регулирования поверхностного стока. В бассейнах таких рек, как Нил, Евфрат, Меконг, Ганг, Иордан и других, усиливается борьба за пользование водой. В бассейне Нила расположены десять стран, население которых быстро растет, и жизнь в этих странах целиком зависит от воды Нила. Индия делит с Бангладеш воды реки Ганг. Борьба за воду усиливается в долине реки Меконг. Китай построил в верховьях этой реки семь мегадамб, оставляя меньше воды Камбодже, Лаосу и Вьетнаму, где производство риса зависит от воды Меконга. Борются за воду Евфрата Турция и Ирак, за воду реки Иордан – Израиль, Иордания и Палестинская автономия. Вода становится основной причиной споров, приводящих к военным столкновениям и повреждениям водозащитных объектов.

Целью настоящего исследования является анализ конфликтных ситуаций, связанных с бассейнами приграничных рек, а также использования разрушительной силы воды при военных конфликтах.

**Применение водных препятствий для защиты территорий от нападения вражеских сил.** С давних времен люди использовали искусственно создаваемые водные препятствия для защиты своих территорий. Например, древнейшие крепости, как правило, усиливались впереди стен и валов каналами или рвами, заполняемыми водой. Позже для создания водных препятствий стали пользоваться гидротехническими сооружениями, построенными для разных целей в мирное время, а еще позже начали возводить специальные гидротехнические сооружения, единственной целью которых было служить водным загрязнением. В 1792 г. под личным руководством русского полководца А.В. Суворова были спроектированы и сооружены вдоль шведского фронта четыре оборонительных канала инженерного типа с каменными подпорными стенами на свайном основании. Другие факты по использованию искусственно создаваемых водных препятствий можно проследить, например, в войнах Бельгии с соседями (XI век), при осаде царем Василием Шуйским города Ту-

лы, в котором засели сильные повстанческие отряды Ивана Болотникова, воеводы Григория Шаховского и казака Илейки Муромца (1607 г.), при осаде Термонде сорокапятитысячной армией короля Людовика XIV (1667 г.), при осаде Наполеоном в 1796 г. австрийской крепости Мантуя и др.

Применение водных препятствий имело место и в годы Первой мировой войны, в Испании во время борьбы между республиканцами и франкистами. Осенью 1916 г. в результате сражения на реке Сомме немцы вынуждены были отступить на участке фронта длиной в 100 км. Перед новыми позициями немцев местность превращалась в «опустошенную зону», в которой ими и создавались водные препятствия в виде затопления и заболачивания. Эти мероприятия немцев дали свой эффект. Французские войска приближались к новым немецким позициям с очень большими трудностями [1].

**Использование разрушительной силы воды.** Китай использовал разрушительную силу воды еще в начале июня 1938 г. при попытке остановить японские войска, которые захватили столицу провинции Хэнань г. Кайфын и были готовы к дальнейшему наступлению. Чтобы остановить противника, китайцы разрушили одну из дамб, построенных на крупнейшей китайской реке Хуанхэ. Вода устремилась по старому руслу на юго-восток и быстро затопила обширную территорию, нанеся большой урон врагу [1]. В результате наводнения были уничтожены тысячи квадратных километров сельскохозяйственных угодий и множество деревень. Беженцами стали несколько миллионов людей. Утонуло около 800 тыс. китайцев (рис. 1 и 2) [1].



Рисунок 1. – Солдаты национально-революционной армии Китая во время наводнения на реке Хуанхэ в 1938 г.



Рисунок 2. – Беженцы, появившиеся после наводнения на реке Хуанхэ в 1938 г.

В августе того же года китайцами были разрушены водозащитные дамбы на реке Янцзы у г. Хуанмэй. Затопление местности приостановило наступление японской армии. В потоке воды, хлынувшей через прорыв в дамбах на равнину, утонули 2000 японских солдат и офицеров.

Метод «искусственное наводнение» (преднамеренный пропуск воды) был использован финнами на Карельском перешейке в советско-финскую войну (1939–1940 гг.). В начале марта, когда снегопад и крепкие морозы еще не прекратились, финны затопили местность и превратили ее в труднопреодолимую полосу для наступающих войск Красной армии [2].

