



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси

Том 1, № 1, 2017

Редакционная коллегия:

главный редактор:

**Полевода
Иван Иванович**

кандидат технических наук,
доцент

зам. главного редактора:

**Гончаренко
Игорь Андреевич
Платонов Александр
Сергеевич**

доктор физико-математических наук,
профессор

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; Дмитриченко Александр Степанович, кандидат технических наук, доцент; Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Калач Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент (Россия); Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Карпиленя Николай Васильевич, доктор военных наук, доцент; Кремень Маркс Аронович, доктор психологических наук, профессор; Кудряшов Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент; Кузьмицкий Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, доцент; Кулаковский Борис Леонидович, кандидат технических наук, доцент; Ласута Геннадий Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лебедин Александр Владимирович, доктор военных наук, профессор; Пастухов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Украина); Порхачев Михаил Юрьевич, кандидат педагогических наук, доцент (Россия); Раимбеков Кендебай Жанабильевич, кандидат технических наук (Казахстан); Соколов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор (Россия); Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук; 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».

Компьютерная верстка – И.С. Жаворонков
Дизайн обложки – И.А. Розенталь

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.ucrp.by

E-mail редакции: vestnik@ucrp.by

ISSN 2519-237X

© Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

Зализный Д.И., Рудченко Ю.А., Новиков М.Н., Мороз Д.Р. Воздействие электрических потенциалов оборудования потребителей природного газа на изоляцию фланцевых соединений газопроводов	5
Абрамов Ю.А., Тищенко Е.А. Определение частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой	13
Кузьмицкий В.А. О решении уравнений интегральной модели пожара при его значительной продолжительности.....	18
Ильюшонок А.В., Гончаренко И.А., Лешенюк Н.С., Кулешов В.К., Терешенков В.И. О влиянии звуковых волн на процессы горения	26
Сизиков А.А., Жартовский С.В., Нижник В.В., Балло Я.В., Бенедюк В.С. Влияние целевых добавок к воде на эффективность системы пожаротушения	35
Камлюк А.Н., Навроцкий О.Д., Грачулин А.В. Тушение пожаров пеногенерирующими системами со сжатым воздухом.....	44
Костенко Т.В., Костенко В.К. Разработка метода оперативного прогноза тепловой нагрузки на спасателей при тушении горящих резервуаров с нефтепродуктами	54
Ивашечкин В.В., Веремеюк В.В., Круглов Г.Г., Линкевич Н.Н., Мурашко О.А., Недашковская И.В. Оценка опасности Тетеринского водохранилища на реке Друть Круглянского района Могилевской области	62
Волочко А.Т., Подболотов К.Б., Яшеня Д.Н., Бардушко С.Н. Обеспечение огнесохранности конструкций учебно-тренажерных комплексов для подготовки спасателей-пожарных	71

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)

Кустов М.В., Рябцев В.Н. Экспериментальная проверка моделей осаждения газообразных опасных химических веществ осадками.....	80
--	----

Гражданская оборона

Безносик Е.А., Еремин А.П. Методика оценки возможности приспособления инженерных сооружений для укрытия населения при чрезвычайных ситуациях.....	87
Н.М. Бобович Оценка состояния КВОИ по их способности к функционированию в условиях воздействия дестабилизирующих факторов	94

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (психологические науки)

Дюбкова Т.П. Метод кейсов как эффективная образовательная технология при изучении интегрированной учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека»	99
Авторы статей	105
Правила представления статей	109
Основные требования к оформлению статей	110

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

Zalizny D., Rudchenko J., Novikov M., Moroz D. Influence of electric potentials from natural gas consumers' equipment to the insulation of gas-mains flange connections.....	5
Abramov Y., Tischenko E. Learning the frequency characteristics of the class b fire when it is being extinguished by water spray	13
Kuzmitsky V. Solving of the integral model equations of fire at its prolonged duration.	18
Il'ushonok A., Goncharenko I., Leshenyuk N., Kuleshov V., Tereshenkov V. On the influence of acoustic waves on combustion processes	26
Sizikov A., Zhartovskiy S., Nizhnyk V., Ballo Y., Benedyuk V. Effects of target additions to water on the efficiency of fire extinguisher	35
Kamluk A., Nawrocki A., Grachulin A. Fire extinguishing by compressed air foam systems	44
Kostenko T., Kostenko V. Development of methods for operational forecasts heat load on rescuers in fire fighting of burning reservoirs with oil products	54
Ivashechkin U., Veremenyuk V., Kruhlou H., Linkevich M., Murashko V., Nedashkovskaya I. The risk assessment of the Teterinskoye reservoir on the Drut river in Krugloye district in the Mogilev region	62
Volochko A., Podbolotov K., Yashenia D., Bardushko S. Software design fire preserving training and fitness complex for training of rescuers and fire.....	71

Safety in emergencies (technical sciences)

Kustov M., Rabtsau V. Experimental check of gaseous dangerous chemicals sedimentation models by means rainfall	80
---	----

Civil defense

Biaznosik Y., Yeromin A. Methods of possibility and adaptation of engineering constructions for population sheltering in case of an emergency	87
Bobovich N. Evaluation of COI for their ability to function in conditions of destabilizing factors	94

Safety in emergencies (psychological sciences)

Dyubkova T. Case-study as effective educational technology at studying integrated academic discipline «Safety of human vital activity»	99
Authors.....	105
Rules of submitting articles for publication	109
Requirements to typesetting of articles submitted to the journal	110

УДК 620.169.2

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ОБОРУДОВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ИЗОЛЯЦИЮ ФЛАНЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЗОПРОВОДОВ**Зализный Д.И., Рудченко Ю.А., Новиков М.Н., Мороз Д.Р.**

Разработана электрическая схема замещения газопровода, позволяющая рассчитывать разность потенциалов на изоляции фланцевого соединения, установленного между ответвлением от радиального распределительного подземного газопровода низкого давления и газопроводом, соединенным с газовыми приборами потребителя. В схеме учтены активное, индуктивное и емкостное сопротивления газопровода. На основе имитационного моделирования показано, что наибольшие перенапряжения на фланцевом соединении, способные привести к пробое изоляции и последующему воспламенению газа, обусловлены работой электрического розжига газовых приборов при нарушении потребителем правил эксплуатации электроустановок.

Ключевые слова: газопровод, фланцевое соединение, изоляция, перенапряжение, электрический пробой.

(Поступила в редакцию 21 ноября 2016 г.)

Введение. За последние 5 лет государственными газоснабжающими организациями, входящими в систему ГПО «Белтопгаз», при эксплуатации газораспределительных сетей индивидуального жилого фонда граждан были зафиксированы несколько случаев возгорания жилых домов, обусловленных утечкой газа в изолирующих фланцевых соединениях (ИФС), установленных на вводах газопроводов к этим домам. Одной из причин воспламенения газа в области его утечки можно считать электрический пробой изоляции ИФС, сопровождающийся искрой достаточной мощности.

В распределительных газопроводах низкого давления наличие ИФС необходимо для электрического разделения подземной части газопровода и надземной части, идущей непосредственно к потребителю. Это связано с тем, что подземные трубопроводы находятся под потенциалом защиты от электрохимической коррозии. В соответствии с ГОСТ [1, с. 46] значение этого потенциала не должно превышать – 2,5 В относительно медно-сульфатного электрода, погруженного в землю.

Изоляцию ИФС выполняют из паронита или фторопласта. В результате испытаний, проведенных на ОАО «Минский электротехнический завод имени В.И. Козлова» (протокол испытаний № 15/2016 от 12.09.2016), для паронита толщиной 4 мм минимальное амплитудное значение напряжения пробоя составляет 4,1 кВ, а для фторопласта толщиной 4 мм это значение равно 7,4 кВ.

В данной статье представлены результаты расчетов разности потенциалов на изоляции ИФС для различных от условий работы газового оборудования потребителей. Цель работы – выявление ситуаций, при которых возможен электрический пробой изоляции ИФС.

Электрическая схема замещения газопровода. В научной литературе имеются достаточно сложные электрические схемы замещения для подземных трубопроводов. Так в [2] представлена схема из большого количества сопротивлений, учитывающих различные участки грунта и воздуха, а также элементы коммуникаций. В [3] нефтегазопроводы рассматриваются как длинные линии с распределенными параметрами. В [4] изучается распределение электрического поля вокруг трубопровода. Во всех этих случаях требуются подробные сведения о геометрии подземных и надземных сооружений.

Разработаем упрощенную электрическую схему замещения фрагмента сети газоснабжения. В рамках поставленной задачи нет смысла изучать крупные участки этой сети, так как определяющее влияние на работу изоляции ИФС будут оказывать близлежащие участки газопровода.

Рассмотрим фрагмент сети газоснабжения по отношению к некоторому жилому дому, имеющему газовый отопительный котел, нагреватель, газовую плиту и другие газовые устройства (рис. 1). При этом ответвление от распределительного газопровода низкого давления должно быть металлическим и соединено вторым концом с ИФС.

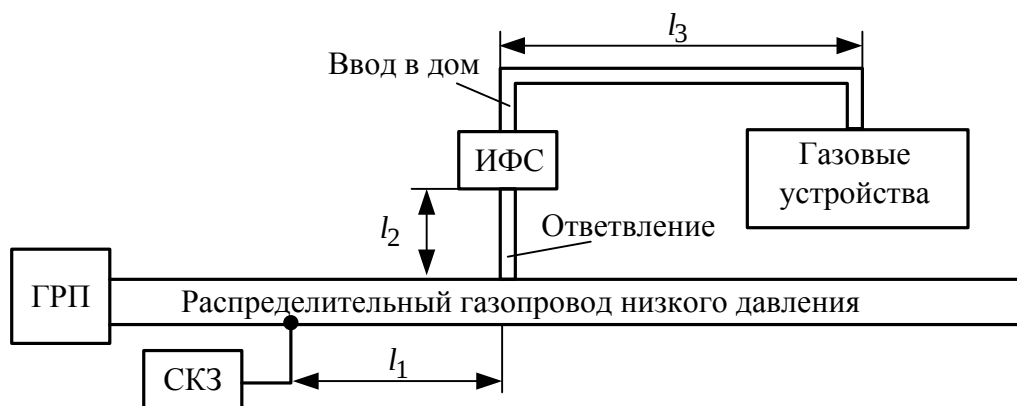


Рисунок 1 – Схема газоснабжения жилого дома:
ИФС – изолирующее фланцевое соединение; **СКЗ** – станция катодной защиты;
ГРП – газораспределительный пункт

Пусть l_1 – расстояние от ближайшей станции катодной защиты (СКЗ) до ответвления от распределительного газопровода в рассматриваемый жилой дом; l_2 – длина металлического ответвления до ИФС; l_3 – длина газопровода от ИФС до потребляющих газовых устройств.

Составим электрическую схему замещения системы газоснабжения жилого дома в соответствии с рис. 1. Предлагаемая схема показана на рис. 2.

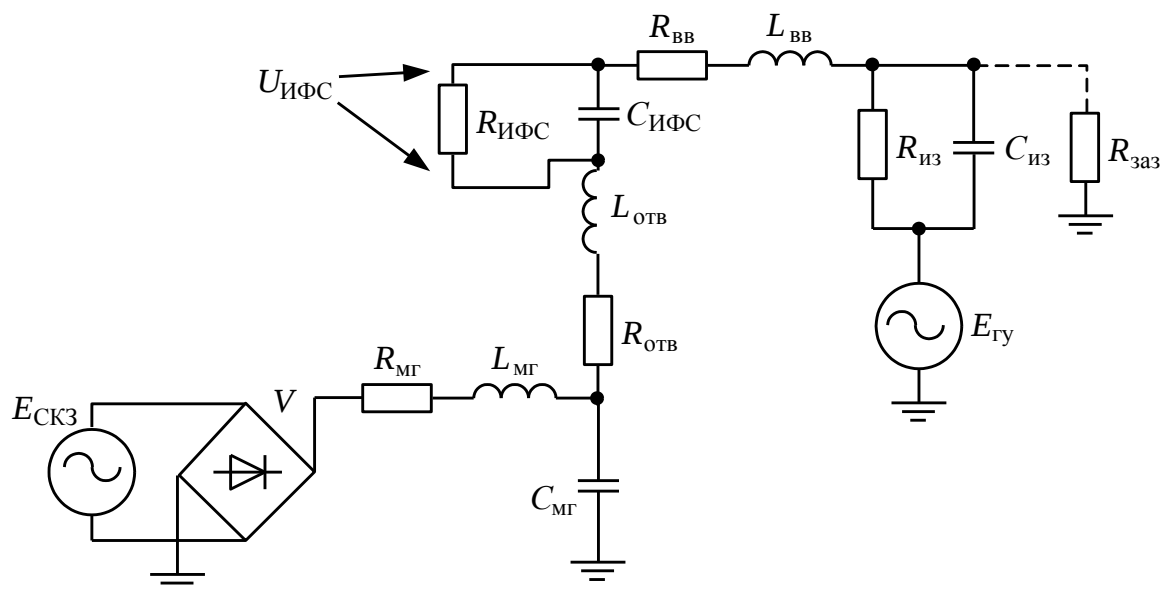


Рисунок 2 – Электрическая схема замещения системы газоснабжения жилого дома

Рассмотрим назначение элементов в схеме на рис. 2.

$E_{СКЗ}$ – электродвижущая сила (ЭДС), формируемая СКЗ. В большинстве схем СКЗ для получения постоянной составляющей напряжения используют выпрямительное устройство V .

$R_{МГ}$, $L_{МГ}$ – активное сопротивление и индуктивность распределительного газопровода от точки подключения СКЗ до рассматриваемого ответвления.

$R_{отв}$, $L_{отв}$ – активное сопротивление и индуктивность металлического ответвления от распределительного газопровода до точки соединения с ИФС.

$C_{МГ}$ – электрическая емкость электрически соединенных распределительных газопроводов по отношению к земле. Емкость $C_{МГ}$ обусловлена наличием изоляции, покрывающей подземные металлические газопроводы.

$R_{ИФС}$, $C_{ИФС}$ – активное сопротивление и индуктивность ИФС.

$R_{\text{вв}}, L_{\text{вв}}$ – активное сопротивление и индуктивность газопровода от ИФС до потребляющих газовых устройств.

$R_{\text{из}}, C_{\text{из}}$ – активное сопротивление и индуктивность электрической изоляции газовых устройств между газопроводом и электрической частью этих устройств.

$E_{\text{гу}}$ – ЭДС, прикладываемая к изоляции газовых устройств по отношению к земле.

$R_{\text{ззз}}$ – сопротивление заземления.

Расчет параметров электрической схемы замещения. Значение $R_{\text{мг}}$ будем рассчитывать по известной формуле:

$$R_{\text{мг}} = \rho_{\text{уд}} \cdot \frac{l_1}{S} = \rho_{\text{уд}} \cdot \frac{l_1}{\pi \cdot (r^2 - q^2)}, \text{ Ом}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{уд}}$ – удельное сопротивление материала трубы; l_1 – длина участка распределительного газопровода; S – площадь сечения трубы; r – внешний радиус трубы; q – внутренний радиус трубы.

Параметр $L_{\text{мг}}$ определим как индуктивность полого прямолинейного проводника [5, с. 96]:

$$L_{\text{мг}} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot l_1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_1}{r \cdot c} - 1 \right), \text{ Гн}, \quad (2)$$

где μ – относительная магнитная проницаемость материала трубы; μ_0 – магнитная постоянная; c – параметр, выбираемый из таблицы [5, с.380].

По аналогичным формулам можно рассчитать величины $R_{\text{отв}}, L_{\text{отв}}, R_{\text{вв}}, L_{\text{вв}}$, взяв соответствующие расстояния l_2 и l_3 .

Все электрически соединенные газопроводы формируют единую электрическую емкость относительно земли. Поэтому общую емкость $C_{\text{мг}}$ определим как сумму емкостей отдельных газопроводов по формуле цилиндрического конденсатора [6, с. 377]:

$$C_{\text{мг}} = \sum_{i=1}^n \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l_{\text{мг},i}}{\ln \frac{r_i + 2 \cdot t_i}{r_i}}, \text{ Ф}, \quad (3)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость материала изоляции подземного газопровода; ε_0 – электрическая постоянная; $l_{\text{мг},i}$ – длина i -го магистрального газопровода; r_i – внешний радиус трубы i -го распределительного газопровода; t_i – толщина изоляции i -го распределительного газопровода.

Значения $R_{\text{ИФС}}$ и $C_{\text{ИФС}}$ для имеющихся образцов ИФС были найдены опытным путем с помощью электронного измерителя иммитанса Е7-14. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты измерений электрических параметров ИФС

Тип ИФС	Изоляция	Толщина, мм	$C_{\text{ИФС}}$, пФ	$R_{\text{ИФС}}$, МОм
ИФСд.25	паронит ДУ32	2	1100	1,6
ИФСд.32	фторопласт ДУ32	3	90	200
ИФСд.50	фторопласт ДУ60	4	90	200
ИФСд.25	фторопласт ДУ30	4,5	105	16,7
ИФСд.32	паронит ДУ42	2	470	1
ИФСд.50	паронит ДУ50	2,3	1050	0,24

Значения параметров $R_{\text{из}}, C_{\text{из}}$ и $E_{\text{гу}}$ примем в зависимости от вида имитационного моделирования. При этом параметр $C_{\text{из}}$ можно рассчитать по известным значениям сопротивления изоляции $R_{\text{из}}$ и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$ этой изоляции:

$$C_{\text{из}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\text{из}} \cdot \text{tg} \delta}, \text{ Ф}, \quad (4)$$

где f – частота напряжения.

Имитационное моделирование разности потенциалов на ИФС в нормальном режиме. Под нормальным режимом будем подразумевать условия работы ИФС при исправном заземленном газовом оборудовании потребителей, имеющем электрическое разделение с газопроводом.

Для имитационного моделирования примем значения, приведенные в табл. 2.

Таблица 2 – Исходные данные для имитационного моделирования

Параметр	Обозначение	Значение	Размерность
Общая длина распределительного газопровода	l	10000	м
Длина распределительного газопровода от СКЗ до ответвления	l_1	3000	м
Длина ответвления от распределительного газопровода до ИФС	l_2	10	м
Длина газопровода от ИФС до потребляющих газовых устройств	l_3	10	м
Внешний радиус распределительного газопровода	r_1	0,0825	м
Внутренний радиус распределительного газопровода	q_1	0,075	м
Толщина изоляции распределительного газопровода	t	0,01	м
Внешний радиус ответвления от распределительного газопровода	r_2	0,0168	м
Внутренний радиус ответвления от распределительного газопровода	q_2	0,0125	м

Результаты расчетов в соответствии с формулами (1)–(3): $R_{\text{мг}} = 0,11 \text{ Ом}$; $L_{\text{мг}} = 1,84 \text{ Гн}$; $C_{\text{мг}} = 30,7 \text{ мкФ}$; $R_{\text{отв}} = 3,5 \text{ мОм}$; $L_{\text{отв}} = 3,7 \text{ мГн}$; $R_{\text{вв}} = 3,5 \text{ мОм}$; $L_{\text{вв}} = 3,7 \text{ мГн}$.

При расчете параметров изоляции $R_{\text{из}}$ и $C_{\text{из}}$ будем исходить из того, что в нормальных условиях между газопроводом и электропроводкой потребителя находится воздух. Удельное объемное сопротивление воздуха ρ_v составляет около $10^{16} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ [7, с. 50]. Пусть электропроводка проложена параллельно газопроводу, идущему от ИФС до потребителя, на расстоянии $l_e = 0,1 \text{ м}$. Примем наружный диаметр провода равным $0,005 \text{ м}$. Тогда площадь сечения для сопротивления изоляции будет равна: $S_e = 0,005 \cdot l_3 = 0,005 \cdot 10 = 0,05 \text{ м}^2$. Используя эти значения, рассчитаем сопротивление изоляции:

$$R_{\text{из}} = \rho_v \cdot \frac{l_e}{S_e} = 10^{16} \cdot \frac{0,1}{0,05} = 2 \cdot 10^{16} \text{ Ом}.$$

Зная, что для воздуха $\text{tg} \delta \approx 4 \cdot 10^{-8}$ [7, с. 50], по формуле (4) найдем емкость изоляции на стороне потребителя:

$$C_{\text{из}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{16} \cdot 4 \cdot 10^{-8}} = 4 \text{ пФ}.$$

В соответствии с ГОСТ [1, с. 46] примем $E_{\text{СКЗ}} = 2,5 \text{ В}$.

ЭДС $E_{\text{гв}}$ – это значение фазного напряжения электрической сети потребителя, то есть $E_{\text{гв}} = 220 \text{ В}$.

Результаты расчетов пикового положительного значения напряжения $U_{\text{ИФС}}$ (рис. 2) сведены в табл. 3, из которой следует, что в нормальном режиме наибольшие значения напряжения на ИФС наблюдаются при использовании изоляции из фторопласта. Однако эти напряжения не представляют опасности для людей и не могут привести к пробое изоляции ИФС.

Имитационное моделирование разности потенциалов на ИФС в аномальных режимах. Рассмотрим следующие факторы, не являющиеся нормальными для работы газопровода на стороне потребителей:

- касание изолированной электропроводки к газопроводу;
- касание электропроводки с нарушенной изоляцией к газопроводу;
- влияние потенциала электророзжига при наличии контакта между корпусом прибора с электророзжигом и газопроводом.

При наличии контакта между изолированной электропроводкой и газопроводом на стороне потребителя значение сопротивления $R_{\text{из}}$ будет равно сопротивлению изоляции

электропроводки. Для имитации такой ситуации в лабораторных условиях был поставлен эксперимент, при котором к покрашенной водопроводной трубе диаметром 27 мм на длине 20 см был прикреплен с помощью изолянты шнур электропитания с сечением провода 1,5 мм². К жиле шнура был подсоединен первый измерительный щуп прибора Е7-14, а к зачищенному участку трубы – второй измерительный щуп прибора Е7-14. Результаты измерения: $R_{из}=10$ МОм; $C_{из}=200$ пФ. Для электропроводки с нарушенной изоляцией приемом сопротивление изоляции $R_{из}=100$ Ом.

Результаты расчетов для рассматриваемых типов ИФС даны в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчета разности потенциалов на ИФС

Тип ИФС	Изоляция	$U_{ИФС}$, В (максимальные пиковые значения)		
		нормальный режим	касание исправной проводки	касание неисправной проводки
ИФСд.25	паронит ДУ32	0,6	43,8	308,7
ИФСд.32	фторопласт ДУ32	12,7	259,7	308
ИФСд.50	фторопласт ДУ60	12,7	259,7	308
ИФСд.25	фторопласт ДУ30	5,6	195,6	307,3
ИФСд.32	паронит ДУ42	0,4	32,7	308,5
ИФСд.50	паронит ДУ50	0,09	8,5	308,5

Как следует из табл. 3, при соприкосновении газопровода даже с исправной электропроводкой, на ИФС возможно наличие разности потенциалов. Однако во всех рассмотренных ситуациях значение $U_{ИФС}$ не превышает напряжения пробоя изоляции.

Наиболее вероятной причиной появления перенапряжений на ИФС является влияние потенциала электророзжига, имеющегося в газовой плите, отопительном котле или нагревателе.

Большинство схем электророзжига выполняют на основе функциональной схемы, приведенной на рис. 3.

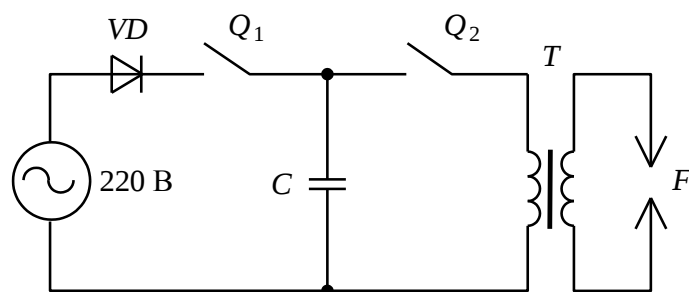


Рисунок 3 – Функциональная схема электророзжига

Схема работает следующим образом. Вначале замыкается ключ Q_1 , и конденсатор C заряжается от напряжения сети через диод VD . Затем ключ Q_1 размыкается, а замыкается ключ Q_2 . При этом конденсатор разряжается на первичную обмотку повышающего трансформатора T . На вторичной обмотке трансформатора T возникает импульс напряжения со значением от 5 до 20 кВ, и происходит разряд в разряднике F .

Один из контактов разрядника соединяется, как правило, с корпусом прибора. При нарушениях эксплуатации этот корпус может быть не заземлен. Между корпусом прибора и газопроводом имеется некоторая изоляция с параметрами $R_{из}$ и $C_{из}$. Исследуем влияние импульса напряжения от электророзжига в такой ситуации.

Воспользуемся программой *Electronics Workbench*. Имитационная схема электророзжига, составленная в соответствии с рис. 3, а также осциллограмма получаемого импульса приведены на рис. 4.

Пиковое значение импульса составило 12,6 кВ.

Результаты расчета, выполненные в программе *Electronics Workbench*, для различных ситуаций, приведены в табл. 4.

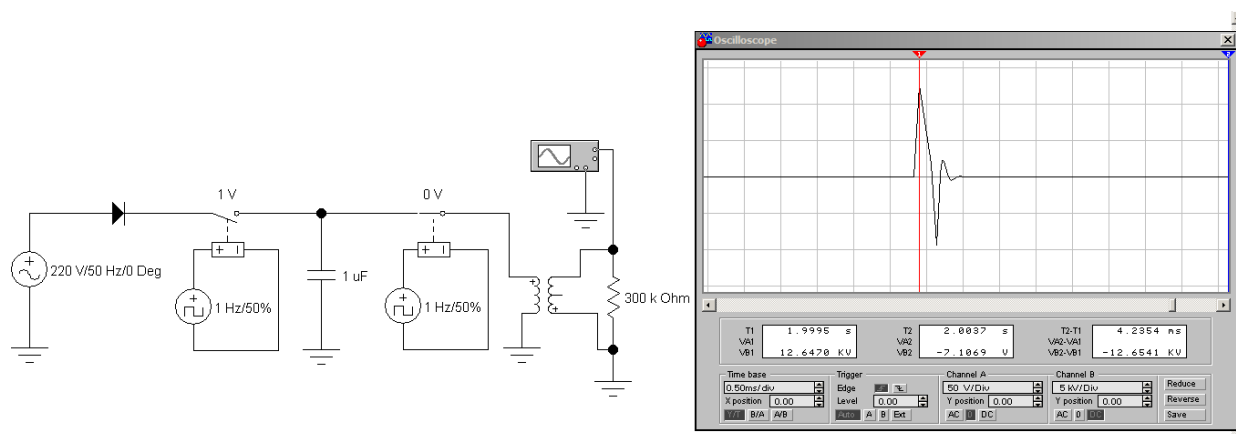
Рисунок 4 – Имитационная схема электророзжига в программе *Electronics Workbench*

Таблица 4 – Результаты расчета разности потенциалов на ИФС при включении электророзжига

Тип ИФС	Изоляция	$U_{\text{ИФС}}$, В (максимальные пиковые значения)		
		нормальный режим	касание исправной проводки	касание неисправной проводки
ИФСд.25	паронит ДУ32	34,3	2000	3000
ИФСд.32	фторопласт ДУ32	410	6400	7900
ИФСд.50	фторопласт ДУ60	410	6400	7900
ИФСд.25	фторопласт ДУ30	342,3	4100	8100
ИФСд.32	паронит ДУ42	92,3	2050	4700
ИФСд.50	паронит ДУ50	37,1	775	1500

Как видно из табл. 4, при соприкосновении газопровода с исправной электропроводкой в момент включения электророзжига на ИФС возможны достаточно высокие пиковые значения напряжения импульсного характера, не превышающие, однако напряжения пробоя. Если же изоляция кабеля, соприкасающегося с газовой трубой, повреждена, то вероятность пробоя изоляции ИФС достаточно велика.

В качестве способа борьбы с перенапряжениями на ИФС можно предложить заземление газопровода на стороне потребителя. При добавлении в схему на рис. 2 сопротивления заземления $R_{\text{зз}} = 10 \text{ Ом}$ [8, п.4.3.2.13] при любых ситуациях пиковое значение напряжения $U_{\text{ИФС}}$ не превышает нескольких десятков вольт.

Выводы. В процессе монтажа газопровода на стороне потребителя ни на одном из участков газовой трубы не должно быть соприкосновения с электропроводкой или с корпусом газового прибора. При этом газопровод и все корпуса газовых приборов необходимо подключить к контуру заземления или заземленному проводнику PE системы электропитания. При невыполнении этих требований на ИФС возможны перенапряжения, способные привести к пробоям изоляции, нарушению герметизации газопровода и последующему воспламенению.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. – М.: Стандартинформ, 2006. – 135 с.
- Micu, D.D. Evaluation of induced AC voltages in underground metallic pipeline / D.D. Micu and others // COMPEL. – 2012. – Vol 31. – Iss: 4. – Pp. 1133-1143.
- Цих, В.С. Аналитическое моделирование для определения возможностей обнаружения отслоений изоляционного покрытия подземных нефтегазопроводов с помощью фазового метода контроля / В.С. Цих // Нефтегазовое дело. – 2012. – №5. – с. 496–506.
- Гарифуллина, С.Р. Математическое моделирование и численное исследование электрических полей протяженных электродов в полуограниченном пространстве / С.Р. Гарифуллина / Автореферат диссертации на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Башкирский государственный университет. – 2011. – 17 с.

5. Калантаров, П.Л. Расчет индуктивностей / П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. – Ленинград.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
6. Яворский, Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, А.К. Лебедев. – М.: ООО «Издательство Оникс», 2008. – 1056 с.
7. Богородицкий, Н.П. Электротехнические материалы: Учебник для вузов. – Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.
8. ТКП 339-2011. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. – Мн.: филиал «Информационно-издательский центр» ОАО «Экономэнергo», 2011. – 593 с.

INFLUENCE OF ELECTRIC POTENTIALS FROM NATURAL GAS CONSUMERS' EQUIPMENT TO THE INSULATION OF GAS-MAINS FLANGE CONNECTIONS

Dzmitry Zalizny, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus

Jury Rudchenko, Candidate of Technical Sciences
Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus

Mikhail Novikov, Candidate of Technical Sciences
Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus

Denis Moroz, Candidate of Technical Sciences
Project Scientific Research Republican Enterprise «NII BELGIPROTOPGAZ», Minsk, Belarus

Purpose. This investigation is aimed to realize how the electric breakdown of gas-main flange connections can occur.

Methods. Imitation modeling method is described in this paper.

Findings. An equivalent electrical scheme of gas-mains is developed in the paper. The electrical scheme consists of the active, inductive and capacitive resistances. Using the imitation modeling it is shown that highest voltage on the gas-mains flange connections can occur when electrical kindling is switched on and operation rules of electrical installations are broken. The overvoltage can bring to the flange connection insulation breakdown and to provoke the gas ignition.

Application field of research. The obtained results can be used in the design of gas-main pipelines protection.

Conclusions. The gas pipes and gas equipment on the consumer side are to be grounded and should not touch the electrical cables to avoid the electrical breakdown of the flange connection insulation.

Keywords: gas-main, flange connection, insulation, overvoltage, electrical breakdown.

(The date of submitting: November 14, 2016)

REFERENCES

1. GOST 9.602-2005. Edinaya sistema zastchitiy ot korrozii i stareniya. Soorugeniya podzemnie. Obstscie trebovaniya k zastchite ot korrozii [Unified system of corrosion and ageing protection. Underground constructions]. Moscow.: Standartinform, 2006. 135 p. (rus)
2. Micu D.D. and others. Evaluation of induced AC voltages in underground metallic pipeline *COMPEL*. 2012. Vol 31. Iss: 4. Pp. 1133-1143. (rus)
3. Tsih V.S. Analiticheskoe modelirovanie dlya opredeleniya vozmognostey obnarugeniya otsloeniy isolatsionnogo pokrytiya podzemnih neftegazoprovodov s pomostchuy fazovogo metoda kontrolya [Analytical modeling with the phase control method to detect the exfoliation of the gas-main isolation] *Neftegazovoe delo* [Petroleum and gas business]. 2012. No. 5. Pp. 496-506. (rus)
4. Garifullina S.R. Matematicheskoe modelirovanie i tchislennoe issledovanie elektricheskikh poley protyagennykh elektrodov v poluogranitshennom prostranstve [The electrical field with long electrodes in the semi-bounded mathematical modeling and numerical investigation] *Dissertation abstract* Bashkir University. 2011. 17 p. (rus)
5. Kalantarov P.L., Tseitlin L.A. *Rastchet induktivnostey* [Inductance calculating] Leningrad.: Energoatizdat, 1986. 488 p. (rus)
6. Yavorsky B.M., Detlaf A.A., Lebedev A.K. *Spravochnik po fizike dlya ingenerov i studentov vuzov* [Physics reference book for engineers and students] Moscow: OOO «Izdatelstvo onix», 2008. 1056 p.
7. Bogoroditsky N.P., Pasinkov V.V., Tareev B.M. *Electrotekhnicheskie materialy* [Electrotechnical materials] Leningrad.: Energoatizdat, 1985. 304 p. (rus)
8. TKP 339-2011. Electroustanovki na napriagienie do 750 kV. [750 kV power equipments] Minsk: philiat «Informatsionno-izdatelskiy tsentr» OAO «Economenergo», 2011. 593 p. (rus)

УДК 614.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРА КЛАССА В ПРИ ЕГО ТУШЕНИИ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ

Абрамов Ю.А., Тищенко Е.А.

Разработан алгоритм экспериментального определения частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой.

Ключевые слова: пожар класса В, распыленная вода, частотные характеристики.

(Поступила в редакцию 5 октября 2016 г.)

Введение. Математическое описание процессов, имеющих место при тушении пожаров класса В распыленной водой, в большинстве случаев носит эмпирический характер и, как правило, сводится к получению функциональной зависимости между показателем, отражающим эффект от использования системы пожаротушения, и показателем, характеризующим управляющее воздействие на очаг горения [1,2]. В качестве таких показателей обычно используются время тушения и интенсивность подачи распыленной воды. Однако такая функциональная зависимость определяется в установившемся режиме тушения пожара, вследствие чего она не характеризует динамические свойства такого процесса. Для описания динамических свойств пожара класса В при его тушении распыленной водой возможно использование уравнения Фурье [3], но такой подход имеет ряд ограничений при его распространении на решение задач, связанных с проектированием систем пожаротушения. Использование передаточных функций для описания динамических свойств пожара класса В при тушении распыленной водой [4] существенно расширяет возможности при решении задач, связанных с проектированием, в частности, систем автоматического пожаротушения. Одним из методов, который направлен на решение таких задач, является частотный метод, который предполагает наличие в качестве исходных данных частотных характеристик пожара [5]. Определение частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой экспериментальным путем обуславливает необходимость в изменении интенсивности ее подачи в очаг горения по гармоническому закону. Для реализации такой процедуры должна быть проведена соответствующая модернизация системы автоматического пожаротушения.

В этой связи возникает задача по экспериментальному определению частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой при функционировании систем автоматического пожаротушения в штатном режиме.

Основная часть. Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ) пожара класса В при его тушении распыленной водой определяется выражением

$$W(j\omega) = \theta(p)I^{-1}(p) \Big|_{p=j\omega}, \quad (1)$$

где $\theta(p)$, $I(p)$ – изображение по Лапласу от относительной температуры поверхности горящей жидкости $\theta(t)$ и интенсивности подачи распыленной воды $I(t)$ соответственно; $\omega = V^{-2}aQ$ – безразмерная круговая частота; Q – размерная круговая частота; V – скорость выгорания жидкости; a – коэффициент температуропроводности горючей жидкости; j – мнимая единица;

$$\theta(t) = [T_{кин} - T(t)] \cdot [T_{кин} - T_{ок}]^{-1}; \quad (2)$$

$T_{кин}$, $T_{ок}$, $T(t)$ – температура кипения горючей жидкости, температура окружающей среды и температура поверхности горящей жидкости соответственно.

Если тушение горящей жидкости осуществляется путем подачи в очаг горения распыленной воды постоянной интенсивности, т. е. при $I(t) = I_0 = const$, то температура поверхности этой жидкости будет изменяться так, как это показано на рисунке 1.

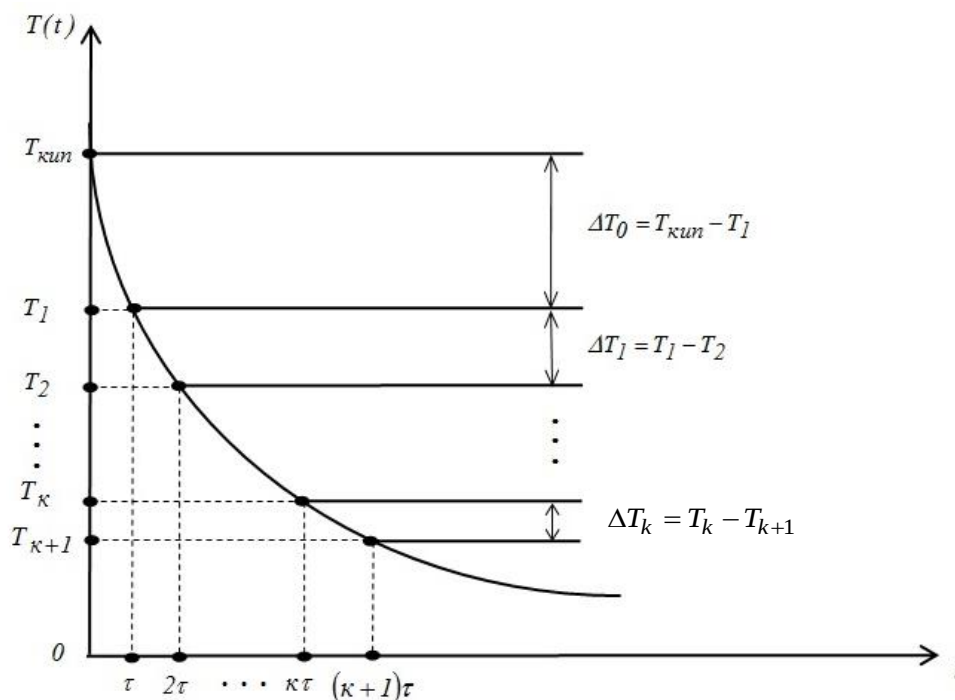


Рисунок 1 – Изменение температуры поверхности горячей жидкости при ее тушении

Будем с помощью датчика температуры, помещенного в горючую жидкость, в моменты времени, отстоящие друг от друга на величину τ , измерять величину снижения температуры поверхности горячей жидкости ΔT_k относительно предыдущего момента времени, т. е. в момент времени $(k+1)\tau$ – измерять величину $\Delta T_k = T_k - T_{k+1}$. Вследствие того, что изменению температуры поверхности горячей жидкости $T(t)$ при ее тушении соответствует изменение относительной температуры $\theta(t)$ (см. рисунок 2), то в момент времени $(k+1)\tau$ величине ΔT_k будет соответствовать величина $\Delta \theta_k$. Для этих величин справедливо соотношение.

$$\Delta \theta_k = \Delta T_k (T_{kun} - T_{ок})^{-1}. \quad (3)$$

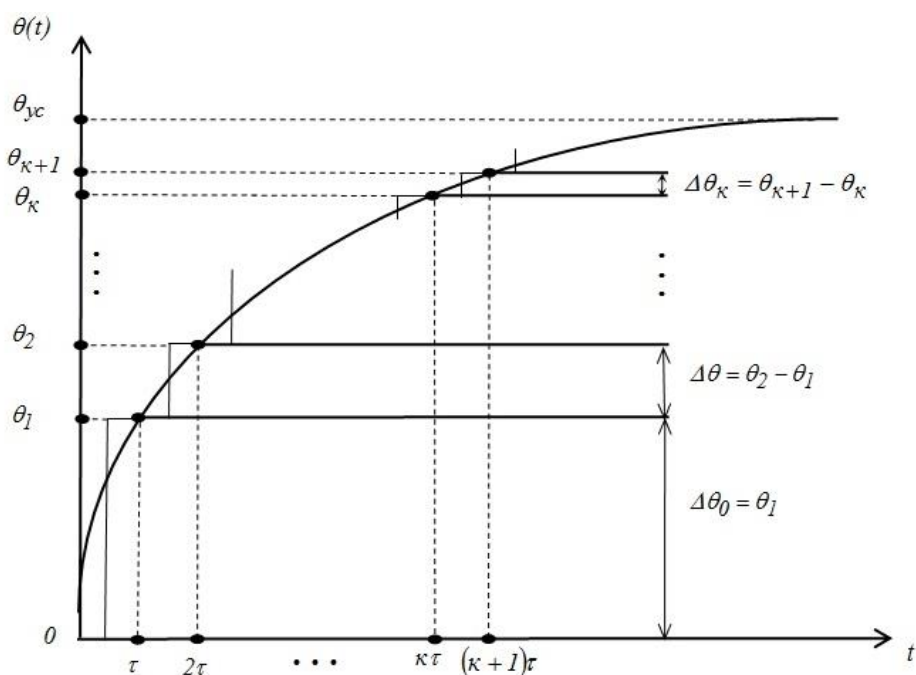


Рисунок 2 – Изменение относительной температуры поверхности горячей жидкости при ее тушении

Интервал времени τ выбирается в соответствии с теоремой Котельникова-Найквиста-Шеннона [6]

$$\tau = 0,5 f_m^{-1}, \quad (4)$$

где f_m – максимальное значение частоты спектра функции $T(t)$.

Функция $\theta(t)$ может быть аппроксимирована следующим образом (см. рисунок 2)

$$\begin{aligned} \theta(t) = & \Delta\theta_0 \cdot 1(t - 0,5\tau) + \Delta\theta_1 \cdot 1(t - 1,5\tau) + \dots + \\ & + \Delta\theta_\kappa \cdot 1(t - (\kappa + 0,5)\tau) + \dots = \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot 1(t - (\kappa + 0,5)\tau), \end{aligned} \quad (5)$$

где $1(\cdot)$ – функция Хевисайда.

Применяя к (5) интегральное преобразование Лапласа, получим

$$\theta(p) = p^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \exp[-p(\kappa + 0,5)\tau], \quad (6)$$

где p – комплексное число.

Тогда из определения передаточной функции [7] следует

$$\theta(p) = p^{-1} I_0 \cdot W(p) = p^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \exp[-p(\kappa + 0,5)\tau], \quad (7)$$

где $W(p)$ – передаточная функция пожара класса В.

Из (7) следует выражение для АФЧХ пожара класса В при его тушении распыленной водой

$$W(j\omega) = W(p) \Big|_{p=j\omega} = I_0^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \exp[-j\omega(\kappa + 0,5)\tau] \quad (8)$$

Если учесть связь между показательной, тригонометрической и алгебраической формами представления комплексных чисел, то выражение (8) можно переписать следующим образом

$$W(j\omega) = I_0^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa [\cos[\omega(\kappa + 0,5)\tau] - j \sin[\omega(\kappa + 0,5)\tau]] = M(\omega) + jN(\omega), \quad (9)$$

где $M(\omega) = I_0^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \cos[\omega(\kappa + 0,5)\tau]$ – вещественная частотная характеристика пожара;

$N(\omega) = -I_0^{-1} \sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cdot \sin[\omega(\kappa + 0,5)\tau]$ – мнимая частотная характеристика пожара.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазо-частотная характеристика (ФЧХ) пожара класса В будут соответственно определяться выражением

$$A(\omega) = I_0^{-1} \left[\left[\sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cos[\omega(\kappa + 0,5)\tau] \right]^2 + \left[\sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \sin[\omega(\kappa + 0,5)\tau] \right]^2 \right]^{0,5}; \quad (10)$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg \left[\left[\sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \sin[\omega(\kappa + 0,5)\tau] \right] \cdot \left[\sum_{\kappa=0}^n \Delta\theta_\kappa \cos[\omega(\kappa + 0,5)\tau] \right]^{-1} \right]. \quad (11)$$

Следует заметить, что выражения для частотных характеристик пожара (8)–(11) получены при условии, что измерения приращений ΔT_κ производятся безынерционным измерителем.