Осенью 1941 года, чтобы остановить наступление немецких войск на северных подступах к Москве, было принято решение о затоплении долин рек Сестра и Яхрома. Операция осуществлялась в несколько этапов. Для затруднения передвижения немецких войск по льду Иваньковского водохранилища была проведена операция по сбросу воды из него. Затем были перекрыты трубы, по которым река Сестра текла под каналом Москва-реки, и открыт водосброс воды из канала в русло реки. Это происходило в районе поселка Большая

Волга (Дубна). В районе Яхромы был произведена другая операция. В результате перекачки воды из вышерасположенных водохранилищ и открытия водосброса в реку Яхрому долина последней также была затоплена. На обширной территории Московской области, от Дмитрова до Конаково, образовалась «рукотворное море». В результате интенсивного сброса воды из канала на реках Сестре и Яхроме был взломан ледовый покров, начался ледоход, и уровень в реках поднялся до четырех метров. Вода смывала переправы и заливала все пролегающие на этой территории дороги. От Яхромы до Иваньковского водохранилища был создан водный заслон шириной до двух и протяженностью свыше шестидесяти километров. Гитлеровская армия не смогла преодолеть этот неожиданно возникший барьер, и ее наступление на северных подступах к Москве было приостановлено [3].

**Конфликты, причиной которых стала борьба за водные ресурсы.** Бассейны более чем 260 мировых рек разделены между двумя или несколькими странами, и при отсутствии четких договоренностей возникновение изменений в их бассейнах может вызвать серьезные осложнения в межгосударственных отношениях. Соседи порой обвиняют друг друга в создании дефицита или демонстрируют готовность к применению военной силы. В 1969 г. произошел вооруженный конфликт между СССР и КНР. Поводом для этого было разделение советско-китайской границы из-за острова Даманский [4].

Впоследствии, 19 мая 1991 г., подписано соглашение между СССР и КНР, согласно которому остров стал китайским. При уточнении границы между двумя странами пограничная линия была проведена по фарватеру реки Уссури, и остров оказался на территории Китая (рис. 3). В настоящее время остров исчез с современных карт по причине того, что китайцы засыпали проток, отделявший его от берега.

Спустя много лет после конфликта китайцы предприняли попытку путем изменения русла реки присоединить к себе еще два спорных острова – Большой Уссурийский и Тарабаров, но это им до настоящего времени не удалось [5].

Остров Даманский имел территорию 754 м<sup>2</sup> и был отдален от берега СССР примерно на 500 м, в то время как от китайского берега – примерно на 70–300 м. С юга на север он простирался на 1500–1800 м, в ширину – на 699–700 м. Этот остров во время разлива реки Уссури весной полностью исчезал под водой.

В результате военного конфликта в 1969 г. на острове Даманский погибли 58 и получили ранения 94 гражданина СССР. Однако по другим данным убито было больше 800 человек, а точное количество раненых неизвестно, а Китай в конфликте потерял 68 человек убитыми и 71 ранеными [4].

*Конфликт на пограничной реке севера Вьетнама.* Строительные мероприятия по возведению дамбы со стороны Вьетнама послужили поводом для конфликта, т. к. они искусственно изменили направление течения пограничной реки. В свою очередь вслед за вьетнамцами китайская сторона тут же построила два собственных сооружения с целью «защиты своих земель» [6]. Китай в 1979 г. напал на Вьетнам. Некоторые успехи Китая на начальном этапе войны объясняются исключительно недостаточной численностью вьетнамских войск: на тот момент на севере страны было всего около ста тысяч человек. После объявления Вьетнамом всеобщей мобилизации китайской армии пришлось покинуть страну.



Рисунок 3. – Остров Даманский на реке Уссури (1969–1991 гг.)

*Ирано-иракская война (1980–1988 г.).* Территория берегов русла пограничной реки Шатт-эль-Араб, находящейся между Ираном и Ираком, стала причиной военного конфликта. Так, западный берег этой реки во владениях Ирака, а восточный берег – Ирана.