В том случае, когда инерционными свойствами измерителя температуры пренебречь нельзя, результатом реализации рассмотренного алгоритма будет АФЧХ совместно пожара $W(j\omega)$ и измерителя температуры $W_T(j\omega)$, т. е.

$$\begin{aligned} W_c(j\omega) &= W(j\omega)W_T(j\omega) = A_c(\omega)\exp[j\phi_c(\omega)] = \\ &= A(\omega)A_T(\omega)\exp[j[\phi(\omega) + \phi_T(\omega)]], \end{aligned} \quad (12)$$

где $A_T(\omega)$, $\phi_T(\omega)$ – соответственно АЧХ и ФЧХ измерителя температуры.

Из (12) следуют выражения для АФЧХ, АЧХ и ФЧХ пожара класса В при его тушении распыленной водой с учетом инерционных свойств измерителя температуры:

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= W_c(j\omega)W_T^{-1}(j\omega); \quad A(\omega) = A_c(\omega)A_T^{-1}(\omega); \\ \phi(\omega) &= \phi_c(\omega) - \phi_T(\omega). \end{aligned} \quad (13)$$

В этих выражениях частотные характеристики с индексом «с» определяются в соответствии с выражениями (9)–(11), а частотные характеристики измерителя температуры, имеющие индекс «Т», в первом приближении могут описываться выражениями [7]

$$\begin{aligned} W_T(j\omega) &= K(1 + \omega^2\tau_0^2)^{-1} - j\omega\tau_0K(1 + \omega^2\tau_0^2)^{-1}; \\ A_T(\omega) &= K(1 + \omega^2\tau_0^2)^{-0,5}; \quad \phi_T(\omega) = -\arctg\omega\tau_0, \end{aligned} \quad (14)$$

где K , τ_0 – коэффициент передачи и постоянная времени измерителя температуры соответственно.

Заключение. Определение частотных характеристик пожара класса В при его тушении распыленной водой в отличие от использования традиционного подхода, основанного на необходимости формирования входного воздействия, изменяющегося по гармоническому закону во времени, предполагает получение исходной информации по изменению температуры поверхности горящей жидкости при подаче в очаг горения распыленной воды, интенсивность которой описывается функцией Хевисайда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кухно, А.Н. Зависимость времени тушения от интенсивности подачи воды / А.Н. Кухно, Е.Н. Панин // Пожаротушение. – М.: ВНИИПО, 1984. – С. 84-93.
2. Абдурагимов, Н.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / Н.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: ВНИПТШ МВД СССР, 1980. – 253 с.
3. Абрамов, Ю.А. Математическое описание процесса тушения пожара класса В распыленной водой / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь // Пожежна безпека: Теорія і практика. – Черкаси: ЧАПБ, 2012. – № 12. – С. 4-8.
4. Абрамов, Ю.А. Математические модели пожара класса В при его тушении распыленной водой / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – Гомель: ГИИ МЧС Республики Беларусь, 2013. – Т. 8. – № 1. – С. 15-19.
5. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832 с.
6. Биккенин, Р.Р. Теория электрической связи / Р.Р. Биккенин, М.Н. Чесноков. – М.: Академия, 2010. – 329 с.
7. Абрамов, Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Харьков: ХВПТУ, 1993. – 288 с.

LEARNING THE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE CLASS B FIRE WHEN IT IS BEING EXTINGUISHED BY WATER SPRAY

Yuriy Abramov, Doctor of Technical Sciences, Professor
National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Evgeniy Tischenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl of National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkassy, Ukraine

Purpose. Experimental obtaining of the frequency characteristics of the class B fire when it is being extinguished by water spray.

Methods. Using the Heaviside function for obtaining the dynamic characteristic of class B fire when it is being extinguished by water spray.

Findings. Analytical expressions of the frequency characteristics are obtained and its graphical interpretation is presented.

Application field of research. The obtained models could be used for water spray extinguishing systems for class B fires.

Conclusions. The expressions for the frequency characteristics of the class B fire while extinguishing by water spray are obtained.

Keywords: class B fire, water spray, frequency characteristics.

(The date of submitting: October 5, 2016)

REFERENCES

1. Kuhno A.N., Panin E.N. Zavisimost vremeni tusheniya ot intensivnosti podachi vody [Dependence of extinguishing time from water supply] *Pozharotushenie*. Moscow: VNIPO, 1984. Pp. 84-93. (rus)
2. Abduragimov N.M., Govorov V.Y., Makarov V.E. *Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozharov* [Physical and chemical properties bases of fire development and extinguishing] Moscow: VNPTSh MVD SSSR, 1980. 253 p. (rus)
3. Abramov Y.A., Gvozd V.M. Matematicheskoe opisanie processa tusheniya pozhara klassa B raspylennoy vodoy [Mathematical description of the extinguishing class B fire by water spray] *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktika*. Cherkassy: ChAPB, 2012. No 12. Pp. 4-8. (rus)
4. Abramov Y.A., Gvozd V.M. Matematicheskie modeli pozhara klassa B pri ego tushenii raspylennoy vodoy [Mathematical models of class B fire while extinguishing by water spray] *Chrezvychnyye situatsii: obrazovanie i nauka*. Gomel: GII MChS Belarus republic, 2013. Vol. 8. No. 1. Pp. 15-19. (rus)
5. Dorf R., Bishop R. *Sovremennyye sistemy upravleniya* [Current systems of management] Moscow: Laboratoriya bazovykh znaniy, 2004. 832 p. (rus)
6. Bikkenin R.R., Chesnokov M.N. *Teoriya elektricheskoy svyazi* [Theory of electrical connection] Moscow: Akademiya, 2010. 329 p. (rus)
7. Abramov Y.A. *Osnovy pozharnoy avtomatiki* [Bases of fire autamtics] Kharkiv: KhVPTU, 1993. 288 p. (rus)

УДК 614.841

О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПОЖАРА ПРИ ЕГО ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Кузьмицкий В.А.

Проанализированы ведущие уравнения интегральной модели пожара для помещения при его значительной продолжительности. Отмечено, что экспоненциальная зависимость температуры от массы пожарной нагрузки, отнесенной к массе воздуха в помещении, m , используемая для начальной стадии пожара, дает слишком быстрый рост даже на этой стадии и не может быть экстраполирована на продолжительное время пожара – большее нескольких минут. Учет этого обстоятельства необходим, в частности, для моделирования динамики развития опасных факторов пожара в помещениях, смежных с помещением с пожаром. Уравнение для временной динамики относительной плотности газовой среды ρ/ρ_0 сформулировано в терминах параметров m' , q и p , задающих скорость выгорания пожарной нагрузки, теплоту сгорания и комбинацию геометрических размеров проема и помещения, соответственно. Для его решения использована программа, написанная в системе Mathematica 9. Разработанная программа может служить основой для расчетов ОФП в горящем помещении, а также в помещениях, смежных с ним.

Ключевые слова: пожар в помещении; интегральная модель; программа в системе Mathematica

(Поступила в редакцию 26 мая 2016 г.)

Введение. Определение опасных факторов пожара (ОФП), необходимое для эвакуации людей из зданий и сооружений, предусматривает расчеты на основе интегральной, зонной и дифференциальной модели пожара, что закреплено в законодательных документах Республики Беларусь и Российской Федерации [1,2]. Интегральная модель, хотя и уступает по своей точности дифференциальным и зонным моделям, тем не менее, обладает рядом достоинств, главное из которых сравнительная простота. В ее основу положены дифференциальные уравнения баланса для физических характеристик состояния газовой среды в помещении, усредненных по его объему [3-7]. Моделирование динамики развития пожара с привлечением интегральной модели актуально также с точки зрения развития практических, инженерных методик расчета ОФП.

Необходимо отметить, что ряд используемых соотношений интегральной модели справедлив в течение короткого времени от начала. Между тем, реальный пожар может продолжаться в течение достаточно большого времени, и сведения о состоянии газовой среды могут быть необходимы для значительных промежутков времени от начала горения. Такая ситуация достаточно актуальна, например, при рассмотрении ОФП в помещениях, смежных с помещением с пожаром [8-11]. При этом можно предполагать, что горение материалов в таких помещениях еще не наступило, и источником ОФП для них являются горячие газы, поступающие из помещения с пожаром [8].

В настоящей работе проанализированы ведущие уравнения интегральной модели для значительной продолжительности пожара. Представлена вычислительная программа, написанная в среде Mathematica 9, с помощью которой возможно проведение расчетов температуры как ОФП. На основе разработанной программы возможен также расчет иных ОФП, таких как задымленность, пониженное содержание кислорода, концентрация токсических газов и др.

Основная часть. Ведущая система уравнений интегральной модели пожара отражает законы сохранения массы и энергии газовой среды. Она может быть записана следующим образом (см. [3-7]):

$$V \frac{d\rho}{dt} = \psi - G_{\Gamma} + G_{\text{В}}, \quad (1)$$

$$\frac{V}{\gamma - 1} \cdot \frac{dP}{dt} = \psi \cdot \eta \cdot (1 - \phi) \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{Р}} - G_{\Gamma} c_p T + G_{\text{В}} c_p T_0. \quad (2)$$

В уравнениях (1), (2) использованы следующие обозначения: ρ и P – среднеобъемная плотность и давление газовой среды помещения с объемом V ; ψ – массовая скорость выгорания (газификации) горючего материала (пожарная «нагрузка»); G_{Γ} – массовый расход горячих газов с температурой T , уходящих через проем во внешнее окружение; $G_{\text{В}}$ – массовый расход холодного воздуха с температурой T_0 , поступающего через проем в помещение с пожаром; $\gamma = c_p/c_v = 1,4$ – показатель адиабаты идеального газа, c_p , c_v – его удельные теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме; η – коэффициент полноты сгорания, $Q_{\text{Н}}$ – удельная низшая теплота сгорания; ϕ – коэффициент теплопотерь в окружающие ограждения. Уравнения (1), (2) должны быть решены при условии, что заданы начальные значения среднеобъемных параметров газовой среды $\rho(t=0) = \rho_0$, $T(t=0) = T_0$, $P(t=0) = P_0$; обычно ρ_0 , T_0 , P_0 – плотность, температура и давление газовой среды при нормальных условиях.

В общем виде решение системы уравнений (1), (2) неизвестно. Однако в литературе представлено приближенное решение этих уравнений (так называемое нулевое приближение). Оно использует два главных допущения, основанных на эмпирических наблюдениях:

(i) Из-за наличия открытых проемов давление в помещении изменяется в течение всего пожара лишь в небольших пределах – около 0,01 % от давления атмосферного, т. е. ΔP составляет ~10 Па (см. обсуждение в [12]).

(ii) На начальной стадии пожара, в течение некоторого промежутка времени можно пренебречь поступлением холодного воздуха (см. [4] и ссылки там).

В соответствии с малостью изменения давления ΔP производная $\frac{dP}{dt}$ в уравнении (2) приравнивается нулю и (2) превращается в алгебраическое уравнение. С учетом этого дифференциальное уравнение (1) можно преобразовать к виду

$$\frac{df}{dt} = -q \cdot m' \cdot f + m' + g_{\text{В}}(1 - f), \quad (3)$$

здесь $f = \rho/\rho_0$ – относительная плотность газовой среды, $q = [\eta \cdot (1 - \phi) \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}]/(c_p T_0)$, $g_{\text{В}} = G_{\text{В}}/M_{\text{Возд}}$, $M_{\text{Возд}} = V\rho_0$ – начальная масса воздуха в помещении. Что касается величины m' , то необходимо отметить следующее. По своему смыслу пожарная нагрузка ψ – это масса горючего вещества, выгоревшего за единицу времени, т. е. производная от массы нагрузки $M_{\text{нагр}}(t)$, выгоревшей к моменту времени t . Если $m = M_{\text{нагр}}(t)/M_{\text{Возд}}$ – масса горючего материала, отнесенная к массе воздуха в помещении $M_{\text{Возд}}$, то $m' = \frac{dm}{dt} = \frac{1}{M_{\text{Возд}}} \frac{dM_{\text{нагр}}}{dt}$ –

массовая скорость выгорания горючего материала, вновь отнесенная к массе воздуха $M_{\text{Возд}}$. Размерность $[m'] = 1/\text{с}$, размерность $[g_{\text{В}}] = (\text{кг}/\text{с})/\text{кг} = 1/\text{с}$, величины f и q – безразмерные.

В нулевом приближении, т. е. при использовании как первого ($\Delta P = 0$), так и второго допущений ($g_{\text{В}} = 0$), уравнение (3) приобретает вид

$$\frac{df}{dt} = -m' \cdot q \cdot f + m'. \quad (4)$$

Решить уравнение (4) не составляет труда. Без учета второго члена оно имеет вид

$$\frac{df}{dt} = -m' \cdot q \cdot f, \quad (5)$$

т. е. (5) является однородным уравнением по отношению к неоднородному (4).

С учетом

$$m(t) = \int_0^t m' dt \quad (6)$$

решение однородного уравнения (5) имеет вид простой экспоненциальной зависимости от приведенной массы нагрузки $m = m(t)$, выгоревшей к моменту времени t , что дает простую зависимость для плотности газовой среды, а также для температуры (из $\Delta P = 0$ следует $\rho T = \rho_0 T_0$):

$$\rho = \rho_0 \cdot \exp[-q \cdot m(t)], \quad (7)$$

$$T = T_0 \cdot \exp[q \cdot m(t)]. \quad (8)$$

Неоднородное уравнение (4) обычно не рассматривается [3-7], хотя его решение легко получить хорошо известным методом варьирования постоянной, дающим

$$\rho = \rho_0 \cdot \exp(-q \cdot m) + \rho_0 \cdot [1 - \exp(-q \cdot m)]/q. \quad (9)$$

Основанием для рассмотрения $\rho(t)$ только в виде (7) служит то, что параметр $q \gg 1$. Действительно, например, для типичной пожарной нагрузки вида «мебель + бытовые изделия» численные величины необходимых параметров равны: $Q_H^p = 1,38 \cdot 10^7$ Дж/кг [5], и $c_p = 1006,23$ Дж/(кг·К), $T_0 = 293$ К; при $\eta \sim 1$ и $\phi \sim 0,1 \div 0,6$ [4-6] получаем, что диапазон $q \sim 20 \div 40$. Аналогичным образом, за итоговое решение для температуры берется выражение (8).

В дифференциальном уравнении (5) для плотности газовой среды f помещения (и тем самым его температуры) существенна зависимость от m' , т. е. от пожарной нагрузки $\psi(t)$. Обычно принимается следующие выражения для временной зависимости $\psi(t)$ [3-5].

При газификации твердого материала:

$$\psi(t) = \psi_{уд} \cdot F_r. \quad (10)$$

При газификации горючей жидкости:

$$\psi(t) = \psi_{уд} \cdot F_r \sqrt{t/t_{ст}}, \text{ при } t \leq t_{cm}, \quad (11)$$

$$\psi(t) = \psi_{уд} \cdot F_r, \text{ при } t \leq t_{cm}. \quad (12)$$

В формулах (10)–(12) F_r – площадь поверхности горения; для твердого материала F_r принимается равной:

$$F_r = \pi(v_{лt})^2 - \text{круговое распространение горения}, \quad (13)$$

$$F_r = bv_{лt} - \text{линейное распространение горения}. \quad (14)$$

Другие обозначения в формулах (10) – (14): $\psi_{уд}$ – удельная массовая скорость газификации; $t_{ст}$ – время стабилизации горения жидкости; $v_{л}$ – линейная скорость распространения пламени по поверхности твердого материала; b – ширина фронта пламени.

Как представляется, время стабилизации при горении жидкости $t_{ст}$ должно быть достаточно малым, так что горение за короткий промежуток времени охватывает всю площадь ее разлива. С учетом этого в дальнейшем будем полагать, что нагрузка $\psi(t)$ либо не зависит от времени (для горения жидкости), либо пропорциональна первой или второй степени времени:

$$\psi(t) = a_n t^{n-1}, \quad n = 1, 2, 3. \quad (15)$$

С учетом (15) уравнения (7,8) можно представить также в виде

$$\rho(t) = \rho_0 \cdot \exp \left[- \left(\frac{t}{t_{n-1}} \right)^n \right], \quad (16)$$

$$T(t) = T_0 \cdot \exp \left[\left(\frac{t}{\tau_{n-1}} \right)^n \right], \quad (17)$$

где

$$\tau_{n-1} = \left(\frac{nM_{\text{возд}}}{a_n q} \right)^{1/n}. \quad (18)$$

Оценим τ_{n-1} , например, для кругового распространения горения нагрузки в виде «мебель + бытовые изделия». Для объема помещения $V = 50$ м³ получаем $\tau_2 \cong 95$ с, а для объема $V = 400$ м³ – $\tau_2 \cong 190$ с (положено $\phi \sim 0,1$ и $\rho_0 = 1,29$ кг/м³).

Таким образом, «нулевое приближение» справедливо в течение времени в несколько минут, а продолжительность реального пожара может быть гораздо большей. Это обстоятельство важно и с точки зрения моделирования динамики развития ОФП в помещениях, смежных с помещением с пожаром [8-11]. При этом можно предполагать, что горение ма-

териалов в таких помещениях еще не наступило, тогда источником ОФП для них будут горячие газы, поступающие из помещения с пожаром [8].

Необходимо отметить, что простая экстраполяция уравнения (8) на достаточно большое время развития пожара неприемлема, так как это соответствовало бы неограниченному, а также слишком быстрому росту температуры. В связи с этим требуется, прежде всего, пересмотр задания скорости горения пожарной нагрузки $\psi(t)$. Ее схематический вид представлен на рисунке 1, из которого видно, что горение можно разбить на три стадии: начальную I, характеризующуюся ростом скорости газификации (для $\psi(t) = \psi_I(t)$ приемлемо использование уравнений (10)–(14)); стадию стационарного горения II, при которой $\psi(t) = \psi_{II} = \text{const}$; стадию затухания, для которой $\psi(t) = \psi_{III}(t)$, и подходящим модельным выражением для $\psi_{III}(t)$ может быть $\psi_{III}(t) = \psi_{II} \cdot \exp(-\alpha_{\text{зат}}(t_{\text{зат}} - t))$. Здесь же можно отметить, что зависимость, аналогичную $\psi_{III}(t)$, можно использовать для учета тушения пожара при условии, что оно начинается в момент времени $t_{\text{туш}}$, $\psi(t) = \psi(t_{\text{туш}}) \cdot \exp(-\alpha_{\text{туш}}(t_{\text{туш}} - t))$, так что смысл $\psi(t_{\text{туш}}) \cdot \exp(-\alpha_{\text{туш}}(t_{\text{туш}} - t))$ состоит в том, что это скорость газификации материала при действии огнетушащих веществ.

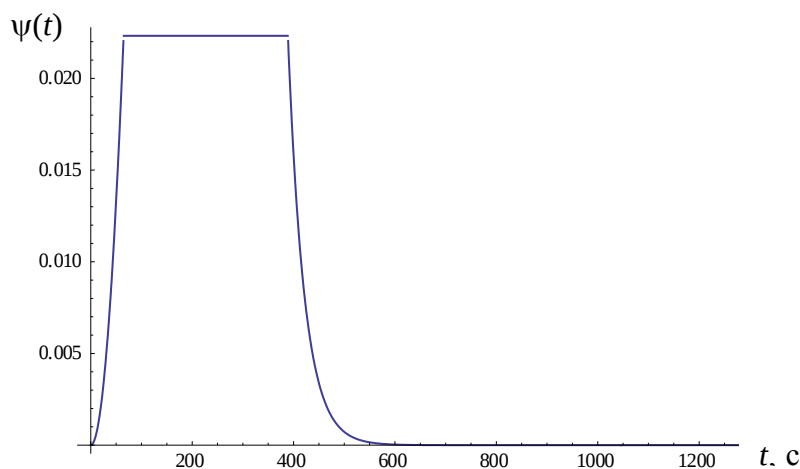


Рисунок 1 – Зависимость скорости горения пожарной нагрузки $\psi(t)$ на трех режимах (см. текст)

Можно отметить также, что масса нагрузки, выгоревшей к бесконечному (достаточно большому) моменту времени (см. формулу (6)) при вышеприведенном уточнении скорости газификации остается конечной. Численно она равна площади фигуры под кривой $\psi(t)$ на рисунке 1 и представляет собой суммарную массу пожарной нагрузки. Использование формулы (6) теперь дает конечную температуру при $t \rightarrow \infty$, однако она остается сильно завышенной из-за большой величины q для реальных помещений, в которых хранится материал, потенциально склонный к горению.

Учтем теперь еще то обстоятельство, что слагаемое $m' + g_B \cdot (1 - f)$ в правой части уравнения (3) положительно. Это означает, что его учет делает производную большей, чем $-m' \cdot q \cdot f$, что для f дает меньшее падение со временем, чем в (7), а, следовательно, меньший подъем температуры, чем в (8).

В дальнейшем мы будем предполагать, что для потока холодного воздуха G_B , входящего через дверной проем в помещение справедлива формула (см. [3-7])

$$G_B = \lambda \cdot \rho_0 \cdot (1 - \rho/\rho_0)^{1/2}. \quad (19)$$

В формуле (19)

$$\lambda = 2/3 \xi_B b_{\text{пр}} (h_{\text{пр}})^{3/2} (2g)^{1/2}, \quad (20)$$

где ξ_B – коэффициент гидравлического сопротивления, $b_{\text{пр}}$ – ширина проема, $h_{\text{пр}}$ – полувысота помещения, g – ускорение свободного падения. Размерность $[\lambda] = \text{м}^3/\text{с}$. Предполагается, что плоскость равных давлений для дверного проема в соответствии с наблюдениями [10] находится на уровне полувысоты помещения $h_{\text{пр}}$.

С учетом (19, 20) уравнение (3) можно преобразовать к виду

$$\frac{df}{dt} = -m' \cdot q \cdot f + m' + p (1 - f)^{3/2}, \quad (21)$$

где $m' = \psi/M_{\text{возд}}$, $p = \lambda/V$ – коэффициент, в котором скомбинированы геометрические размеры проема и помещения. Размерность $[p] = \text{с}^{-1}$ и для данного помещения $p = \text{const}$.

Для решения уравнения (21) была составлена программа с использованием пакета компьютерной алгебры Mathematica 9.

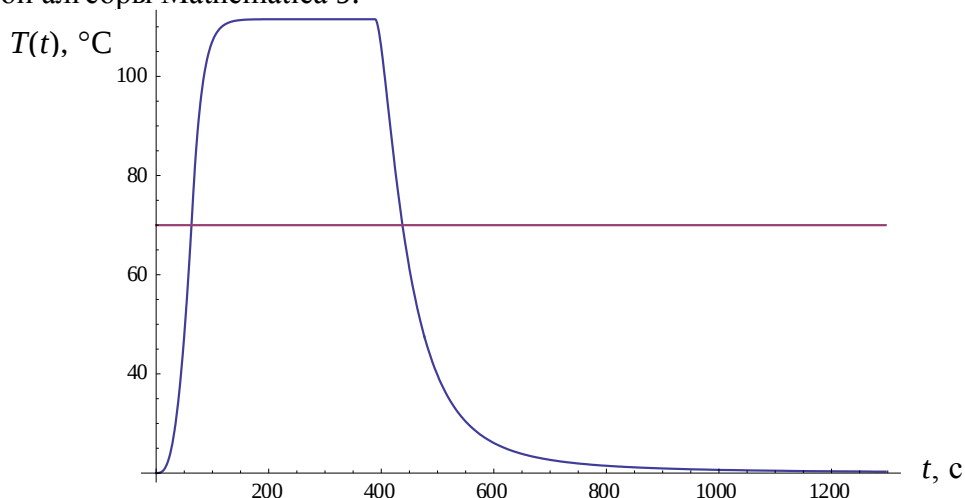


Рисунок 2 – Рассчитанная температура газовой среды при учете скорости горения пожарной нагрузки $\psi(t)$ на трех режимах. Горизонтальная линия на графике отвечает ОФП по температуре $T = 70^\circ\text{C}$

На рисунке 2 представлен пример расчета среднеобъемной температуры $T(t)$ в горящем помещении с начальной температурой 20°C . Параметры помещения взяты следующими: объем $V = X \cdot Y \cdot Z$ при длине $X = 6,7$ м, ширине $Y = 3,9$ м и высоте $Z = 2,55$ м. Рассмотрена нагрузка типа «мебель + бытовые изделия», характеризуемая параметрами $Q_H = 1,38 \cdot 10^7$ Дж/кг, $\eta = 0,9$, $\phi = 0,1$. Предполагалось, что имеет место круговое распространение пламени до максимального радиуса $R_{\text{нагр}} = 0,7$ м с линейной скоростью $v_{\text{л}} = 0,0108$ м/с, удельная массовая скорость газификации $\psi_{\text{уд}} = 0,0145$ кг³/(м²·с) [5]. Общий вид скорости выгорания задан в соответствии с рисунком 1.

Для начальной стадии пожара расчетные данные для среднеобъемной температуры $T(t)$ качественно правильно воспроизводят рост температуры, полученный в эксперименте [10], а также в расчетах FDS с помощью полевой модели [11]. В целом, однако, рост температуры на рисунке 2 представляется излишне быстрым.

Заключение. В настоящей статье рассмотрены ведущие уравнения интегральной модели пожара для помещения с пожаром, отражающие законы сохранения массы и энергии газовой среды. Уравнение для временной зависимости относительной плотности газовой среды $f = \rho/\rho_0$ сформулировано с помощью параметров m' , q и p , задающих скорость выгорания пожарной нагрузки, теплоту сгорания и комбинацию геометрических размеров проема и помещения, соответственно (см. выражения (3) и (21)). В «нулевом» приближении температура $T = T_0 \cdot \exp[q \cdot m(t)]$ дает слишком быстрый рост даже на начальной стадии пожара. Такая зависимость не может быть экстраполирована на времена, большее нескольких минут, что необходимо учитывать, в частности, для моделирования динамики ОФП в помещениях, смежных с помещением с пожаром. Для решения уравнения (21) написана вычислительная программа, использующая пакет компьютерной алгебры Mathematica 9. В качестве примера выполнен расчет среднеобъемной температуры $T(t)$ в горящем помещении, результаты которого на качественном уровне правильно соответствуют экспериментальным данным и расчетам FDS по полевой модели. Разработанная программа может служить основой для выполнения расчетов ОФП в горящем помещении, а также в смежных помещениях.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 01.07.92. – М: Комитет стандартизации и метрологии СССР: Министерство внутренних дел СССР, Министерство химической промышленности СССР, 1996. – 83 с.
- Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС

- России, 30 июня 2009 г., № 382: В ред. Приказа МЧС от 12.12.2011 г. № 749 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru>. – Дата доступа: 02.03.2015.
3. Астапенко, В.М. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский, А.Н. Шевляков; под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
 4. Кошмаров, Ю.А. Процессы нарастания опасных факторов пожара в производственных помещениях и расчет критической продолжительности пожара // Ю.А. Кошмаров, В.В.Рубцов. – М.: МИПБ МВД РФ, 1999. – 89 с.
 5. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
 6. Пузач, С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
 7. Пузач, С.В. Новые представления о расчетах необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах / С.В. Пузач, А.В. Смагин, О.С. Лебедченко, Е.С. Абакумов; под ред. С.В. Пузача. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 222 с.
 8. Кузьмицкий, В.А. Опасные факторы пожара на начальной стадии в смежном помещении в рамках интегральной модели / В.А. Кузьмицкий, И.И. Полевода, В.А. Осяев // Вестник КИИ МЧС Республики Беларусь. – 2011. – № 1 (13). – С. 105–109.
 9. Кошмаров, Ю.А. Динамика ОФП в помещении, смежном с очагом с пожаром / Ю.А. Кошмаров, С.С. Лапшин, Д.В. Тараканов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – № 1. – С. 67–75.
 10. Осяев, В.А. Характеристики газообмена через проем между двумя помещениями на начальной стадии пожара / В.А.Осяев // Вестник КИИ МЧС Республики Беларусь – 2013. – № 2 (18) – С. 105–109.
 11. Осяев, В.А. Расчеты с помощью программного комплекса FDS динамики пожара на начальной стадии для двух смежных помещений: сопоставление с экспериментальными данными / В.А. Осяев, В.А. Кузьмицкий, В.А. Кудряшов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. –2015. – № 1(37) – С. 87–95.
 12. Кузьмицкий, В.А. Газообмен через проем при учете распределения температуры в помещении с пожаром / В.А. Кузьмицкий, В.А. Осяев, И.И. Полевода // Вестник КИИ МЧС Республики Беларусь. – 2009. – № 2 (10). – С. 86–95.

SOLVING OF THE INTEGRAL MODEL EQUATIONS OF FIRE AT ITS PROLONGED DURATION

Valery Kuzmitsky, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Associate Professor

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The aim of the paper is to analyze the leading equations of the integral model of the fire in the compartment for prolonged time.

Methods. The approaches for solving of the ordinary differential equation were used.

Findings. It has been noted that the exponential dependence of the temperature on the mass of the fire load (divide to air mass in the compartment), m , which is used for the initial stage of the fire, gives too rapid rise already at this stage and cannot be extrapolated to prolonged fire for time more than some minutes. The equation for dynamics of relative gas medium density ρ/ρ_0 has been formulated in terms of the parameters m' , q , and p which represent the rate of fire load burning, combustion heat and a combination of the geometric dimensions of the compartment and opening, respectively.

Application field of research. The obtained results can be used for calculation of fire hazards both in the compartment with fire and adjacent compartment.

Conclusions. The leading equations of the integral model of fire in the compartment for prolonged stage have been analyzed. A program to solve corresponding equation using Mathematica 9 system has been written.

Key words: compartment fire, integral model of fire, program in the system Mathematica.

(The date of submitting: May 26, 2016)

REFERENCES

1. GOST 12.1.004–91. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaja bezopasnost'. Obshhie trebovaniya [Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements] Introduced 01.07.92. Moscow. Komitet standartizacii i metrologii SSSR: Ministerstvo vnutrennih del SSSR, Ministerstvo himicheskoy promyshlennosti SSSR, 1996. 83 p. (rus)
2. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnykh klassov funktsional'noj pozharnoy opasnosti [On approval of the methodology for determining the estimated value of fire risk in buildings, construction and structures of various classes of functional fire hazard]: *Prikaz MChS Rossii, 30 iyunja 2009 g., № 382: V red. Prikaza MChS ot 12.12.2011 g. № 749*, available at <http://www.mchs.gov.ru> (accessed: March 02, 2015) (rus)
3. Astapenko V.M., Koshmarov Yu.A., Molchadskiy I.S., Shevlyakov A.N. *Termogazodinamika pozharov v pomeshcheniyakh* [Thermogasdynamics of fires in rooms]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 448 p. (rus)
4. Koshmarov Yu.A., Rubcov V.V. *Processy narastaniya opasnykh faktorov pozhara v proizvodstvennykh pomeshheniyah i raschet kriticheskoy prodolzhitel'nosti pozhara* [Processes increase fire hazards in the production facilities and the calculation of the critical fire duration]. Moscow: MIPB MVD RF, 1999. 89 p. (rus)
5. Koshmarov Yu.A. *Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara v pomeshhenii. Uchebnoe posobie* [Prediction of fire hazards in the room. Tutorial]. Moscow: Akademija GPS MVD Rossii, 2000. 118 p. (rus)
6. Puzach S.V. *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshhenii i ih primenenie pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvbezopasnosti* [Methods for calculating heat and mass transfer in a fire in the room and their application in solving practical problems firefighting]. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2005. 336 p. (rus)
7. Puzach S.V., Smagin A.V., Lebedchenko O.S., Abakumov E.S. *Novye predstavleniya o raschetah neobhodimogo vremeni jevakuacii ljudej i ob jeffektivnosti ispol'zovaniya portativnykh fil'trujushhih samospasatelej pri jevakuacii na pozharah* [New ideas about the calculation time required evacuation of people and the effectiveness of the use of portable filter self-rescuers to evacuate at fire]. Moscow: Akademija GPS MChS Rossii, 2007. 222 p. (rus)
8. Kuz'mickij V.A., Polevoda I.I., Osjaev V.A. *Opasnye faktory pozhara na nachal'noj stadii v smezhnom pomeshhenii v ramkah integral'noj modeli* [Hazards of fire at an early stage in an adjacent room in

- framework of the integral model]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2011. No 1 (13). Pp. 105-109. (rus)
9. Koshmarov Yu.A., Lapshin S.S., Tarakanov D.V. Dinamika OFP v pomeshhenii, smezhnom s ochagom s pozharom [Hazards fire dynamics in the room adjacent to the fireplace with fire]. *Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija*. 2009. No 1. Pp. 67-75. (rus)
 10. Osjaev V.A. Harakteristiki gazoobmena cherez proem mezhdvumja pomeshhenijami na nachal'noj stadii pozhara [Characteristics of gas exchange through the opening between the two rooms at the initial stage of a fire]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2013. No 2(18). Pp. 105–109. (rus)
 11. Osjaev V.A., Kuz'mickij V.A., Kudrjashov V.A. Raschety s pomoshh'ju programmnogo kompleksa FDS dinamiki pozhara na nachal'noj stadii dlja dvuh smezhnyh pomeshhenij: sopostavlenie s jeksperimental'nymi dannymi [Calculations using the software package FDS fire dynamics in the initial stage for the two adjacent rooms: a comparison with experimental data]. *Chrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidacija*. 2015. No 1(37). Pp. 87-95. (rus)
 12. Kuz'mickij V.A. Osjaev V.A., Polevoda I.I. Gazoobmen cherez proem pri uchte raspredelenija temperatury v pomeshhenii s pozharom [Gas exchange through the opening with the account of the temperature distribution in the room with the fire]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2009. No. 2 (10). Pp. 86-95. (rus)

УДК 543.222.2

О ВЛИЯНИИ ЗВУКОВЫХ ВОЛН НА ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

Ильюшенок А.В., Гончаренко И.А., Лешенюк Н.С., Кулешов В.К., Терешенков В.И.

Дан краткий обзор ряда работ, посвященных изучению влияния акустических волн на процесс горения с целью повышения эффективности использования топлива, уменьшения вредных выбросов и тушения локальных возгораний.

Ключевые слова: звуковые волны, акустические поля, пламя, процессы горения, подавление процесса горения.

(Поступила в редакцию 15 июля 2016 г.)

Исследования влияния звуковых волн на процессы горения проводятся на протяжении длительного времени, что обусловлено рядом причин. Широкое использование в различных областях техники тепловых устройств предполагает наличие систем управления процессом горения. Принцип работы таких систем основан на регулировании количества, химического состава и скорости подачи топлива и окислителя, а также скорости удаления продуктов горения [1]. Для расширения условий управления процессами горения в последнее время исследуются возможности воздействия на эти процессы внешних факторов, а именно, электрических и магнитных полей, акустических волн. Эти исследования направлены главным образом на решения актуальных в плане практического применения задач: уменьшения содержания токсичных веществ в продуктах горения, повышение эффективности использования различных видов топлива и тушение локальных возгораний и пожаров. Преимуществами предполагаемых систем пожаротушения будут их компактность и отсутствие необходимости в тушащих веществах. В данной статье анализируется состояние исследований по акустическому воздействию на процесс горения. В работах, посвященных данной проблеме в качестве характеристик акустического воздействия используются следующие параметры:

- звуковое давление P [Па] – амплитуда изменения давления воздуха в результате колебательного движения частиц;
- уровень звукового давления N [дБ], $N = 20 \lg(P/P_0)$, где $P_0 = 2 \times 10^{-5}$ Па – давление порога слышимости;
- акустическая плотность (интенсивность звука, сила звука) I [Вт/м²], $I = P \cdot v / 2 = P^2 / (\rho c)$, где ρ – плотность среды, c – скорость звука в ней;
- уровень интенсивности N [дБ], $N = 20 \lg(I/I_0)$, где $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – пороговая интенсивность;
- амплитуда колебательного смещения ξ [мм], $\xi = P / (\omega \rho c)$, где ω – частота звука;
- колебательная скорость v [м/с] – амплитудное значение скорости колебательного движения частиц в акустическом поле, $v = P / (\rho c) = \omega \xi$.

Повышение степени сгорания и снижение загрязнения атмосферы. Результаты первых исследований влияния акустических колебаний на процесс горения и их анализ представлены в монографии [1] где отмечается, что диффузионное пламя маленькой горелки может быть очень чувствительным к звуковым колебаниям. Даже слабые колебания могут приводить к резкому уменьшению длины пламени. При этом пламя реагирует только на определенные частоты звука, и эффективность воздействия звука зависит от размеров и формы горелки и вида топлива. Помимо этого, эффективность воздействия зависит от направления распространения звуковые колебания относительно пламени.

В этой работе [1] анализируется процесс горения пропан-воздушной смеси, вытекающей из сопла, причем поток смеси поступает из большого резервуара, в который помещен источник акустических волн. При амплитуде звуковых колебаний меньшей 0,01 мм (при частоте 5000 Гц) звук не оказывает никакого влияния на пламя. При этом первоначальная форма пламени представляла собой конус практически с прямолинейными образующими. С увеличением интенсивности звуковых колебаний форма пламени начинает существенно изменяться. При интенсивности звука от 0,14 до 1,5 Вт/см² образуется плоское пламя, которое гаснет при дальнейшем увеличении интенсивности.

При воздействии звука на пламя, распространяющееся по трубе, наблюдается следующее. При отсутствии звука пламя имеет полусферическую форму, характерную для не-

турбулентного пламени. При звуке умеренной интенсивности форма пламени изменяется, оно становится практически плоским, а сильный звук полностью гасит пламя.

Экспериментальное исследование влияния акустических воздействий на диффузионное горение метана описано в [2]. В эксперименте использовалась горелка, представляющая собой вертикальную трубку с открытым верхним концом и внутренним диаметром 3 мм. На конце трубки устанавливалось сопло подачи газа с выходным отверстием диаметром 1,25 мм. Подача горючего регулировалась в пределах от 0 до 1,4 л/мин, поток газа в трубке являлся ламинарным. Излучатель звука расположен на расстоянии 10 см от оси пламени. Частота акустических волн менялась в пределах от 0 до 7 кГц, а уровень звукового давления – от 0 до 120 дБ.

На рис. 1 приведены полученные авторами [2] фотографии пламени при акустическом воздействии. Скорость подачи метана составляла $0,55 \pm 0,05$ л/мин. Плоскость источника звука перпендикулярна плоскости рисунка.

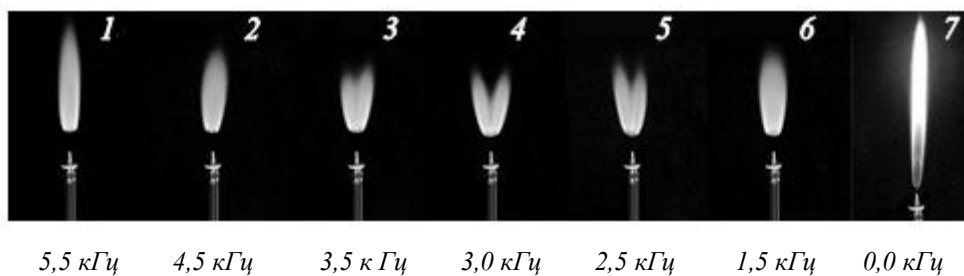


Рисунок 1 – Фотографии пламени при звуковом давлении 100

Эксперимент показал существенное влияние акустического поля на поведение пламени. В отсутствие акустического воздействия при скорости подачи метана $1,10 \pm 0,05$ л/мин. наблюдается отсоединение пламени, обратное присоединение происходит при скорости $0,60 \pm 0,05$ л/мин. При акустическом воздействии отрыв и присоединение пламени происходят при меньших скоростях подачи газа (соответственно $1 \pm 0,05$ л/мин. и $0,5 \pm 0,05$ л/мин). Это наблюдалось во всем исследуемом диапазоне частот.

Как следует из рис. 1, при определенных частотах звуковой волны происходит бифуркация пламени, т. е. раздвоение факела, причем в областях с повышенной температурой факел расширяется. Как отмечается в [2], наблюдаемые области повышенной температуры являются следствием конвективных потоков, вихревых структур, находящихся за пределами видимой зоны пламени. Эти вихревые структуры вызывают локально интенсивное перемешивание горючего с окислителем, что приводит к росту температуры и увеличению поперечного размера факела. В раздвоении факела, по мнению авторов, участвуют два механизма: развитие гидродинамической неустойчивости в потоке еще не прореагировавшего газа и взаимодействие вихревых структур за пределами пламени.

Тепловизионная съемка факела позволила получить информацию о локализации и динамике областей повышенной температуры. Без акустического воздействия области высокой температуры движутся вверх по потоку с частотой $\nu = 4$ Гц и скоростью $v = 0,2$ м/с, при акустическом воздействии изменяется частота и скорость следования этих областей, и наблюдаются колебания степени раздвоения факела с частотой $\nu = 2,5$ Гц.

Результаты описанных в [2] экспериментов по измерению токсичных выбросов в продуктах горения представлены на рис. 2. Прямая линия соответствует концентрации оксидов азота NO_x в отсутствие акустических возмущений. Из рисунка видно, что концентрация NO_x существенно зависит от частоты акустических колебаний и уровня звукового давления. Эта концентрация минимальна при частоте ~ 3 кГц. Увеличение звукового давления усиливает эффект снижения концентрации. Так, при уровне звукового давления 110 дБ концентрация NO_x в два раза меньше, чем в случае отсутствия акустических воздействий.

Как видно из результатов эксперимента, раздвоение пламени приводит к улучшению перемешивания топлива с воздухом, при этом концентрация NO_x в продуктах горения снижается. Хотя условия образования оксидов азота при горении до сих пор не изучены в достаточной мере, известны «термический», «быстрый» и «топливный» механизмы образования NO . Образование «топливных» оксидов азота связано с наличием азота в топливе, а «термический» и «быстрый» механизмы непосредственно связаны с кинетикой реакций, протекающих при горении. Выход «быстрых» оксидов азота зависит от соотношения топ-

ливо – воздух, в то время как выход «термических» оксидов азота зависит от температуры. Увеличение температуры и концентрации воздуха должно приводить к увеличению выхода NO. Бифуркация пламени, вызванная акустическим воздействием, приводит к снижению концентрации NO_x в продуктах горения за счет снижения концентрации «термических» и «быстрых» NO, т. е. снижения температуры пламени и улучшения перемешивания топлива с воздухом. Однако роль того и другого процессов требует дополнительного изучения.