На протяжении XX века Ирак претендовал на восточный берег реки, где функционируют два крупных порта – Абадан и Хорремшехр. Иран же в свою очередь настаивал на том, чтобы граница проходила посередине русла, основываясь на принципе тальвега (рис. 4, 5) [7].

Учитывая ослабление военной мощи Ирана в 1979 г. в результате исламской революции, в Ираке начали сооружать дамбу и канал. В первую очередь, с целью перехвата воды из реки, которая в это время была полностью иранской. Во-вторых, чтобы устранить мешающую предстоящим военным действиям водную преграду, и, в-третьих, чтобы оставить без воды один из районов Ирана с засушливым климатом и использовать воды реки для орошения земель в Ираке.

Чтобы осуществить свой замысел, Саддам Хусейн (в то время президент Ирака) 22 сентября 1980 г. приказал вторгнуться на иранскую территорию. Война, продолжавшаяся более 8 лет, была одним из самых тяжелых и кровопролитных конфликтов в новейшей истории человечества.

Для урегулирования кровопролитных конфликтов между Ираном и Ираком вмешалась ООН. В результате переговоров в августе 1988 г. война была остановлена и заключено перемирие, гласящее, что граница будет проходить по иранскому берегу реки. Таким образом, Ирак признал все права Ирана на воды реки Шатт-эль-Араб [7]. На сохранность изменения береговой линии или фарватера реки Шатт-эль-Араб между Ираном и Ираком, являющейся пограничной полосой, влияли сооружения гидротехнических объектов, способствовавшие изменению направления и скорости течения реки.

Так же, например, в некоторых рукавах реки Амур на границе России с Китаем происходило искусственное изменение границ береговой линии в ту или другую сторону.

**Использование водных ресурсов и гидротехнических сооружений для причинения ущерба пограничным странам.** Стратегическая роль плотин в военных конфликтах подтолкнула Китай использовать гидротехнические сооружения как оружие давления на все страны, истоки рек которых начинаются в подконтрольном ему Тибете. Имея более чем



Рисунок 4. – Ирано-иракская война (1980–1988 гг.)



Рисунок 5. – Река Шатт-эль-Араб

87 тыс. плотин, он осуществляет контроль над Тибетским плато, источником десяти крупных рек. Каждый год в сезон дождей страны, расположенные ниже по течению, находятся в состоянии повышенной готовности, поскольку китайские плотины спускают воду. Сброс воды на плотине имеет эффект домино для всей системы и может нанести огромный ущерб экономике Вьетнама. Кроме наводнений, китайские плотины также ответственны за ухудшение ситуации с засухами. Например, в 2016 г. в связи с дефицитом воды по просьбе Вьетнама Китай произвел сброс воды с плотины Юньнань на реке Меконг, воды перетекли не только во Вьетнам, но и в Камбоджу, Лаос, Мьянму, Таиланд. Эти события еще раз подчеркивают воздействие китайских плотин на окружающую среду. Реки являются основополагающими для жизни в Южной Азии, обеспечивая питьевую воду, воду для орошения сельскохозяйственных угодий и др.

В условиях роста дефицита пресной воды на планете усиливается борьба за водные ресурсы между государствами, которые расположены на бассейнах общих рек или озер. Взрывоопасная ситуация сложилась в регионах, бедных водой. В четырех бассейнах (Аральское море, реки Иордан, Нил, а также Тигр и Евфрат) уже пытались делить воду, угрожая силой. К примеру, в 1975 г. построенная в Сирии дамба перекрыла Евфрат, за что Ирак двинул войска против Сирии, но своевременное вмешательство ООН предотвратило войну. В 1990 г. Ирак оказался на грани войны с Турцией, когда та уменьшила сток Евфрата. В 1994 г. египетские войска вошли в Судан, чтобы обеспечить контроль над Нилом, из которого пьет почти весь Египет с населением 80 млн человек. Вскоре Египет и Судан объединились против Эфиопии, решившей увеличить забор воды из Нила. В 2002 г. Израиль угрожал применить военную силу против Ливана, если тот построит плотины в верховьях Иордана.

За последние 50 лет отмечены 507 «водных» конфликтов, и 21 раз дело доходило до военных действий.

ООН обращает внимание на конкретные бассейны, которые могут стать объектами споров в ближайшие годы. Это – озеро Чад, реки Брахмапутра, Ганг, Замбези, Лимпопо, Меконг, Сенегал, мировые водные конфликты возможны в бассейнах рек Аракс, Иртыш, Кура, Обь.

В бассейне Аральского моря водное положение стремительно ухудшается: ожидается, что через 15–20 лет водные ресурсы его сократятся как минимум на треть. В Ферганской долине уже в течение ряда лет стоит засуха, так как воды Сырдарьи не доходят до Арала, едва достигая середины территории Узбекистана. Западные области республики практически полностью обезвожены [8].

Как показывают выше приведенные факты, при военных конфликтах использование искусственно созданных водных потоков всегда достигало своей цели. Например, поздней осенью 1941 г. принятое советским командованием затопление севера Подмосковья дало возможность не только задержать продвижение противника, но и существенно сократить линию фронта. При этом было затоплено порядка 30–40 деревень [4].

Возрастающее количество строящихся плотин в Китае оказывает негативное воздействие на окружающую среду, создавая серьезную угрозу для стран, расположенных ниже по течению. Авария или разрушение плотины в Тибете при эксплуатации или при природных стихийных бедствиях (землетрясения) могут привести к катастрофическим последствиям для густонаселенной Индии. В прошлом Индия уже предъявляла претензии по поводу внезапных выбросов воды с китайских дамб, приведших к внезапным наводнениям. Ущерб от этого составил около 30 млн долларов, при этом свыше 50 тыс. людей на северо-востоке Индии остались бездомными.

**Заключение.** Проведенный анализ последствий возникших конфликтных ситуаций, связанных с бассейнами приграничных рек, а также использования разрушительной силы воды при военных конфликтах позволил сделать следующие выводы:

- в условиях роста дефицита пресной воды на планете усиливается борьба за водные ресурсы между государствами, которые расположены на бассейнах общих рек или озер;
- нарушение правил эксплуатации плотин, а также воздействие на них природных катастроф может привести к катастрофическим последствиям – многочисленным человеческим жертвам, уничтожению тысяч квадратных километров сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов;
- вследствие целенаправленного разрушения дамб и плотин, водохранилищ при военных действиях затопляются большие участки земли, при этом высокая скорость потока воды приносит значительный ущерб военной технике и живой силе противника, что, естественно, останавливает наступательное продвижение;
- возрастающее количество строящихся плотин оказывает негативное воздействие на окружающую среду и создает угрозу для населенных пунктов, расположенных ниже по течению;
- последствия чрезвычайных ситуаций, возникающих конфликтных военных ситуаций в зонах приграничных рек и водных бассейнов, оказывают негативное воздействие на экологическую обстановку;
- для предотвращения негативных явлений, связанных с последствиями чрезвычайных ситуаций в условиях вооруженных конфликтов, перед службами МЧС ставится задача разработки усовершенствованных методов обучения по подготовке защиты населения и объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Война и гидротехника [Электронный ресурс] // Военное обозрение. – Режим доступа: <http://topwar.ru/119167-voyna-i-gidrotehnika.html>. – Дата доступа: 01.02.2019.
2. Советско-финская война (1938–1949 гг.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://pskgu.ru/projects/pgu/storage/metami/metami03/metami03\\_11.pdf](https://pskgu.ru/projects/pgu/storage/metami/metami03/metami03_11.pdf). – Дата доступа: 01.02.2019.
3. Архипов, М. Затопление севера Подмосковья в 1941 году [Электронный ресурс] / М. Архипов. – Режим доступа: <http://riverpilgrim.livejournal.com/65733.htm>. – Дата доступа: 01.02.2019.
4. Даманский конфликт [Электронный ресурс] // Военный обзор. – Режим доступа: <https://militaryarms.ru/voennye-konflikty/damanskij-konflikt/>. – Дата доступа: 01.02.2019.
5. Малик, Л.К. Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством. Ретроспективный обзор [Электронный ресурс] / Л.К. Малик // Портал знаний о водных ресурсах и экологии Центральной Азии CAWater-Info. – Режим доступа: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/malik1.pdf>. – Дата доступа: 01.02.2019.
6. Война Китая и Вьетнама (1979 год) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mychinaexpert.ru/vojna-kitaya-i-vetnama-1979/>. – Дата доступа: 01.02.2019.
7. Ирано-иракская война (1980–1988 годы). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vestnik.spbu.ru/html14/s06/s06v2/12.pdf>. – Дата доступа: 01.02.2019.
8. Соколов, В.И. Водное хозяйство Узбекистана: прошлое, настоящее, будущее [Электронный ресурс] / В.И. Соколов. – Ташкент: Библиотека водника, 2015. – 56 с. – Режим доступа: <http://www.cawater-info.net/library/rus/watlib/watlib-01-2015.pdf>. – Дата доступа: 01.02.2019.