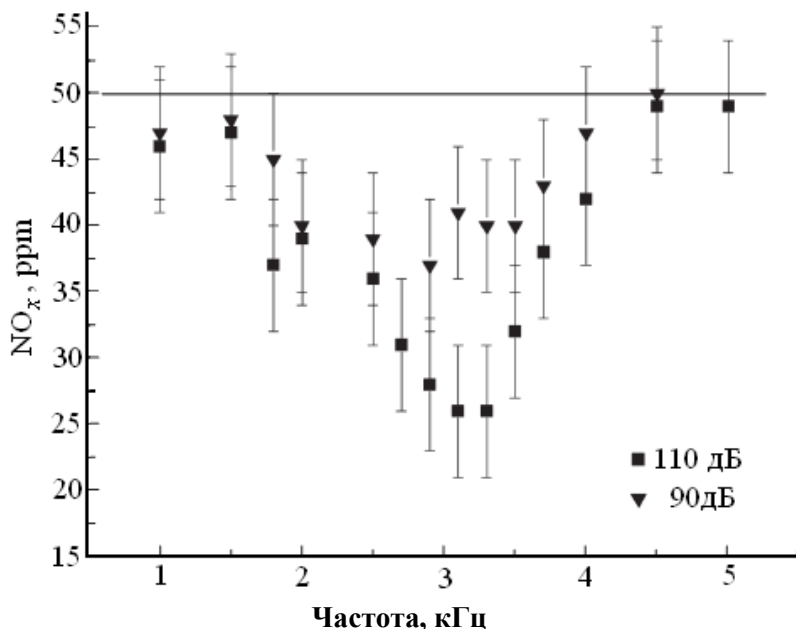


Рисунок 2 – Концентрация NO_x в продуктах горения в зависимости от частоты звука

Помимо эффекта снижения концентрации оксидов азота при акустическом воздействии наблюдается снижение концентрации сажи и увеличивается эффективность сгорания топлива.

Акустическое поле может способствовать ускорению или торможению фронта распространения пламени, что может быть использовано для управления скоростью сгорания топлива в двигателях и регулирования выхода продуктов сгорания. Изучение этих эффектов, которые наблюдаются при распространении пламени в трубах при акустическом воздействии, проведено, в частности, в [3]. В этой работе приводятся результаты экспериментов по исследованию влияния внешнего акустического поля на распространение пламени в 4% пропано-бутано-воздушной смеси в закрытых трубах. Эти эксперименты показали, что при относительно высокой энергии поджига (0,46 Дж), внешнее акустическое звуковое поле практически не влияет на динамику пламени. При малой энергии поджига (0,06 Дж), это влияние становится существенным. Во внешнем ультразвуковом поле на начальной стадии горения средняя скорость распространения фронта пламени снижается на 30 %, и такое падение скорости сохраняется на протяжении всего процесса горения.

На основе экспериментов по распространению пламени в горючей смеси (пропан-бутан-воздух) в закрытом и полуоткрытом каналах теоретически проанализировано влияние собственной (сгенерированной самим пламенем) акустической волны на распространение пламени в трубах. Для оценки воздействия собственного акустического поля на динамику пламени проведено моделирование процесса распространения пламени в полуоткрытом канале и в закрытой секции той же длины. В качестве горючего были выбраны стехиометрические водородо-воздушная и водородо-кислородная смеси, нормальная скорость горения которых в несколько раз превышает скорость горючей смеси, использованной в экспериментах. Однако, по мнению авторов [3], это не должно качественно влиять на динамику горения. При расчетах считалось, что пламя возникало у закрытого конца канала и далее распространялось по направлению к противоположному открытому либо закрытому торцу. В качестве начальных условий предполагалось, что выбранный объем заполнен горючей смесью при нормальном давлении и температуре. Как было показано, в отсутствие внешних источников само пламя генерирует достаточно сильные акустические возмущения, влияние которых на динамику пламени существенным образом зависит от длины канала. При длине каналов меньше 0,1 м, горение водородо-кислородной и водородо-воздушной

смесей проходит аналогичным образом. Для более длинных каналов ход процесса горения различен. При распространении пламени в водородо-воздушной смеси в каналах длиной меньше 0,1 м и диаметром не более 25 мм перехода горения в детонацию не происходит. В водородо-кислородной смеси в каналах длиной более 0,1 м, наблюдается резкая смена режимов горения – переход к детонации, которая возникает за волной сжатия перед фронтом горения.

Отметим, что частотный спектр акустических возмущений, излучаемых ускоряющимся фронтом пламени в водородо-воздушной смеси в осесимметричном канале постоянного сечения, экспериментально определен в [4].

В [5] изложены результаты экспериментов и численного моделирования влияния звуковых волн на процесс горения водородо-воздушной и водородо-кислородной смесей в цилиндрической камере сгорания. При расчетах очаг пламени задавался как область полностью сгоревшей смеси с температурой 2000 К и диаметром порядка 1 мм. Было установлено, что на начальной стадии процесса воспламенения акустические волны ускоряют процесс остывания очага горения, а затем приводят к более быстрому нарастанию температуры и развитию неустойчивости фронта пламени. Картина падения и роста максимальной температуры в очаге возгорания слабо зависит от частоты волны. В то же время при расширении площади, охваченной пламенем, такая зависимость имеет место. Волны с большей частотой приводят к более быстрому расширению очага возгорания. В случае бедных смесей наблюдается существенно более сильное влияние акустических волн на развитие процесса горения. В частности, возможно дробление пламени и возникновение локальных очагов горения.

Возможность тушения пламени акустическим полем. Обширный материал, посвященный результатам исследования влияния низкочастотных звуковых волн на пламя, содержится в [6]. В экспериментах звук от громкоговорителя с помощью модульного коллиматора, представляющего собой трубу из нержавеющей стали длиной 155 см и диаметром 46 см, направлялся на пламя, находящееся на расстоянии 15 см от коллиматора. Датчики колебательной скорости и звукового давления располагались на расстоянии 5 см от горелки. Коллиматор обеспечивал звуковую волну с практически плоским волновым фронтом и направлял ее на пламя. Исследуя воздействие на 15 сантиметровое метановое пламя звуковых волн с частотами в интервале 35–150 Гц и звуковым давлением от 0,2 Па до 112 Па авторы [6] нашли, что максимум подавления пламени достигается при частоте $\nu \approx 60$ Гц. Помимо этого, ими было показано, что для гашения пламени более важно достижение определенного порога скорости акустических колебаний, чем определенная частота или акустическое давление. Пороговая скорость гашения (колебательная скорость, при которой достигается гашение) является также функцией стабильности пламени. При использовании газообразного топлива стабильность пламени зависит от скорости потока и, следовательно, от числа Рейнольдса выходящей струи топлива.

Авторы [6] утверждают, что доминирующим фактором, влияющим на горение, является локальная скорость воздуха, проникающего в пламя. Можно достигнуть пороговой скорости гашения при больших частотах, если акустическое давление является достаточным. На рис. 3 представлен профиль гашения малого метанового пламени горелки диаметром 1,6 мм. Данные представляют пороговые значения усредненных значений звукового давления и колебательной скорости частиц воздуха вблизи пламени при гашении.

Из рисунка видно, что при гашении минимум давления наблюдается при частоте 60 Гц, что практически совпадает с одной из резонансных мод комнаты, в которой проводили эксперименты. Следует отметить, что при увеличении частоты для гашения пламени необходимо более высокое акустическое давление. При этом наблюдалось уменьшение колебательной скорости частиц воздуха, минимальное значение которой $\nu \approx 0,5$ м/с. В условиях резонанса ($\nu \approx 60$ Гц) тушащее значение колебательной скорости достигается при небольшом значении звукового давления и выходной мощности динамика, в то время как на других частотах для достижения такого значения колебательной скорости необходимы значительно большие величины звукового давления и выходной мощности.

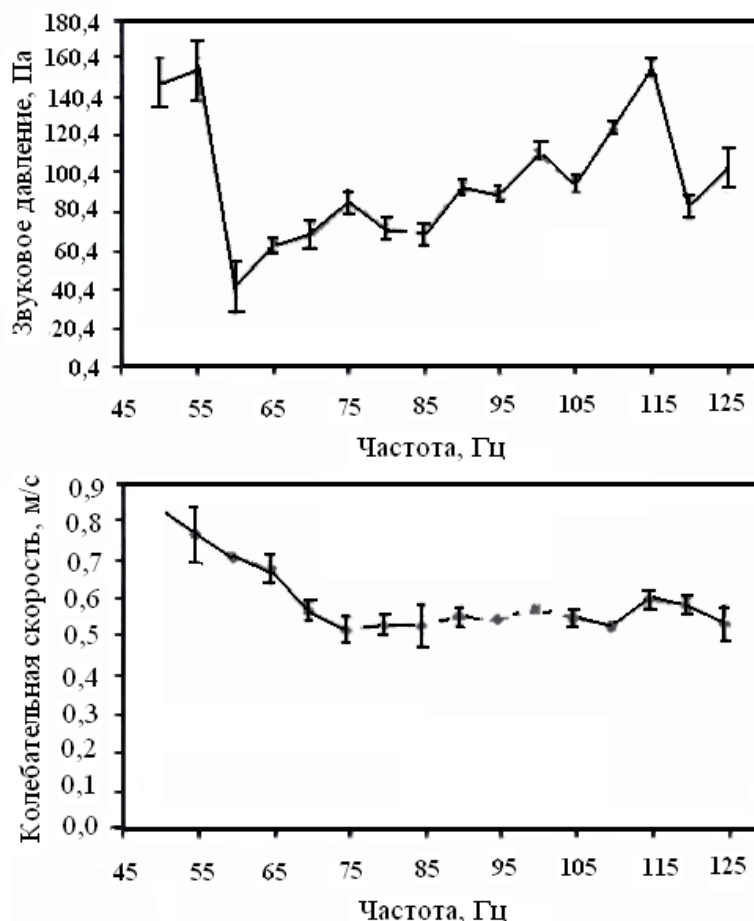


Рисунок 3 – Профиль акустического гашения малого метанового пламени

На рис. 4 представлены пороговые значения колебательной скорости при гашении пламени акустическими волнами с частотой 75 Гц в зависимости от скорости топлива, поступающего в метановую горелку. Пламя переходит из ламинарного режима горения в турбулентный при скорости потока 18,1 м/с. когда значение числа Рейнольдса $Re \approx 2000$.

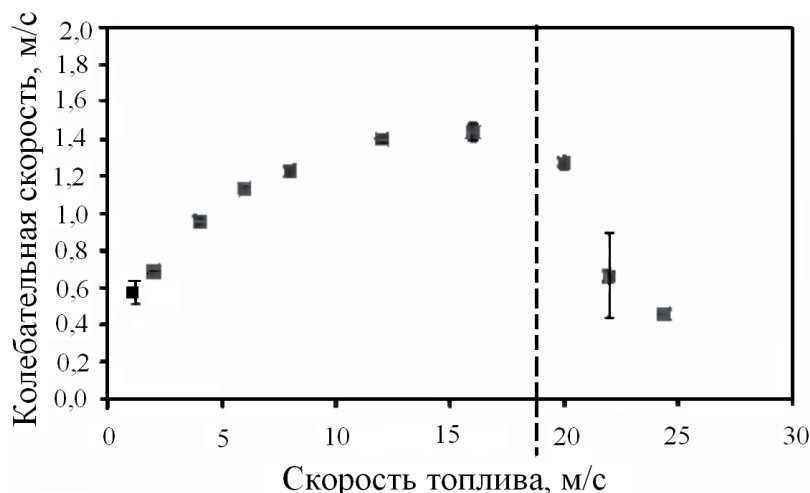


Рисунок 4 – Зависимость порогового значения акустической скорости от скорости топлива

При ламинарном горении наблюдается увеличение колебательной скорости, необходимой для гашения, при увеличении скорости топлива. Когда скорость топлива превышает 18,1 м/с, пламя становится турбулентным, а колебательная скорость, необходимая для тушения, быстро падает. Это наблюдается при разных частотах, подтверждая гипотезу о том, что на гашение пламени влияет как акустическая скорость, так и стабильность пламени.

При увеличении площади горения сложно добиться гашения при использовании одного источника звука, поскольку колебательная скорость частиц воздуха быстро падает при удалении от коллиматора. Эта скорость может быть увеличена путем увеличения мощности громкоговорителя. Однако это приводит к искажению звукового сигнала, который становится нерегулярным и немонотонным. Нужно иметь несколько громкоговорителей, причем их акустические поля должны перекрываться в области горения. Помимо этого, тушение эффективно при частотах звуковых колебаний, совпадающих с резонансными частотами колебаний воздуха в помещении.

Эксперименты показали, что акустическое давление, необходимое для тушения, в большей степени зависит от вида топлива, нежели от площади пламени. Результаты экспериментов представлены на рис. 5.

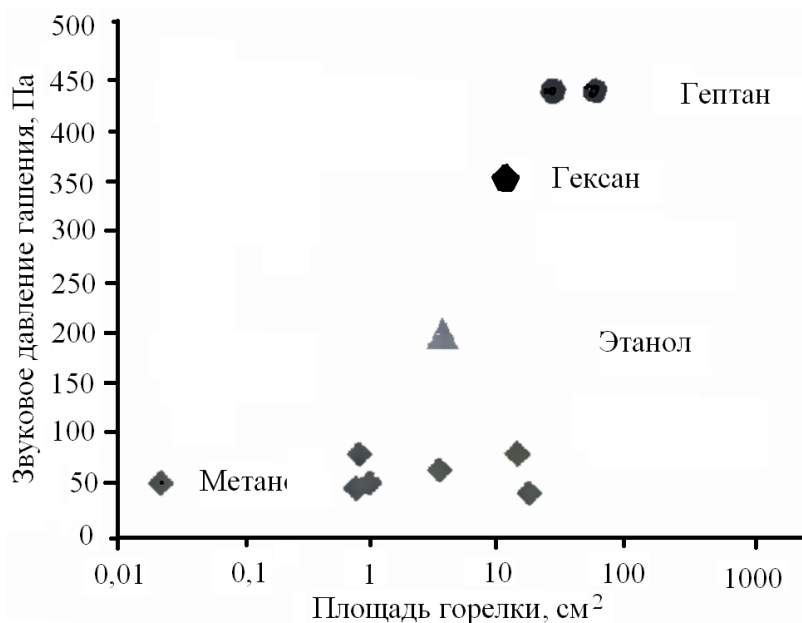


Рисунок 5 – Зависимость акустического давления от площади горелки при гашении пламени

В работе [7] затрагивается важный вопрос о влиянии силы тяжести на процесс горения. Автор отмечает следующее. При горении в воздухе в поле силы тяжести высокотемпературные газообразные продукты горения вследствие естественной конвекции поднимаются вверх. Образующийся при этом восходящий поток воздуха увлекает за собой вверх газообразные продукты сгорания и тем самым способствует дальнейшему процессу горения. В невесомости, при полете летательного аппарата по инерции, процесс горения протекает иначе. В невесомости не может возникать естественная конвекция, поэтому перемешивание газообразных продуктов горения с воздухом может осуществляться только путем диффузии. При этом, так же как и при горении твердых тел, поступление кислорода в зону горения становится недостаточным, газообразные продукты сгорания обволакивают горящее тело и это приводит к подавлению процесса горения. Автор вспоминает трагический случай с американским кораблем «Апполон-1», когда небольшое возгорание внутри космического корабля на пусковой установке во время предстартовой подготовки мгновенно привело к пожару и катастрофе. Вероятность такой катастрофы практически была бы равна нулю, если бы космический корабль уже находился в полете в состоянии невесомости.

Влияние силы тяжести на процесс горения скрыто за вторичными явлениями и проявляется опосредованно. Поэтому для фундаментальных исследований горения нужно проводить эксперименты в невесомости.

Воздействие звуковых волн на пламя в условиях микрогравитации изучалось в работе [8]. На пламя зажигалки осуществлялось воздействие звуковыми волнами низких частот. Результаты экспериментов представлены на рис. 6.

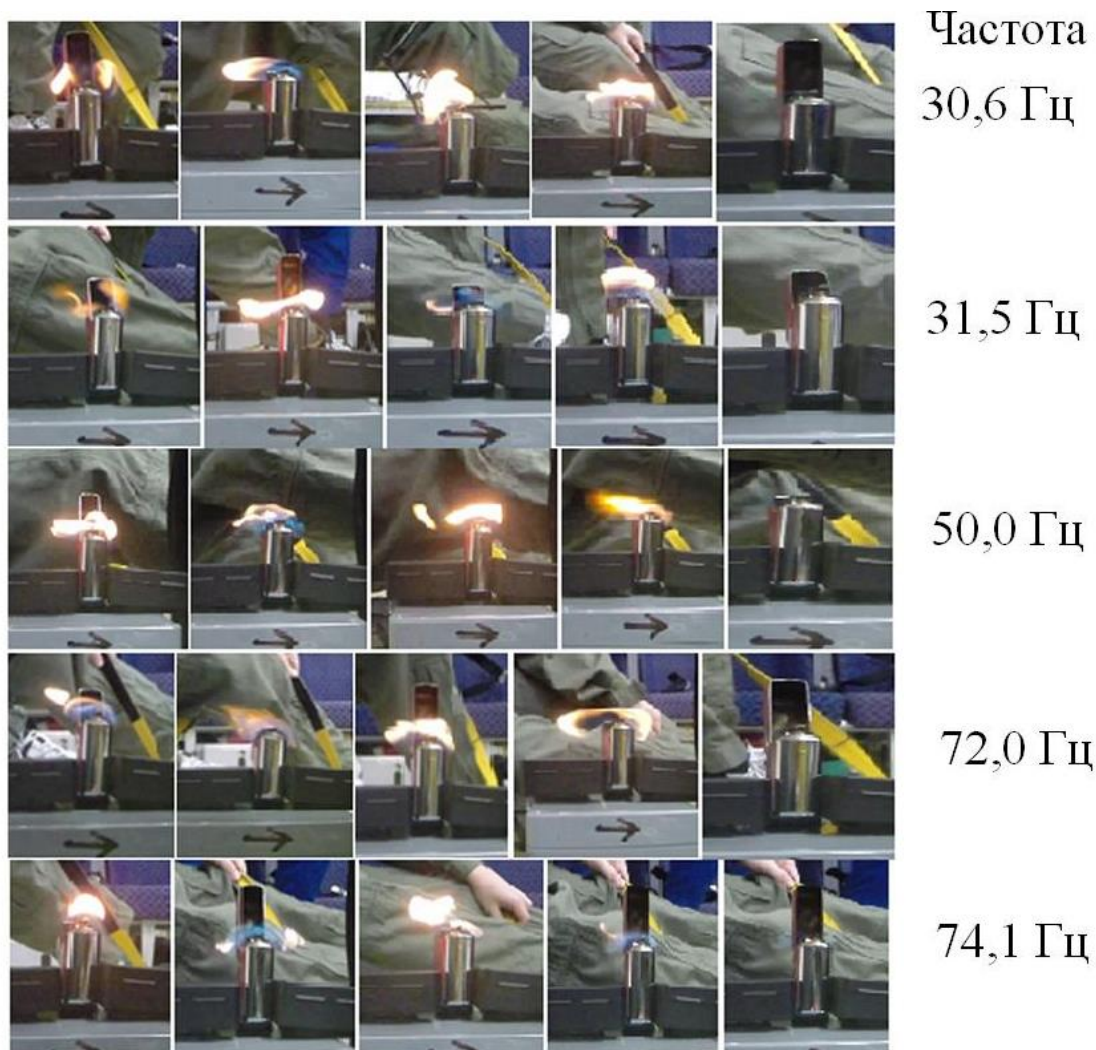


Рисунок 6 – Эффект влияния звуковых волн на пламя в условиях микрогравитации

Из экспериментов следует, что гашение пламени звуком более эффективно в условиях микрогравитации, нежели в условиях нормальной гравитации. В частности, гашение достигается за меньшее время. Гашение звуком может быть эффективным методом тушения возгораний в условиях невесомости.

Результаты теоретических исследований физики взаимодействия акустических волн с пламенем, а также результаты компьютерного моделирования протекающих при этом процессов, можно найти, в частности, в работах [9], [10] и цитируемой в них литературе. Обсуждение этих вопросов выходит за рамки данной публикации.

Заключение. Анализ опубликованных работ показывает возможность применения акустических волн для управления режимом горения с целью повышения эффективности использования топлива и уменьшения выброса загрязняющих веществ. Несмотря на многообразие физических и химических процессов, протекающих при горении, эффективность использования топлива и концентрация поллютантов в продуктах сгорания определяются, главным образом, скоростью перемешивания топлива и воздуха. Современный уровень знаний в этой области вполне позволяет приступить к экспериментальным и теоретическим исследованиям для решения данной проблемы с целью разработки инженерных методов расчета акустических систем регулирования режима горения конкретных тепловых устройств. Перспективность таких исследований обусловлена тем, что для управления режимом горения требуется небольшая энергия акустического излучения, которая по оценкам заметно меньше увеличения энергии, достигаемой в результате изменения режима горения. В то же время, следует отметить, что вследствие многообразия протекающих при горении процессов, оптимальные условия для максимального сгорания топлива и минимальной концентрации загрязнений, скорее всего, реализуются при разных режимах горения.

Проведенные исследования продемонстрировали также возможность тушения возгораний посредством акустического воздействия. Однако механизм тушения остается неопределенным, что говорит о необходимости значительного объема теоретических и экспериментальных исследований. В частности, можно отметить важность экспериментальных исследований по тушению поверхностного горения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гейдон, А.Г. Пламя, его структура, излучение и температура / А.Г. Гейдон, Х.Г. Вольфгард. – М., 1959. – 333 с.
2. Кривокорытов, М.С. Влияние акустических колебаний на диффузионное горение метана / М.С. Кривокорытов, В.В. Голуб, В.В. Володин // Письма в ЖТФ, 2012. – Т. 38, вып. 10. – С. 57–63.
3. Голуб, В.В. Воздействие акустического поля на развитие пламени и переход в детонацию / В.В. Голуб, Д.И. Бакланов, С.В. Головастов, К.В. Иванов, М.Ф. Иванов, А.Д. Киверин, В.В. Володин // ТВТ, 2010. – Т. 48. – № 6. – С. 901–907.
4. Володин, В.В. Влияние отраженных акустических возмущений на ускорение фронта пламени / В.В. Володин, А.Е. Коробов, С.В. Головастов, В.В. Голуб // Письма в ЖТФ, 2015. – Т. 41, вып. 21. – С. 60–65.
5. Голуб, В.В. Влияние акустических волн на зону воспламенения и переход горения в детонацию: эксперимент и расчет / В.В. Голуб, М.Ф. Иванов, В.В. Володин, Д.В. Благодатских, С.В. Головастов // ТВТ, 2009. – Т. 47. – № 2. – С. 315–317.
6. DARPA: Instant flame suppression. – Harvard University, 2008. – P. 1-23.
7. Кумагаи, С. Горение / С. Кумагаи. – М.: Химия, 1979. – 256 с.
8. Beisner, E. Acoustic flame suppression mechanics in a microgravity environment / E. Beisner, N.D. Wiggins, K.-B. Yue, V. Rosales, J. Penny, J. Lockridge, R. Page, A. Smith, L. Guerrero // Microgravity Sci. Technol. – 2015. – V. 27. – P. 141–144.
9. Tanabe, M. Numerical simulation on the flame propagation in acoustic fields. / M Tanabe, T. Yano, T. Kuwahara // Proceeding of the Combustion Institute, 2002. – V. 29. – P. 1817-1824.
10. Lieuwen, T. Analysis of acoustic wave interactions with turbulent premixed flames / T. Lieuwen // JASMA, 2008. – V. 23. – P. 371-375.

ON THE INFLUENCE OF ACOUSTIC WAVES ON COMBUSTION PROCESSES

Alexander Il'ushonok, Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor

Igor Goncharenko, Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor

Nikolay Leshenyuk, Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor

Vladimir Kuleshov, Candidate of Physics and Mathematics Sciences

Vladimir Tereshenkov, Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

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

Findings. The acoustic waves 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 the development of alternative methods of fire control and extinguishing.

Conclusions. The presented researches showed the possibility of fire extinguishing by the use of acoustical action. However, the mechanism of extinguishing remains uncertain. Therefore, the substantial extent of theoretical and experimental researches is still needed. In particular, one can note the importance of experimental research on extinguishing of surface combustion.

Keywords: sound waves, acoustic fields, flame, combustion process, extinguishing of combustion.

(The date of submitting: 15 jule 2016)

REFERENCES

1. Geidon A.G., Wolfguard H.G. *Plamia, ego struktura, izluchenie i temperature* [Flame, its structure, radiation and temperature]. Moscow, 1959. 333 p. (rus)
2. Krivorytov M.S., Golub V.V., Volodin V.V. Vlianie akusticheskikh kolebaniy na difuzionnoe gorenje metaya [Influence of acoustic vibrations on diffusion combustion of methane]. *Pisma v ZhTF*, 2012. Vol. 38, No. 10. Pp. 57-63. (rus)
3. Golub V.V., Baklanov D.I., Golovastov S.V., Ivanov K.V., Ivanov M.F., Kaverin A.D., Volodin V.V. Vozdejstvie akusticheskogo polya na razvitie plameni I perehod v detonaciju [Impact of acoustic field on flame extension and conversion to detonation] *TVT*, 2010. Vol. 48. No. 6. Pp. 901-907. (rus)
4. Volodin V.V., Korobov A.E., Golovastov S.V., Golub V.V. Vlianie otrazhennykh akusticheskikh vozmuschenij na uskorenie fronta plameni [Influence of reflected acoustic perturbations on acceleration of flame front]. *Pisma v ZhTF*, 2015. Vol. 41. No. 21. Pp.60-65. (rus)
5. Golub V.V., Ivanov M.F., Volodin V.V., Blagodatskih D.V., Golovastov S.V. Vlianie akusticheskikh voln na zonu vosplamenenia I perehod gorenja v detonaciju [Influence of acoustic waves on ignition zone and conversion the combustion into detonation: experiment and calculations]. *TVT*, 2009. Vol. 47. No. 2. Pp. 315-317. (rus)
6. DARPA: Instant flame suppression. *Harvard University*, 2008. Pp. 1-23.
7. Kungai S. *Gorenje* [Combustion]. Moscow: Chemistry, 1979. 256 p. (rus)
8. Beisner E., Wiggins N.D., Yue K.-B., Rosales V., Penny J., Lockridge J., Page R., Smith A., Guerrero L. Acoustic flame suppression mechanics in a microgravity environment. *Microgravity Sci. Technol.* 2015. Vol.27. Pp. 141-144.
9. Tanabe M., Yano T., Kuwahara T. Numerical simulation on the flame propagation in acoustic fields. *Proceeding of the Combustion Institute*, 2002. Vol. 29. Pp. 1817-1824.
10. Lieuwen T. Analysis of acoustic wave interactions with turbulent premixed flames. *JASMA*, 2008. Vol. 23. Pp. 371-375.

УДК 614.841.45

ВЛИЯНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ДОБАВОК К ВОДЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ**Сизиков А.А., Жартовский С.В., Нижник В.В., Балло Я.В., Бенедюк В.С.**

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению влияния целевых добавок к воде комплексного действия на основе жидкого натриевого стекла (Na_2SiO_3) и карбоната калия (K_2CO_3) на гидравлические характеристики и огнетушащую эффективность системы спринклерного пожаротушения. Определена относительная огнетушащая эффективность системы спринклерного пожаротушения, заполненная исследуемым водным огнетушащим раствором, по сравнению с системой спринклерного пожаротушения, заполненной водой без целевых добавок, при тушении модельного очага пожара класса 13А, при одинаковых условиях проведения натурных огневых исследований. Доказана эффективность предложенного водного огнетушащего раствора для применения его в системе спринклерного пожаротушения, которая отделена от системы хозяйственно-питьевого водопровода.

Ключевые слова: огнетушащий раствор, целевые добавки комплексного действия, система пожаротушения, огнетушащая эффективность, потери напора.

(Поступила в редакцию 19 декабря 2016 г.)

Введение. Значительная высота здания (например, более 73,5 м) предъявляет особые требования к пожарной безопасности таких сооружений и техническим характеристикам противопожарных инженерных систем, в том числе систем внутреннего противопожарного водопровода (далее - СВВП) и системы пожаротушения (далее - СП). СВВП в зданиях с условной высотой выше 73,5 м в соответствии с украинскими нормами [1-2] и ряда зарубежных нормативных документов [3-5] проектируется исключительно отделенной относительно системы внутреннего хозяйственно-питьевого водопровода. Данное требование обусловлено необходимостью обеспечения надежного функционирования СВВП независимо от других систем водоснабжения в высотных зданиях.

В работах [6-7] исследованы проблемные вопросы эксплуатации СВВП в высотных зданиях и, в частности, предложено для повышения эффективности СВВП использование водного огнетушащего вещества (далее - ВОВ) с 1% содержанием Na_2SiO_3 и K_2CO_3 в равных пропорциях в отделенной от хозяйственно-питьевого водопровода СП.

По результатам экспериментальных исследований [8] выявлено уменьшение потерь напора на участке трубопровода СП во время протекания в нем исследуемого ВОВ по сравнению с водой без целевых добавок. При этом гидравлическое сопротивление нового стального трубопровода СП во время протекания по нему исследуемого ВОВ было меньше в среднем в 1,4 раза по сравнению с протеканием по нему воды без целевых добавок, а для трубопровода СП со сроком эксплуатации 26 лет гидравлическое сопротивление в среднем уменьшилось в 2,4 раза. Данное исследование проведено для ламинарного режима протекания ВОВ в трубопроводе и при минимальных гидравлических параметрах, а именно диаметр трубы – 25 мм, расход воды 2,5-3,0 л/мин, скорость потока – 0,13-0,16 м/с.

Кроме того, в работах [9-10] в лабораторных условиях исследована относительная огнетушащая эффективность водных огнетушащих веществ на основе Na_2SiO_3 и K_2CO_3 по сравнению с водой без добавок при тушении модельных очагов класса А и В. При этом было определено, что при одинаковых условиях испытаний во время тушения очага пожара класса А и В тонкораспыленным исследуемым ВОВ критическая интенсивность подачи исследуемого раствора на тушение составляет 0,48 л/м²·сек для класса А и 0,076 л/м²·сек для класса В, что в 2,2 и 2,7 раза соответственно эффективнее тушения водой без целевых добавок.

Учитывая, что указанные исследования проводились в лабораторных условиях, было принято решение относительно того, что дальнейшие экспериментальные исследования необходимо проводить с использованием испытательного оборудования, обеспечивающего параметры функционирования адекватные реальным параметрам функционирования СП, а модельные очаги пожара – адекватные реальной пожарной нагрузке на объекте. Таким образом, актуализировался вопрос проведения натурных исследований для опре-

деления влияния исследуемого ВОВ на гидравлические потери напора в трубопроводе СП и определении относительной огнетушащей эффективности спринклерной СП при турбулентных огневых испытаниях.

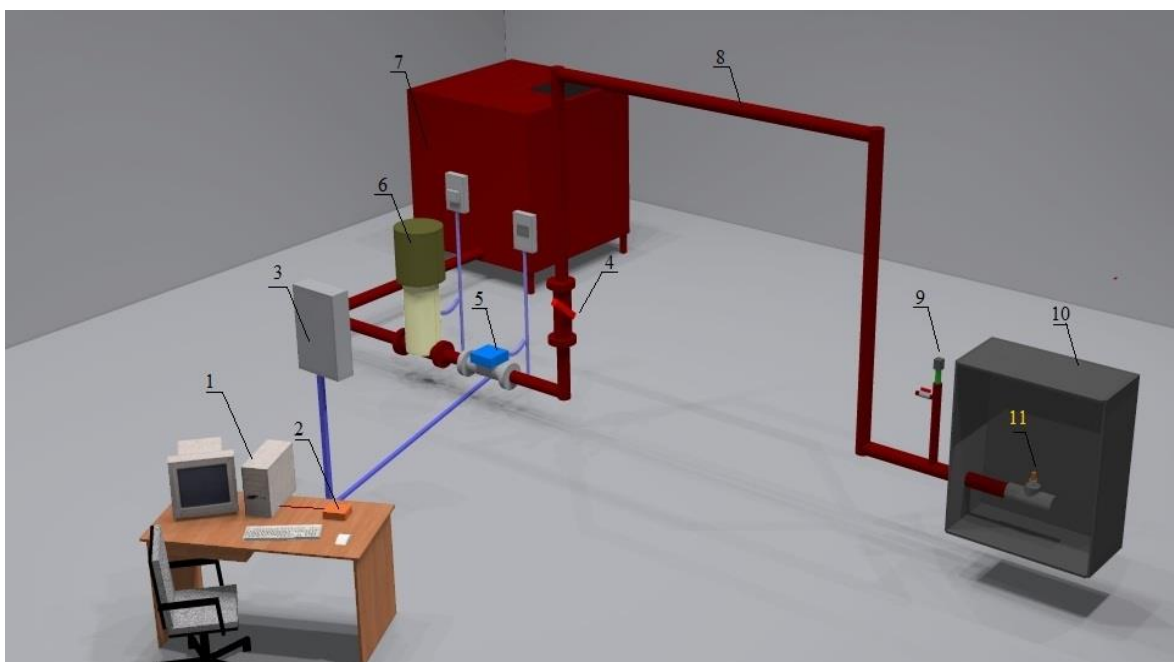
Особенностью данных гидравлических исследований по определению и сравнению потерь напора в трубопроводе СП при протекании в нем ВОВ и воды без целевых добавок является то, что данные экспериментальные исследования проводились путем решения обратной задачи, а именно расчетом расхода исследуемой ВОВ и воды без целевых добавок через коэффициент расхода спринклерного оросителя (К-фактор) и на основе полученных данных был сделан вывод о гидравлических потерях напора в СП.

Методика экспериментальных исследований. Первый этап исследований проводился на стенде для определения коэффициента расхода спринклерных оросителей (К-фактор). Экспериментальные исследования проводились для определения, расчета и сравнения значений фактического расхода воды без добавок и исследуемого ВОВ спринклерного оросителя СП при турбулентном режиме протекания в подающем трубопроводе.

Исследования проводились в при следующих климатических условиях:

- температура воздуха: $+18^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$);
- относительная влажность воздуха: 69 % (± 1 %);
- атмосферное давление: 94,5 кПа (688 мм. рт. ст.).

Экспериментальные исследования проводились по действующей метрологически аттестованной методике [11], которая соответствует требованиям [12] по определению коэффициента расходов спринклерного оросителя. На рисунке 1 приведена схема испытательного стенда.



1 – электронно-вычислительное и регистрирующее оборудование; 2 – регулятор частоты работы насоса; 3 – автоматизированный блок управления; 4 – запорный кран; 5 – расходомерное устройство; 6 – насос; 7 – резервуар для воды или исследуемого ВОВ; 8 – подающий трубопровод; 9 – датчик давления; 10 – камера для проведения гидравлических испытаний спринклерных оросителей; 11 – спринклерный ороситель

Рисунок 1 – Схема испытательного стенда по определению коэффициента расходов оросителей

До проведения опыта резервуар (7) был наполнен исследуемым ВОВ с целевыми добавками в количестве 2 м^3 , а также проводились настройки регулятора (2) частоты работы двигателя насоса (6) и программного обеспечения электронно-вычислительного блока (1) испытательного стенда для автоматизированного определения расхода ВОВ через спринклерный ороситель (11).

После завершения настройки испытательного стенда, включают насосное оборудование (6). С помощью регулятора давления (2) в подающем трубопроводе (8) создают необходимое рабочее давление (от 0,05 МПа до 0,55 МПа через интервал 0,1 МПа ($\pm 0,0002 \text{ МПа}$), при котором измеряют расход воды с помощью электромагнитного расходомерного устройства (5). Для получения данных с минимальной погрешностью, после ка-

ждого этапного повышения значения давления, перед снятием данных ждут 2 мин для стабилизации турбулентного режима движения потока ВОВ и выхода двигателя насоса на рабочую частоту. Во время испытаний значение давления воды перед спринклерным оросителем с выходным отверстием диаметром 10 мм (11) контролируют с помощью электрического датчика давления (9) типа SEN-3251 B085 с диапазоном измерения давления от 0,0 до 1,6 МПа.

На рисунке 2 приведен фрагмент испытаний спринклерного оросителя для определения коэффициента расхода.



Рисунок 2 – Фрагмент испытаний для определения коэффициента расхода спринклерного оросителя

В таблице 1 приведены результаты полученных экспериментальных данных касательно коэффициента расхода исследуемого ВОВ и воды без целевых добавок через спринклерный ороситель в зависимости от давления (К-фактор).

Таблица 1 – Результаты значений коэффициента расхода воды и исследуемого ВОВ через спринклерный ороситель в зависимости от давления

Давление перед оросителем, МПа	К-фактор спринклерного оросителя воды без добавок, (л·мин) ⁻¹ /МПа ^{-0.5}	К-фактор спринклерного оросителя ВОВ з 1% содержанием Na ₂ SiO ₃ и K ₂ CO ₃ в равных пропорциях, (л·мин) ⁻¹ /МПа ^{-0.5}
0,05	83,43	93,48
0,15	80,83	90,22
0,25	79,94	89,49
0,35	79,37	85,52
0,45	79,05	83,67
0,55	79,09	83,06

На основе полученных данных значения коэффициента расхода спринклерного оросителя (К-фактор) по формуле (1) рассчитывали значения расхода (Q, л/мин) исследуемого ВОВ и воды без целевых добавок.

$$Q = K \cdot \sqrt{P}, \quad (1)$$

где Q – расход воды, л/мин; K – коэффициент расхода спринклерного оросителя; P – давление, МПа.

После завершения опыта и внесения данных в протокол, резервуар (7) с остатками исследуемого ВОВ опорожняют, а систему промывают от его остатков. По завершению промывки, резервуар наполняют водой без добавок, и по методике приведенной выше повторяют опыт для воды без целевых добавок.

По результатам проведенных расчетов построен сравнительный график зависимости расхода ВОВ и воды без целевых добавок от давления перед оросителем, приведенный на рисунке 3.

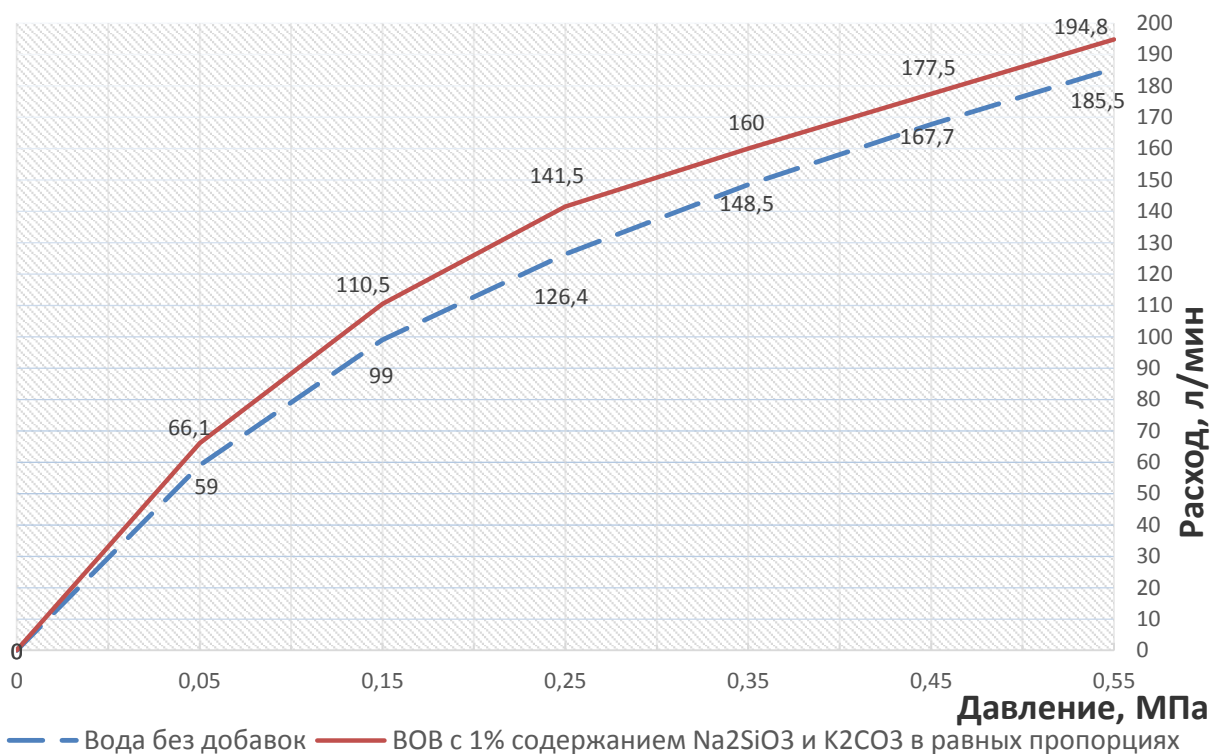


Рисунок 3 – Зависимость изменения фактического расхода исследуемого ВОВ и воды без добавок от давления перед спринклерным оросителем.

Второй этап экспериментальных исследований проводился путем моделирования условий тушения пожара для определения относительной огнетушащей эффективности системы спринклерного пожаротушения заполненной ВОВ, по сравнению с СП, заполненной водой без добавок. Первым критерием определения относительной огнетушащей эффективности при проведении экспериментальных исследований принято время тушения (t , с) модельного очага пожара класса 13А исследуемым ВОВ и водой без добавок при одинаковых условиях их подачи. Вторым критерием определения относительной огнетушащей эффективности было количество ВОВ (R , л) и воды без целевых добавок, которые были потрачены на тушение модельного очага.

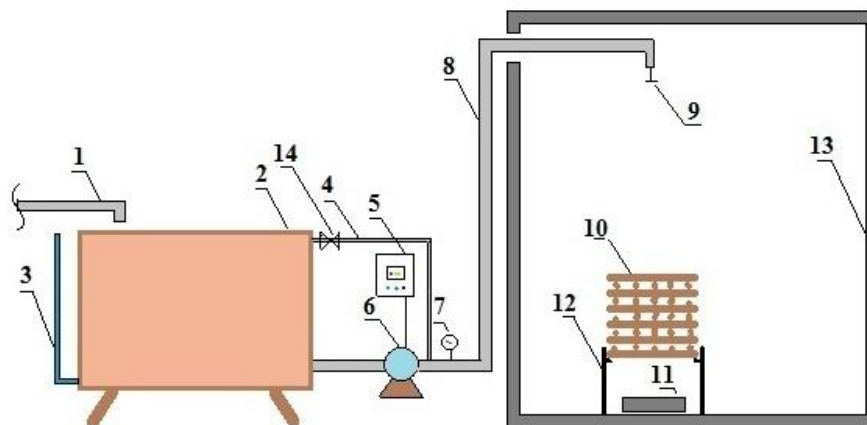


Рисунок 4 – Схема испытательного стенда для проведения натурных огневых испытаний

Экспериментальные исследования проводились в испытательном боксе для проведения огневых испытаний ВБК 285 на пожарно-испытательном полигоне УкрНИИГЗ ГСЧС Украины. На рисунке 4 изображена схема испытательного стенда для проведения натурных огневых испытаний.

Спринклерный ороситель, который использовался во время проведения исследований, соответствует ДСТУ EN 12259-1 с защищаемой площадью 12 м².

При проведении экспериментальных исследований использовались стандартные модельные очаги пожара класса А, которые по классификации [11] соответствуют модели 13А. Как горючий материал для этого модельного очага использовались сосновые бруски с поперечным сечением 40 мм ± 2 мм на 40 мм ± 2 мм и длиной 500 мм ± 5 мм. Штабель состоит из 12 слоев, в каждом слое по шесть брусков. Влажность была в пределах от 10 до 14 %, что контролировалось с помощью влагомера типа ВПК-12 [14]. Площадь поверхности горения стандартного модельного очага класса 13А согласно [15] составляет 4,7 м² и соответствует пожарной нагрузке 386,4 МДж/м². Выбор ранга модельного очага пожара класса 13А обусловлено пожарной нагрузкой в общественных и жилых зданиях, которая как правило находится в пределах 150-400 МДж /м². Размещение модельного очага класса 13А во время проведения исследований выбиралось произвольно в пределах площади защищаемой спринклерным оросителем.