**Применение силы воды гидротехнических сооружений в вооруженных конфликтах**  
**Using of the water force of hydrotechnical constructions in armed conflicts**

**Ахмедов Маширап Абдукадирович**

кандидат физико-математических наук

Институт механики и сейсмостойкости  
сооружений им. М.Т. Уразбаева Академии наук  
Республики Узбекистан, ведущий  
научный сотрудник

Адрес: 100125, Узбекистан, г. Ташкент,  
ул. Дурмон йули, 31

**Mashrap A. Akhmedov**

PhD in Physical and Mathematical Sciences

Institute of Mechanics and Seismic Stability  
of Structures named after M.T. Urazbaev  
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,  
Leading Researcher

Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent,  
ul. Durmon yuli, 31

**Салямова Клара Джаббаровна**

доктор технических наук, профессор

Институт механики и сейсмостойкости  
сооружений им. М.Т. Уразбаева Академии наук  
Республики Узбекистан, главный научный  
сотрудник

Адрес: 100125, Узбекистан, г. Ташкент,  
ул. Дурмон йули, 31

e-mail: klara\_51@mail.ru

**Klara Dzh. Salyamova**

Grand PhD in Technical Sciences, Professor

Institute of Mechanics and Seismic Stability  
of Structures named after M.T. Urazbaev  
of the Academy of Sciences of Uzbekistan,  
Chief Researcher

Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent,  
ul. Durmon yuli, 31

e-mail: klara\_51@mail.ru



## USING OF THE WATER FORCE OF HYDROTECHNICAL CONSTRUCTIONS IN ARMED CONFLICTS

**Akhmedov M.A., Salyamova K.Dzh.**

*Purpose.* Based on the review and analysis, to conduct practical research on the occurrence of problems in the basins of border rivers that can lead to conflict situations, and to present some examples of the use of destructive water power through the erection of artificial reservoirs (dams and levees).

*Methods.* Review and analysis of practical experience on the use of destructive power of water: artificially created water obstacles leading to military conflict between bordering countries (for example, between Iraq and Iran).

*Findings.* The analysis of examples (in China) of a negative impact of hydro technical structure erection (mega dams, levees) on the environment and potential danger for downstream countries is given; violation of the rules of dam operation in Tibet can lead to catastrophic consequences – numerous human losses, destruction of thousands of square kilometers of agricultural land and territories of densely populated villages of India and Pakistan.

*Application field of research.* Analysis of practical experience of the use of available water re-sources, especially in Central Asia, where there is an acute shortage of water, indicates the need to properly manage these problems without leading to political conflicts. Artificially created water retaining structures should not be a threat to human life.

*Conclusions.* Water retaining hydrotechnical structures (dams, levees), being a source of energy and playing an important role in the life support of the population, can be the sources of destruction and danger for downstream areas at the same time. The artificial change of the river bed led to military conflicts in the territories of bordering countries. Since ancient times, water has also been a source of defense of territories against enemy attacks, a source of blackmail and pressure on neighboring countries.

*Keywords:* water shortage, military conflict, river basin: Nile, Euphrates, Mekong, Ganges, Jordan, Shatt-El-Arab, floods, destruction, mega dams, hydrotechnical structures.