Экспериментальные исследования проводились в следующем порядке. На первом этапе после полного заполнения резервуара (2) водой без добавок в металлический протвень (11), которое находится под модельным очагом пожара (10) класса 13А, наливают 4 л воды (±50 мл) и 2,0 л (±20 мл) бензина марки А-92. По команде руководителя проведения испытаний топливо в протвене (11) поджигают факелом и одновременно включают секундомер. Наличие данного объема бензина обеспечивает время его горения не менее 150 с. Свободное горения модельного очага пожара класса 13А продолжается (300 ± 5) с, которое контролируется секундомером. На рисунке 5 изображен фрагмент натурных огневых испытаний.



Рисунок 5 – Фрагмент натурных огневых испытаний

По окончании времени свободного горения модельного очага пожара класса 13А, по команде руководителя проведения испытаний, включают второй секундомер и одновременно с помощью блока управления насосной станцией (5) включают насос (6) и начинается подача воды из спринклерного оросителя (9) на тушение модельного очага пожара (10).

Модельные очаги пожара класса 13А считают потушенными, если пламя ликвидировано и через 10 минут после завершения тушения видимое пламя в очаге пожара отсутствует. Появление кратковременных вспышек в течение указанного времени после окончания тушения не учитывается. Если во время исследований штабель модельного очага пожара (10) разваливается, опыт считается недействительным и проводится новый.

По завершению тушения водой без добавок стандартного модельного очага пожара класса 13А выключают насос (6) и одновременно выключают секундомер, а время тушения фиксируют и вносят данные в протокол. Также в протокол вносят данные по количеству израсходованной воды на тушение модельного очага пожара, которые определяют с помощью индикатора количества воды (3) в резервуаре (2). Для воды без добавок экспериментальные исследования повторяют трижды.

Второй этап проведения экспериментальных исследований начинают по наполнению резервуара ВОВ с 1 % содержанием Na_2SiO_3 и K_2CO_3 в равных пропорциях. После заполнения резервуара (2) исследуемой ВОВ опыт повторяют трижды по вышеприведенной методике.

Результаты экспериментальных исследований по определению влияния целевых добавок к воде на эффективность тушения пожара класса 13А спринклерной системой пожаротушения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты тушения стандартных модельных очагов пожара класса 13А водой без добавок и ВПР с 1% содержанием целевых добавок Na_2SiO_3 и K_2CO_3 в равных пропорциях

Огнетушащее вещество в системе пожаротушения	Давление Р, МПа	Общее количество огнетушащего вещества на тушение, R, л	Среднее количество огнетушащего вещества на тушение, $R_{\text{ср.}}$, л	Время тушения t, с	Среднее время тушения $t_{\text{ср.}}$, с
Вода без добавок	0,15	1333	1318	713	705
		1397		747	
		1225		655	
ВОВ с 1% содержанием Na_2SiO_3 и K_2CO_3 в равных пропорциях	0,15	1176	1114	562	541
		1065		517	
		1121		544	

Примечание. Разница значений расхода ВОВ между первым и вторым этапом исследований, связано с производительностью насосных агрегатов. При этом закономерность уменьшения гидравлических потерь в системе при использовании ВОВ, по сравнению с водой без целевых добавок при одинаковых параметрах подачи, сохраняется.

Анализируя данные таблицы 1, следует отметить, что увеличение значения расхода исследуемого ВОВ с целевыми добавками можно предположительно обосновать меньшим значением его кинематической вязкости, что подтверждается лабораторными исследованиями: при температуре 20 °С для воды без целевых добавок кинематическая вязкость составляет 1,004 мм²/с, а для исследуемого ВОВ – 0,78 мм²/с. Таким образом, меньшее значение кинематической вязкости исследуемого ВОВ приводит к уменьшению потерь напора в трубопроводе во время протекания при турбулентном режиме, что позволяет рассчитывать на повышение охлаждающего эффекта вследствие увеличения количества огнетушащего вещества, подаваемого в единицу времени спринклерной СП. При этом также следует учитывать, что уменьшение гидравлических потерь в СП позитивно влияет на экономическую составляющую ее эксплуатации. На сегодняшний день 30-40 % стоимости водоснабжения составляют расходы на электроэнергию [13]. Уменьшение нагрузки на пожарную насосную станцию соответственно уменьшает экономические затраты, что особенно актуально во время проведения плановых регламентных работ.

Данные таблицы 2 свидетельствуют о значительном повышении эффективности тушения спринклерной СП модельного очага пожара класса 13А при использовании ВОВ предложенной рецептуры. При этом следует отметить, что, кроме ожидаемого (после первого этапа испытаний) эффекта уменьшения времени тушения, уменьшается и количество огнетушащего вещества, затрачиваемого для тушения, что может быть объяснено реализацией комплекса других огнетушащих факторов: ингибирующего эффекта добавками Na_2SiO_3 и K_2CO_3 , а также усилением охлаждающего эффекта за счет повышения дисперсности подаваемого огнетушащего вещества через спринклерный ороситель.

Также следует отметить, что при реальном тушении пожара в помещении оборудованном системой спринклерного пожаротушения количество воды и время тушения будет значительно отличаться от экспериментального, так как количество спринклеров в помещении составляет, как правило, больше одного, что соответственно повлияет на уменьшение времени тушения пожара и количество использованного огнетушащего вещества.

Выводы. 1. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что расход спринклерного оросителя системы пожаротушения при использовании исследуемого водного огнетушащего вещества с 1% содержанием Na_2SiO_3 и K_2CO_3 в равных пропорциях в рабочем диапазоне давлений от 0,15 – 0,35 МПа в среднем на 10 % выше, чем расход воды без целевых добавок, что позволяет сделать вывод об уменьшении гидравлических потерь в трубопроводе системы пожаротушения.

2. В результате экспериментальных исследований по определению влияния целевых добавок к воде на относительную огнетушащую эффективность системы пожаротушения

установлено, что при одинаковых условиях подачи водного огнетушащего вещества с 1 % содержанием Na_2SiO_3 и K_2CO_3 в равных пропорциях из спринклерной системы пожаротушения расход исследуемого раствора на тушение модельного очага пожара класса 13А в среднем на 18 % процентов меньше, чем для воды без целевых добавок. При этом время тушения системой пожаротушения, заполненной исследуемым водным огнетушащим веществом, в среднем на 30 % меньше, чем для воды без целевых добавок.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.5-64-2012 Внутренний водопровод и канализация. Часть I. Проектирование. ЧАСТЬ II. Строительство. Приказ Минрегиона Украины от 31.10.2012 № 553 – 168 с.
2. ДБН В.2.2-24: 2009 Здания и сооружения. Проектирование высотных жилых и общественных зданий, Минрегионстрой Украины, приказ от 12.02.2009 № 67 – 114 с.
3. СНБ 4.01.02-03 Противопожарное водоснабжение. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, Технический Комитет № 03 «Пожарная безопасность» (Республика Беларусь)/ приказ Министерства архитектуры и строительства РБ от 30.12.2003 № 259 – 24 с.
4. ТКП 45-3.02. Высотные здания строительные нормы проектирования / Приказ Министерства архитектуры и строительства РБ от 12 июня 2008 г. № 197 – 98 с.
5. ТСН 31-332-2006 Жилые и общественные высотные здания. Приняты и введены в действие распоряжением Комитета по строительству Правительства Санкт-Петербурга от 23.12.2005 № 68 – 60 с.
6. Жартовский, С.В. Определение химических показателей водных огнетушащих веществ при их длительном пребывании в стальном трубопроводе системы пожаротушения / С.В. Жартовский, А.А. Сизиков, В.В. Нижник, Я.В. Балло, Н.И. Копыльный. // XVIII Всеукраинская научно-практическая конференция «Современное состояние гражданской защиты в Украине: перспективы и пути европейского пространства». – Киев. – 2016 – 139 с.
7. Сизиков, А.А. Особенности проектирования зонированных систем внутреннего противопожарного водопровода в зданиях с условной высотой выше 26,5 м / А.А. Сизиков, Р.В. Уханский, В.П. Балло, Я.В. Балло // Вестник УкрНИИПБ. К: УкрНИИГЗ, 2014. – № 1 (29). – с. 30-36.
8. Жартовский, С.В. Особенности влияния целевых добавок в составе водных огнетушащих веществ на потерю напора в трубопроводе / С.В. Жартовский, В.В. Нижник, А.А. Сизиков, Я.В. Балло, В.П. Балло // Научно-практический сборник проблемы водоснабжения, водоотведения. К: КНУБА, 2016 № 26. – с. 21-26.
9. Жартовский, С.В. Выявление влияния химического состава водных огнетушащих веществ на основе Na_2SiO_3 и K_2CO_3 на их огнетушащую эффективность при тушении очагов класса А / С.В. Жартовский, В.В. Нижник, Р.В. Уханский, Я.В. Балло // Международная научно-практическая конференция «Теория и практика тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций». – Черкассы. – 2016. – с. 46-49.
10. Проведение исследований по раскрытию особенностей процессов прекращения горения горючих веществ при применении современных огнетушащих веществ и технологий их представления/ А.В. Антонов [и др.]; К.: УкрНИИГЗ, 2015 – 147 с.
11. Методика № 93-2007 «Испытания по определению коэффициента расходов оросителей», К.: УкрНИИГЗ, 2007 – 17 с.
12. ДСТУ EN 12259-1: 2008 (EN 12259-1: 1999, IDT) Стационарные системы пожаротушения. Элементы спринклерных и водораспиловочных. Часть 1 Спринклеры., К.: (УкрНИИПБ) – 118 с.
13. Залуцкий Е.В. Анализ суточной работы насосных станций: методические указания к выполнению индивидуальных заданий с практикума «Насосные и воздухоудные станции» Для бакалавров строительства с пред. областью деятельности «Водоснабжение и водоотведение» / КНУБА. – К., 2012 – 28 с.
14. Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности // ГОСТ 16588-91. – Введен 1993.01.01. – 5 с.
15. ДСТУ EN 3-7: 2014 Огнетушители. Часть 7. Характеристики, требования к рабочим параметрам и методы испытаний (EN 3-7: 2004 + A1: 2007, IDT) приказ Минэкономразвития Украины от 30.12.2014 г. № 1494 – 157 с.

EFFECTS OF TARGET ADDITIONS TO WATER ON THE EFFICIENCY OF FIRE EXTINGUISHER

Alexander Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow

Sergei Zhartovskiy, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow

Vadim Nizhnyk, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow

Yaroslav Ballo

Vadim Bedyuk

Ukrainian Scientific Research Institute of Civil Protection SES of Ukraine, Kiev, Ukraine

Purpose. To conduct full-scale researches to determine the effect of water fire extinguishing solution on the hydraulic head loss in fire extinguishing pipeline and determine the relative effectiveness of the fire-extinguishing sprinkler system at natural firing tests.

Methods. In the work is used the methodology of field tests for studying the relative efficiency of water fire extinguishing agent during fire extinguishing. The research results have been treated by methods of computational mathematics using the software «Microsoft Office».

Findings. The results of experimental studies to determine the effect of specific additives to the water of complex action on the basis of sodium liquid glass Na_2SiO_3 and potassium carbonate K_2CO_3 on hydraulic characteristics and the effectiveness of fire extinguishing sprinkler systems are presented. The relative effectiveness of fire extinguishing sprinkler systems filled with investigated extinguishing water solution as compared to the sprinkler system filled with water without any special additives for extinguishing the model Class 13A fire is determined under the similar conditions of full-scale fire tests.

Application field of research. The proposed water fire extinguishing solution is designed for the use in the sprinkler system which is separated from the system of domestic and drinking water supply system.

Conclusions. The efficiency of specific additives to water of complex action on the basis of sodium liquid glass Na_2SiO_3 and potassium carbonate K_2CO_3 is proved to reduce hydraulic losses in the fire extinguishing system and improve the efficiency of fire extinguishing.

Keywords: fire extinguishing solution, target additives of complex action, extinguishing system, fire-extinguishing efficiency, pressure loss.

(The date of submitting: December 19, 2016)

REFERENCES

1. *National Building Codes V.2.5-64-2012* Internal water supply and sewerage. Part I. Design. PART II. Building. Order of the Ministry of Regional Development of Ukraine by 31.10.2012 No. 553. 168 p. (ukr)
2. *National Building Codes V.2.2-24: 2009* Buildings and constructions. Designing high-rise residential and public buildings, Ministry of Regional Development of Ukraine the order by 12.02.2009. No. 67. 114 p. (rus)
3. *Building Standards Belarus 4.01.02-03* Fire water supply. Ministry of Architecture and Construction of Belarus, the Technical Committee № 03 «Fire Safety» (Republic of Belarus). Order of the Ministry of Architecture and Construction of Belarus from 30.12.2003. No. 259. 24 p. (rus)
4. *Technical Code of Good Practice 45-3.02.* High-rise building construction design standards. Order of the Ministry of Architecture and Construction of Belarus of June 12, 2008. No. 197. 98 p. (rus)
5. *Regional Building Code 31-332-2006* Residential and public high-rise buildings. Adopted and put into effect the order of the Construction Committee of St. Petersburg Government of 23.12.2005 No. 68. 60 p. (rus)
6. Zhartovsky S., Sizikov A., Nizhnyk V., Ballo Y., Kopilniy N. Determination of chemical parameters of water fire extinguishing agents at their long sojourn in steel pipe fire suppression system. *Proc. XVIII All-Ukrainian scientific-practical conference «Modern state of civil protection in Ukraine: prospects and ways of European space»*. Kyiv, 2016. 139 p.
7. Sizikov A., Uhansky R., Ballo V., Ballo Y. Design features zoned systems of internal fire water supply in buildings with a conditional height above 26.5 m. *Journal of UkrNIIPB*. Kyiv: UkrNIICP, 2014. No. 1 (29). 30-36 p. (ukr)
8. Zhartovsky S., Sizikov A., Nizhnyk V., Ballo Y., Ballo V. Features of influence of special additives in the composition of water fire extinguishing substances to the loss of pressure in the pipeline. *Scientific-*

- practical collection of problems of water supply and sewerage*. Kyiv: KNUBA 2016. No. 26. 21-26 p. (ukr)
9. Zhartovsky S., Nizhnyk V., Uhansky R., Ballo Y. Identification of the influence of the chemical composition of water fire extinguishing agents based on Na_2SiO_3 K_2CO_3 and their effectiveness in extinguishing Class A *Proc. International scientific-practical conference «Theory and practice of fire extinguishing and liquidation of emergency situations»*. Cherkasy. 2016. 46-49 p. (ukr)
 10. Antonov A. [et al.]. *Research on the features of the disclosure process termination burning of combustible materials in the application of modern fire extinguishing substances and technologies of their presentation*. K. : UkrNIICP, 2015. 147 p. (ukr)
 11. Methods № 93-2007 «Tests to determine the sprinkler discharge coefficient». K : UkrNIIFP, 2007. 17 p. (ukr)
 12. *State Standard EN 12259-1: 2008 (EN 12259-1: 1999, IDT)* Fixed firefighting systems. Elements of sprinkler and drenchers. Part 1: Sprinklers K. : (UkrNIIPB). 118 p. (ukr)
 13. Zalutsky E.V. Analysis of the daily operation of pumping stations: guidelines for the implementation of individual tasks with the workshop «Pump and blower station» For bachelors of construction for students specialty «Water and Sanitation» KNUBA. K., 2012. 28 p. (ukr)
 14. Sawm timber and wood elements. Methods for determination of moisture *GOST 16588-91*, introduced 1993.01.01. 5 p. (rus)
 15. *DSTU EN 3-7: 2014* Fire extinguishers. Part 7: Characteristics, performance requirements and test methods Parameter (EN 3-7: 2004 + A1: 2007, IDT) order of Ministry of Economic Development of Ukraine of 30.12.2014, No. 1494. 157 p. (ukr)

УДК 614.842.615

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ ПЕНОГЕНЕРИРУЮЩИМИ СИСТЕМАМИ СО СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

Камлюк А.Н., Навроцкий О.Д., Грачулин А.В.

Проведены натурные испытания пеногенирующих систем со сжатым воздухом, результаты которых позволяют обосновать метод тушения пожаров с их применением. Сравнительные исследования эффективности тушения условного очага пожара класса А пеной низкой кратности показали, что при подаче компрессионной пены потребовалось в 2 раза меньше огнетушащих веществ, чем при использовании ствола СВП-2. Показана возможность подачи компрессионной пены на 18, 25 и 32 этажи высотных зданий (на высоту до 100 м) и использования пеногенирующих систем со сжатым воздухом в условиях низких температур без образования ледяных пробок в рукавной линии.

Ключевые слова: пеногенирующая система со сжатым воздухом; тушение пожаров; компрессионная пена; натурные испытания.

(Поступила в редакцию 19 января 2017 г.)

Введение. Воздушно-механические пены представляют собой дисперсные системы, состоящие из пузырьков воздуха, окруженных пленками жидкости. Для их получения используют специальные устройства (генераторы) и растворы воды с пенообразователями (ПО) на основе поверхностно-активных веществ. Различают воздушно-механические пены низкой кратности (до 20), средней кратности (20 – 200) и высокой кратности (более 200) [1]. Воздушно-механические пены широко используются при тушении пожаров класса А (твердые вещества) и класса В (жидкие вещества). К достоинствам пен следует отнести:

- сокращение расхода воды на пожаротушение (наличие воздуха в составе пены увеличивает общий объем огнетушащего вещества);
- возможность тушения пожаров на больших площадях (пена растекается по поверхности горючего материала);
- возможность объемного пожаротушения (для пен средней и высокой кратности);
- повышенная в сравнении с водой смачивающая способность (наличие в составе ПО).

Одним из перспективных способов получения воздушно-механической пены низкой кратности является использование пеногенирующих систем со сжатым воздухом (ПССВ). Принцип получения пены в ПССВ заключается в принудительном введении воздуха под давлением в раствор пенообразователя с помощью компрессора. Полученную таким образом пену называют компрессионной.

Основными компонентами ПССВ являются центробежный насос, источник воды (цистерна), источник ПО (бак для ПО), воздушный компрессор, система дозирования с прямым впрыском ПО на выходе из центробежного насоса, смесительная камера (может использоваться непосредственно рукавная линия) и устройство контроля за смешением ПО, воды и воздуха в требуемых пропорциях. В отличие от стандартных насосных установок в ПССВ по рукавной линии подается газожидкостная смесь (компрессионная пена).

Результаты проведенных ранее исследований показывают, что ПССВ имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными технологиями пожаротушения: экономичность, многофункциональность, высокая эффективность [2 – 5]. ПССВ может быть использована для тушения пожаров в высотных зданиях (высотой до 400 м) [6, 7] и тушения пожаров в резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов методом введения компрессионной пены в слой горючей жидкости (подслоное тушение) [8, 9].

В Республике Беларусь на вооружении пожарных подразделений имеется ряд импортных ПССВ, однако они не получили широкого распространения из-за высокой стоимости, отсутствия обоснованных тактико-технических характеристик и методов их применения для тушения пожара.

В связи с вышесказанным необходимо провести натурные испытания ПССВ по определению огнетушащей эффективности с использованием условного очага пожара класса А, возможности подачи компрессионной пены на верхние этажи высотных зданий, а

также использования ПССВ в условиях низких температур. Это позволит обосновать тактико-технические возможности ПССВ и методы применения системы для тушения пожаров, а также сформулировать рекомендации по ее эффективному использованию пожарными подразделениями.

Определение огнетушащей эффективности ПССВ. Для определения огнетушащей эффективности ПССВ проведены сравнительные исследования эффективности тушения условного очага пожара класса А компрессионной пеной и воздушно-механической пеной низкой кратности, полученной с использованием ручного воздушно-пенного ствола СВП-2. Для подачи в очаг пожара компрессионной пены использовали перекрывные стволы СПРУ-50/0,7 и прямоточный ствол Elkhart Brass ST-185A с диаметром насадка 13 мм. Для генерирования пены использовали раствор воды и огнетушащего пенообразующего состава ОПС-0.4 в концентрации 1 % при использовании стволов СВП-2 и Elkhart Brass ST-185A, и 0,4 % при использовании ствола СПРУ-50/0,7.

Для проведения исследований использовали три условных очага пожара класса А, каждый из которых представлял собой штабель, состоящий из автомобильных покрышек 175/65R14 (внешний диаметр 0,58 м, ширина 0,18 м, масса 6,6 кг,) в количестве 15 шт. В центре штабеля располагали три колонны по три покрышки в каждой и дополнительно к ним приставляли по периметру еще 6 штук (рисунок 1). Размеры штабеля: длина – 1,2 м, ширина – 1,2 м, высота – 0,6 м. Общая масса горючего материала составила около 100 кг. На штабель из автомобильных покрышек нанесли 10 л горючей жидкости (смесь из 8 л отработанного моторного масла и 2 л бензина) и подожгли. Время свободного горения – 5 минут. Общий вид условного очага пожара представлен на рисунке 2.

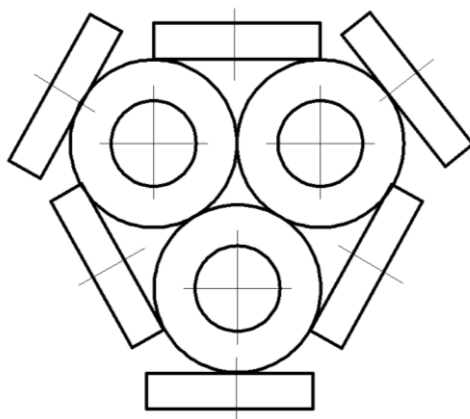


Рисунок 1 – Схема расположения автомобильных покрышек в условном очаге пожара (вид сверху)



Рисунок 2 – Условный очаг пожара класса А

Сравнительный анализ огнетушащей эффективности пены проведен посредством сопоставления значений времени тушения, количества использованных на тушение огнетушащих веществ (воды и ПО) и фиксации повторного воспламенения (таблица 1). Определение указанных параметров осуществлялось при давлении на насосе 0,52 МПа.

Таблица 1 – Результаты сравнительных исследований эффективности тушения условного очага пожара класса А пеной низкой кратности

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра		
		ствол СПРУ 50/0,7	ствол Elkhart Brass ST-185A	ствол СВП-2
1	Время тушения, с	23	20	55
2	Время повторного воспламенения, с	Повторное воспламенение не наблюдается	Повторное воспламенение не наблюдается	Повторное воспламенение не наблюдается
3	Количество использованного на тушение ОПС-0,4, л	0,3	0,7	1,5
4	Количество использованной на тушение воды, л	76	70	150

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что на тушение условного очага пожара класса А компрессионной пеной потребовалось в 2 раза меньше времени и расходовано в 2 раза меньше воды и в 5 раз меньше ПО, чем при использовании ствола СВП-2. Это позволяет говорить о высокой огнетушащей эффективности ПССВ.

Помимо того, необходимо отметить, что при проведении экспериментальных исследований визуально обнаружили, что поток компрессионной пены при достижении некоторого минимального значения концентрации ПО в растворе воды и ПО при постоянных расходных и геометрических параметрах приобретает пробковую структуру. Это привело к тому, что из ручного пожарного ствола вместо компрессионной пены попеременно осуществлялась подача отдельно раствора воды и ПО и отдельно воздуха. Как следствие, прекращалась подача компрессионной пены от ПССВ, что в условиях тушения пожара недопустимо. Описываемый режим работы ручного пожарного ствола сопровождался ощутимыми рывками, что требовало от ствольщика значительных физических усилий для его удержания. Рывки ручного пожарного ствола являются следствием попеременного изменения реактивной силы струи.

Во время проведения экспериментальных исследований были определены минимально-допустимые концентрации содержания ПО в растворе воды и ПО для получения компрессионной пены с применением ПССВ: ОПС-0,4 – 0,4 %, Синтек и Барьер-пленкообразующий – 2 %. Приведенные значения показывают, что при превосходящей огнетушащей эффективности ПССВ над традиционными технологиями тушения пеной низкой кратности для подачи компрессионной пены требуется в 2,5 – 3 раза меньшее количество ПО (используют растворы воды и ПО в концентрации: ОПС-0,4 – 1 %, Синтек и Барьер-пленкообразующий – 6 %), что говорит о снижении себестоимости пожаротушения пеной низкой кратности при использовании ПССВ.



а

б

в

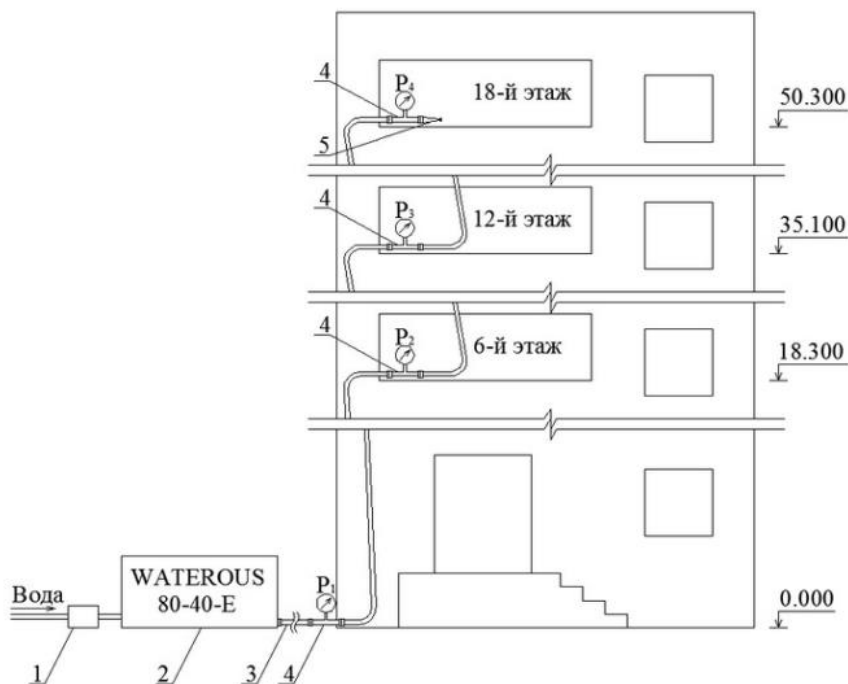
а – 18 этаж (50 м), б – 25 этаж (75 м), в – 32 этаж (100 м)

Рисунок 3 – Натурные испытания подачи компрессионной пены на высоту

Определение возможности подачи компрессионной пены на верхние этажи высотных зданий. Проведены исследования по определению возможности использования ПССВ для тушения пожаров в высотных зданиях. Для этого провели натурные исследования по подаче компрессионной пены на 18, 25 и 32 этажи (рисунок 3).

При подаче компрессионной пены на **18 этаж (высота около 50 м, рисунок 3, а)** в качестве насосной установки использовали автомобиль быстрого реагирования АБР-0,4/130 (4370) с портативной ПССВ Waterous 80-40-Е. Компрессионную пену подавали по рукавным линиям с внутренним диаметром 51 и 66 мм, проложенным вертикально по фасаду здания. На конце рукавных линий использовали перекрывной ручной пожарный ствол Elkhart Brass ST-185А. Для фиксации значения давления в рукавной линии между рукавами и перед ручным стволом установили 4 рукавные вставки с манометрами МП 160 МЧ – 1,0 МПа (рисунок 4).

Длина одного пожарного напорного рукава около 20 м, а высота этажа 2,8 м. С учетом этих размеров при прокладке вертикальной рукавной линии один рукав соответствовал шести этажам здания. Рукавные вставки с манометрами расположили на уровне земли, 6, 12 и 18 этажах таким образом, что высотные отметки их расположения были равны 0, 18,3, 35,1 и 50,3 м соответственно (рисунок 4). Таким образом, длина каждого рукава превышала расстояние по вертикали между близкими рукавными вставками, что выразилось в провисании (изгибе) каждого рукава. В результате длина вертикальной рукавной линии по значению не соответствовала высотным отметкам расположения рукавных вставок с манометрами (таблицы 2, 3).



1 – электромагнитный расходомер; 2 – пеногенерирующая система со сжатым воздухом;

3 – рукавная линия; 4 – рукавная вставка с манометром; 5 – ручной пожарный ствол

Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки при подаче компрессионной пены на 18 этаж

Воду к ПССВ подавали по рукавной линии от пожарного гидранта, расположенного в 100 м от места установки пожарного автомобиля. Объемный расход воды регулировали задвижкой выпускного патрубка ПССВ и определяли электромагнитным расходомером, а ПО – принимали в соответствии с положением регулятора дозирующей системы. Для получения компрессионной пены использовали ПО ОПС-0.4 в концентрации 0,4 %. Объемный расход воздуха принимали постоянным в соответствии с техническими характеристиками ПССВ марки Waterous 80-40-Е. Результаты натурных исследований приведены в таблицах 2 и 3.

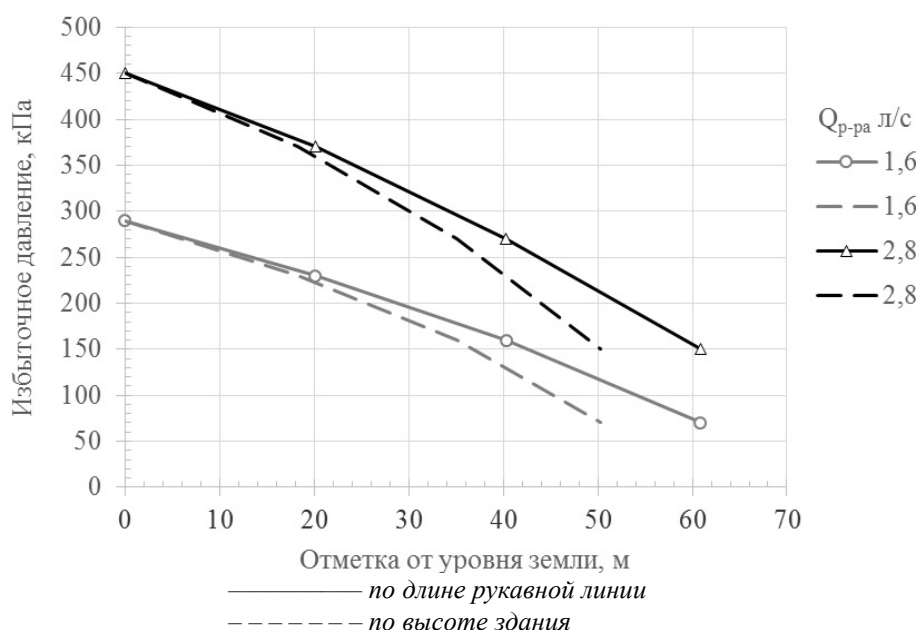
Таблица 2 – Результаты натурных исследований подачи компрессионной пены на 18 этаж по рукавной линии с внутренним диаметром 51 мм

Наименование параметров		Значение параметров			
Размещение рукавных вставок с манометрами	этаж / расстояние от уровня земли, м	0 / 0	6 / 18,3	12 / 35,1	18 / 50,3
	длина вертикальной рукавной линии, м	0	20,4	40,35	60,25
Показания манометров, кПа	при объемном расходе раствора воды и ПО 1,5 л/с	390	320	240	110
	при объемном расходе раствора воды и ПО 1,9 л/с	360	290	200	80

Таблица 3 – Результаты натурных исследований подачи компрессионной пены на 18 этаж по рукавной линии с внутренним диаметром 66 мм

Наименование параметров		Значение параметров			
Размещение рукавных вставок с манометрами	этаж / расстояние от уровня земли, м	0 / 0	6 / 18,3	12 / 35,1	18 / 50,3
	длина вертикальной рукавной линии, м	0	20,15	40,29	60,87
Показания манометров, кПа	при объемном расходе раствора воды и ПО 1,5 л/с	290	230	160	70
	при объемном расходе раствора воды и ПО 1,9 л/с	450	370	270	150

Данные таблиц 2 и 3 позволили показать характер изменения давления в рукавной линии, проложенной вертикально, при движении по ней компрессионной пены (рисунок 5).

**Рисунок 5 – Изменение давления в рукавной линии с внутренним диаметром 66 мм при подаче компрессионной пены**

Для оценки значений удельных потерь давления по длине рукавной линии и высоте здания приняли, что зависимости, приведенные на рисунке 5, являются линейными. Тогда значения удельных потерь давления определили как отношение разницы показаний манометров, установленных на входе в рукавную линию и перед ручным пожарным стволом, к значениям длины вертикальной рукавной линии и высотной отметки верхней рукавной вставки с манометром (таблица 4).

Указанные в таблице 4 результаты соответствуют данным зарубежных исследователей [10, 11], которые показали, что при кратности пены 8,45 потери давления составляют 49 кПа на каждые 10 м высоты (4,9 кПа/м) при высоте подъема пены до 250 м и давлении на насосе в 1,23 МПа. Таким образом, экспериментально показана возможность подачи

компрессионной пены на 18 этаж при избыточном давлении на входе в рукавную линию 290 – 450 кПа, что позволяет предположить возможность ее подачи на вышележащие этажи при избыточном давлении 800 – 1000 кПа.

Таблица 4 – Удельные потери давления по длине рукавной линии и высоте здания

Наименование параметров	Значение параметров			
	0,051		0,066	
Диаметр рукавной линии, м				
Объемный расход раствора воды и ПО, л/с	1,5	1,9	1,6	2,8
Удельные потери давления по длине рукавной линии, кПа/м	4,6	4,6	3,6	4,9
Удельные потери давления по высоте здания, кПа/м	5,6	5,6	4,4	6,0

При подаче компрессионной пены на **25 этаж (высота около 75 м, рисунок 3, б)** в качестве насосной установки использовали пожарный автомобиль АЦ 1167/4 марки IVECO с ПССВ MiniCAFS 2.1a производства GODIVA. Компрессионную пену подавали по рукавной линии, проложенной вертикально по фасаду здания. На конце рукавной линии использовали перекрывной ручной пожарный ствол Protek. Для фиксации значения давления в рукавной линии перед ручным стволом установили рукавную вставку с манометром МП 160 МЧ – 1.0 МПа, а давление на входе в рукавную линию определяли по показаниям измерительных приборов на приборной доске насосной установки. Для получения компрессионной пены использовали ПО Синтек в концентрации 2 %. Смешивание воды, пенообразователя и воздуха осуществлялось в автоматическом режиме непосредственно в ПССВ. Оператор ПССВ выставлял значения приборов управления для подачи мокрой компрессионной пены (с кратностью 5 – 10), затем – для сухой компрессионной пены (с кратностью 10 – 20). Отметим, что деление компрессионной пены на мокрую и сухую – условное, определяется только значением ее кратности [2 – 4].

Рукавная линия состояла из одного рукава с внутренним диаметром 77 мм, четырех рукавов с внутренним диаметром 51 мм и трехходового разветвления. При подаче мокрой компрессионной пены избыточное давление на насосе было 800 кПа, а перед ручным пожарным стволом составило 300 кПа. При подаче сухой компрессионной пены при том же избыточном давлении на насосе избыточное давление перед стволом составило 500 кПа. Учитывая высоту подачи компрессионной пены (75 м), падение давления в рукавной линии по высоте здания при подаче мокрой компрессионной пены составило 6,7 кПа/м, а при подаче сухой компрессионной пены – 4 кПа/м.

Натурные исследования по подаче компрессионной пены на **32 этаж (высота около 100 м, рисунок 3, в)** проводили по аналогии с исследованиями по подаче компрессионной пены на 25 этаж. Рукавная линия состояла из одного напорного пожарного рукава с внутренним диаметром 66 мм от АЦ до трехходового разветвления и шести рукавов с внутренним диаметром 51 мм, причем первый из них был проложен от трехходового разветвления до второго этажа, а остальные – вертикально по наружному фасаду здания по одному на каждые шесть этажей.

При подаче мокрой компрессионной пены избыточное давление на насосе было 800 – 1000 кПа, при этом пена подымалась по рукавной линии только до уровня 26 этажа. В результате дальнейшей подачи компрессионной пены из насосной установки рукавная линия заполнялась раствором воды и ПО, а воздух подымался вверх по рукавной линии и выходил через открытый ручной пожарный ствол. Это приводило к заполнению рукава раствором воды и ПО, возникновению противодействия столба жидкости и, как следствие, переходу автоматики ПССВ в аварийный режим, в результате чего скидывались обороты двигателя и прекращалась подача компрессионной пены. Помимо того, в ряде попыток рукавная линия не выдерживала веса находящегося в ней раствора воды и ПО и происходил обрыв пожарного рукава в месте крепления соединительной головки. Таким образом, при проведении натурных исследований не удалось подать мокрую компрессионную пену выше 26 этажа.

При подаче сухой компрессионной пены избыточное давление на насосе было 750 кПа, а перед ручным пожарным стволом составило 110 кПа. Удельные потери давления в рукавной линии по высоте здания составили 6,4 кПа/м, что согласуется с результатами предыдущих исследований и показывает возможность подачи сухой компрессионной пены на 32 этаж (высота около 100 м).

Важно отметить, что при подаче компрессионной пены на 18, 25 и 32 этажи высотных зданий перекрытие ручного пожарного ствола на время более минуты приводило к об-

разованию в вертикальной рукавной линии воздушной пробки. При последующем открытии ствола первоначально из него истекал воздух, что не позволило мгновенно возобновить подачу компрессионной пены, а потребовало порядка $1 \div 2$ мин.

Анализируя результаты проведенных натурных испытаний по подаче компрессионной пены на 18, 25 и 32 этажи высотных зданий, можно сделать вывод, что эффективнее подавать сухую компрессионную пену, движение которой характеризуется меньшими потерями давления по длине рукавной линии, что позволяет подавать ее выше, чем мокрую.

Определение возможности применения ПССВ в условиях низких температур.

Проведены исследования по использованию ПССВ при отрицательной температуре окружающей среды – -20°C (рисунок 6). Для подачи компрессионной пены использовали портативную ПССВ Waterous 80-40-Е. Рукавная линия состояла из двух пожарных напорных рукавов с внутренним диаметром 38 мм, а на ее конце был установлен перекрывной пожарный ствол Elkhart Brass ST-185A. Рукавную линию проложили по поверхности земли и подали компрессионную пену. Далее перекрыли ручной пожарный ствол и задвижку выпускного патрубка ПССВ, обеспечив тем самым герметичность рукавной линии. При таких условиях компрессионная пена находилась на протяжении 2 часов.



Рисунок 6 – Исследования поведения компрессионной пены при низких температурах

По результатам исследований компрессионная пена в рукавной линии промерзла по диаметру рукава на глубину $7 \div 10$ мм. При этом по периметру рукава образовался хрупкий пористый слой из замерзшей компрессионной пены, а в сердцевине рукава она не замерзла и осталась в жидкой фазе. Это можно объяснить тем, что замерзший слой компрессионной пены в меру своей структуры обладает теплоизолирующим эффектом, в результате чего значительно увеличивается время на дальнейшее промерзание компрессионной пены вглубь рукава.

Для восстановления работоспособности рукавной линии, в меру хрупкости замерзшего слоя компрессионной пены, достаточно возобновить ее подачу. Замерзший слой компрессионной пены с течением некоторого времени разрушается и выходит из рукавной линии через открытый ручной пожарный ствол. Для более оперативного восстановления работоспособности промерзшей рукавной линии необходимо предварительно деформировать структуру замерзшей компрессионной пены путем протапывания рукавов.

Таким образом, показана возможность применения ПССВ в условиях низких температур (до -20°C), при этом компрессионная пена в рукавной линии промерзает, но не создает ледяных пробок и не наносит повреждений пожарным рукавам.

Заключение. Проведены натурные испытания ПССВ, результаты которых позволяют обосновать метод тушения пожаров ПССВ. Сравнительные исследования эффективности тушения условного очага пожара класса А пеной низкой кратности показали, что при подаче компрессионной пены потребовалось в 2 раза меньше огнетушащих веществ, чем при использовании ствола СВП-2. Показана возможность подачи сухой компрессионной пены на высоту до 100 м и использования ПССВ в условиях низких температур без образования ледяных пробок в рукавной линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баратов, А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд.: в 2 книгах; кн. 1 / А. Н. Баратов [и др.]. – М.: Химия, 1990. – 496 с.
2. Навроцкий, О.Д. Исследование параметров пены, подаваемой с помощью пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / О.Д. Навроцкий [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация – 2011. – № 2 (30). – С. 125-132.
3. Навроцкий, О.Д. Пеногенерирующие системы со сжатым воздухом – средство пенного пожаротушения нового поколения / О.Д. Навроцкий [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь – 2012. – № 1 (15). – С. 22-31.
4. Taylor, R.G. Technical Report 98: Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions / R. G. Taylor – Morristown Fire Bureau – Morristown, New Jersey – 1998. – Pp. 75-112.
5. Бурдин, А.М. Установки пожаротушения с использованием компрессионной пены. Технологические особенности и преимущества / Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXVII Междунар. науч.-практ. Конф., посвященной 25-летию МЧС России. В 3 ч. Ч. 2. – М.: ВНИИПО, 2015. – С. 274 – 286.
6. Махачей, П.С. Возможность использования пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданиях / П.С. Махачей [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сборник тезисов докладов VI междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8–9 июня. 2011 г.: в 2 т. / М-во чрезв. ситуаций Респ. Беларусь; редкол.: А. Ю. Лупей [и др.] – Минск, 2011. – Т. 2 – С. 45-48.
7. Record height with sky CAFS. [Electronic resource]. // Rosenbauer. – Mode of access: <http://rosenbauer.t3.world-direct.at/en/landing-pages-newsletter/2010-08-newsletter-rbi/record-height-with-sky-cafs>. – Date of access: 05.01.2015.
8. Малашенко, С.М. Устройство врезки в продуктопровод для подачи воздушно-механической огнетушащей пены в горящий резервуар / С.М. Малашенко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2 (32). – С. 148-156.
9. Корольченко, Д.А. Анализ огнетушащей эффективности пен низкой кратности, полученных из фторсодержащих и углеводородных пенообразователей / Д.А. Корольченко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2 (32). – С. 148-156.
10. McLaughlin, W.L. Properties of compressed air foam. Executive leadership // McLaughlin W.L. San Juan County Fire District #3, Friday Harbour, Washington, 2001.
11. Grady, C. How high can you pump wildland firefighting foam? / Grady C., Lafferty R // Foam applications for wildland and urban fire management. – V.1. – Issue 1.

FIRE EXTINGUISHING BY COMPRESSED AIR FOAM SYSTEMS

Andrei Kamluk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry
for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Aleg Nawrocki, Candidate of Technical Sciences
The Establishment «Research Institute of Fire Safety and Emergencies» of the Ministry
for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Aliaksandr Grachulin

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry
for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The research is devoted to the substantiation of tactical and technical characteristics and application methods of the use of compressed air foam systems to extinguish fires.

Methods. The field tests of compressed air foam systems to determine the fire extinguishing efficiency of conditional seat of Class A fires, the possibility of supply of compressed foam on the upper floors of high-rise buildings, as well as the use of compressed air foam systems at low temperatures.

Findings. Extinguishing of conditional seat of Class A fires by compression foam required 2 times less time and extinguishing substances than while using the nozzle SVP-2.

The permissible minimum concentration of foaming agents in water solution for compressed foam in compressed air foam systems has been defined: OPS 0.4 – 0.4%, Sintek and film-forming Bar'er – 2%.

The possibility of supplying compressed foam to 18, 25 and 32 floors of high-rise buildings is shown. The pressure drop along the length of hose line when applying dry compression foam were lower than when applying wet compression foam. Besides, the possibility of using compressed air foam systems at low temperatures is determined, whereby compressed foam in hose line freezes, but does not create ice plugs and does not cause damage to a fire hose.

Application field of research. The research results can be used in fire and rescue departments for firefighting by compressed air foam system.

Conclusions. The results of the field test of the compressed air foam system show the effectiveness of extinguishing Class A fires, the possibility of supplying compressed foam to a height of 100 m, as well as its use at low temperatures.

Keywords: compressed air foam system; fire extinguishing; compressed air foam; field tests.

(The date of submitting: January 19, 2016)

REFERENCES

1. Baratov A.N. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya* [Fire and explosion hazard substances and materials and their means of extinguishing]: Ref. ed.: 2 books; Vol. 1. M.: Khimiya, 1990. 496 p. (rus)
2. Navrotsky O.D. Issledovanie parametrov peny, podavaemoy s pomoshch'yu penogeneriruyushchikh sistem so szhatym vozdukhom [Research foam parameters supplied by compressed air foam systems]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*. 2011. No. 2 (30). Pp. 125-132. (rus)
3. Nawrotsky O.D. Penogeneriruyushchie sistemy so szhatym vozdukhom – sredstvo pennogo pozharotusheniya novogo pokoleniya [Compressed air foam systems – tool a new generation of foam extinguishing]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2012. No. 1 (15). Pp. 22-31. (rus)
4. Taylor R.G. Technical Report 98: Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions. *Morristown Fire Bureau*. Morristown, New Jersey. 1998. Pp. 75-112. (eng)
5. Burdin A.M. Ustanovki pozharotusheniya s ispol'zovaniem kompressionnoy peny. Tekhnologicheskie osobennosti i preimushchestva [Extinguishing installations with compression foam. Technological features and advantages] *Proc. XXVII Intern. scientific-practical. Conf., Dedicated to the 25th anniversary of the Russian Emergencies Ministry «Actual fire safety problems: materials»*. In 3 parts. Part 2. M.: VNIPO, 2015. Pp. 274-286. (rus)
6. Makhakhey P.S. Vozmozhnost' ispol'zovaniya penogeneriruyushchikh sistem so szhatym vozdukhom dlya tusheniya pozharov v zdaniyakh povyshennoy etazhnosti i vysotnykh zdaniyakh [The possibility of using compressed air foam systems to extinguish fires in high-rise buildings] *Proc. VI Intern. scientific-practical. Conf. «Emergency situations: prevention and elimination»* In 2 parts. M-vo chrezv. situatsiy Resp. Belarus. Minsk, 2011. Part 2. Pp. 45-48. (rus)

7. Record height with sky CAFS. Rosenbauer, available at: <http://rosenbauer.t3.world-direct.at/en/landing-pages-newsletter/2010-08-newsletter-rbi/record-height-with-sky-cafs> (accessed: January 05, 2015). (eng)
8. Malashenko S.M. Ustroystvo vrezki v produktoprovod dlya podachi vozdušno-mekhanicheskoy ognetchashchey peny v goryashchiy rezervuar [Device of prick into product pipeline for supplying air-mechanical foam extinguishing on a burning tank]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*. 2012. No. 2 (32). Pp. 148-156. (rus)
9. Korolchenko D. Analysis of extinguishing efficiency of low expansion foam produced from fluorine containing and hydrocarbonic foam compounds. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2016. No. 3. Pp. 37-43. (rus)
10. William L., McLaughlin B.S. Properties of compressed air foam. Executive leadership. *San Juan County Fire District No. 3. Friday Harbour*. Washington. 2001. (eng)
11. Grady C., Lafferty R. How high can you pump wildland firefighting foam? *Foam applications for wildland and urban fire management*. Vol. 1. Issue 1. (eng)

УДК 614.895.5:621.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА СПАСАТЕЛЕЙ ПРИ ТУШЕНИИ ГОРЯЩИХ РЕЗЕРВУАРОВ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Костенко Т.В., Костенко В.К.

Получено дальнейшее развитие механизма тепловой нагрузки на спасателя, который включает внешние пути нагрева от очага горения и от Солнца, и внутренние (тепловыделение организма, работа регенеративной дыхательной системы). Установлено, что для внешней тепловой нагрузки превалирующими являются лучевые потоки энергии, а остальные, как правило, производные от них. Геометрические размеры резервуаров для хранения нефтепродуктов предопределяют величину излучаемой энергии при пожаре. Для наиболее сложного вида пожара – горения нефтепродуктов в резервуарах, обоснована зависимость для оперативной оценки лучевого теплового потока, и выражение для расчета безопасных зон ведения аварийных работ вблизи горящих в резервуарах нефтепродуктов.

Ключевые слова: горение нефтепродуктов, резервуар, тепловая нагрузка на спасателя, лучевая энергия.

(Поступила в редакцию 13 октября 2016 г.)

Введение. Тушение крупных пожаров различных видов: на нефтехранилищах, в лесных массивах, транспортных средствах, таких как железнодорожные и автомобильные цистерны, конвейеры, на угольных разрезах и других, проводят на открытой местности. Среди видов травматизма личного состава при ликвидации масштабных пожаров, наиболее часты тепловые поражения, такие как ожоги, перегрев организма, потеря сознания, тепловые удары. Причиной, которая определяет наличие этого рода травм, является несовершенство нормативных документов по оперативной оценке внешней тепловой нагрузки на спасателей, и ограниченный, на наш взгляд, уровень защитного действия находящихся на оснащении спасательных подразделений противотепловых средств. Поэтому совершенствование нормативных документов в части быстрой выработки решения по применению средств индивидуальной и групповой защиты личного состава от действия тепла является актуальной задачей. Одним из путей для выбора средств и способов повышения защиты спасателей от тепловых травм, по мнению авторов, может быть методика оперативной оценки внешней тепловой нагрузки на спасателя при тушении масштабного пожара, в первую очередь, как показывает практика, для горящих резервуаров с нефтепродуктами.

В большинстве работ, посвященных исследованию внешней тепловой нагрузки на пожарных, учитывают только действие прямых тепловых лучей [1-6]. Это приводит к занижению результатов, недооценке влияния конвективного нагрева и отраженных лучей. Обобщая информацию, можно сделать вывод, что известные методики не учитывают в полной мере все виды теплового воздействия на спасателя в процессе тушения пожара на открытой местности. В этих условиях действуют параллельно три основных вида внешнего теплового воздействия, а именно: потоки тепловых лучей (радиация), обдувающие струи горячих газов (конвекция), теплопередача при прикосновении к нагретым твердым предметам (кондукция) [7]. Актуальным является оперативное определение величины действия внешних факторов, определяющих тепловое воздействие на пожарных при ведении спасательных работ.

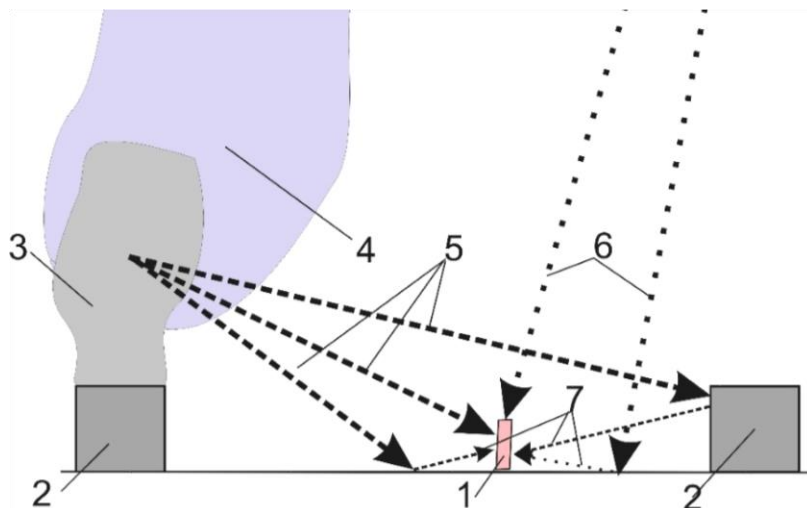
После прибытия на объект руководители тушения пожара располагают ограниченной информацией и временем. Как правило, им известны параметры пожара, такие как вид горящих материалов, размеры фронта горения; климатические условия, а именно, температура воздуха, его влажность, скорость ветра, облачность и другие. Исходя из этих сведений, с учетом располагаемых сил и средств, руководители должны оценить обстановку и выработать не только тактику воздействия на очаг горения, но и меры безопасности личного состава.

Факторы, определяющие вырабатываемую организмом спасателя внутреннюю теплогенерацию, являются управляемыми путем выбора видов и режимов работы, диспозицией подразделений, применением средств механизации и другими способами. Воздействие

же внешних факторов, являющихся преобладающим, объективно обусловлено и трудно регулируется.

Целью исследований является разработка основ методики оперативного прогноза влияния внешних факторов, определяющих тепловую нагрузку на спасателя, для выбора противотепловых средств, при тушении горящих резервуаров с нефтепродуктами.

Результаты. Как известно, основным источником внешнего излучения пожара является место, где происходят окислительные реакции – фронт горения. Тепловые лучи, попадая на твердую или жидкую поверхность и частично поглощаясь ею, передают молекулам вещества часть своей энергии, заставляя их интенсивно колебаться, нагреваясь при этом. Остальная энергия отражается от поверхностей, рассеиваясь в пространстве. На спасателя действуют как прямые, так и отраженные лучи, что следует учитывать при определении допустимого времени пребывания его в зоне теплового поражения (рис. 1).



1 – объект; 2 – резервуары с горючим; 3 – факел горения; 4 – шлейф продуктов горения; 5 – прямые тепловые потоки от пожара; 6 – прямые солнечные тепловые потоки; 7 – отраженные лучи

Рисунок 1 – Схема внешних лучевых потоков, действующих на расположенный вблизи пожара объект

Конвективные потоки возникают по двум причинам. Во-первых, это газообразные продукты пожара, которые выделяются при горении и термодеструкции горючих веществ. Учитывая, что большинство горючих твердых, газообразных и жидких веществ – органические соединения, основную часть продуктов составляют оксиды углерода, серы, водяные пары, газы органической природы, а также, при высоких (более 1500 °С) температурах горения, оксиды азота воздуха. Другая составляющая конвективных потоков – это воздух, нагревающийся при контакте с разогретыми поверхностями. Теплые газы имеют плотность меньшую, чем воздух, и движутся вверх под действием архимедовой силы. Вектор перемещения конвективных струй определяется суммой этой силы и ветра.

Контактный (кондуктивный) нагрев происходит при непосредственном соприкосновении пожарного с раскаленными поверхностями или жидкостями. Чаще всего такому тепловому воздействию подвержены ноги или только ступни пожарного. Кроме того, контактное тепло, при воздействии искр, головней или капель горящих жидкостей, влияет на кожные покровы спасателей и защитную одежду, вызывая ожоги или прогорание последней. Важно отметить, что отраженные и конвективные потоки являются вторичными, производными от внешних прямых лучей.

Таким образом, тепловая нагрузка на спасателя (Q_{wt}) складывается из следующих основных составляющих:

1. Внешняя тепловая нагрузка:

- прямые тепловые потоки от пожара (Q_{sd}) и Солнца (Q_{fd}), действие которых имеет векторную со стороны источника направленность;
- отраженные ($Q_{fr}+Q_{sr}$) от грунта и стенок потоки от первичных источников, отраженные лучи, как правило, имеют зеркальный и диффузный, рассеянный из-за шероховатости отражающих поверхностей, характер;
- конвективные потоки нагретых газов (Q_k), обусловленные нагревом поверхности или ветрового переноса продуктов горения;

- контактный (кондуктивный) (Q_c) нагрев частей костюма, соприкасающихся с нагретыми поверхностями или пламенем.

2. Внутренняя тепловая нагрузка спасателя обусловлена:

- тепловыделением при работе мышц человека (Q_{mb});

- функционированием регенеративной дыхательной системы (Q_{ar}).

Ресурсы охлаждающей энергии, используемой в средствах противотепловой защиты, например, ледяных брикетов и т. п., в данной работе не рассматриваются.

Общее количество поступающей и генерируемой в системе «человек – теплозащитная одежда – внешняя среда» (СЧТС) теплоты можно выразить уравнением:

$$(Q_{wt}) = Q_{sd} + Q_{fd} + Q_{fr} + Q_{sr} + Q_k + Q_{mb} + Q_{ar} + Q_c. \quad (1)$$

Оценить составляющую выражения (1) (Q_{sd}) при тушении открытых пожаров на хранилищах нефтегазопродуктов попытаемся исходя из следующих допущений и предположений.

Параметры резервуаров для хранения нефти и продуктов ее переработки характеризуются большим разнообразием, что усложняет оценку тепловой нагрузки на спасателей. Величина прямого теплового потока (Q_{sd}) от пожара в резервуаре может быть определена исходя из вида и объема сгорающего вещества, расстояния до фронта горения, прозрачности воздуха. Исходя из принципа Сен-Венана, примем допущение, что на расстоянии более трех размеров фронта горения можно, в первом приближении, считать, что вся выделяемая пожаром энергия сосредоточена в центре фронта горения.

Природный газ и нефть в основном состоят из углеводородов, которые при горении выделяют большое количество тепла. Оно вызывает значительное повышение температуры воздуха и почвы возле очага горения. Удельное количество тепла, излучаемое пламенным факелом, которое приходится на единичную площадь поверхности, определяют, приняв допущение, что энергия сосредоточена в центре факела и распределяется равномерно в окружающее сферическое пространство [8]. При отсутствии ветра, его вычисляют по формуле:

$$q = \frac{f \cdot Q'_n}{4 \cdot \pi \cdot R^2}. \quad (2)$$

где q – количество тепла, приходящегося на единицу площади нагреваемой поверхности, $\text{Дж}/\text{м}^2 \cdot \text{час}$;

Q'_n – приведенная теплота пожара, $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$;

R – расстояние до центра факела, м;

f – коэффициент излучения факела, $f = 0,048 \cdot \sqrt{M}$, где: M – молекулярная масса горючего.

Для метана f принимают – 0,2, для пропана – 0,33 и т. д.

Для вычисления f сначала находят среднюю молекулярную массу данной смеси горючих углеводородов. Молекулярная масса для большинства видов нефти колеблется в пределах 220...300. Она возрастает, так же, как и плотность, для нефтяных фракций с повышением температуры кипения [8]. Усредненный показатель для нефтепродуктов можно принять $f=0,75$.

Приведенная теплота пожара Q'_n рассчитывается по формуле:

$$Q'_n = \beta_{nz} \cdot Q_n \cdot V_o, \quad (3)$$

где β_{nz} – коэффициент полноты сгорания. В тихую погоду при горении, например, метан-пропановой или иной низкомолекулярной смеси примерно составляет $\beta_{nz} = 0,8...0,9$. Для нефтепродуктов типа бензин, керосин, мазут принимают $\beta_{nz} = 0,85$;

Q_n – низшая теплота сгорания газов или их смесей, (например, метан – $35,83 \text{ МДж}/\text{м}^3$, пропан – $91,27 \text{ МДж}/\text{м}^3$), для жидких углеводородов (например, бензин – $41,87 \text{ МДж}/\text{кг}$, керосин – $43,54 \text{ МДж}/\text{кг}$);

V_o – объемный расход горючего, $\text{м}^3/\text{час}$.

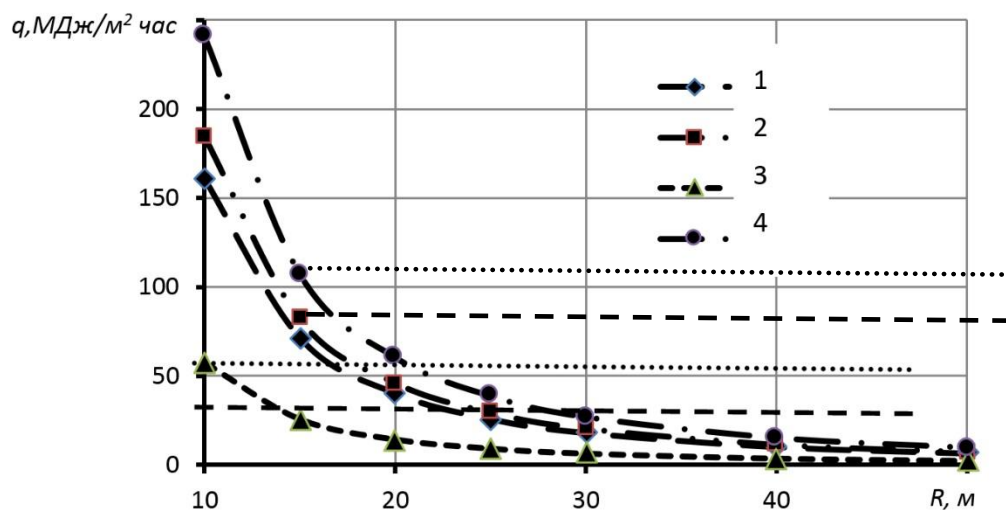
При горении бензина в резервуаре диаметром 10 м, экспериментально установлено [8], что линейная скорость выгорания составляет около $15 \text{ мм}/\text{мин}$, что соответствует объемной скорости выгорания, примерно, $15,7 \text{ м}^3/\text{мин}$ или $942 \text{ м}^3/\text{час}$.

В авторитетном источнике [9] приведен обзор информации о горении жидкостей в резервуарах диаметрами от 1 до 23 м. Несмотря на ограниченные и недостаточно точные сведения составителями сделаны некоторые существенные заключения. Установлено, что скорость выгорания жидкостей практически неизменна для резервуаров, имеющих диаметры в указанных интервалах. Это позволяет принимать неизменной линейную скорость выгорания нефтепродуктов $v = 15 \text{ мм/мин} = 0,9 \text{ м/час}$ в резервуарах вместимостью до 5000 м^3 , и, учитывая отсутствие тенденции к увеличению или снижению, принять допущение о сохранении этого показателя в сосудах большей вместимости. В таком случае, объем сгорающей жидкости будет пропорционален площади поперечного сечения резервуара:

$$V = S \cdot v = \pi \cdot D^2 \cdot v / 4 = 0,765 D^2, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (4)$$

где D – диаметр резервуара, м.

Выполнен расчет удельной тепловой нагрузки при стабильном горении в резервуаре диаметром 10 м некоторых распространенных видов газообразного и жидкого горючего: бензина, керосина, метана и пропана (рис. 2), при одинаковом объемном расходе.



1 – бензин; 2 – керосин; 3 – метан; 4 – пропан; линии штриховая и пунктирная, соответствуют уровням тепловых потоков 5, 6 и 40, МДж/м²·час

Рисунок 2 – Интенсивность тепловыделения (q , МДж/м²·час) на расстоянии (R , м) от центра факела горящих углеводородов

Результаты расчетов позволили установить, что с удалением от центра факела тепловая нагрузка убывает по гиперболической зависимости. На удалении более 15 м при горении углеводородов с относительно высокой молекулярной массой (бензин, керосин, пропан) близки и отличаются не более чем на 10...15 %. Горение метана, имеющего небольшую молекулярную массу и меньшую теплоту сгорания, определяет несколько пониженную тепловую нагрузку.

При расчетах безопасной для личного состава, то есть такой, которую можно неограниченное время выдерживать без специальной защиты, принимают интенсивность тепловыделения $q_{без} = 5,6 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{час}$ [3]. Для вышеприведенного пожара такая тепловая нагрузка существует на удалении более 40...50 м от факела (см. рис. 2). Следовательно, оперативные действия на меньшем удалении от факела необходимо выполнять с использованием средств защиты от тепла организмов спасателей.

Большинство состоящих на оснащении спасательных подразделений Украины противотепловых средств допускают защиту организма спасателя при интенсивности излучения до $40 \text{ МДж/м}^2 \cdot \text{час}$. В рассмотренном случае такие условия обеспечиваются на удалении не менее 18...21 м при горении жидких нефтепродуктов и более 15 м при горении метана. Ведение оперативных действий на меньших дистанциях угрожает тепловыми травмами.

Большинство средств противотепловой защиты спасателей испытывают при интенсивности нормально направленной лучевой нагрузки $40 \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{час}$, которая чаще всего фигурирует в нормативных документах [4-5]. При этом допустимая продолжительность пре-

бывания в зоне теплового воздействия с использованием состоящих на оснащении средств противотепловой защиты исчисляется 120 с на расстоянии менее 25...30 м, как это следует из рис. 2, что определяет недостаточную эффективность подавления пламени при помощи современных средств тушения пожаров.

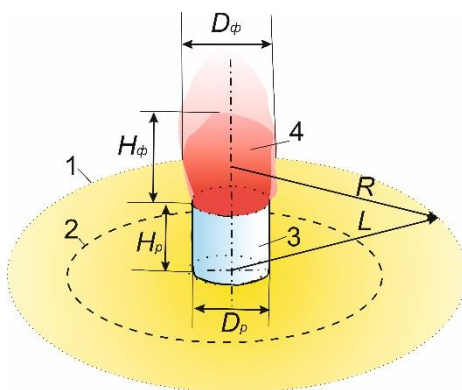
Ликвидация чрезвычайных ситуаций всегда проходит в условиях дефицита времени и информации. Даже использование вычислительной техники не позволяет быстро оценить тепловую обстановку из-за отсутствия необходимых исходных данных. Например, выработка решения о выборе безопасного рубежа тушения или применении противотепловых средств защиты личного состава должно основываться на каких-то первичных прогнозах обстановки. В качестве альтернативы следует применять упрощенные зависимости, диаграммы, таблицы, с помощью которых можно быстро оценить ожидаемый уровень тепловых потоков. Предлагается следующий вариант предварительного экспресс-расчета для горящих резервуаров с нефтепродуктами.

Если рассматривать прямое излучение горящих нефтяных продуктов, то можно использовать следующие известные исходные сведения [8]. Высота факела над горящим резервуаром диаметром D , согласно экспериментальным данным, составляет $H_{\phi} = (1 \dots 1,5)D$.

Схематично распределение тепловых потоков при горении нефтепродуктов в резервуаре можно представить следующим образом (рис. 3). Факел горящих паров поднимается над срезом резервуара на высоту $H_{\phi} = (1 \dots 1,5)D$. Обозначив высоту резервуара как H_p , центр факела находится примерно на высоте $H_{\psi} = (0,5 \dots 0,75)D + H_p$. Соотношение между диаметром резервуара и его высотой есть величина постоянная для конкретного сооружения, обозначим: $D/H_p = k_p$.

Тогда

$$H_{\psi} = (0,5 \dots 0,75) H_p k_p + H_p = [(0,5 \dots 0,75) k_p + 1] H_p. \quad (5)$$



1, 2 – соответственно границы зон безопасной работы в спецодежде и с применением противотепловых средств; 3 – резервуар; 4 – факел пожара; H_p , H_{ϕ} , D_p , D_{ϕ} – высоты и диаметры резервуара и факела горения; R – расстояние до центра факела; L – расстояние до центра резервуара

Рисунок 3 – Параметры обстановки при горении нефтепродуктов в резервуаре

Анализ геометрических размеров типоряда резервуаров для хранения нефти и продуктов ее переработки показал, что отношение высоты к диаметру для вместимостей до 3000 м³ составляет в среднем $k_p = 1,2$, для резервуаров большего размера ее средняя величина составляет $k_p = 2,48$.

Величина высоты расположения центра факела, исходя из выражения (5), составит:
– для резервуаров вместимостью до 3000 м³

$$H_{\psi} = [(0,5 \dots 0,75)/1,2 + 1] H_p = (1,4 \dots 1,6) H_p; \quad (6)$$

– при вместимости более 3000 м³

$$H_{\psi} = [(0,5 \dots 0,75)/2,48 + 1] H_p = (1,2 \dots 1,3) H_p. \quad (7)$$

Расстояние R от центра факела до спасателя определяется из геометрических выкладок

$$R^2 = L^2 + H_{\psi}^2,$$

где L – расстояние по горизонтали от центра резервуара до пожарного, м.

Для приближенной оценки влияния прямых тепловых лучей при горении светлых нефтепродуктов можно выражение (2) можно упростить:

$$q = \frac{f \cdot Q_n}{4 \cdot \pi \cdot (L^2 + H_u^2)} = \frac{0,75 \cdot Q_n}{12,56 \cdot (L^2 + H_u^2)} = \frac{0,06 \cdot Q_n}{(L^2 + H_u^2)}. \quad (8)$$

Для нефтепродуктов типа бензин, керосин, мазут принимают $\beta_{нз} = 0,85$. Q_n – низшая теплота сгорания наиболее распространенных жидких углеводородов (например, бензин – 41,87, керосин – 43,54, МДж/кг) в среднем составляет 42,7 МДж/кг, молекулярная масса в среднем $M = 260$.

Для оперативных расчетов внешней тепловой нагрузки на спасателя от горящих в резервуарах нефтепродуктов, на основе выражения (8), рекомендована следующая приближенная формула:

$$q \approx \frac{750 \cdot V}{(L^2 + H_u^2)}. \quad (9)$$

Минимальное расстояние, на котором можно производить оперативные действия без применения средств противотепловой защиты, и где интенсивность тепловыделения не превышает $q_{без} = 5,6$ МДж/м² час, подставляя в (9) имеем

$$5,6 \approx \frac{750 \cdot \pi \cdot D^2}{(L^2 + H_u^2)},$$

откуда

$$L = \sqrt{102,45 D^2 - H_u^2}. \quad (10)$$

Из выражения (10) следует, что радиус безопасной зоны L величина постоянная, предопределенная геометрическими параметрами резервуаров с продуктами переработки нефти. Эта зона может быть заблаговременно нанесена на планы нефтехранилищ, обозначена в оперативных документах. Целесообразно заранее обозначить ее на местности, что существенно обезопасит работу младшего командного и рядового состава частей службы чрезвычайных ситуаций, особенно прибывающих согласно диспозиции.

При инженерном оборудовании резервуарных парков, кроме обвалования следует возвести экранирующие сооружения в местах расположения внутриобъектной пожарной арматуры: задвижек, гидрантов, пожарных гаек и т. п. При этом следует основываться на расчетных значениях интенсивности и векторе теплового излучения очага горения.

Заключение. В ходе исследований дальнейшее развитие получил механизм тепловой нагрузки на спасателя, включающий внешние пути нагрева от очага горения и от Солнца (лучевые, конвективные и кондуктивные), и внутренние (тепловыделение организма, работа регенеративной дыхательной системы). Было установлено, что для внешней тепловой нагрузки преобладающими являются лучевые потоки энергии, а остальные, как правило, производные от них.

В результате выполненной работы обоснована зависимость для оперативной оценки лучевого теплового потока при горении нефтепродуктов в резервуарах и выражение для расчета безопасных зон ведения аварийных работ вблизи горящих в резервуарах нефтепродуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лин, А.С. Аналіз проблем створення та випробування термозахисних властивостей одягу пожежників / А.С. Лин // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Л.: ЛПІБ, 2004. – № 5. – С. 139-143.
2. Болибрух, Б.В., Хмель, М. Разработка и верификация расчетной модели теплового состояния теплозащитной одежды пожарного при различных видах испытаний / TECHNIQUE AND TECHNOLOGY, - ВіТР, Vol. 38 Issue 2, 2015, pp. 53-61.
3. Боевая одежда и снаряжение пожарного / Д.В. Поповский, В.Ю. Охломенко / Метод. пособие под общей ред. В.А. Грачева/ Академия ГПС МЧС России – М.: 2004. – 86 с.
4. ГОСТ Р 53264-2009 Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний.

5. ГОСТ ISO 11612-2014 Система стандартов безопасности труда. Одежда для защиты от тепла и пламени. Общие требования и эксплуатационные характеристики.
6. Textiles for protection. Edited by Richard A. Scott, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 2005.
7. Костенко, В.К. Шляхи удосконалення засобів протитеплого захисту рятувальників / Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк, 2015. – № 2. – С. 50-57.
8. Основи теорії розвитку та припинення горіння / Г.І. Елагін, М.Г. Шкарабура, М.А. Кришталь, О.М. Тіщенко. – Підручник / Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля. Черкаси: 2013. – 460 с.
9. Блинов, В.И., Худяков, Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 207 с.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR OPERATIONAL FORECASTS HEAT LOAD ON RESCUERS IN FIRE FIGHTING OF BURNING RESEVOIRS WITH OIL PRODUCTS

Tetyana Kostenko, Candidate of Technical Sciences

Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl of National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkassy, Ukraine

Viktor Kostenko, Doctor of Technical Sciences, Professor

Donetsk National Technical University, Donetsk region, Pokrovs'k, Ukraine

Purpose. The purpose of research is to develop the foundations of methods of operational forecasting the influence of external factors that determine the thermal load on the rescuers, for selecting anti thermal means to extinguish the burning tanks with oil.

Methods. Theoretical substantiation of dependence for operative estimation the radiant heat flow, and the expression for calculation of safe zones of conducting emergency works near the burning of oil products reservoirs.

Findings. It is received further development of the mechanism of heat load on the rescuer, including outside heat path from the source of burning and from the Sun, and inside (the heat dissipation of the body, regenerative work of respiratory system). It is established, that for external heat load are prevalent ray energy flows, and the other, as a rule, derivative of them. Geometrical dimensions of reservoirs for the storage of oil products predetermine the amount of energy radiated by fire. The dependence for operative estimation of the radiant heat flow, and the formula for calculation of safe zones of conducting emergency works near the burning of oil products reservoirs is substantiated.

Application field of research. Safe zone of conducting emergency works can be applied previously on the oil storage tanks plans, indicated in the operational documents. It is advisable to pre-label it in the terrain that essentially will protect personnel of the working parts of emergency services, especially arriving in accordance with the disposition.

Keywords: burning of oil products, reservoir, heat load on rescuer, ray energy.

(The date of submitting: October 13, 2016)

REFERENCES

1. Lyn A.S. Analiz problem stvorennja ta vyprovuvannja termozahysnyh vlastyvostej odjagu pozhezhnykiv [Analysis of problems creating and testing antitermal properties clothing firefighters]. *Pozhezhna bezpeka: Zb. nauk. pr. Lviv*, 2004. No 5. Pp. 139-143. (ukr)
2. Bolybruh B.V., Hmel' M. Development and Verification of a Mathematical Model Dealing with Thermal Protective Garments for Different Types of Tests. *TECHNIQUE AND TECHNOLOGY*, BiTP, Vol. 38 Issue 2, 2015, Pp. 53-61. (rus)
3. Popovskij D.V., Ohlomenko V.Ju. *Boevaja odezhda i snarjazhenie pozharnogo* [Fighting clothing and equipment firefighter]. Metod. posobie pod obshhej red. V.A. Gracheva. Akademija GPS MChS Rossii, Moscow: 2004. 86 p. (rus)
4. *Interstate Standard 53264-2009* Special'naja zashhitnaja odezhda pozharnogo. Obshhie tehicheskie trebovanija. Metody ispytanij [Special protective clothing firefighter. General technical requirements. Methods of testing]. (rus)
5. *Interstate Standard ISO 11612-2014* Sistema standartov bezopasnosti truda. Odezhda dlja zashhity ot tepla i plameni. Obshhie trebovanija i jekspluatacionnye harakteristiki [Occupational safety standards system. Clothes for protection against heat and flame. General requirements and characteristics]. (rus)
6. *Textiles for protection*. Edited by Richard A. Scott, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. 2005. (eng)
7. Kostenko V.K. Shljahy udoskonalennja zasobiv protyteplovogo zahystu rjatuval'nykiv [Ways to improve thermal protection means for rescuers] *Visti Donec'kogo girnychogo instytutu*. Pokrovs'k, 2015. No 2. Pp. 50-57. (ukr)
8. Elagin G.I., Shkarabura M.G., Kryshchal' M.A., Tishhenko O.M. *Osnovy teorii' rozvytku ta prypynennja gorinnja* [Basic theory of progress and stopping of burning]. Akademija pozhezhnoi' bezpeky im. Geroi'v Chornobyl'ja. Cherkasy: 2013. 460 p. (ukr)
9. Blinov V.I., Hudyakov G.N. *Diffuzionnoe gorenje zhidkostey* [Diffusion combustion of liquids] Moscow: Publishing house Academy of Sciences of the USSR, 1961, 207p. (rus)

УДК 628.113

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ТЕТЕРИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА РЕКЕ ДРУТЬ КРУГЛЯНСКОГО РАЙОНА МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ивашечкин В.В., Верemenюк В.В., Круглов Г.Г., Линкевич Н.Н.,
Мурашко О.А., Недашковская И.В.

В работе проведена оценка опасности перелива воды через гребень земляной плотины Тетеринского водохранилища на реке Друть Могилевской области при пропуске расхода половодья. Рассмотрен водохозяйственный расчет водохранилища при пропуске расходов половодья, основанный на дифференциальном уравнении баланса воды в водохранилище. Получено решение этого уравнения на ЭВМ, позволяющее сделать прогноз изменения уровня воды в водохранилище и получить гидрограф сбросных расходов. Полученные результаты подтвердили соответствие проектных решений современным нормативным требованиям и возможность использования этой методики для оценки переполнения водохранилищ при пропуске паводков и половодья. Показано, что Тетеринское водохранилище является потенциально опасным. Предложена методика определения уровней воды в водохранилище при пропуске половодья и паводка.

Ключевые слова: гидроузел, водохранилище, паводковый водосброс, земляная плотина, гидроэлектростанция, пропуск паводка.

(Поступила в редакцию 23 декабря 2016 г.)

Введение. Чрезвычайные условия эксплуатации гидротехнических сооружений могут наступать в периоды возникновения в реке паводков и половодий.

Причины, вызывающие формирование паводков и весеннего половодья в реке, обусловлены в основном выпадением интенсивных дождевых осадков, быстрым таянием снега во время зимних оттепелей и весенним снеготаянием.

При сезонном регулировании стока сработка водохранилища до уровня мертвого объема происходит практически ежегодно. Полезный объем водохранилища является определяющим при назначении нормального подпорного уровня (НПУ). Применительно к этой отметке выполняются расчеты габаритов и размещения всех гидротехнических сооружений гидроузла.

Во время пропуска паводков и половодья возникает опасность превышения расчетных расходов через водосбросные сооружения и принятых при обосновании конструкций сооружений других природных нагрузок и воздействий. Так как сооружения находятся в эксплуатации десятки лет, при оценке опасности необходимо учитывать обоснованность и соответствие проектных решений современным нормативным требованиям, соответствие проекту конструкции сооружения, условий его эксплуатации и свойств материалов сооружения и основания, а также возможные последствия и ущерб при аварии гидротехнических сооружений (ГТС) и затоплении территорий.

Целью работы является прогнозирование и расчет уровней воды в Тетеринском водохранилище при пропуске половодья и его трансформировании, а также оценка опасности прорыва земляной плотины.

Общие сведения по гидроузлу. Тетеринское водохранилище расположено выше д. Затетерка в пойме р. Друть на расстоянии 235 км от устья. Назначение водохранилища – гидроэнергетика, рекреация и спортивное рыбозабавление. Водохранилище осуществляет суточное регулирование стока. В эксплуатацию гидроузел введен в 1955 году.

Основные характеристики водохранилища:

– отметка НПУ	– 173,5 м;
– отметка форсированного подпорного уровня (далее ФПУ)	– 174,0 м;
– отметка уровня мертвого объема (далее УМО)	– 172,2 м;
– площадь зеркала при НПУ	– 460 га;
– полный объем при НПУ	– 13,8 млн. м ³ ;
– максимальная ширина	– 840 м;
– длина	– 9,4 км;
– максимальная глубина	– 5,2 м;
– средняя глубина	– 3,0 м.

Режим стока р. Друть характеризуется высоким весенним половодьем, относительно низкой летне-осенней меженью, нарушаемой дождевыми паводками. Весеннее половодье начинается в среднем в конце второй декады марта и заканчивается в первых числах мая. Средняя продолжительность 40–45 дней, максимальная – 85 дней. Пик половодья проходит преимущественно в первой пятидневке апреля. Период летне-осенней межени продолжается в среднем 5–5,5 месяцев, характеризуется незначительными колебаниями уровней воды.

На момент проектирования Белсельэлектропроектом Тетеринской ГЭС длительных наблюдений за гидрологическим режимом р. Друть не было, расчетный паводковый расход был принят равным $296 \text{ м}^3/\text{с}$.

В состав гидроузла входили земляная плотина, паводковый водосброс и здание ГЭС.

Земляная плотина однородная, тело плотины отсыпано из разнозернистых песков. Отметка гребня плотины 175,1 м, заложение верхового откоса плотины 1:3,5, низового 1:2. Дренаж тела плотины трубчатый. Длина земляной плотины 512 м, верховой откос закреплен сборно-монолитными железобетонными плитами толщиной 0,15 м по слою щебня 0,2 м с упорным зубом, низовой откос – одерновкой. Ширина гребня плотины 5,5 м, по гребню проходит служебная автодорога шириной 5,0 м с асфальтобетонным покрытием.

Паводковый водосброс представляет собой ячеистую плотину конструкции Сенькова (рис. 1) длиной 25 м.

Водосливной фронт плотины тремя бычками разделен на четыре водосливных отверстия шириной 5 м каждое и высотой 4 м.

Здание ГЭС состоит из верхнего и нижнего строения.

Нижнее строение выполнено в виде двух железобетонных турбинных камер, соединенных двумя подводящими и отводящими каналами шириной 4 м с верхним и нижним бьефами. В подводящих каналах установлены сороудерживающие решетки и имеются пазы рабочих и ремонтных деревянных затворов.

Гидросиловое оборудование ГЭС представлено двумя турбинами ПРК-245-ВО-120 с генераторами ВГС У-213-11,24. Установленная мощность ГЭС составляет 370 кВт. Управление работой ГЭС – ручное.

Гидроузел Тетеринской ГЭС относится к IV классу [1].

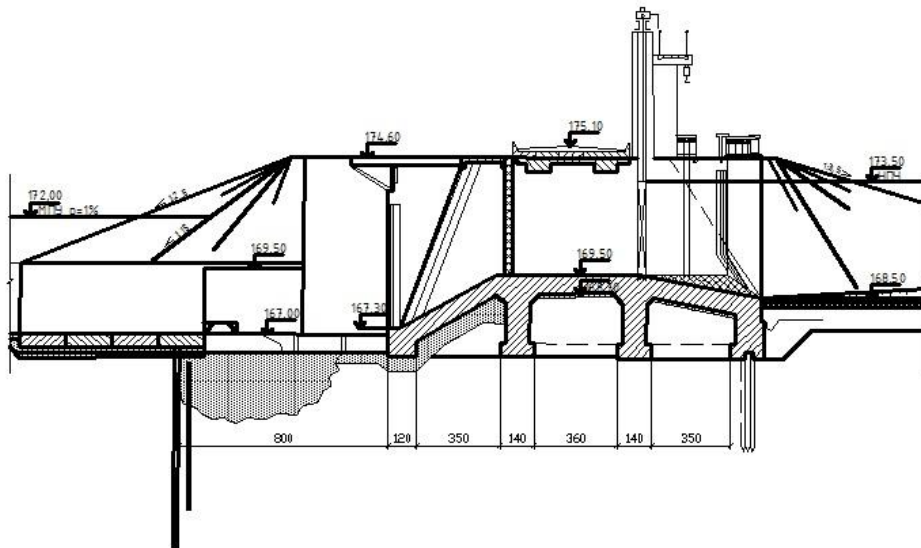


Рисунок 1 – Поперечный разрез по водосливной плотине

Реконструкция гидроузла. В 1956 году на р. Друть сформировалось половодье обеспеченностью 2...3 %. Паводковый водосброс, рассчитанный на пропуск $296 \text{ м}^3/\text{с}$, не смог пропустить расход $380 \text{ м}^3/\text{с}$ ни при НПУ, ни при ФПУ. Уровень воды в водохранилище поднялся до отметки 175 м, т. е. до гребня земляной плотины, перелива через земляную плотину не произошло.

При пропуске этого паводка было полностью разрушено крепление рисбермы, глубина размыва за водобоем достигла 7 – 11 м.

Стало очевидным, что расчетные и поверочные паводковые расходы выбраны неверно. Поэтому с учетом дополнительных наблюдений в период до 1992 г. за стоком на водопостах. Тетеринская ГЭС и Городище, и привлечением данных по годовому стоку на во-

допостах на соседних реках-аналогах (р. Бобр и Западная Двина) РУП «Белгипроводхоз» в рамках [2] были уточнены максимальные расходы весеннего половодья (табл. 1) и максимальные расходы дождевых паводков (табл. 2).

Таблица 1 – Максимальные расходы весеннего половодья

Река – расчетный створ	Площадь водосбора, км ²	Максимальные расходы воды весеннего половодья в м ³ /с, обеспеченностью р, %			
		1	5	10	25
р. Друть–Тетеринская ГЭС	818	513	346	272	173

Таблица 2 – Максимальный расход дождевых паводков

Река – расчетный створ	Площадь водосбора, км ²	Максимальный расход дождевых паводков обеспеченностью 10%, м ³ /с
р. Друть–Тетеринская ГЭС	818	50,9

Водосброс Тетеринской ГЭС относится к IV классу, поэтому расчетный паводковый расход 5 %обеспеченности, равный 346 м³/с, и поверочный расход 1 % обеспеченности, равный 513 м³/с, должны пропускаться соответственно при НПУ 173,5 м и ФПУ – 174 м. Так как существующий водосброс не в состоянии пропускать такие расходы, было принято решение при реконструкции гидроузла возвести второе водосбросное сооружение.

В 1997 г. была завершена реконструкция гидроузла Тетеринской ГЭС, выполненная по проекту РУП «Белгипроводхоз»[2].

Определение уровней воды в Тетеринском водохранилище при пропуске половодья. Проводилось изучение баланса воды для Тетеринского водохранилища при возникновении экстремальных паводков. После реконструкции в состав сооружений гидроузла входят: земляная плотина, водосливная плотина и дополнительный водосброс (рис. 2).

Отметка гребня водосливной плотины – $V_1 = 169,5$ м (рис.2). Коэффициент расхода водослива $m_1 = 0,378$, коэффициент бокового сжатия $\varepsilon_1 = 0,9$.

Отметка гребня дополнительного водосброса находится на 0,5 м выше отметки гребня водосливной плотины и составляет 170 м.

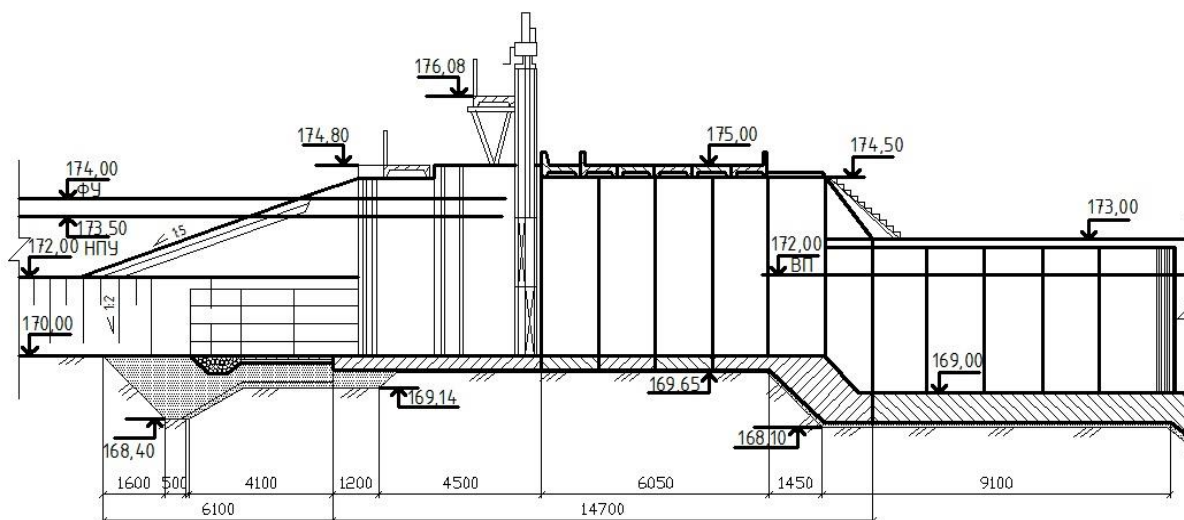


Рисунок 2 – Поперечный разрез по дополнительному водосбросу

Дополнительный водосброс имеет два водосливных отверстия шириной $b_1 = 5,5$ м. Коэффициент расхода водослива $m_2 = 0,385$, коэффициент бокового сжатия $\varepsilon_2 = 0,92$. Отверстия этого водослива перекрыты стальными плоскими затворами, которые открываются по мере необходимости.