(The date of submitting: February 5, 2019)

### REFERENCES

1. *Voyna i gidrotehnika* [War and hydro-engineering], available at: <http://topwar.ru/119167-voyna-i-gidrotehnika.html> (accessed: February 1, 2019). (rus)
2. *Sovetsko-finskaya voyna (1938–1949 gg.)* [The Soviet-Finnish war (1938–1949)], available at: [https://pskgu.ru/projects/pgu/storage/metami/metami03/metami03\\_11.pdf](https://pskgu.ru/projects/pgu/storage/metami/metami03/metami03_11.pdf) (accessed: February 1, 2019). (rus)
3. Arkhipov M. *Zatoplenie severa Podmoskov'ya v 1941 godu* [Flooding of the north of Moscow region in 1941], available at: <http://riverpilgrim.livejournal.com/65733.htm> (accessed: February 1, 2019). (rus)
4. *Damanskiy konflikt* [Damansk Conflict], available at: <https://militaryarms.ru/voennye-konflikty/damanskij-konflikt/> (accessed: February 1, 2019). (rus)
5. Malik L.K. *Chrezvychaynye situatsii, svyazannye s gidrotekhnicheskim stroitel'stvom. Retrospektivnyy obzor* [Emergency situations related to hydraulic construction. Retrospective review], available at: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/malik1.pdf> (accessed: February 1, 2019). (rus)
6. *Voyna Kitaya i V'etnama (1979 god)* [War of China and Vietnam (1979)], available at: <https://mychinaexpert.ru/vojna-kitaya-i-vetnama-1979/> (accessed: February 1, 2019). (rus)
7. *Irano-irakskaya voyna (1980–1988 gody)*. [The Iran-Iraq war (1980–1988)], available at: <http://vestnik.spbu.ru/html14/s06/s06v2/12.pdf> (accessed: February 1, 2019). (rus)
8. Sokolov V.I. *Vodnoe khozyaystvo Uzbekistana: proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Water industry of Uzbekistan: past, present, future], available at: <http://www.cawater-info.net/library/rus/watlib/watlib-01-2015.pdf> (accessed: February 1, 2019). (rus)

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

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

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

3. Статья предоставляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала: <http://vestnik.ucp.by>.

4. Электронная версия статьи, подготовленная в текстовом редакторе Microsoft Word, предоставляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес: [vestnik@ucp.by](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 мене 200 и не более 300 слов) является основным источником информации о статье, может публиковаться самостоятельно в реферативных журналах и информационных системах в отрыве от основного текста и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Аннотация должна раскрывать: *цель* (определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования); *методы* (излагаются подходы, методы и технологии исследования); *результаты* (приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна); *область применения исследований* (описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость);

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

6) дата поступления статьи (месяц и год);

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Факультет заочного обучения**

**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. Срок обучения – 5 лет.

**1-94 02 02 «Пожарная и промышленная безопасность»** с присвоением квалификации «Инженер по пожарной и промышленной безопасности». Форма обучения заочная. Срок обучения – 5 лет.

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

**Факультет безопасности жизнедеятельности**

**Проводит:**

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

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

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

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

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

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

- «Экспертная деятельность»;
- «Экспертная деятельность» для работников проектных организаций;
- «Экспертная деятельность» для работников органов и подразделений по ЧС;
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Проектирование систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией»;
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты по перечню, утвержденному Министерством по чрезвычайным ситуациям» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Промышленная безопасность» (заочная (дистанционная) форма обучения).

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

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

**Семинары по образовательным программам:**

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

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

**Наш адрес: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25,**

**тел./факс: (017) 340-71-89 (ФЗО), тел.: (017) 340-69-55, факс: (017) 340-35-58 (ФБЖ).**

**Дополнительная информация размещена на сайте института: <http://ucsp.by>.**

Научный журнал

**Вестник**  
**Университета гражданской защиты МЧС Беларуси**  
***Том 3, № 2, 2019***

Редактор-корректор О.М. Павлюченко  
Компьютерная верстка И.С. Жаворонков  
Технический редактор М.В. Лапина  
Дизайн обложки И.А. Розенталь

Подписано в печать 10.05.2019.  
Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 16,28. Уч.-изд. л. 15,00.  
Тираж 110 экз. Заказ 024-2019.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты Министерства  
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/259 от 14.10.2016.  
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.