Отметки уровней воды в водохранилище и гребня земляной плотины приведены выше.

Используемый расход воды, подаваемый на турбины ГЭС составляет $Q_{\text{и}} = \text{const} = 8,34$ м³/с. Предполагается, что на водохранилище при пропуске половодья осуществляется предполоводная сработка $Q_0 = 28,3$ м³/с.

Основу расчета отметки уровня воды в водохранилище $V_{\text{ВДХР}}(t)$ при пропуске паводка составляет уравнение баланса воды в водохранилище, которое имеет вид [3]

$$\frac{dH}{dt} \cdot \Omega = Q_{\text{пав}}(t) - Q_{\text{вых}} - Q_{\text{и}}, \quad (1)$$

где $H = H_{\text{ВДХР}}(t) = \nabla_{\text{ВДХР}}(t) - \nabla_1$ – напор воды в водохранилище над гребнем водосливной плотины, м; $\Omega = \Omega(H)$ – площадь водной поверхности водохранилища, км²; $Q_{\text{пав}}(t)$ – расчетный расход паводка во входном створе водохранилища, м³/с; $Q_{\text{вых}}$ – расход в створах водосбросных сооружений, м³/с; $Q_{\text{и}}$ – расход, используемый для энергетики (предполагается постоянным), м³/с.

Решив уравнение (1) при заданном начальном значении $H(0) = H_0$, определяющимся объемами предполоводной сработки, можно построить графики изменения напора в водохранилище $H = H(t)$ и расхода $Q_{\text{вых}} = Q_{\text{вых}}(t)$, позволяющие определить опасность переполнения водохранилища (превышение отметок ФПУ и гребня плотины земляной (далее ГПЗ), а также получить гидрограф сбросных расходов $Q_0(t)$ в нижнем бьефе плотины и параметры потока (глубины $h_0(t)$, скорости $v_0(t)$), в русле реки за водосливной плотиной.

Предварительно выполняем ряд действий, необходимых для использования уравнения (1):

1) *Нахождение эмпирической зависимости $\Omega = \Omega(H)$*

Площадь водной поверхности Ω Тетеринского водохранилища в зависимости от напора H на гребне бетонной плотины была задана в виде таблицы проектных данных. После обработки табличных данных методом наименьших квадратов [4] получили эмпирическую формулу $\Omega = \Omega(H)$

$$\Omega = 2,72 + 1,2 \cdot \ln(1 + H) - 1,22 \cdot (0,95)^{H^3}, \quad (2)$$

где H – напор, м; Ω – площадь зеркала, км² ($H = 0$ соответствует отметке $\nabla_1 = 169,5$ м).

Максимальная относительная ошибка этой формулы равна 0,9 %, максимальная абсолютная погрешность равна 0,029. Это свидетельствует о том, что формулу (2) можно считать приемлемой для определения площади поверхности водохранилища Ω . Ниже приведен график зависимости (2) с нанесенными эмпирическими точками (рис. 3).

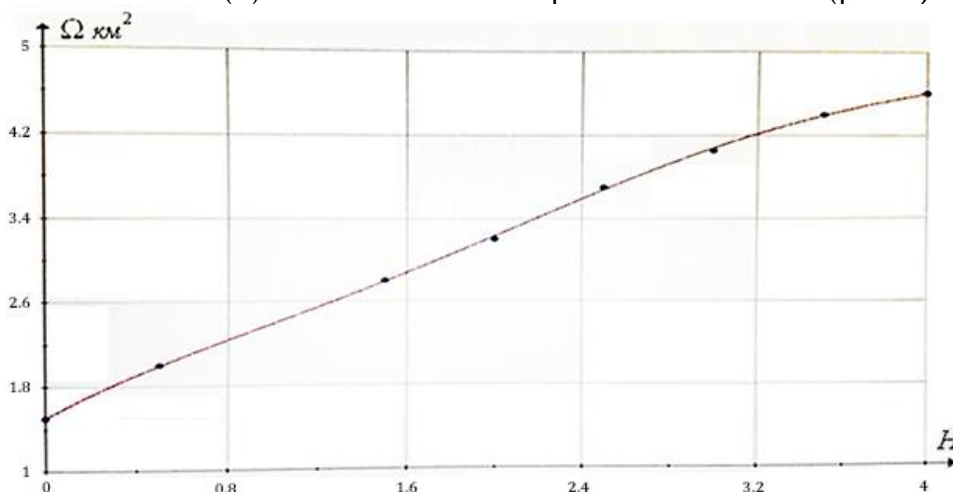


Рисунок 3 – График зависимости $\Omega = \Omega(H)$ с нанесенными эмпирическими точками

2) *Определение расхода в створе водосбросного сооружения $Q_{\text{вых}}$*

Используем формулу для определения расхода через неподтопленный водослив практического профиля криволинейного очертания [5]

$$Q_{\text{вых}} = C \cdot H^{1,5}, \quad (3)$$

где коэффициент $C = m \varepsilon N b \sqrt{2g}$, m и ε – соответственно, коэффициенты расхода и бокового сжатия; N – число отверстий водослива; b – ширина одного отверстия водослива, м.

Учитывая формулу (3) и конструктивные особенности исследуемого водохранилища предлагается расход $Q_{\text{вых}}$ рассчитывать следующим образом

$$Q_{\text{вых}} = Q_1 + k \cdot Q_2, \quad (4)$$

где $Q_1 = C_1 \cdot H^{1,5}$ ($C_1 = m_1 \cdot \varepsilon_1 \cdot N_1 \cdot b_1 \cdot \sqrt{2g}$, $N_1 = 4$, $b_1 = 5$ м) – расход в створе водосливной плотины, а $Q_2 = C_2 \cdot (H - 0,5)^{1,5}$ ($C_2 = m_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot N_2 \cdot b_2 \cdot \sqrt{2g}$, $N_2 = 2$, $b_2 = 5,5$ м) – расход через дополнительный водосброс. Здесь учитывается, что его гребень находится на отметке $\nabla_2 = 170$ м, т. е. на 0,5 м выше отметки гребня водосливной плотины, имеющей отметку гребня $\nabla_1 = 169,5$ м. Коэффициент $k = 1$, если напор H выше УМО, и $k = 0$ в противном случае. Таким образом, учитывается, что дополнительный водосброс включается, если уровень воды выше отметки УМО, и выключается в противном случае.

3) Моделирование расхода $Q_{\text{пав}}(t)$ во входном створе водохранилища

На равнинных реках территории Республики Беларусь, а также близлежащих территориях соседних стран, чаще всего бывают одновершинные гидрографы половодий, и их рассчитывают по формуле [6, с. 32]

$$Q_{\text{пав}}(t) = Q_0 + Q_{\text{max}} \cdot 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}}, \quad (5)$$

где Q_0 – величина предполоводной сработки, м³/с; $x = \frac{t}{t_{\text{п}}}$, $t_{\text{п}}$ – условная продолжительность подъема половодья, сут; a – параметр, зависящий от коэффициента формы гидрографа λ^* , функционально связанного с коэффициентом несимметричности гидрографа K_s .

К сожалению, достоверное определение коэффициентов K_s и λ^* (и, соответственно, параметров a и $t_{\text{п}}$, которые участвуют в формуле (5) требуют наличия гидрологических наблюдений по паводкам в данной местности не менее чем за 20 лет. В рассматриваемом случае такого количества данных нет. Поэтому мы воспользовались гидрологическими данными по соседним областям Республики Беларусь. Это можно считать оправданным, так как оказалось, что изменение времени $t_{\text{п}}$ почти в два раза и изменение параметра a на 80 % при данной продолжительности паводка T_{max} и максимально ожидаемого расхода Q_{max} , не приводило при расчетах к сильному изменению значения максимального уровня воды в водохранилище (что, несомненно, является главным показателем при оценке воздействия паводка на водохранилище).

4) Начальное условие для уравнения (1) определяем по формуле

$$H_0 = H(0) = \left(\frac{Q_0 - Q_{\text{и}}}{C_1} \right)^{2/3}, \quad (6)$$

где $Q_0 = Q_{\text{пав}}(0)$ – расход воды через водосливную плотину до начала паводка, т. е. величина предполоводной сработки (отметим, что правая часть равенства (6) является стационарным решением уравнения $\frac{dH}{dt} \cdot \Omega = Q_0 - Q_{\text{вых}} - Q_{\text{и}}$).

Таким образом, чтобы определить напор $H(t)$ в водохранилище при паводке, который описывается гидрографом $Q_{\text{пав}}(t)$, надо решить задачу, которая определяется равенствами (1), (2), (4), (5) и (6). Эта задача не допускает точного решения. Ее приближенное решение можно искать, например, методом Рунге-Кутты. Примеры расчетов приведены ниже.

На рисунке 4 представлен график изменения напора воды на гребне водосливной плотины во времени при пропуске паводка $Q_{\text{MAX}} = 513,4$ м³/с.

Горизонтальные линии соответствуют: $H_{\text{УМО}}$ – отметке УМО; $H_{\text{НПУ}}$ – отметке НПУ; $H_{\text{ФПУ}}$ – отметке ФПУ; $H_{\text{КРИТ}}$ – отметке гребня земляной плотины ГПЗ. Отметим, что на графиках T_{rise} – есть время $t_{\text{п}}$, т. е. условная продолжительность подъема половодья.

График $1sp$ – изменение напора при работе только водосброса на плотине, график $1\&2sp$ – изменение напора при работе водосброса на плотине и дополнительного водосброса, причем дополнительный водосброс включается, только когда достигнута отметка УМО ($H_{\text{УМО}} = 2,7$ м) при подъеме паводка, и выключается при достижении той же отметки при снижении паводка. График Q/Q_{max} – график относительного расхода паводка, который вычисляется по формуле (5). Этот график безразмерный. Он приведен для наглядности, чтобы показать как форма расхода паводка коррелируется с формой графика напора.

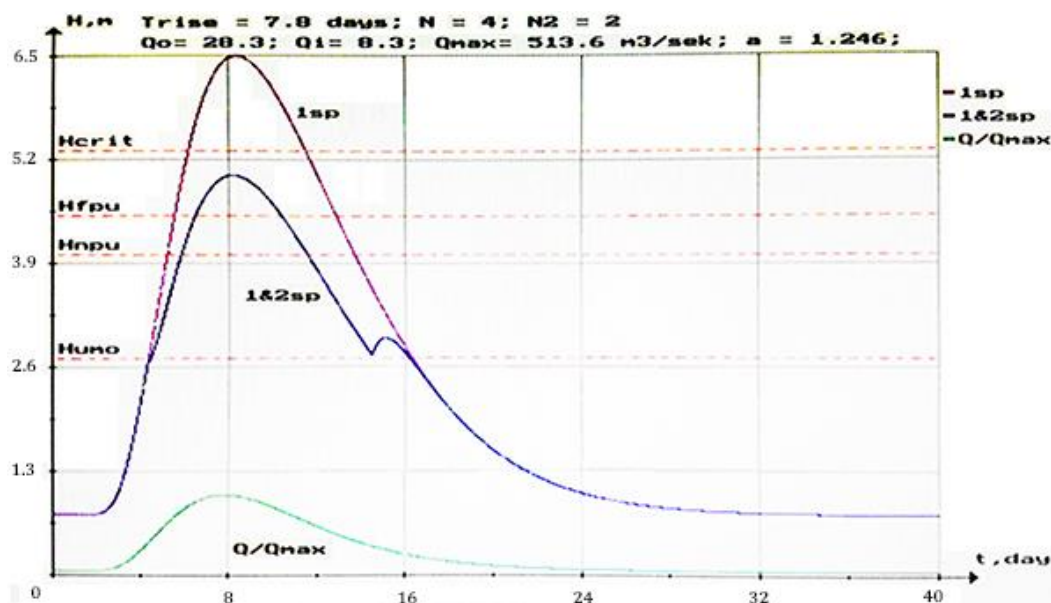


Рисунок 4 – Кривые изменения напора воды на гребне водосливной плотины во времени при пропуске паводка $Q_{\text{MAX}} = 513,4 \text{ м}^3/\text{с}$

Анализ графика *1sp* показывает, что водосливная плотина не может пропустить паводок и происходит перелив через гребень, следовательно, строительство дополнительного водосброса было оправдано.

График *1&2sp* хорошо иллюстрирует работу дополнительного водосброса, который включается в работу при достижении УМО и срезает уровни в водохранилище, которые не достигают гребня плотины на 0,4 м, но превышают ФПУ на 0,5 м. Это создает определенную опасность для земляной плотины, которая может быть разрушена при сильном волновом воздействии. Если паводок будет сопровождаться сильным ветром, волны будут перекрестываться через гребень плотины и размывать низовой откос. Такое развитие событий не совсем благоприятно, поэтому следует включать в работу дополнительный водосброс при катастрофическом паводке раньше, т. е. до достижения УМО.

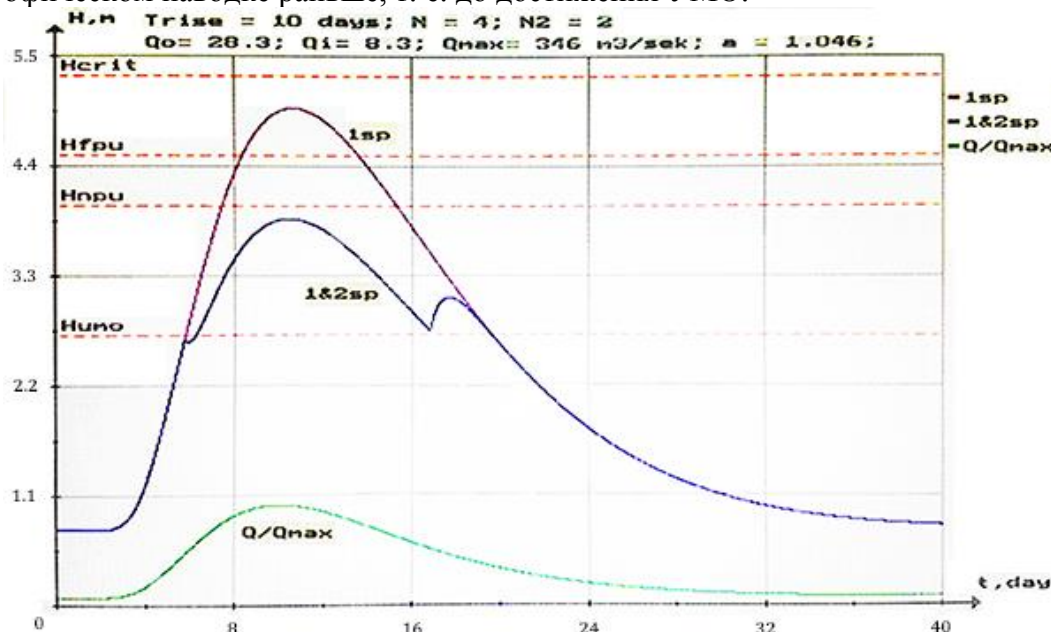


Рисунок 5 – Кривые изменения напора воды на гребне водосливной плотины во времени при пропуске паводка $Q_{\text{MAX}} = 346 \text{ м}^3/\text{с}$

На рисунке 5 представлен график изменения напора воды на гребне водосливной плотины во времени при пропуске паводка $Q_{\text{MAX}} = 346 \text{ м}^3/\text{с}$.

Обозначения на рисунке 5 те же, что и на рисунке 4.

Анализ графика $1sp$ показывает, что если дополнительный водосброс не задействовать, уровень в водохранилище в течение примерно 5 суток будет находиться между ФПУ и гребнем плотины, что создает риск размыва земляной плотины при волновом воздействии.

Включение дополнительного водосброса (график $1\&2sp$) позволяет срезать уровни в водохранилище и удерживать их весь период между УМО и НПУ.

Анализ изложенной выше методики расчета уровней в Тетеринском водохранилище, показывает, что основными параметрами, влияющими на его максимальное значение $H_{max}(м)$, являются: максимальный расход паводка $Q_{max}(м^3/сек)$, продолжительность паводка $T_{общ}(дней)$, время подъема воды $T_{под}(дней)$, показатель степени a в формуле (5) для $Q_{пав}(t)$.

К сожалению, для изучаемой местности имеется очень мало достоверных данных по наблюдению паводковых ситуаций. Это не позволяет делать точные прогнозы при оценке параметров Q_{max} , $T_{общ}$, $T_{под}$ и a . Вообще, достоверно известно только, что за последние 60 лет здесь был паводок с $Q_{max} \approx 380 м^3/с$.

В связи с этим был сделан многократный прогон программы расчетов по верхнему бьефу Тетеринского водохранилища с использованием описанной ранее методики, в которых параметры изменялись следующим образом:

$$Q_{max} \in [450; 650], T_{общ} \in [30; 60], T_{под} \in [7; 20], a \in [0,2; 6]. \quad (7)$$

Эти диапазоны вполне исчерпывают все возможные значения указанных параметров для критических случаев в районе Тетеринского водохранилища. Анализ полученных расчетных данных позволил предложить следующую формулу

$$H_{max} = 1,74 + 0,00637 \cdot Q_{max}. \quad (8)$$

Максимальная относительная погрешность этой формулы составляет менее 1,5 %, если параметры Q_{max} , $T_{общ}$, $T_{под}$ и a лежат в указанных пределах (7).

Формула (8) позволяет быстро оценить возможность катастрофических последствий паводка для земляной плотины, зная оценку только для Q_{max} . Стоит отметить, что такого вида зависимость имеет место быть только для Тетеринского водохранилища. Например, подобный анализ для Вилейского водохранилища показал существенную зависимость H_{max} от всех четырех указанных выше параметров. Возможно, это связано с наличием дополнительного водосброса, включающегося в критических ситуациях.

Мероприятия по недопущению аварии на водохранилище. Так как в период весеннего половодья на водохранилищах возможно возникновение аварий, особенно при неисправности гидротехнических сооружений, следует до начала половодья осуществить ряд мероприятий:

- провести обследование и контрольное нивелирование земляных плотин и дамб водохранилищ и, при необходимости, произвести их подсыпку до проектных параметров;
- в наиболее паводкоопасных районах создать запас материалов (цемента, камня, щебня и т. д.) для оперативного реагирования на угрозу или возникновение аварийной ситуации;
- осуществить опорожнение водохранилищ до уровней, рекомендуемых правилами эксплуатации;
- контролировать состояние гидротехнических сооружений, своевременно проводить техническое обслуживание;
- оперативно производить ремонт дамб, водопропускных сооружений, насосных станций при выявляемых технических неисправностях;
- осуществлять постоянный контроль изменения уровня воды в водохранилищах, особенно в ночное время, когда осуществляется интенсивный приток воды после дневных оттепелей и таяния снега.

Выводы. 1. Предложена методика определения уровней воды в Тетеринском водохранилище при пропуске половодья и паводка. Предложена формула (8) для расчета максимального напора H_{max} водосливной плотины Тетеринского водохранилища при известном максимальном расходе Q_{max} половодья, полученная на основе многократного прогона программы расчетов по верхнему бьефу для следующего диапазона параметров: $Q_{max} \in [450; 650]$, $T_{общ} \in [30; 60]$, $T_{под} \in [7; 20]$, $a \in [0,2; 6]$.

2. Расчетами подтверждено, что строительство дополнительного водосброса оправдано.

3. Анализ работы дополнительного водосброса показывает, что при катастрофическом паводке (при сильном волновом воздействии) его следует включать в работу до достижения УМО.

4. Методика определения уровней воды в водохранилище при пропуске половодья и паводка может быть рекомендована для оценки возможности переполнения водохранилищ при пропуске паводков и половодья.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 45-3.04-169-2011 (02250). Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования / Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь. – Мн., 2011 – 74 с.
2. Отчет «Реконструкция Тетеринской ГЭС Круглянского района Могилевской области. Технико-экономический расчет. Гидротехническая часть» / Козорез В.В., Гузов Д.Ф. – Минск: Белгипроводхоз, 1994.
3. Смирнов, Г.Н. Гидрология и гидротехнические сооружения: Учеб. для вузов по спец. «Водоснабжение и канализация» / Г.Н. Смирнов, Е.В. Курилович, И.А. Витешко, И.А. Мальгина; под ред. Г.Н. Смирнова. М.: Высш. шк., 1988. – 472 с.
4. Турчак, Л.И. Основы численных методов. М.: Наука, 1987 г. – 320 с.
5. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев, А.Д. Альтшуль, Н.В. Данильченко и др.; под ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1975. – 312 с.
6. Грушевский, М.С. Волны пусков и паводков в реках. Л.: Гидрометиздат, 1989. – 336 с.

THE RISK ASSESSMENT OF THE TETERINSKOYE RESERVOIR ON THE DRUT RIVER IN KRUGLOYE DISTRICT IN THE MOGILEV REGION

Uladimir Ivashechkin, Doctor of Technical Sciences, Professor

Valentin Veremenyuk, Candidate of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor

Heorhi Kruhlou, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Mikalay Linkevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Volha Murashko

Iryna Nedashkovskaya

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Purpose. The purpose of the article is the risk assessment of the Teterinskoye Reservoir on the Drut River in the Mogilev Region. It is necessary to estimate a danger of water flow over the top of earth dam in the period of high water.

Methods. The paper describes a water flow calculation of the reservoir during flood water running. The calculation is based on differential equation of water balance in the reservoir.

Findings. In the paper the solution of the equation is received which allow to make a prognosis of the change of water level in the reservoir and have the hydrograph of discharged water flow.

Application field of research. The obtained results have confirmed that the project solutions correspond to modern regulatory requirements. Besides, the results have proved that the method may be used to evaluate the over-flow level in flood discharging. The Teterinskoye reservoir is assumed to be potentially dangerous.

Conclusions. A new method to define the reservoir water level while discharging flood waters is proposed.

Keywords: hydrosystem, reservoir, flood spillway, embankment dam, hydropower plant, flood discharge.

(The date of submitting: December 23, 2016)

REFERENCES

1. *TKP 45-3.04-169-2011 (02250)*. Hydraulic engineering constructions. Building norms of designing / Ministry of Architecture and Construction and of the Republic of Belarus. Minsk, 2011. 74 p.
2. Report «*Reconstruction of the Teterinskaya hydro power in Krugloe district, Mogilev region. Technical and economic calculation. Hydraulic Engineering part*». Kozorez V.V., Guzov D.F. – Minsk: Belgiprovodkhoz, 1994.
3. Smirnov G.N., Kurilovich E.V., Vitesko I.A., Malgina I.A. *Hydrology and hydraulic structures: Textbook for high schools of the specialty «Water supply and sewerage»*; ed. Smirnov G.N. Moscow: Visshaaja shkola, 1988. 472 p.
4. Turchak, L.I. *Fundamentals of numerical methods*. Moscow: Nauka, 1987. 320 p.
5. Kiselev P.G., Altschul A.D., Danilchenko N.V., etc. *Manual hydraulic calculation*; ed. Kiselyov P.G. Moscow: Energia, 1975. 312 p.
6. Hrushevsky M.S. *Waves releases and floods in the rivers*. Leningrad: Gidrometizdat, 1989. 336 p.

УДК 551.4.012:624.04:614.841.34

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОГНЕСОХРАННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ-ПОЖАРНЫХ

Волочко А.Т., Подболотов К.Б., Яшеня Д.Н., Бардушко С.Н.

Изучены способы и средства обеспечения огнестойкости строительных конструкций учебно-тренажерных комплексов для подготовки спасателей пожарных. Исходя из теплофизических свойств материалов, их доступности и стоимости в Республике Беларусь определены средства огнезащиты от многократного высокотемпературного воздействия (до 1200 °С). Разработана методика испытаний системы огнезащиты, которая позволяет дать оценку термостойкости и теплоизолирующей способности испытуемого образца, подвергаемого идентичному огневому воздействию реальных условий эксплуатации.

Ключевые слова: огнестойкость; многократное высокотемпературное воздействие; средства огнезащиты; система огнезащиты, огнеупорные керамические материалы; термическая стойкость; методика испытаний.

(Поступила в редакцию 27 июня 2016 г.)

Введение. Практика свидетельствует, что успех тушения пожаров прямо связан с уровнем подготовки личного состава к ведению боевых действий. В исследованиях отечественных и зарубежных специалистов показано [1, 2], что попытки сформировать результативную и надежную практическую деятельность (от спасателя-пожарного до РТП) путем упрощения (физического и психологического) и схематизации комплексной ситуации, которой является процесс тушения, не могут быть успешными и *всегда приводят к низким результатам*. Принцип реалистичности условий – основополагающий, но он должен всегда дополняться принципом функциональной (смысловой) аналогии деятельности, где предполагается создавать такие упражнения, при которых обучаемый будет руководствоваться теми же целями и мотивами, ориентироваться в том же потоке сигналов среды, которые ведут его и на реальном пожаре. Конечно, идеальным полигоном обучения является реальная боевая деятельность, однако там обучаемый «лишен права на ошибку», чего при освоении действий избежать нельзя, а сам процесс усвоения плохо управляем, так как возникающая ситуация пожара уникальна, и не может быть переиграна.

Следовательно средства обучения процессу тушения пожара в здании должны максимально полно физически и психологически соответствовать реальному пожару и обстановке складывающейся при этом, предоставляя одновременно высокий (лучше полный) контроль и управление условиями обучения. Очевидны и пути их создания. Это должно быть здание, в нем должна быть реализована возможность многократно создавать реальный пожар, планировка и условия пожара должны меняться, здание должно выдерживать последствия огневого воздействия, люди в здании должны быть под постоянным контролем и иметь возможность выжить при любых аварийных ситуациях.

Создание такого средства – ключ к эффективному обучению спасателей-пожарных.

В Республике Беларусь в целях реализации данной задачи министерством по чрезвычайным ситуациям запланировано строительство «Учебно-тренировочного комплекса по моделированию пожаров в помещениях жилого, культурно-зрелищного и производственного назначения» на оперативно-тактическом полигоне государственного учреждения образования «Институт переподготовки и повышения квалификации» МЧС Республики Беларусь. Авторским коллективом института разработаны техническое задание и специальные технические условия на проектирование. Проектирование ведет РУП «Институт Белгоспроект».

Состояние проблемы. Практика подготовки спасателей-пожарных в странах Европы, США основана на широком использовании тренажеров, моделирующих реальные условия тушения пожаров. Такие тренажеры успешно эксплуатируются с 1965 года. Характерным примером являются колледж пожарной службы Великобритании в г. Моретон-ин-марш, колледж пожарной службы Финляндии в г. Куопиа. Только в США функционирует более 300 подобных тренажеров, построенных различными производителями. Например: компания «Werner-Herbison-Padgett Trainingtowers» [3] или компания «Fire Facilities, Inc.»

(США) [4]. Общей особенностью указанных тренажеров является исполнение их в виде фрагментов зданий различного назначения, обеспеченных защитой от многократного огневого воздействия, в которых создается горение, выдерживается температурный режим, соответствующий реальному пожару, решен вопрос индивидуальной безопасности обучаемых.

Наиболее проблемным вопросом при создании таких объектов является обеспечение огнесохранности конструкций здания. Она должна осуществляться от многократного высокотемпературного воздействия огня (до 1200 °С), при этом средство защиты должно быть устойчиво к разрушению от многократных термических ударов (нагрев до 1200 °С – охлаждение водой) и иметь достаточно высокую прочность (не менее 50 МПа). При таких условиях в конструкциях из обычного монолитного бетона образуются трещины, происходит разрушение защитного слоя и обнажение арматуры, которая под действием высоких температур начинает деформироваться. Предел огнестойкости металлических конструкций без огнезащиты в условиях «стандартного пожара» не превышает 15 минут.

В настоящее время «стандартная» огнезащита строительных конструкций основывается на однократном ее применении в условиях пожара, после чего ее необходимо восстанавливать. В связи с этим применение даже самых современных средств огнезащиты в данных условиях невозможно.

Анализ показателей свойств жаростойких (огнеупорных) бетонов показывает, что их огнеупорность достигает 1800 °С, а термическая стойкость (нагрев до 1200 °С – охлаждение водой) всего 25-30 теплосмен [5]. При этом применение жаростойкого бетона для возведения основных строительных конструкций здания является достаточно затратным (стоимость 1 м³ жаростойкого бетона от 220 долларов США для температуры 300 °С до 5100 долларов США для температуры 1700 °С), а применение его в качестве защитного слоя значительно утяжеляет конструкцию и связано со сложностью и большой трудоемкостью работ по восстановлению и ремонту. При этом невозможно проведение ремонтных работ при отрицательных температурах.

Пути решения проблемы. Изучение аналогичных объектов [3,4] в других странах мира показывает, что для решения данной задачи применяются конструктивные методы огнезащиты и, в частности, композиции из теплоизоляционного и защитного слоев. В качестве теплоизоляционного слоя используются негорючие теплоизоляционные материалы, а в качестве защитного – металл или огнеупорные керамические материалы. Металлические листы имеют достаточную механическую прочность, но при этом недолговечны, требуется большое количество времени на техническое обслуживание и ремонт системы. При использовании огнеупорных керамических плит, система быстро и легко обслуживается и ремонтируется. Исходя из этого, в мировой практике существует тенденция использовать в качестве защитного слоя огнеупорные керамические материалы.

Огнеупорные керамические материалы выдерживают температуры выше 1580 °С [6] при этом термостойкость (нагрев до 1200 °С – охлаждение водой) в зависимости от вида керамики достигает более 80 теплосмен. Системы огнезащиты на основе огнеупорных керамических материалов, не только обеспечивают защиту от термических воздействий, но также имеют достаточно продолжительный срок службы – 20-30 лет, быстро и легко обслуживаются и ремонтируются, в т. ч. и при отрицательных температурах.

В зависимости от огнеупорности керамические материалы классифицируются на тугоплавкие (огнеупорность 1380–1580 °С), огнеупорные (огнеупорность более 1580–1770 °С), высокоогнеупорные (1770–2000 °С) и высшей огнеупорности (>2000 °С) (рисунок 1).

Состав огнеупоров может быть самым разным в зависимости от условий эксплуатации. По химико-минеральному составу выделяют следующие типы: кремнеземистые, алюмосиликатные, глиноземистые, магнезиальные, магнезиально-шпинелидные, хромистые, цирконистые, углеродистые, карбидокремниевые [7, 8, 9].

Огнеупорные изделия могут быть формованными и неформованными.

К неформованным огнеупорным материалам относят огнеупорные порошки, цементы, массы, мертели. Они используются после затворения с водой или другой жидкостью. Огнеупорные массы спекаются и упрочняются в процессе эксплуатации [8, 10].

К формованным огнеупорам относят кирпичи прямые и клиновые нормальных размеров; фасонные изделия простые, сложные, особо сложные и крупноблочные; специальные промышленные и лабораторные огнеупорные изделия.



Рисунок 1 – Классификация керамических материалов по огнеупорности

Основными свойствами огнеупоров являются огнеупорность, термическая стойкость, химическая стойкость, деформация под нагрузкой при высокой температуре и постоянство формы и объема, пористость, газопроницаемость, теплопроводность, электропроводность.

Керамические термостойкие материалы. Наиболее перспективными для получения термостойких материалов являются кордиеритовая, муллитокордиеритовая, сподуменовая, титалитовая керамика, а также керамика на основе фосфатов.



Рисунок 2 – Термостойкая керамика

Наибольший интерес для применения в качестве средств огнезащиты конструкций комплекса представляют кордиеритсодержащая керамика и керамика на основе фосфатов по причине доступности и низкой стоимости сырья.

Кордиеритсодержащая керамика характеризуется малыми значениями температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР, $\alpha = (0,8 - 3,0) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ в интервале температур (20–1200) °C), а также линейным характером термического расширения, что является принципиальными факторами, обеспечивающими ее устойчивость к термическому удару. Кроме того, электроизоляционные свойства, высокая химическая устойчивость, доступность сырьевых материалов определяют обширный диапазон применения материалов на основе кордиерита – магнезиевого алюмосиликата со стехиометрической формулой

$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ [11, 12]. Для повышения механической прочности и термостойкости в состав кордиеритовой керамики могут быть введены различные активирующие добавки.

Особую группу среди огнеупорных материалов занимает *керамика на основе фосфатных связующих*. Ее характерной особенностью является способность образовывать достаточно прочные структуры при относительно невысоких температурах (до 550 – 600 °С) и сохранять прочностные характеристики при нагреве до высоких температур (более 1500 – 1700 °С). Кроме того, керамика на основе фосфатов отличается достаточно высокой термостойкостью, устойчивостью к воздействию агрессивных сред (солей, расплавов, стекла и др.).

Анализ отечественных и российских огнеупорных керамических материалов показал, что они разрабатываются для условий эксплуатации высоких температур (до 2000 °С) и достаточно «мягкого» длительного охлаждения, и не учитывается последующее быстрое охлаждение (термический удар) компактной или распыленной струей воды или сжиженным оксидом углерода. Стоимость огнеупорных материалов в Республике Беларусь, в связи с отсутствием промышленного производства, составляет от 350 долларов США за 1 м³ шамотного кирпича марки ША российского и украинского производства огнеупорностью 1400 °С и термостойкостью (нагрев до 1200 °С - охлаждение водой) 10 теплосмен до 18000 долларов США за 1 м³ огнеупорной термостойкой плитки «Андалузит А60» производства Польша огнеупорностью 1600 °С и термостойкостью более 70 теплосмен.

В связи с этим, актуальна работа по разработке новых огнеупорных керамических материалов из минерального сырья, имеющегося в Республики Беларусь, и вторичных ресурсов для использования в системе огнезащиты строительных конструкций от многократного воздействия опасных факторов пожара (пламя, высокая температура), а также методики оценки огнезащитных функций системы.

Нами проведены исследования по получению термостойких материалов на основе муллито-кордиеритовой матрицы при использовании для повышения физико-механических характеристик добавок циркона, корунда, периклазохромида, карбида кремния, диоксида циркония, муллита. В качестве муллита и диоксида циркония применены промышленные отходы огнеупорных тиглей, применяемых при плавлении цветных металлов. Образцы испытывались на прочность при сжатии по ГОСТ 473.6-81, плотность определялась по ГОСТ 2409-85. Термическая стойкость исследовалась лабораторным способом, заключающимся в определении количества теплосмен (нагревания до 800 °С и последующего охлаждения в проточной воде), которые могут выдержать образцы до разрушения. Установлено, что при введении данных цирконий- и муллитосодержащих компонентов в состав массы для получения муллито-кордиеритовой керамики удается достигнуть повышения механической прочности материала в 2-3 раза, при этом ТКЛР при 800 °С составляет $(3,5-4,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. При использовании для повышения физико-механических характеристик добавок муллито-кремнеземистого волокна (МКВ), удается достигнуть повышения механической прочности материала в 1,2-1,8 раза, при этом ТКЛР при 800 °С составляет $(4,1-5,0) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и мало изменяется при увеличении содержания МКВ и температуры обжига. Также проведены исследования по получению термостойкой керамики на основе огнеупорного наполнителя (шамот, глинозем, муллит) и фосфатов алюминия с добавками активных соединений. Результаты испытаний разработанных материалов представлены в таблице 1.

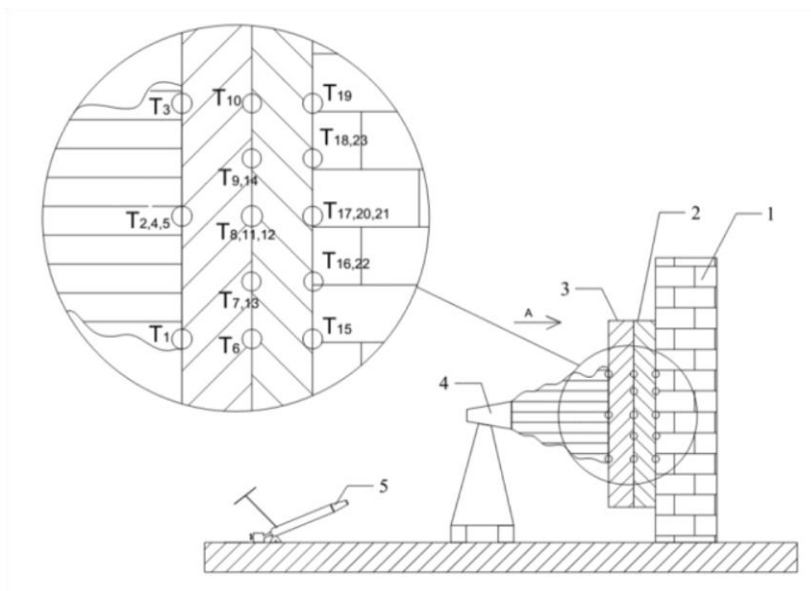
Результаты лабораторных испытаний показывают, что изготовленные образцы имеют достаточно высокую термическую стойкость. Однако приведенные методы испытаний не могут в полной мере учитывать специфику поведения системы огнезащиты в реальных условиях эксплуатации, чтобы прогнозировать ее долгосрочную устойчивость при многократном воздействии опасных факторов пожара.

Для решения этой задачи авторским коллективом (ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь и УО «Белорусский государственный технологический университет») разработана методика, которая позволяет дать оценку термостойкости и теплоизолирующей способности испытываемого образца, подвергаемого идентичному огневому воздействию реальных условий эксплуатации. Суть методики испытаний заключается в определении количества теплосмен, которое способно выдержать огнезащитное термостойкое покрытие до потери целостности, а также температуры на не обогреваемой поверхности системы огнезащиты за определенный период времени температурного воздействия.

Таблица 1 – Результаты испытания огнеупорных термостойких материалов

Наполнитель	Показатели характеристик		
	плотность, кг/м ³	прочность при сжатии, МПа	термостойкость, циклов 800 °С – вода
Кордиерито-муллит без наполнителя	1950–1980	30–40	50
Кордиерито-муллит с муллитсодержащими отходами	2100–2110	95–100	более 80
Кордиерито-муллит с цирконийсодержащими отходами	2600–2650	110–130	более 80
Кордиерито-муллит с муллито-кремнеземистым волокном	2300–2350	80–90	более 80
Кордиерито-муллит с карбидом кремния	2020–2080	55–60	более 80
Материал на фосфатном связующем	1750–1800	25–30	более 60

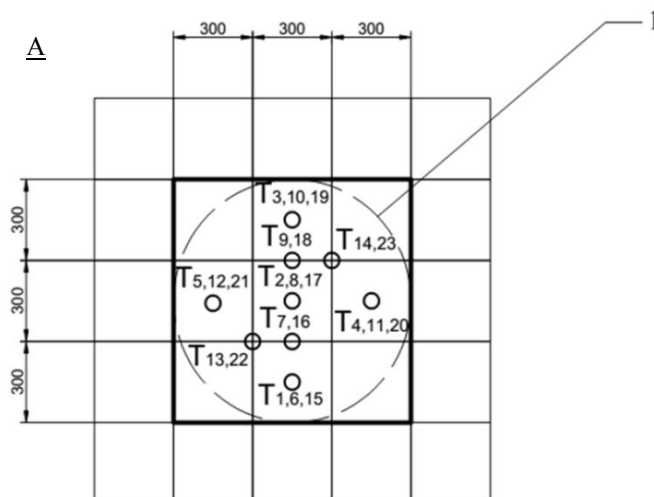
Схема монтажа испытываемого образца системы огнезащиты, а также оборудования, используемого при испытаниях, показана на рисунках 3 и 4.



*T1-T23 – термодатчики; 1 – конструкция для монтажа испытываемого образца;
2 – теплоизоляционное покрытие (слой) системы огнезащиты; 3 – огнезащитное термостойкое покрытие (слой) системы огнезащиты; 4 – газовая горелка, 5 – ствол пожарный*

Рисунок 3 – Схема установки для проведения испытания

Образец испытывается при огневом воздействии со стороны, обращенной при эксплуатации к помещению, который крепится к строительной конструкции в соответствии с рисунком 3. Огневое воздействие на испытываемый образец системы обеспечивается при помощи газовой горелки. Для измерения температур обогреваемой и необогреваемой поверхностей, а также внутри испытываемого образца применяются термоэлектрические преобразователи (термодатчики). Один цикл испытания включает в себя: нагрев поверхности образца до 1200 °С, выдержка образца при данной температуре в течение заданного интервала времени, охлаждение образца до температуры окружающей среды. По истечении времени прогрева огневое воздействие прекращается и на поверхность образца подается струя воды, создающая на поверхности испытываемого образца давление 5×10^5 Па. Воздействие огнегасящих веществ на испытываемый образец обеспечивается при помощи ствола пожарного лафетного типа СЛК-П20.



T1-T23 – термопары; 1 – «пятно» огневого воздействия

Рисунок 4 – Схема размещения термопар на испытываемом образце

В процессе испытания фиксируется: потеря целостности огнезащитного термостойкого покрытия (сквозные трещины, полное разрушение); показания термопар на всех стадиях нагрева и охлаждения на обогреваемой и необогреваемой поверхностях, а также внутри образца.

Огнезащитная эффективность системы огнезащиты по результатам огневых испытаний характеризуется двумя показателями: термической стойкостью и теплоизолирующей способностью. Термическая стойкость определяется количеством теплосмен, которые выдерживает огнезащитное термостойкое покрытие до потери целостности. Теплоизолирующая способность определяется минимальным временем (общая продолжительность и время последнего нагрева) достижения температуры на не обогреваемой поверхности выше 50°C.

Заключение. Проведен анализ средств защиты строительных конструкций от многократного высокотемпературного воздействия огня (до 1200 °C). Показано, что наиболее эффективным средством для огнезащиты являются огнеупорные керамические материалы с высокой термической стойкостью. Исходя из теплофизических свойств керамики, доступности и стоимости сырья в Республике Беларусь для изготовления защитных элементов, трудоемкости по обслуживанию и ремонту огнезащиты целесообразно использование кордиеритсодержащей керамики и алюмосиликатной керамики на фосфатном связующем.

Исследования воздействия добавок циркона, корунда, периклазохромида, карбида кремния, диоксида циркония, муллита на физико-механические характеристики термостойких материалов на основе муллито-кордиеритовой матрицы позволили установить, что:

при введении цирконий- и муллито-содержащих компонентов в состав массы муллито-кордиеритовой керамики повышается механическая прочность материала в 2-3 раза, ТКЛР при 800 °C составляет $(3,5-4,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$;

при использовании добавок МКВ, механическая прочность материала повышается в 1,2-1,8 раза, при этом ТКЛР при 800 °C составляет $(4,1-5,0) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и мало изменяется при увеличении содержания МКВ и температуры обжига.

Разработана методика испытаний системы огнезащиты строительных конструкций, которая позволяет дать оценку термостойкости и теплоизолирующей способности испытываемого образца, подвергаемого идентичному огневому воздействию реальных условий эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китаев-Смык, Л.А. Психология стресса / Л.А. Китаев-Смык. – М.: Наука, 1983. – 368 с.
2. Бодров, В.А., Орлов, В.Я. Психология и надежность: человек в системах управления техникой / В.А. Бодров, В.Я. Орлов. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 1998. – 288 с.
3. Home – WHP Trainingtowers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trainingtowers.com>, свободный – Дата доступа: 09.11.2015.
4. Live Fire Training Towers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.firefacilities.com>, свободный – Дата доступа: 09.11.2015.

5. Смесь для изготовления жаростойкого бетона: пат. 2330825 РФ, МПК С 04 В 28/26, С 04 В 35/66 / Т.Б. Джакаевич, З.А. Мантуров, А.Б. Тотурбиев, А.А. Порсуков, М.А. Алхасов; заявитель Дагестанский. гос. техн. ун-т. – № 2007100320/03; заявл. 09.01.07; опубл. 10.08.08 // Афіцыйны бюл. / Фед. служба по интеллектуал. собств., пат. и тов. знакам – 2008. – № 22. – С. 174.
6. Мониторинг применения огнеупорных материалов на предприятиях Республики Беларусь/ Волочко А.Т. [и др.] // Литье и металлургия. – 2011. – № 4. – С. 53–59.
7. Огнеупоры. Классификация: ГОСТ 28874-2004. – Введ. 01.01.2006 – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: межгос. технический комитет по стандартизации МТК 9 «Огнеупоры», 2004. – 20 с.
8. Хорошавин, Л.Б. Магнезиальные огнеупоры. Справочник, т. 2 / Л.Б. Хорошавин, В.А. Перепелицын, В.А. Кононов. – Москва: Интермет Инжиниринг, 2001. – 576 с.
9. Электротермические процессы и установки: учебное пособие по теоретическому курсу / А.И. Алферов [и др.]. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2007. – 360 с.
10. Кашеев, И.Д. Служба огнеупоров. Кн. 2. Справочник / И.Д. Кашеев, Е.Е. Гришенкова. – Москва: Интермет инжиниринг, 2002. – 662 с.
11. Балкевич, В.Л. Техническая керамика: учеб. для студентов вузов / В.Л. Балкевич – 2-е изд. – Москва: Стройиздат, 1984. – 254 с.
12. Авакумов, Г.Н. Кордиерит – перспективный керамический материал / Г.Н. Авакумов, А.А. Гусев. – Новосибирск: Наука, 1999. – 167 с.

SOFTWARE DESIGN FIRE PRESERVING TRAINING AND FITNESS COMPLEX FOR TRAINING OF RESCUERS AND FIRE

Alexander Volochko, Doctor of Technical Sciences, Professor

State Scientific Institution «Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus

Kirill Podbolotov, Candidate of Technical Sciences

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

Dmitriy Yashenia, Master of Engineering

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus », Minsk, Belarus

Sergey Bardushko

Branch of University of Civil Protection «The Institute for Retraining and Professional Development», Minsk region, Borisov district, Svetlaya Roshcha settlement, Belarus

Purpose. The research is dedicated to substantiation of the choice of ways and means to protect building structures of educational and training systems for training rescuers and firefighters from repeated exposure to high temperature (1200 °C), as well as the development of testing methods of fire protection structures of these objects.

Methods. The analysis of the operation of educational and training systems for training rescuers and firefighters in Europe and the USA. The analysis of thermal properties of materials with high fire resistance and thermal stability.

Findings. The results of the analysis show that the most effective means of fire protection of structures from the effects of repeated high temperature are refractory ceramic materials having high thermal resistance.

Application field of research. The results can be used in the design of fire protection structures of educational and training systems for the training of fire rescue, as well as objects with a high level of responsibility (tunnels, high-rise buildings).

Conclusions. Protection of constructions of educational and training complexes for the preparation of fire-and rescue workers from repeated high temperature exposure may be achieved through structural fire protection with the use of refractory ceramic materials.

Keywords: fire reliability; multiple high-temperature exposure, fire protection equipment; fire protection system, fire-resistant ceramic materials; thermal stability; test method.

(The date of submitting: June 27, 2016)

REFERENCES

1. Kitayev-Smyk L.A. *Psichologiya stressa* [Stress psychology]. Moscow: Science, 1983. 368 p. (rus)
2. Bodrov V.A., Orlov V.Ya. *Psichologiya i nadyognost: chelovek v sistemakh upravleniya tekhnikoy* [Psychology and reliability: people in machine control systems]. Moscow: Russian Academy of Sciences Institute of Psychology, 1998. 288 p. (rus)
3. *Home – WHP Trainingtowers*, available at: <http://www.trainingtowers.com> (accessed: 09.11.2015).
4. *Live Fire Training Towers*, available at: <http://www.firefacilities.com> (accessed: 09.11.2015).
5. Dgokayevich T.B., Manturov Z.A., Toturbiyev A.B., Porsukov A.A., Alhasov M.A. *Smes` dlya izgotovleniya zharostoykogo betona* [The mixture for the production of heat-resistant concrete]. Patent RF, no. 2330825, 2008. (rus)
6. Volochko A.T., Shipko A.A., Dzyomin M.I., Budzinskaya A.V. Monitoring primeneniya ognepurnykh materialov na predpriyatiyah Respubliki Belarus` [Monitoring the use of refractory materials enterprises in the Republic of Belarus]. *Lit`yo i metallurgiya*. 2011. No. 4 (63). Pp. 53–59. (rus)
7. *Interstate Standart 28874-2004. Refractories. Classification. Affirmed 01.01.2006*. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification: Interstate Technical Committee for Standardization ITC 9 «Refractory», 2004. 20 p. (rus)
8. Khoroshavin L.B., Perepelictyn V.A., Kononov V.A. *Magnezial`nyye ognepury. Spravochnik*, vol. 2 [Magnesia refractories. Directory, V.2]. Moscow: Intermet Inginiring, 2001. 576 p. (rus)

9. Alfeyorov A.I. *Elektrotermicheskiye protsessy i ustanovki* [Electrothermal processes and installations]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2007. 360 p. (rus)
10. Kascheyev I.D., Grishenkova E.E. *Slugba огнеупоров. Книга 2. Spravochnik* [Service refractories. Book 2. Directory]. Moscow: Intermet Inginiring, 2002. 662 p. (rus)
11. Balkevich V.L. *Tekhnicheskaya keramika* [Technical ceramics]. 2 edition. Moscow: Stroyizdat, 1984. 254 p. (rus)
12. Avakumov G.N., Gusev A.A. *Kordierit – perspektivniy keramicheskiy material* [Cordierite – promising ceramic material]. Novosibirsk: Nauka, 1999. 167 p. (rus)

УДК 614.841; 551.515

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МОДЕЛЕЙ ОСАЖДЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ОПАСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ОСАДКАМИ

Кустов М.В., Рябцев В.Н.

Представлена экспериментальная установка для исследования процессов массообмена в технологических процессах и атмосферных системах. Разработанная установка позволяет исследовать процесс сорбции жидкими аэрозолями газов, паров, пылей и продуктов горения при различных физико-химических свойствах системы. Проведен сравнительный анализ существующих теоретических моделей процесса массообмена с полученными экспериментальными данными.

Ключевые слова: массообмен; абсорбция; продукты горения; экспериментальная установка; критерии подобия; теоретические модели.

(Поступила в редакцию 26 апреля 2016 г.)

Введение. При возникновении техногенных аварий в атмосферу выбрасывается большое количество химически опасных веществ, которые за счет движения воздушных масс распространяются на большие расстояния. Если для опасных аэрозольных частиц характерно естественное оседание под действием гравитационных сил, то очищение атмосферы от химически опасных газов происходит в основном за счет осадков. Вопрос кинетики абсорбции газа жидкими аэрозолями является достаточно сложным и многофакторным. На сегодняшний день существует три принципиально разных подхода к решению этой задачи. Эти подходы различаются точностью решения, количеством необходимого расчетного времени, количеством входных данных, и необходимостью предварительных экспериментальных исследований. Для определения адекватности модели при описании процессов массообмена при тех или иных физико-химических свойствах системы необходимо проводить экспериментальные исследования.

Анализ последних достижений и публикаций. Степень опасности любого химического соединения в атмосфере определяется его среднесуточными предельно допустимыми концентрациями (ПДК_{сс}) [1 – 5]. Национальные организации по контролю экологической безопасности ежегодно готовят отчеты по состоянию атмосферного воздуха над территорией той или иной страны [6, 7]. При попадании химически опасных веществ (ХОВ) в атмосферу они взаимодействуют и вступают в реакцию с различными веществами в молекулярной, радикальной и ионной форме, а также с поверхностью жидких и твердых частиц аэрозоля. В работах [8 – 11] рассмотрены физико-химические процессы, происходящие в атмосфере с оксидами серы, азота и углероды, как основными составляющими продуктов горения при нормальной работе технологического оборудования и транспорта. Некоторые основные научные положения в области физикохимии атмосферных дисперсных систем рассмотрены А.Е. Алояном в работе [12]. Однако при возникновении техногенных аварий с возникновением пожара (или без него), в атмосферу выбрасывается большое количество аммиака, хлора, сероводорода, галогенводородов, сажи, золы и еще ряд особоопасных веществ [13]. Общие закономерности абсорбции на поверхности жидкости рассматриваются в работах [14, 15]. Среди существующих на сегодняшний день подходов к моделированию процессов массообмена наиболее широкое применение в практической деятельности для проектирования технологических процессов приобрела модель расчета процесса абсорбции с использованием теории подобия и, соответственно, критериальных уравнений [14]. Критерии подобия позволяют учесть большинство физико-химических особенностей процесса абсорбции. Однако конечный вид критериального уравнения определяется для конкретной ситуации на основе большого массива экспериментальных данных и не всегда соответствует другим условиям процесса. Таким образом, метод расчета процесса абсорбции газов с использованием теории подобия является достаточно простым, однако имеет ограничения по области применения и значительную погрешность при варьировании условий процесса абсорбции. Для увеличения точности расчета и повышения универсальности расчетных методов в последнее время широкое распространение приобрели симуляционные модели. При этом существует два различных подхода к построению моделей – кинетическая многослойная модель (kinetic multilayer model for gas-particle (KM-GAP)) [16] и модель симуляции молекулярной динамики

(molecular dynamics (MD) simulations) [17, 18]. И хотя, как и большинство математических моделей в комплексах моделирования КМ-GAP и MD принимаются некоторые допущения, упрощающие расчет, данные модели являются на сегодняшний день наиболее точными методами численного расчета кинетики абсорбции газа жидкостью. Такие расчеты являются достаточно трудоемкими и требуют значительного расчетного времени, специального программного обеспечения и значительного количества входных данных, которые не всегда можно определить. S. Schwartz [19] предложил процесс абсорбции рассматривать как отдельные физико-химические этапы. При этом математические выводы по предложенной модели сделаны с некоторыми упрощениями, что сужает область применения данной модели. Таким образом, единого подхода к экспериментальной проверке существующих моделей не создано, что значительно затрудняет их анализ и не позволяет качественно изучать процесс вымывания загрязняющих веществ атмосферными осадками.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является создание наиболее универсальной методики проведения экспериментальных исследований процесса массообмена для газов, паров, твердых аэрозолей и продуктов горения, а также сравнительный анализ существующих теоретических моделей массообмена на основе полученной экспериментальной методики.

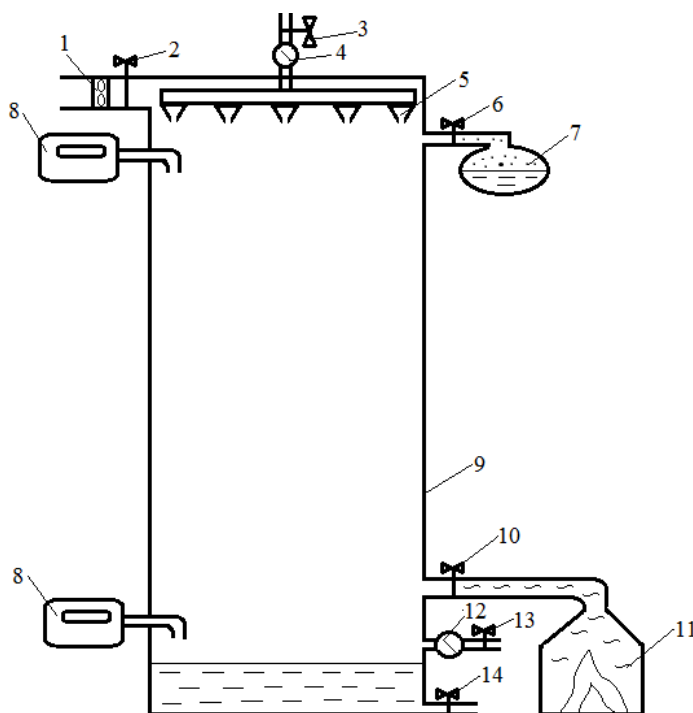
Как уже отмечалось выше, каждый подход к теоретическому моделированию процесса массообмена имеет свои сильные и слабые стороны. В работе [20] проанализированы основные модели расчета процесса абсорбции химически опасных газов аэрозолями. Для целей прогнозирования процесса вымывания ХОВ из атмосферы осадками выбрана и дополнена поэтапная модель расчета абсорбции, которая позволяет упростить расчеты с учетом физико-химических особенностей абсорбции с достаточной степенью точности. Это позволяет сохранить широкую область применения модели и сократить время оперативного прогнозирования. Предложенные дополнения позволяют с достаточной степенью точности рассчитывать коэффициент аккомодации для любого газа с учетом основных поверхностных свойств аэрозоля, а также интенсивность осадков, как функцию концентрации капель и их размеров. Проведен расчетный сравнительный анализ существующих моделей, при этом за эталон выбрана симуляционная MD модель. Анализ показал, что расчеты по поэтапной модели имеют некоторую погрешность относительно симуляционной модели, поэтому для задач масштабного моделирования атмосферных процессов и долгосрочного прогнозирования метеорологической обстановки целесообразней использовать расчетные комплексы КМ-GAP и MD. В то же время при решении задач оперативной очистки атмосферы от химически опасных загрязнений при возникновении аварий, где подобное значение погрешностей не критично, а большую значимость приобретают время расчета и ограниченность в исходных данных целесообразней использовать дополненную поэтапную модель [20]. Однако расчетные комплексы КМ-GAP и MD принимают при вычислениях определенные допущения, что должно вести к некоторой погрешности, поэтому для адекватного сравнительного анализа существующих моделей необходимо проведение экспериментальных исследований. Не смотря на то, что в литературе достаточно много работ с экспериментальными исследованиями процессов массообмена [14, 21 – 23], все экспериментальные методики составляются для конкретного рассматриваемого случая и нет единой методики, позволяющей обобщить полученные данные.

Так как основной задачей экспериментальных исследований является рассмотрение процессов абсорбции в атмосфере, то за основу экспериментальной установки выбран цилиндрический прямоточный абсорбер [24]. Для исследования процесса абсорбции при различных физико-химических условиях корпус камеры выполнен в герметическом исполнении. Схема разработанной установки представлена на рис. 1.

Представленная установка позволяет исследовать процессы очистки атмосферного воздуха жидкостными аэрозолями от загрязняющих газов, паров, пыли и продуктов горения. Корректировка интенсивности дисперсности жидкого аэрозоля (абсорбента) происходит за счет изменения потока жидкости с помощью вентиля 3 и его контроля по расходомеру 4, а также за счет изменения геометрических характеристик и количества съемных форсунок, расположенных в верхней части камеры. Форсунки размещены по всей верхней поверхности камеры и могут заменяться заглушками для снижения интенсивности потока.

Применение форсунок различных геометрических параметров дает возможность обеспечить дисперсность в диапазоне 0,5 – 2 мм. Для подачи в камеру мелкодисперсного жидкостного аэрозоля с размерами капель 0,01 – 0,5 мм в верхней части камеры преду-

смотрен входной патрубок от ультразвукового диспергатора 7, который при различных режимах работы обеспечивает необходимую дисперсность.



1 – вентилятор; 2, 6, 10, 13 – газовые запорные краны; 3, 14 – жидкостные запорные краны; 4 – жидкостный расходомер; 5 – форсунки; 7 – ультразвуковой диспергатор; 8 – газоанализаторы; 9 – корпус; 11 – отсек для горения; 12 – газовый расходомер

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для исследования процессов массообмена в атмосфере

Ввод в камеру газов, паров и пыли осуществляется через патрубок 13 в нижней части камеры. Количество поданного газа контролируется расходомером 12. Для исследования процессов абсорбции продуктов горения в установке предусмотрена дополнительная камера сгорания, в которой происходит сжигание необходимого горючего вещества, а продукты горения поступают через патрубок 10 в камеру.

Для идентификации содержания газа и непрерывного контроля изменения его концентрации в камере находятся газоанализаторы 8. Так как газы по объему камеры могут быть распределены не равномерно, то для нахождения среднеобъемной концентрации газоанализаторы расположены в верхней и нижней частях камеры.

Герметичное исполнение корпуса камеры позволяет проводить эксперимент как при установившейся концентрации газа, так и при нестационарном режиме.

Во время проведения эксперимента имеется возможность проводить отбор проб абсорбента для контроля степени его насыщения абсорбатом.

После проведения эксперимента производится очистка объема камеры от остаточных продуктов с помощью вытяжного вентилятора 1.

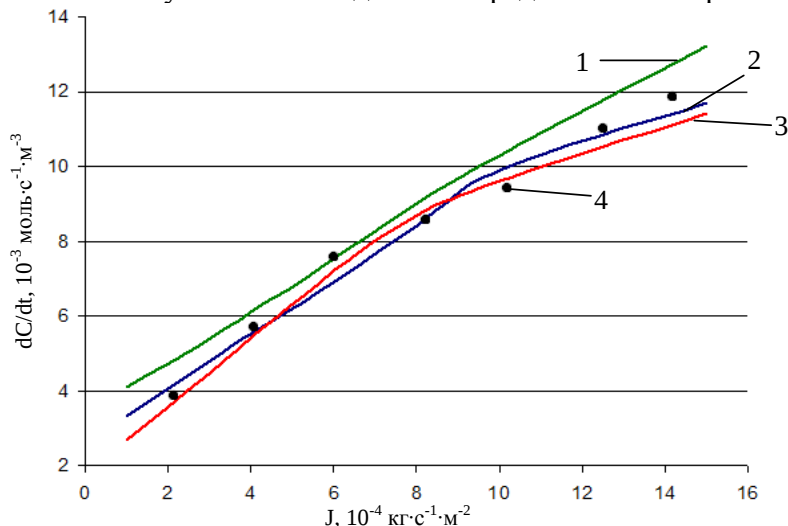
Для сравнительного анализа существующих моделей, проведена серия экспериментов по исследованию влияния интенсивности потока аэрозоля на скорость вымывания аммиака водным аэрозолем. В качестве примера выбран аммиак по причине того, что для этого газа достаточно полно рассмотрены и многократно проверены модели с использованием критериальных уравнений и математических моделей [14, 16 – 18, 25].

Концентрация капель в объеме определялась из соотношения интенсивности потока и их скорости падения:

$$C_{drop} = \frac{J}{v_{drop} \cdot m_{drop}},$$

где J – интенсивность потока аэрозоля на единицу площади; v_{drop} – скорость падения капли; m_{drop} – масса одной капли.

Масса капель определялась из расчета их дисперсности $r \approx 0,8$ мм, скорость падения выбиралась средняя по объему из расчета высоты камеры $H = 2$ м. Измерения проводились сериями по три эксперимента, из которых определялось среднее значение. Также необходимо отметить, так как скорость абсорбции от концентрации капель и их размера имеет одинаковую степенную зависимость, а интенсивность осадков разную ($J \sim C_{drop}$, $J \sim R^3$), то при одинаковой интенсивности осадков предпочтительнее мелкодисперсные осадки с большой концентрацией капель. Результаты исследований представлены на рис. 2.



1 – расчет с помощью критериального уравнения; 2 – расчет с помощью дополненной поэтапной модели;
3 – расчет с помощью симуляционной математической модели MD; 4 – экспериментальные данные

Рисунок 2 – Зависимость скорости вымывания аммиака водным аэрозолем от интенсивности потока

Из анализа теоретических и экспериментальных результатов можно сделать вывод, что наибольшей адекватностью описания экспериментальных данных обладает симуляционная модель MD. При этом поэтапная модель (кривая 2) также обладает высокой степенью точности. Не смотря на то, что представленная экспериментальная методика имеет некоторое несоответствие моделируемых физических свойств системы (неравномерность скорости падения капель по высоте, распределение капель по размерам), полученные результаты удовлетворительно согласуются с расчетными (рис. 2) и экспериментальными данными других исследователей [14, 21 – 23]. При этом возможности, представленной в работе, экспериментальной установки позволяют моделировать большинство физико-химических свойств, как системы, так и веществ, которые в ней участвуют.

Выводы. С целью изучения динамики процессов сорбции жидкими аэрозолями газов, паров, пылей и продуктов горения при различных физико-химических свойствах системы разработана экспериментальная установка и методика проведения исследований. Возможность реализации широкого спектра физико-химических параметров системы позволяет моделировать процессы массообмена как в промышленных, так и в атмосферных аэрозолях. На примере сорбции аммиака водным аэрозолем проведен сравнительный анализ полученных в работе экспериментальных результатов с существующими теоретическими моделями массообмена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами). ДСП 201-97. – [Діє від 1997-07-09]. – Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 201. – 43 с.
2. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. ГОСТ 17.2.3.01-86. – [Действует от 1987-01-01]. – Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 10 ноября 1986 г. № 3359. – 4 с.
3. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов. Вредных веществ промышленными предприятиями. ГОСТ 17.2.3.02-78. – [Действует от 1980-01-01]. – Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 24 августа 1978 г. № 2329. – 15 с.

4. Атмосферный воздух и воздух закрытых помещений, санитарная охрана воздуха. СанПиН 2.1.6.575-96. – [Действует от 1996-01-11]. – Постановление Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 года № 48. – 21 с.
5. The National Ambient Air Quality Standard (NAAQS). – The U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Dec. 14, 2012. – 43 p.
6. Стан довкілля в Україні. Інформаційно-аналітичний огляд. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ecobank.org.ua/EnvironmentState/Reviews/Pages/default.aspx>, свободный – Дата доступа: 16.04.2016.
7. Advancing the Science of Climate Change. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/Science-Report-Brief-final.pdf>, свободный – Дата доступа: 18.04.2016.
8. Заиков, Г.Е. Кислотные дожди и окружающая среда / Г.Е. Заиков, С.А. Маслов, В.Л. Рубайло. – М., Химия, 1991. – 144 с.
9. Исидоров, В.А. Органическая химия атмосферы. – СПб., Химиздат, 2001. – 352 с.
10. Ларин, И.К. Химия ночной тропосферы. I. Процессы с участием окислов азота / И.К. Ларин // Экологическая химия. – М., 2011. – № 20(3). – С. 155-162.
11. Atkinson, R. Gas-phase tropospheric chemistry of organic compounds: a review / R. Atkinson // Atmospheric Environment. – 2007. – № 41. – Pp. 200-240.
12. Алоян, А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201 с.
13. Кустов, М.В. Химически опасные выбросы в атмосферу при техногенных авариях на предприятиях Украины / М.В. Кустов // Безопасность в техносфере. – М., 2015. – № 3. – С. 16-21.
14. Рамм, В.М. Абсорбция газов. – М., Химия. – 1976. – 656 с.
15. Мчедлов-Петросян М.О. Колоїдна хімія / М.О. Мчедлов-Петросян, В.І. Лебідь, О.М. Глазкова та ін. – Харків: Фоліо, 2005. – 301 с.
16. Shiraiwa M. Kinetic multi-layer model of gas-particle interactions in aerosols and clouds (KM-GAP): linking condensation, evaporation and chemical reactions of organics, oxidants and water / M. Shiraiwa, C. Pfrang, T. Koop, U. Pöschl // Atmos. Chem. Phys. – 2012. – № 12. – Pp. 2777-2794.
17. Takaharu, T. Molecular Dynamics Studies on the Condensation Coefficient of Water / T. Tsuruta, G. Nagayama // J. Phys. Chem. B. – 2004. – № 108 (5). – Pp. 1736-1743.
18. Gilde, A. Molecular Dynamics Simulations of Water Transport through Butanol Films / A. Gilde, N. Siladke and C. P. Lawrence // J. Phys. Chem. A. – 2009. – № 113 (30). – Pp. 8586-8590.
19. Schwartz, S.E. Mass-transport considerations pertinent to aqueous phase reactions of gases in liquid-water clouds, in: NATO ASI Ser. –Springer-Verlag, New York. – 1986. – Pp. 415-471.
20. Кустов, М.В., Калугин, В.Д. Прогнозирование интенсивности осаждения газообразных токсичных химических веществ атмосферными осадками / East European Scientific Journal. – Warsaw, 2016. – № 2 (6). – С. 52-58.
21. Li Y. Q. Mass and Thermal Accommodation Coefficients of H₂O(g) on Liquid Water as a Function of Temperature / Y.Q. Li, P. Davidovits, Q. Shi, J.T. Jayne // J. Phys. Chem. A – 2001. – № 105 (47). – Pp. 10627-10634.
22. Winkler, P.M. Mass and Thermal Accommodation during Gas-Liquid Condensation of Water / P.M. Winkler, A. Vrtala, P. E. Wagner, M. Kulmala and other // Phys. Rev. Lett. – 2004. – № 93. – Pp. 075701-075723.
23. Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in Environmental Chemistry. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.henryslaw.org/henry-3.0.pdf>, свободный – Дата доступа: 15.04.2016.
24. Пат. № 2 491 982, Российская Федерация, В01D53/18 Прямоточный абсорбер / Демихов С.В. (RU); патентообладатель Демихов С.В. (RU) – № 2012112680/05; заявл. 03.04.2012; опубл. 10.09.2013.
25. Julin, J. Mass Accommodation of Water: Bridging the Gap Between Molecular Dynamics Simulations and Kinetic Condensation Models / J. Julin, M. Shiraiwa, R. Miles, J. P. Reid, U. Pöschl, I. Riipinen // J. Phys. Chem. A – 2013. – № 117. – Pp. 410-420.

EXPERIMENTAL CHECK OF GASEOUS DANGEROUS CHEMICALS SEDIMENTATION MODELS BY MEANS RAINFALL

Maksym Kustov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Vitali Rabtsau

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus », Minsk, Belarus

Purpose. The paper is devoted to the experimental study of dynamics of gases sedimentation from the atmosphere by water aerosols.

Methods. Using the developed laboratory experimental appliance of mass-exchanged type it was carried out ammonia sedimentation by various dispersion water aerosols.

Findings. The developed experimental appliance allows investigating the gases, vapors, dust and products of burning sedimentation speed by various dispersion, chemical composition and intensity of giving liquid aerosols. The comparative analysis of existent theoretical models of mass exchange process with obtained experimental data has been carried out based on the example of ammonia sorption.

Application field of research. The obtained experimental data can be used for checking the adequacy of existing and new theoretical models.

Conclusions. The assessment of adequacy of the main theoretical methods of gases sedimentation processes modeling is carried out. The main positive and negative qualities of these models are revealed.

Keywords: mass exchange; absorption; burning products; experimental appliance; similarity criteria; theoretical models.

(The date of submitting: April 26, 2016)

REFERENCES

1. Derzhavni sanitarni pravyla ohorony atmosfernogo povitrja naselenyh misc' (vid zabrudnennja himichnyh ta biologichnyh rehovynamy) [State sanitary rules of protection of atmospheric air of settlements (from pollution by chemical and biological substances)] *DSP 201-97*. Affirmed 09.07.1997. The order of the Ministry of health of Ukraine. No. 201. 43 p. (ukr)
2. Okhrana prirody. Atmosfera. Pravila kontrolya kachestva vozdukha naselennykh punktov [Conservation. Atmosphere. Rules of quality control of air of settlements]. *GOST 17.2.3.01-86*. Affirmed 01.01.1987. The resolution of the State committee USSR on standards 10.10.1986. No 3359. 4 p. (rus)
3. Okhrana prirody. Atmosfera. Pravila ustanovleniya dopustimyh vybrosov. Vrednykh veshchestv promyshlennymi predpriyatiyami [Conservation. Atmosphere. Rules of establishing permissible emissions. Harmful substances from industry]. *GOST 17.2.3.02-78*. Affirmed 01.01.1980. The resolution of the State committee USSR on standards 24.08.1978. No 2329. 15 p. (rus)
4. Atmosforny vozdukh i vozdukh zakrytykh pomeshcheniy, sanitarnaya okhrana vozdukha [Atmospheric air and air of the enclosed space, sanitary protection of air]. *SanPiN 2.1.6.575-96*. Affirmed 11.01.1996. The resolution of the State Committee on Sanitary and Epidemiology Surveillance of Russia of 31.11.1996. No 48. 21 p. (rus)
5. The National Ambient Air Quality Standard (NAAQS). The U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 14.12.2012. 43 p.
6. *Stan dovkillja v Ukrai'ni. Informacijno-analitychnyj ogljad* [The state of environment in Ukraine. Information and analytical review], available at <http://www.ecobank.org.ua/EnvironmentState/Reviews/Pages/default.aspx> (accessed : April 10, 2016). (ukr)
7. *Advancing the Science of Climate Change*, available at <http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/Science-Report-Brief-final.pdf> (accessed : April 10, 2016).
8. Zaikov G.E., Maslov S.A., Rubajlo V.L. *Kislotnye dozhd i okruzhayushchaya sreda* [Acid rains and environment]. Moscow, Khimiya, 1991. 144 p. (rus)
9. Isidorov V.A. *Organicheskaya khimiya atmosfery* [Organic chemistry of the atmosphere]. SPb., Khimizdat, 2001. 352 p. (rus)
10. Larin I.K. Khimiya nochnoy troposfery. I. Protsessy s uchastiem okislov azota [Chemistry of the night troposphere. I. Processes with participation of nitrogen]. *Ekologicheskaya khimiya*. Moscow, 2011. No. 20 (3). Pp. 155-162. (rus)
11. Atkinson R. Gas-phase tropospheric chemistry of organic compounds: a review. *Atmospheric Environment*. 2007. No. 41. Pp. 200-240.

12. Aloyan A.E. *Dinamika i kinetika gazovykh primesey i aerorozley v atmosfere* [Dynamics and kinetics of gas impurity and aerosols in the atmosphere]. Moscow. IVM RAN, 2002. 201 p. (rus)
13. Kustov M.V. *Khimicheski opasnye vybrosy v atmosferu pri tekhnogennykh avariakh na predpriyatiyakh Ukrainy* [Chemically hazardous emissions in the atmosphere at technogenic accidents at the enterprises of Ukraine]. *Bezopasnost' v tekhnosfere*. Moscow, 2015. No. 3. Pp. 16-21. (rus)
14. Ramm V.M. *Absorbtsiya gazov* [Absorption of gases]. Moscow, Khimiya. 1976. 656 p. (rus)
15. Mchedlov-Petrosjan M.O., Lebid' V.I., Glazkova O.M. *Koloi'dna himiya* [Colloid and surface chemistry]. Harkiv: Folio, 2005. 301 p. (ukr)
16. Shiraiwa M., Pfrang C., Koop T., Pöschl U. Kinetic multi-layer model of gas-particle interactions in aerosols and clouds (KM-GAP): linking condensation, evaporation and chemical reactions of organics, oxidants and water. *Atmos. Chem. Phys*, 2012. No. 12. Pp. 2777-2794.
17. Tsuruta T., Nagayama G. Molecular Dynamics Studies on the Condensation Coefficient of Water. *J. Phys. Chem. B*. 2004. No. 108 (5). Pp. 1736-1743.
18. Gilde A., Siladke N, Lawrence C.P. Molecular Dynamics Simulations of Water Transport through Butanol Films. *J. Phys. Chem. A*, 2009. No. 113 (30). Pp. 8586-8590.
19. Schwartz S.E. *Mass-transport considerations pertinent to aqueous phase reactions of gases in liquid-water clouds*. NATO ASI Ser. Springer-Verlag, New York, 1986. Pp. 415-471.
20. Kustov M.V., Kalugin V.D. Prognozirovanie intensivnosti osazhdeniya gazoobraznykh toksichnykh khimicheskikh veshchestv atmosferynymi osadkami [Forecasting of intensity of sedimentation of gaseous toxic chemicals atmospheric precipitation]. *East European Scientific Journal*, Warsaw, 2016. No. 2 (6). Pp. 52-58. (rus)
21. Li Y.Q., Davidovits P., Shi Q., Jayne J.T. Mass and Thermal Accommodation Coefficients of water (g) on Liquid Water as a Function of Temperature. *J. Phys. Chem. A*, 2001. No. 105 (47). Pp. 10627-10634.
22. Winkler P.M., Vrtala A., Wagner P.E., Kulmala M. Mass and Thermal Accommodation during Gas-Liquid Condensation of Water. *Phys. Rev. Lett.*, 2004. No. 93. Pp. 075701-075723.
23. *Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in Environmental Chemistry*, available at <http://www.henrys-law.org/henry-3.0.pdf> (accessed : April 10, 2016).
24. Demikhov S.V. *Pryamotochnyy absorber* [Direct-flow absorber]. Patent No. 2 491 982, Russian Federation, B01D53/18. Patentobladatel' Demikhov S.V. (RU). No. 2012112680/05; yayavl. 03.04.2012. Publ. 10.09.2013. (rus)
25. Julin J., Shiraiwa M., Miles R., Reid J.P., Pöschl U., Riipinen I. Mass Accommodation of Water: Bridging the Gap Between Molecular Dynamics Simulations and Kinetic Condensation Models. *J. Phys. Chem. A*, 2013. No. 117. Pp. 410-420.

УДК 355.58:699.853

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УКРЫТИЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Безносик Е.А., Еремин А.П.

Разработана методика оценки возможности приспособления инженерных сооружений для укрытия населения при чрезвычайных ситуациях. Определены основные требования к выбору инженерного сооружения, мероприятия по приспособлению его под сооружение двойного назначения и требуемые защитные свойства. Приведен расчет возможности реализации объемно-планировочных решений при приспособлении сооружения для укрытия населения.

Ключевые слова: инженерное сооружение, сооружение двойного назначения, гражданская оборона, чрезвычайная ситуация, укрытие населения

(Поступила в редакцию 20 мая 2016 г.)

Введение. В целях обеспечения укрытия населения от чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) природного и техногенного характера, а также от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий в ряде стран (Великобритания, Норвегия, Дания, Федеративная Республика Германия) для укрытия населения широко применяются заглубленные сооружения многоцелевого назначения (склады, спортивные сооружения, кафе, кинотеатры и др.), которые в случае необходимости могут быть в самые короткие сроки переоборудованы в убежища, данное решение позволяет существенно минимизировать затраты финансовых средств, а также повысить качество планируемых мероприятий по укрытию населения.

Кроме того, в отдельных странах (Китайская Народная Республика, Республика Куба, Социалистическая Республика Вьетнам и др.) в последнее время наблюдается тенденция активного привлечения частного капитала для участия в строительстве многоуровневых подземных стоянок, а также других элементов современной инфраструктуры гостиниц, различных предприятий и т. д. для укрытия населения в качестве защитных сооружений.

Учитывая международный опыт, а также основные задачи по реализации государственной политики в области гражданской обороны (вовлечение в хозяйственный оборот защитных сооружений в целях поддержания их в готовности по предназначению, развитие строительства сооружений двойного назначения) в Республике Беларусь ведется работа по освоению подземного пространства городов посредством строительства сооружений многоцелевого назначения (сооружения двойного назначения), которые в случае необходимости могут быть в кратчайшие сроки приспособлены для укрытия населения. Однако до настоящего времени не разработаны рекомендации по определению возможности приспособления инженерных сооружений для укрытия населения в ЧС.

Целью настоящего исследования является определение критериев оценки возможности приспособления инженерных сооружений для укрытия населения в ЧС мирного и военного времени.

Предложенная методика предназначена для использования при разработке:

разделов «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций» в проектной документации на строительство;

планов заблаговременной подготовки к ведению гражданской обороны (далее – ГО);

соответствующих разделов (приложений) планов ГО территориального и местного уровней;

документации по приспособлению существующих инженерных сооружений (за исключением метрополитена) под сооружения двойного назначения (далее – СДН).

Описание методики

1. При выборе инженерного сооружения, предназначенного к приспособлению под СДН, необходимо руководствоваться следующими основными правилами:

приспосабливаемое инженерное сооружение должно снижать вероятность поражения укрываемых от прямого воздействия воздушной ударной волны, проникающей радиа-

ции и вторичных факторов поражения (осколочного поля, обломков конструкций, термического воздействия, ионизирующего излучения (с учетом территориального расположения)); место расположения, технические характеристики инженерных сооружений, приспособляемых под СДН, должны удовлетворять требованиям [1];

инженерное сооружение должно иметь возможность приведения в готовность в течение нормативного времени [1] (в случае нахождения за пределами зоны заражения аварийно химически опасными веществами, возможного радиоактивного загрязнения);

инженерное сооружение должно располагаться с учетом особенностей организации и иных рядом расположенных объектов, а также отнесения территорий и организаций к соответствующим группам и категориям по ГО;

расположение инженерного сооружения должно обеспечивать нормативный радиус сбора укрываемых [2].

2. Разработанная методика предлагает следующие мероприятия по приспособлению инженерных сооружений под сооружения двойного назначения:

2.1. Сбор исходных данных, как правило, необходимых для приспособления инженерного сооружения осуществляют физические лица, индивидуальные предприниматели, юридические лица или их обособленные подразделения в собственности, владении, пользовании, распоряжении которых находится приспособляемый объект.

При этом, в случае необходимости получения соответствующих данных, исполнитель направляет обращение в городской (районный) отдел по ЧС, проектную организацию разработавшую проект инженерного сооружения, и в иные организации для получения ответа в пределах их компетенции.

Примерный перечень исходных данных может включать следующую информацию:

- о возможных природных факторах, которые могут повлиять на деятельность объекта;
- о зонах возможных разрушений, возможного опасного химического заражения, радиоактивного загрязнения, катастрофического затопления, в границы которых попадает объект;
- о системах, обеспечивающих оповещение объекта;
- о характеристиках приспособляемого объекта (план помещения, материал из которого выполнялось строительство и т. д.);
- о планируемом количестве укрываемых (наибольшая работающая смена организации, жильцы жилого дома и т. д.).

2.2. Проведение обследования помещения на соответствие предъявляемым требованиям. Для принятия решения о возможности приспособления помещения под СДН проводится его общий осмотр в соответствии с [3], а в случае обнаружения явных дефектов проводится общее или детальное обследование. Порядок, причины, цели проведения обследований установлены [4].

Целью проведения осмотров является своевременное выявление дефектов зданий, установление возможных причин их возникновения и выработка мер по их устранению. В ходе осмотров осуществляется контроль за использованием и содержанием помещений, устранением мелких неисправностей, которые могут быть устранены в течение времени, отводимого на осмотры.

Для проведения общего осмотра приказом руководителя организации (юридического лица) создается комиссия [4] в следующем составе:

председатель комиссии – руководитель, главный инженер организации (юридического лица);

члены комиссии – лица, ответственные за эксплуатацию здания;

представители службы, осуществляющие эксплуатацию инженерного оборудования;

представитель местного общественного формирования (профсоюза).

Дополнительно в комиссию включаются:

для общественных зданий – представители органов местного или отраслевого управления, ответственные за техническое состояние основных фондов;

для производственных зданий – главные специалисты предприятия (механик, энергетик, технолог) и инженер по технике безопасности;

для зданий, являющихся историко-культурными ценностями – представители Департамента по охране историко-культурного наследия и реставрации.

К работе комиссии могут привлекаться специалисты-эксперты и представители ремонтно-строительных организаций.

По результатам текущего осмотра составляется акт, который подписывается всеми членами комиссии и утверждается собственником здания или уполномоченным им лицом.

В дальнейшем общие осмотры приспособляемого сооружения или всего здания в комплексе должны проводиться 2 раза в год: весной и осенью.

После проведения осмотра (обследования) комиссией делается вывод о целесообразности применения данного сооружения для укрытия населения.

Информация о результатах осмотра приспособляемого сооружения предоставляется в городской (районный) отдел по ЧС вместе с отчетом о проделанной работе за год.

2.3. Определение требуемых защитных свойств инженерного сооружения. Устройство СДН возможно при расчетном избыточном давлении во фронте воздушной ударной волны (далее – избыточном давлении), не превышающего нормативного [1] (в зонах слабых и возможных разрушений).

Для определения ожидаемой величины избыточного давления, которое окажет воздействие на сооружение двойного назначения, проводится:

- анализ зон возможных разрушений (в зависимости от категории объекта и рядом расположенных объектов, группы территории);
- расчет противорадиационной защиты ограждающих конструкций (для организаций, находящихся в радиусе до 25 км от границы проектной застройки объекта ядерного топливного цикла);
- расчет избыточного давления в тротиловом эквиваленте при возможном взрыве (для организаций, расположенных вблизи потенциально опасных объектов);
- расчет избыточного давления и зоны возможных разрушений, возможных заражений при аварии с выбросом аварийно химически опасного вещества;
- определение достаточности физических характеристик конструкции здания.

Анализ зон возможных разрушений (с учетом категории объекта и рядом расположенных категоризируемых объектов по ГО, группы территории по ГО) проводится с учетом собранных исходных данных, а также в соответствии с требованиями [2], расчет противорадиационной защиты ограждающими конструкциями проводится согласно [1], избыточного давления и зоны возможных разрушений, возможных заражений при аварии с выбросом аварийно химически опасных веществ проводится в соответствии с [5,6], определения достаточности физических характеристик конструкции здания проводится в соответствии с [1] (идентично, как и для убежища).

2.4. Выявление возможности реализации объемно-планировочных решений при приспособлении сооружения под сооружения двойного назначения. В СДН предусматриваются основные и вспомогательные помещения. К основным относятся помещения для укрываемых, а к вспомогательным санитарные узлы. В случае необходимости – вентиляционные помещения и помещения для хранения зараженной одежды. Количество входов, устройство дверей в СДН предусматривают в соответствии с [1].

Общая площадь помещения для укрытия населения или наибольшей работающей смены организации определяется как

$$S_{\text{общ.}} = S_{\text{осн.}} + S_{\text{всп.}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{общ.}}$ – общая площадь помещений, $S_{\text{осн.}}$ – площадь основного помещения, $S_{\text{всп.}}$ – площадь вспомогательных помещений.

В свою очередь площади помещений для укрытия населения и вспомогательных помещений рассчитываются по формулам

$$S_{\text{осн.}} = S_{\text{норм.}} N_{\text{чел.}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{норм.}} = 1 \text{ м}^2$ на одного человека – нормативная площадь помещения для размещения укрываемых, $N_{\text{чел.}}$ – количество человек, планируемых к укрытию в СДН;

$$S_{\text{всп.}} = S_{\text{в.л.}} + S_{\text{с.у.}} + S_{\text{з.о.}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{в.л.}}$ – площадь вентиляционного помещения, $S_{\text{с.у.}}$ – площадь санитарных узлов, $S_{\text{з.о.}}$ – площадь помещения для хранения загрязненной одежды.

При использовании СДН для защиты укрываемых, в помещениях следует предусматривать естественную вентиляцию или вентиляцию с механическим побуждением.

Естественная вентиляция предусматривается в СДН вместимостью до 50 человек. В остальных случаях следует предусматривать вентиляцию с механическим побуждением. Работы по монтажу (установке) систем вентиляции допускается предусматривать в период заблаговременной подготовки к ведению ГО.

Для определения требуемой производительности установки необходимо рассчитать два значения воздухообмена: по кратности воздухообмена и по количеству людей, после чего выбрать большее из этих двух значений.

Требуемая производительность вентиляционного оборудования определяется: по количеству людей:

$$L = L_{\text{норм.}} N_{\text{чел.}}, \quad (4)$$

где L – требуемая производительность приточной вентиляции, м³/ч;

$L_{\text{норм.}} = 10$ м³/ч – норма расхода воздуха на одного человека.
по кратности:

$$L = nSH, \quad (5)$$

где $n = 1$ – кратность воздухообмена для заглубленных помещений, S – площадь помещения, м², H – высота помещения, м.

Количество вентиляционных установок определяется по формуле

$$N_{\text{вент.}} = \frac{L}{P_{\text{вент.}}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{вент.}}$ – производительность планируемой вентиляционной установки.

При выборе вентиляторов учитывается, что вентиляторы могут работать в нормальном и форсированном режимах. В форсированном режиме срок службы их значительно уменьшается, поэтому при выборе следует ориентироваться на их номинальную производительность.

Площадь помещения для установки вентиляционной установки определяем по формуле:

$$S_{\text{в.п.}} = N_{\text{вент.}} S_{\text{вент.}}, \quad (7)$$

где $S_{\text{вент.}}$ – площадь для установки одной вентиляционной установки. Ориентировочно составляет 3-4 м².

Площадь санитарного узла определяется размерами и количеством кабин, а также шириной проходов.

Санитарный узел допускается проектировать из расчета обеспечения 25 % укрываемых. Необходимое количество кабин рассчитывается по формуле

$$N_{\text{каб.}} = N_{\text{каб.м.}} + N_{\text{каб.ж.}}, \quad (8)$$

где $N_{\text{каб.м.}}$ – количество кабин для мужчин, $N_{\text{каб.ж.}}$ – количество кабин для женщин.

Количество кабин для мужчин и женщин определяется по формулам:

$$N_{\text{каб.м.}} = \frac{0,25N_{\text{чел.}}}{2 \cdot 150}, \quad (9)$$

$$N_{\text{каб.ж.}} = \frac{0,25N_{\text{чел.}}}{2 \cdot 75}. \quad (10)$$

В СДН, расположенных в зданиях с канализацией, рассматривается возможность устройства промывных уборных с отводом сточных вод в наружную канализационную сеть.

В неимеющих подключения к центральной канализации помещениях необходимо предусматривать резервуар для сбора нечистот с возможностью его очистки.

Площадь помещения для установки кабин определяем по формуле

$$S_{\text{с.у.}} = S_{\text{каб.}} N_{\text{каб.}} + S_{\text{прох.}}, \quad (11)$$

где $S_{\text{каб.}}$ – площадь кабины, $S_{\text{прох.}}$ – площадь коридора перед кабинами.

Площадь кабины определяют исходя из ее размеров. Ориентировочные размеры кабины санитарного узла принимают $0,9 \times 1,2$ м.

Площадь помещения для загрязненной одежды следует определять из расчета не более $0,07$ м² на одного укрываемого.

$$S_{з.о.} = 0,07 N_{чел.} \quad (12)$$

В сооружении вместимостью до 50 человек вместо помещения для загрязненной одежды допускается предусматривать устройство при входах вешалок, размещаемых за занавесями.

В случае, если расчетная площадь значительно меньше предусмотренной планировкой сооружения площади, то рассматривается использование только необходимой части сооружения, предусмотрев разделительную перегородку.

Примерный расчет требуемой тепловой мощности для системы отопления, проводится по формуле

$$Q = V \cdot Q_{ном.}, \text{ кВт}, \quad (13)$$

где V – объем помещения, $Q_{ном.}$ – требуемый тепловой поток (ориентировочно можно принять $0,041$ кВт), или формуле

$$Q = (22 + 0,54 D_t) \cdot (S_n + S_{н.с.} + 2S_{о.}), \text{ кВт}, \quad (14)$$

где D_t – разница между температурой воздуха в помещении $D_{ном.}$ и расчетной наружной $D_{нар.}$ температурой воздуха, град., S_n – площадь пола, м², $S_{н.с.}$ – площадь наружных (холодных) стен, м², $S_{о.}$ – площадь оконных проемов.

$$D_t = D_{ном.} - D_{нар.} \quad (15)$$

При расчете системы отопления температуру помещений в холодное время года следует принимать равной 10 °С, если по условиям эксплуатации в мирное время не требуется более высокой температуры. Среднемаксимальную температуру для соответствующего района строительства, предлагается принять по [7].

Тепловыделением от укрываемых в данном расчете можно пренебречь, в связи с ограниченным сроком их пребывания.

В помещениях, неотапливаемых по условиям мирного времени, следует предусматривать место для установки временных подогревающих устройств.

Водоснабжение СДН предусматривается от наружной или внутренней водопроводной сети с учетом условий эксплуатации помещений в мирное время. При отсутствии водопровода в СДН предусматриваются места для размещения переносных баков, бутилированной воды. Количество необходимой питьевой воды вычисляется по формуле

$$V_{воды} = 0,5 N_{чел.}, \quad (16)$$

где $0,5$ – количество литров воды на человека, при условии нахождения в сооружении двойного назначения не более 6 часов.

Доукомплектование помещения средствами оповещения, связи производится согласно [1].

2.5. Расчет показателя, определяющего своевременность укрытия рабочих и служащих.

$$K_{св.} = \frac{N_{свр.}}{N} \cdot 100\%, \quad (17)$$

где $N_{свр.}$ – число укрываемых, которые в установленные сроки (в соответствии с требованиями [2]) могут укрываться в СДН с требуемыми защитными свойствами и системами жизнеобеспечения, человек, N – вместимость в сооружении двойного назначения, человек.

2.6. Обобщение полученных данных и принятия окончательного решения о возможности приспособления под сооружения двойного назначения.

Полученные показатели сравниваются с минимальными требованиями [1] на основании которых делается вывод о возможности и целесообразности приспособления инженерного сооружения под СДН.

Разработанные материалы утверждаются собственником инженерного сооружения или уполномоченным лицом, подписываются ответственными за разработку должностными лицами и согласовываются с территориальным городским (районным) отделом по ЧС.

2.7. Подготовка календарного плана приведения сооружения двойного назначения в готовность к приему укрываемых. Календарный план приведения в готовность содержит перечень мероприятий, позволяющий дооборудовать инженерное сооружение в установленные законодательством сроки.

Календарный план может содержать следующие мероприятия: уточнение документации по приспособлению сооружения до СДН, проведение повторного инструктажа с работниками организации по действию в случае возможной ЧС, проверка работоспособности системы оповещения объекта, проверка работоспособности телефонной и связи и ФМ вещания в СДН, доставка запаса питьевой воды, проверка работоспособности систем жизнеобеспечения в СДН. При этом, в зависимости от территориального расположения СДН, наполнение календарного плана может меняться.

Закключение. Таким образом, требования технических нормативных правовых актов, а также применение предлагаемой методики позволяют рационально использовать подземное пространство городов для накопления фонда убежищ и укрытий при защите населения любого города от ЧС и более эффективно реализовывать защитные мероприятия в ходе осуществления градостроительной и строительной деятельности посредством уменьшения затрат на обеспечение укрытия населения как в мирное, так и в военное время, что значительно сокращает финансовые затраты на подготовку и проведение инженерно-технических мероприятий ГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Защитные сооружения гражданской обороны. Нормы проектирования = Ахоўныя будынкi грамадзянскай абароны. Нормы праектавання: ТКП 45-3.02-231-2011. – Введ. 17.05.2011. – Минск: МЧС, Минстройархитектуры, 2011 – 125 с.
2. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны = Інжынерна-тэхнічныя мерапрыемства грамадзянскай абароны: ТКП 112-2011. – Введ. 22.12.11. – Минск: МЧС, 2011. – 27 с.
3. Техническая эксплуатация жилых и общественных зданий и сооружений. Порядок проведения = Тэхнічная эксплуатацыя жылёвых і грамадскіх будынкаў і сооруженияў: ТКП 45-1.04-14-2005. – Введ. 10.10.2005. – Минск: Минстройархитектуры, 2006. – 40 с.;
4. Здания и сооружения. Техническое состояние и обслуживание строительных конструкций и инженерных систем и оценка их пригодности к эксплуатации. Основные требования = Будынкi і збудаванні. Тэхнічны стан і абслугоўванне будаўнічых канструкцый і інжынерных сістэм і ацэнка іх прыгоднасці да эксплуатацыі: ТКП 45-1.04-208-2010 – Введ. 15.07.2010. – Минск: Минстройархитектуры, 2011 – 23 с.
5. Взрывобезопасность химических производств и объектов. Общие требования = Выбуханабяспечнасць хімічных вытворчасцяў і аб'ектаў. Агульныя патрабаванні: ТКП 506-2013. – Введ. 23.11.2013. – Минск: МЧС, 2013 – 87 с.
6. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте: РД 52.04.253–90. – Введ. 01.07.90. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 23 с.
7. Строительная климатология – Будаўнічая кліматалогія: СНБ 2.04.02-2000. – Введ. 7.12.2000. – Минск: Минстройархитектуры 2001 – 40 с.

METHODS OF POSSIBILITY AND ADAPTATION OF ENGINEERING CONSTRUCTIONS FOR POPULATION SHELTERING IN CASE OF AN EMERGENCY

Yauheni Biaznosik

Aliaksei Yeromin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The purpose of the research is the elaboration of recommendations for determining possibility of adaptation of engineering constructions for population sheltering in case of an emergency. In the course of the research was determined the main criteria and requirements for the choice and decision of an engineering construction, the activities in its adaptation as the construction of twofold purpose and the necessary protective qualities. The object of the research is underground constructions in some settlements and the subject of the research is their adaptation for population sheltering in case of an emergency.

Methods. The methods of observation, comparison, analysis, synthesis, modeling, expert evaluation have been used.

Findings. The criteria of possibility of adaptation of engineering constructions for population sheltering in case of an emergency are determined.

Applications field of research. The introduced method makes it possible to increase the use of city underground engineering constructions for increasing of shelter and refuge amount in case of population protection from various emergencies.

Conclusions. The results of the research allow realizing more effective protective measures in the course of town planning and building activities by means of cost reduction for shelter for population in case of an emergency.

Keywords: engineering construction, construction of twofold purpose, civil defense, emergency, population sheltering.

(The date of submitting: May 20, 2016)

REFERENCES

1. Zashchitnye sooruzheniya grazhdanskoy oborony. Normy proektirovaniya. [Protective construction for civil defense. Design norms] *TKP 45-3.02-231-2011*, introduced 17.05.2011. Minsk: MChS, Minstroyarkhitektury, 2011. 125 p. (rus)
2. Inzhenerno-tekhnicheskie meropriyatiya grazhdanskoy oborony. [Engineering and technical measures for civil defense] *TKP 112-2011*, introduced 22.12.11. Minsk: MChS, 2011. 27 p. (rus)
3. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya zhilykh i obshchestvennykh zdaniy i sooruzheniy. Poryadok provedeniya. [Technical operation in residential and public buildings and constructions. The order of realisation] *TKP 45-1.04-14-2005*, introduced 10.10.2005. Minsk: Minstroyarkhitektury, 2006. 40 p. (rus)
4. Zdaniya i sooruzheniya. Tekhnicheskoe sostoyanie i obsluzhivanie stroitel'nykh konstruktsiy i inzhenernykh sistem i otsenka ikh prigodnosti k ekspluatatsii. Osnovnye trebovaniya. [Buildings and constructions. Technical state and maintenance of building constructions and engineering systems, and the evaluation of their suitability for exploitation] *TKP 45-1.04-208-2010*, introduced 15.07.2010. Minsk: Minstroyarkhitektury, 2011. 23 p. (rus)
5. Vzryvobezopasnost' khimicheskikh proizvodstv i ob"ektov. Obshchie trebovaniya. [Explosion safety of chemical productions and objects. General requirements] *TKP 506-2013*, introduced 23.11.2013. Minsk: MChS, 2013. 87 p. (rus)
6. Metodika prognozirovaniya masshtabov zarazheniya sil'nodeystvuyushchimi yadovitymi veshchestvami pri avariakh (razrusheniyakh) na khimicheski opasnykh ob"ektakh i transporte [Methods of forecasting of large scale contamination by strong poisonous substances in result of the accidents (destructions) at chemically hazardous objects and transports]: *RD 52.04.253-90*, introduced 01.07.90. Leningrad : Gidrometeoizdat, 1991. 23 p. (rus)
7. Stroitel'naya klimatologiya. *SNB 2.04.02-2000*, introduced 7.12.2000. Minsk: Minstroyarkhitektury 2001. 40 p. (rus)

УДК 519.876

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КВОИ ПО ИХ СПОСОБНОСТИ К ФУНКЦИОНИРОВАНИЮ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

Н.М. Бобович

В статье рассматривается оценка состояния критически важных объектов информатизации (КВОИ) по их способности к функционированию в условиях воздействия внутренних и внешних дестабилизирующих факторов. Проведен анализ воздействия на структурные элементы КВОИ внешних дестабилизирующих факторов и на этой основе определены индивидуальные и групповые непрерывные функции состояния и методы их преобразования в дискретные состояния для последующего расчета материального и функционального ущербов.

Ключевые слова: устойчивость функционирования, живучесть, функция состояния, дестабилизирующие факторы.

(Поступила в редакцию 12 сентября 2016 г.)

Введение. Критически важные объекты информатизации (КВОИ) являются сложными системами, которые осуществляют (обеспечивают) выполнение ответственных функций, нарушение (прекращение) выполнения которых может привести к значительным негативным последствиям для национальной безопасности в политической, экономической, социальной, информационной, экологической, иных сферах [1, 2].

Способность КВОИ выполнять свои функции при выходе из строя части элементов в результате воздействия дестабилизирующих факторов (ДФ) характеризуется его устойчивостью функционирования.

Основой исследования устойчивости функционирования сложных систем является прогноз их возможных состояний при дестабилизирующих воздействиях и анализ возможных путей управления факторами, формирующими эти состояния. Оценка возможных состояний сложных функционирующих систем, как правило, осуществляется с использованием двух взаимосвязанных характеристик: материального и функционального ущерба.

Основная часть. Воздействующие на КВОИ дестабилизирующие факторы подразделяются на две группы: внутренние и внешние дестабилизирующие факторы, что позволяет рассматривать устойчивость функционирования КВОИ как совокупность двух составляющих – надежности и живучести.

Надежность характеризует свойство КВОИ сохранять способность выполнять заданные функции в условиях воздействия внутренних ДФ, источники воздействия которых находятся внутри КВОИ (старение электрорадиоэлементов, нарушение электромагнитной совместимости, качество электрических контактов и др.). Как правило, о характере воздействия этих факторов имеется достаточная информация, чтобы осуществлять их локализацию и соответствующие профилактические и ремонтно-восстановительные работы (мероприятия) на основных этапах жизненного цикла КВОИ.

Живучесть КВОИ – это свойство КВОИ сохранять способность выполнять требуемые функции в условиях, создаваемых воздействиями внешних дестабилизирующих факторов

К внешним дестабилизирующим факторам по отношению к КВОИ относятся такие дестабилизирующие факторы, источники которых расположены вне КВОИ.

Классификация и краткая характеристики основных источников внешних дестабилизирующих факторов приведена на рис.1.

Анализ воздействия внешних дестабилизирующих факторов на функционирование КВОИ показывает, что наибольшую угрозу для его устойчивости представляют источники пространственного действия или многочисленные источники локального действия, возбужденные кратковременно в разных местах большого пространства, а также нецеленаправленные воздействия, от которых КВОИ может пострадать косвенным образом.

Первоначальная оценка воздействия внешних дестабилизирующих факторов производится относительно объектов, поражаемых как единое целое. Такими объектами в составе КВОИ являются человек, оборудование, автомобиль, здание и др. виды техники, запасы материальных средств и т.п. При воздействии на эти объекты энергетических полей они

будут испытывать различные физические нагрузки, величина которых может существенно превышать пределы их физической переносимости. Устойчивость любого объекта к физическим воздействиям определяется зависимостью его состояния после воздействия от величины воздействия. В качестве количественной меры состояния используется величина сохраняемой работоспособности (производительности) и затраты на восстановление работоспособности до ее исходного состояния.

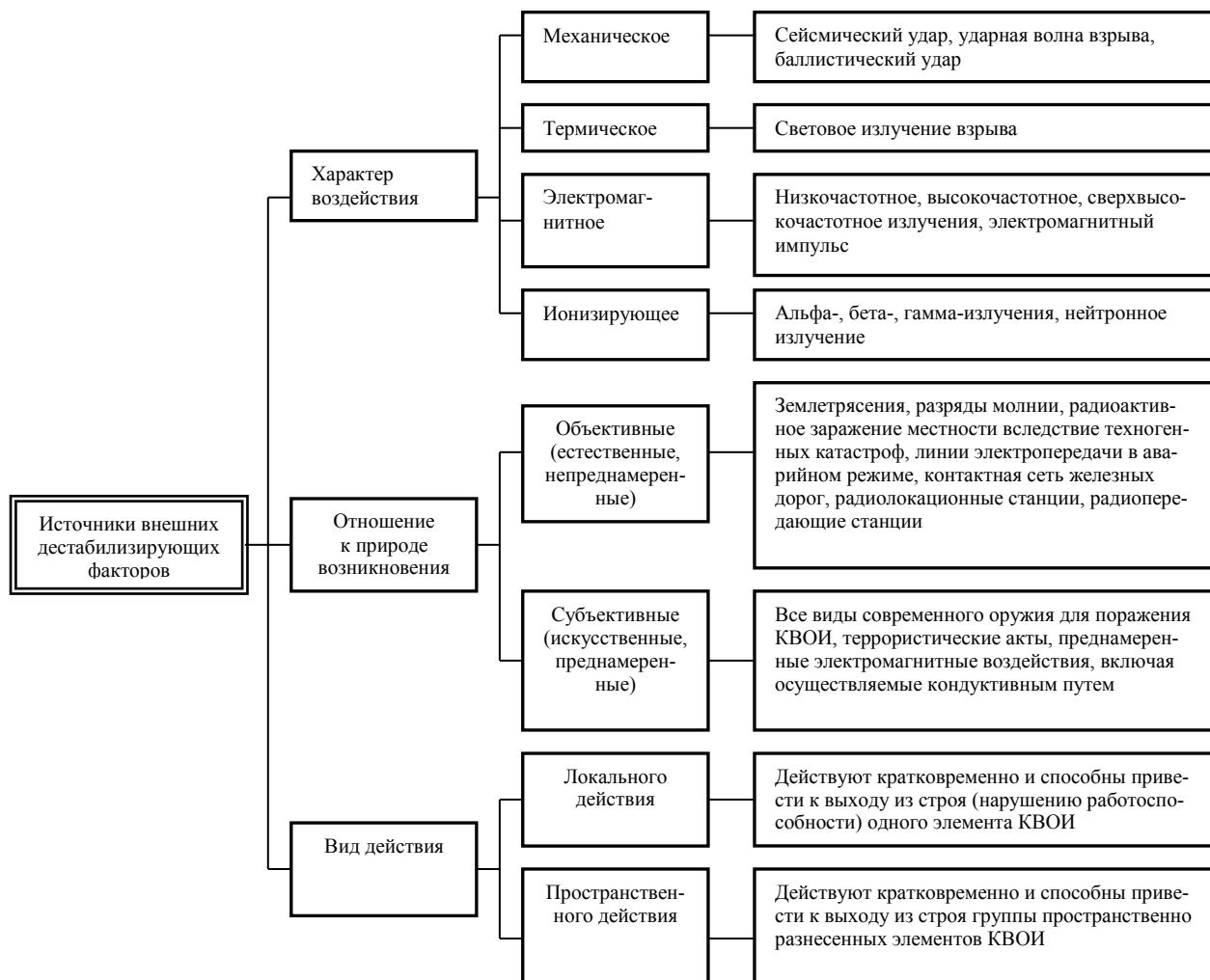


Рисунок 1 – Классификация основных источников внешних дестабилизирующих факторов КВОИ

Вводя обобщенные обозначения: B – для величины физического воздействия, I – для сохраняемой работоспособности и C – для затрат на восстановление, получим количественную меру устойчивости в виде системы двух функций состояния:

$$I = I(B),$$

$$C = C(B).$$

Характер зависимости сохраняемой производительности и затрат на восстановление от величины воздействия приведен на рис. 2.

Зависимости $I(B)$ и $C(B)$ существенно индивидуальные, т. е. не совпадают даже для идентичных объектов. Это несовпадение обусловлено технологическим разбросом прочностных характеристик, степенью износа и другими особенностями объектов, в результате для группы однотипных объектов количественная мера устойчивости будет представляться совокупность несовпадающих между собой индивидуальных функций состояния (рис. 1).

Для упрощения практических расчетов вместо непрерывных функций состояния используются пять дискретных состояний, определяемых по величине затрат на восстановление (рис. 3).

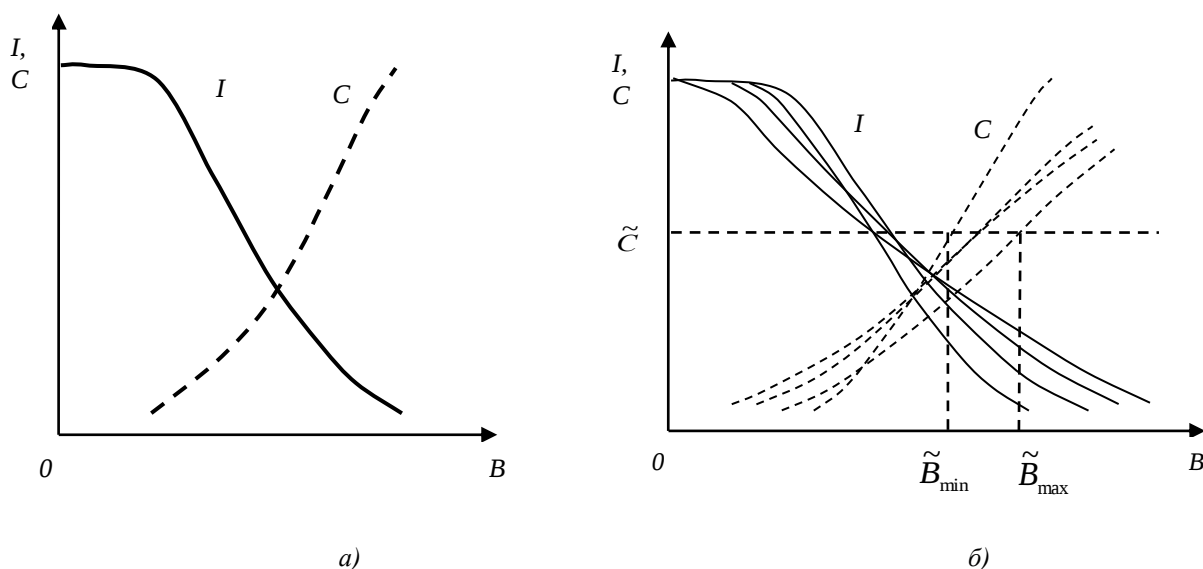


Рисунок 2 – Индивидуальные (а) и групповые (б) функции состояния

Состояние		Затраты на восстановление (вид восстановительного ремонта)	Групповая функция состояния
индекс	степень поражения		
4	Полная	Восстановлению не подлежит	
3	Сильная	Капитальный ремонт	
2	Средняя	Средний ремонт	
1	Слабая	Текущий (мелкий) ремонт	
0	Исправен		

Рисунок 3 – Схема дискретных расчетных состояний

В качестве границ состояний техники и сооружений приняты повреждения, соответствующие затратам на мелкий, средний и капитальный ремонты, а для людей затраты на лечение, которые могут исчисляться в трудозатратах, продолжительности лечения или обобщенном денежном выражении.

Величина физических воздействий, соответствующая границам перехода из состояния в состояние, задается обычно в виде диапазона значений: B_{min} – для наименее устойчивых и B_{max} для наиболее устойчивых объектов данного типа.

Приближенные расчеты могут производиться по среднему значению величины физических воздействий на границах перехода:

$$\tilde{B} \cong \frac{B_{min} + B_{max}}{2}.$$

Для сохраняемой работоспособности принимается в расчет два дискретных состояния: исправен и выход из строя. Выход из строя соответствует состоянию, при котором объект не может быть использован по своему прямому назначению, а его перевод в пригодное для использования состояние превышает затраты на техническую эксплуатацию в нормальных условиях.

Для объектов техники, оборудования и сооружений выход из строя характеризуется средними повреждениями. Для людей выход из строя является промежуточным состоянием

между легкими и средними повреждениями. Это обусловлено тем, что часть легко пораженных остается в строю, получая медицинскую помощь амбулаторно, и сохранением работоспособности в период скрытого течения лучевого заболевания.

В зависимости от степени тяжести и характера поражения потери делятся на безвозвратные и восстанавливаемые. К безвозвратным потерям относят не подлежащие восстановлению объекты и пораженные со смертельным исходом или неблагоприятным прогнозом возвращения к производственной деятельности по специальности после излечения. Для людей, кроме того, существенна классификация потерь по индивидуальным показателям, в которых потери делятся на безвозвратные и санитарные. К безвозвратным потерям относят потери со смертельным исходом и с неблагоприятным прогнозом по жизненным показателям, а к санитарным – всех пораженных, нуждающихся в медицинской помощи.

Характер поражения людей, техники, оборудования, сооружений и запасов материальных средств будет определяться совокупным воздействием всех поражающих факторов. Область пространства, в пределах которой физические воздействия хотя бы по одному поражающему фактору превосходят уровень слабых повреждений для наименее устойчивых объектов одного типа, называется зоной поражения этого типа объектов. Пространство за пределами зоны поражения называется зоной безопасности. Зона поражения, в свою очередь, делится на зону достоверного и зону вероятного (возможного) поражения.

В зоне достоверного поражения поражаются все находящиеся в ней объекты данного типа, включая самые устойчивые из них.

В зоне вероятного поражения объекты могут поражаться или не поражаться в зависимости от их индивидуальных характеристик устойчивости. Площадь зоны вероятного поражения, как правило, существенно больше площади зоны достоверного поражения.

Во внутренней части зоны поражения наиболее характерными будут комбинированные (многофакторные) поражения, а на границе, по одному преобладающему фактору. Для людей на открытой местности такими преобладающими факторами являются: проникающая радиация, ударная волна и световое излучение. Для техники и вооружения определяющим границу поражения фактором является ударная волна.

Заключение. Ввиду вероятностного характера воздействия внутренних и внешних дестабилизирующих факторов и неполной определенности в показателях стойкости элементов и КВОИ в целом показатели надежности и живучести КВОИ могут только прогнозироваться и поэтому носят вероятностный характер.

Основой исследования устойчивости сложных систем является прогноз их возможных состояний при дестабилизирующих воздействиях и анализ возможных путей управления факторами, формирующими эти состояния.

Прогноз воздействий внешних дестабилизирующих факторов как на весь КВОИ, так и на отдельные его элементы, можно рассматривать по ущербу, который они наносят КВОИ [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. О некоторых мерах по обеспечению безопасности критически важных объектов информатизации: Указ Президента Республики Беларусь от 25 октября 2011 г. № 486 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Национальный Центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2016.
2. О некоторых вопросах безопасной эксплуатации и надежного функционирования критически важных объектов информатизации: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 марта 2012 г. № 293 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Национальный Центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2016.
3. Национальный стандарт Российской Федерации. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. ГОСТ Р 53111-2008. – М : Стандартинформ, 2009.
4. Бобович, Н.М Методы оценки ущербов в задачах количественного анализа живучести критически важных объектов информатизации / Н.М. Бобович, В.В. Маликов // Доклады БГУИР 4(82). Минск, 2014. С. 59-66.

EVALUATION OF COI FOR THEIR ABILITY TO FUNCTION IN CONDITIONS OF DESTABILIZING FACTORS

Nikolai Bobovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

State educational institution «Academy of the Ministry of Interior of the Republic of Belarus»,
Minsk, Belarus

Purpose. The article is devoted to assessing the state of critical objects of information (COI) on their ability to function in conditions of internal and external destabilizing factors.

Methods. The approach to the definition of the material and functional damage of COI based on individual and group continuous state functions of structural elements and methods for converting them to discrete states for the quantitative analysis of the functioning of stability of COI.

Findings. Taking into account the classification and analysis of the impact of destabilizing factors individual and group continuous functions of the state of structural elements of COI were identified.

The classification and analysis of the impact of external destabilizing factors on the structural elements of COI is given and, on this basis, individual and group continuous functions of the state of elements and the methods for their conversion into discrete states for the subsequent calculation of the material and functional damage is determined.

Application field of research. The results obtained can be used to quantify and analyze the sustainability of COI that perform critical functions under the conditions of influence of both internal and external destabilizing factors, as well as the development of specific measures (ways) to improve the functioning of stability COI.

Conclusions. Destabilizing factors are classified and individual and group continuous functions of the state of COI structural elements are determined. The methods for their conversion into discrete states are defined. The probabilistic nature of the impact of destabilizing factors and incomplete certainty in terms of resistance of elements and COI generally determine the subsequent forecast of their possible states at destabilizing influences as well as the analysis of possible ways of controlling the factors forming these states.

Keywords: stability of functioning, vitality, state function, destabilizing factors.

(The date of submitting: September 12, 2016)

REFERENCES

1. On some measures to ensure the security of critical information of objects [On some measures to ensure the security of critical information of objects]: *Presidential Decree dated October 25, 2011 No. 486*, available at: <http://www.levonevski.net/pravo/norm2013/num06/d06545.html> (accessed: 25.09.2015). (rus)
2. On some issues of safe operation and reliable functioning of the critical objects of information [On some issues of safe operation and reliable functioning of the critical objects of information]: *Resolution of the Council of Ministers of March 30, 2012 No. 293*, available at: <http://www.levonevski.net/pravo/norm2013/num05/d05400.html> (accessed: 25.08.2015). (rus)
3. The Russian Federation National Standard. Stability of functioning of the common communication network. Requirements and test methods: *GOST R 53111-2008*. Moscow: Standartinform 2009. (rus)
4. Bobovich N.M., Malikov V.V. Methods of assessing the damage in the problems of the quantitative analysis of the survivability of critical facilities of information. *Reports BSUIR 4(82)*. Minsk, 2014. Pp. 59-66. (rus)

УДК 371.3:612.013–027.45

МЕТОД КЕЙСОВ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА»

Дюбкова Т.П.

В статье представлен опыт обучения студентов посредством метода кейсов при освоении содержания дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека» в Белорусском государственном университете. Метод кейсов использован для развития у студентов способностей к анализу чрезвычайной ситуации, поиску оптимального паттерна поведения и формирования мотивации к повышению уровня физической культуры. Установлено, что высокий уровень физической подготовленности, развитие эмоционально-волевых и нравственных качеств, способности к самоконтролю и саморегуляции поведения являются дополнительным ресурсом выживания человека в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера.

Ключевые слова: безопасность жизнедеятельности человека, чрезвычайная ситуация, паттерн поведения, метод кейсов, студенты, мотивация, физическая культура.

(Поступила в редакцию 5 октября 2016 г.)

Введение. Реализация компетентностной модели подготовки специалиста требует внедрения в образовательный процесс инновационных технологий, обеспечивающих его личностно-ориентированный и проблемно-исследовательский характер, а также модернизации программно-методического и дидактического оснащения, направленного на повышение качества обучения и роли самостоятельной работы студентов. На современном этапе в качестве эффективных образовательных технологий выступают технологии проблемно-модульного обучения, коммуникативные, проектные, кейс-технологии, исследовательские методы. При организации в учреждениях образования практических и семинарских занятий предпочтение отдается развивающим технологиям, основанным на рефлексивно-деятельностных формах и методах обучения (мозговой штурм, игровые методы, дискуссия, пресс-конференция, метод кейсов, учебные дебаты, круглый стол) [3]. Цель технологий развивающего обучения – всестороннее гармоничное развитие личности, при этом знания выступают в качестве средства достижения этой цели.

Основная часть. *Цель работы* – представить опыт использования метода кейсов при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека» для развития у студентов способностей к анализу чрезвычайной ситуации, поиску оптимального паттерна поведения и формирования мотивации к повышению уровня физической культуры.

Учебная дисциплина «Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций» относится к перечню дисциплин, обязательных для изучения на первой ступени высшего образования (в том числе для непрофильных специальностей), включенных в состав интегрированной учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека». Последняя относится к циклу общепрофессиональных дисциплин (государственный компонент). Цель изучения интегрированной учебной дисциплины в учреждениях высшего образования Республики Беларусь – формирование культуры безопасности жизнедеятельности будущих специалистов, основанной на системе социальных норм, ценностей и установок, обеспечивающих сохранение их жизни, здоровья и работоспособности в условиях постоянного взаимодействия со средой обитания [1].

При изучении студентами дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека» в образовательный процесс автором были внедрены различные активные методы обучения: метод кейсов (case-study, или метод конкретных ситуаций), «мозговой штурм» («мозговая атака»), открытая дискуссия. Case-study – интерактивный метод, основанный на обучении путем решения конкретных ситуаций (кейсов) [2]. Метод кейсов использован при освоении содержания модуля 1 «Организация защиты населения и объектов от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, опасностей военного времени» типовой учебной программы «Безопасность жизнедеятельности человека». Целевая аудитория – студенты 1-го курса гуманитарных специальностей Белорусского государственного университета (81 чел.). Успешная реализация метода предусматривала распределение студентов на под-

группы по 10–15 человек (оптимальное количество). Вид занятий в каждой подгруппе – практическое занятие продолжительностью 2 академических часа.

Основные задачи, решаемые в процессе реализации метода кейсов при изучении вышеназванной дисциплины, систематизированы следующим образом:

1) развитие у студентов умений и навыков мыслительной деятельности, обобщения информации и вычленения в ее структуре главного и второстепенных компонентов, развитие умений работать в команде, способностей аргументировать и отстаивать собственную точку зрения, слушать и учитывать альтернативное мнение;

2) формирование отношения к человеческой жизни как наивысшей ценности;

3) развитие способностей к анализу ситуации, поиску рационального решения проблемы, обоснованного алгоритма действий и оптимальной модели поведения в чрезвычайной ситуации;

4) формирование адекватных представлений о роли физической подготовки как дополнительного ресурса выживания в чрезвычайных ситуациях, сопряженных с высоким риском для жизни и здоровья.

Оперативным источником материала для кейсов служили интернет-ресурсы. В качестве содержательно-информационных средств использовались учебные видеоматериалы (учебный видеокейс) или фрагменты документальных фильмов, основанных на реальных чрезвычайных ситуациях, связанных с опасными природными явлениями, стихийными бедствиями или техногенными катастрофами (землетрясение, пожар в многоэтажном здании, лесной пожар, транспортная авария/катастрофа). Продолжительность видеофильма составляла в среднем 7–9 минут (не более 10 минут). В случае необходимости для предотвращения искажения первичной информации при ее анализе и исключения ошибок при принятии решения студентам была предоставлена возможность повторного просмотра видеоматериалов. Структура учебного видеокейса предполагала наличие не только сюжетной части, но и информационной, позволяющей правильно понять развитие событий, а также методической части, включавшей четкую формулировку задания по анализу кейса для студентов, потенциальных вопросов для дискуссии и презентации, записку для преподавателя. В зависимости от характера сюжетной части формулировалась цель кейса – обучение студентов алгоритму принятия адекватных решений в зоне стихийного бедствия, катастрофы или поиск оптимальных путей выхода из чрезвычайной ситуации, требовавших тщательно продуманных действий, направленных на выживание и сохранение здоровья.

Традиционная схема решения кейса включала 5 этапов: 1) знакомство с чрезвычайной ситуацией, ее источником и причинами возникновения; 2) выделение основной проблемы (или проблем), выявление основных видов опасности для жизни и здоровья людей; 3) генерация идей для «мозгового штурма»; 4) анализ последствий принятия решения или предложенных путей выхода из зоны бедствия; 5) собственно решение кейса – предложение одного или нескольких оптимальных вариантов поведения, оценка альтернатив, указания на возможные сопутствующие проблемы, пути предотвращения их возникновения или способы устранения.

Элемент новизны решения кейса состоял в том, чтобы, войдя в его ситуационный контекст и подвергнув «лавину» идей творческому анализу с целью поиска конструктивного решения проблемы, дать сравнительную оценку паттерну поведения в чрезвычайной ситуации людей, обладающих различным уровнем физической подготовленности, отличающихся степенью выраженности эмоционально-волевых и нравственных качеств, способностью к самоконтролю поведения. Уровень физической подготовленности оценивался по критериям выносливости, быстроты реакции, силы, ловкости, степени развития двигательных навыков. Методическая часть кейса была дополнена расшифровкой соответствующих терминов и понятий, имеющих отношение к физической культуре личности. В нее был включен перечень жизненно важных двигательных навыков и физических упражнений, обеспечивающих их формирование [4], а также наглядный материал в форме мультимедиа. Для успешной реализации сформированных навыков в условиях чрезвычайной ситуации в методической части кейса были рекомендованы следующие приемы: при необходимости объединение отдельных физических упражнений в комплексы; усложнение их такими элементами, как наличие препятствий, помех, отвлекающих факторов; оценка возможности выполнения упражнений на уменьшенной площади опоры, в условиях повышенного риска для жизни и др.

Для обсуждения кейса и анализа идей с целью поиска конструктивного решения проблемы использован метод «мозговой атаки» («мозговой штурм»). Непременным условием активизации умственной деятельности студентов, плодотворной творческой работы и создания благоприятной психологической обстановки было исключение качественной оценки выдвигаемых идей и критических замечаний как со стороны сверстников, так и педагога. На этапе анализа чрезвычайной ситуации и поиска оптимальных путей выхода из нее студентам предоставлялась полная свобода творчества с поощрением любого количества предлагаемых идей, возможностью их комбинации, улучшения, отрицания и видоизменения. Интерактивная образовательная технология позволяла вовлечь в процесс генерирования идей всех студентов подгруппы независимо от объема теоретических знаний, психологических особенностей и социального статуса каждого участника. Все предложенные идеи записывались в протокольный список. Когда поток идей иссяк, начался их творческий анализ. Конечным результатом коллективной работы явилась соответствующая уровню физической подготовленности модель поведения людей в чрезвычайной ситуации природного или техногенного характера, а также возможные оптимальные пути выхода, требующие четкого алгоритма действий в связи с наличием угрозы для жизни и здоровья.

Следующий этап – публичное представление (презентация) результатов анализа кейса и спровоцированная докладчиком дискуссия. Поводом для дискуссии стал неодинаковый паттерн поведения в чрезвычайной ситуации людей, обладающих различным уровнем физической подготовленности, степенью развития эмоционально-волевых и нравственных качеств, самоконтроля поведения. В завершение процесса обучения каждый участник получил задание по подготовке индивидуального письменного анализа кейса. Содержательная активность студента в открытой дискуссии и/или устном представлении результатов анализа и письменный отчет-презентация послужили основой для формирования итоговой оценки. В контексте сюжетной части кейса и основной проблемы, подлежащей решению в процессе «мозгового штурма», студентам было предложено разработать рекомендации по организации мер, способствующих повышению привлекательности физической активности для молодежи.

Групповой разбор кейса потребовал кооперации усилий всех членов команды и активной творческой работы каждого участника. Достоинством метода кейсов при освоении содержания модуля учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека» явилось развитие у студентов коммуникативных навыков, культуры общения, способности к анализу ситуации и поиску рационального решения проблемы. Следует отметить также развитие способности воспринимать и оценивать информацию, поступающую одновременно по разным каналам (зрительному, слуховому анализаторам) и в разных формах (вербальной, невербальной). Важным результатом коллективной работы явилось приобретение участниками обсуждения опыта преодоления препятствий при поиске путей выхода из чрезвычайной ситуации, формирование способности принимать на себя ответственность за решения в условиях неопределенности и высокого риска. В конечном итоге обучающий тренинг посредством метода кейсов позволил выработать у студентов паттерн поведения, направленный на сохранение жизни и здоровья, осуществимый в случае необходимости в реальной чрезвычайной ситуации природного или техногенного характера.

Анализ кейса показал, что набор стереотипных реакций, характер и последовательность адекватных действий в значительной мере определяются жизненно важными двигательными навыками, приобретенными ранее, и существенно отличаются у людей с различным уровнем физической подготовленности. Необходимость быстрого реагирования на любой вид опасности источника чрезвычайной ситуации требует мгновенной мобилизации физических ресурсов организма, чтобы совершать ряд своевременных адекватных действий, направленных на выживание. По данным литературы, почти 99,0 % людей, внезапно оказавшихся в ситуациях, угрожающих жизни, испытывают в течение первых минут страх и растерянность. В случае отсутствия физической и психологической готовности они не способны к активным действиям по спасанию собственной жизни в течение длительного промежутка времени, что может привести к неблагоприятным последствиям. Единственный путь к победе над страхом и сохранению работоспособности – соответствующая подготовка. Она включает превентивное обучение целенаправленному проявлению деятельности в условиях, сопряженных с опасностью для жизни и здоровья. Приобретение навыков поведения требует многократного повторения и закрепления определенных действий. Так, для выживания в природной чрезвычайной ситуации, источником которой являются гео-

логические процессы (землетрясение, оползень), необходимы навыки быстрого передвижения между препятствиями, навыки преодоления горизонтальных и вертикальных препятствий, а также соскакивания с препятствий и сооружений (прыжки в глубину). Совершенствование этих навыков достигается с помощью таких упражнений, как «слаломный» бег между стойками, бег «змейкой», лазание по канату без помощи ног или перелезание с каната на канат, запрыгивание на препятствие и спрыгивание с него [4]. В случае обрушения поврежденных строительных конструкций и образования завалов для спасения собственной жизни или жизни находящихся под обломками здания людей требуется тщательно отработанная техника перелезания (переползания) через различные препятствия. С этой целью в ходе специальных физических упражнений приобретаются навыки пролезания, подлезания, передвижения и переползания в условиях малой высоты, в узких проходах. Отсутствие таких навыков у человека с недостаточной физической подготовленностью уменьшает его шансы на выживание в чрезвычайной ситуации. Для того чтобы быстро покинуть горящее многоэтажное здание, необходимо заблаговременно развивать и совершенствовать координационные способности (ходьба по бревну с переноской партнера, серийные прыжки через барьеры с ведением мяча и др.), приобретать навыки равновесия и передвижения по ограниченной опоре, навыки перелезания через различные препятствия. Чрезвычайная ситуация, источником которой является лесной пожар, требует от человека развития выносливости и совершенствования скоростных способностей. Они достигаются с помощью физических упражнений, основу которых составляет бег (с максимальной частотой движений в упоре стоя, с максимальной скоростью при незначительном периоде отдыха).

Систематическое выполнение физических упражнений содействуют реализации внутреннего потенциала организма и позволяют достигнуть физического совершенства, необходимого для выполнения адекватных действий в любой ситуации, сопряженной с риском для жизни. Они способствуют также формированию эмоционально-волевых и нравственных качеств личности. Физически подготовленный человек отличается выраженным самообладанием и высокой эмоциональной устойчивостью. Самообладание связано с самоконтролем и саморегуляцией эмоционального поведения, с ограничением эмоционального реагирования на источник чрезвычайной ситуации или отдельный психотравмирующий фактор. Оно включает в себя различные волевые качества, в том числе выдержку, смелость и отчасти решительность. Для решительных людей характерно минимальное время принятия жизненно важного решения в ситуациях высокого риска. Промедление с принятием такого решения либо его отсутствие может иметь крайне неблагоприятные последствия как для самого человека, так и для социального окружения. Физически неподготовленные лица отличаются, наоборот, эмоциональной неустойчивостью и склонны к массовым паническим реакциям. Следовательно, высокая физическая активность позволяет не только повысить уровень физической подготовленности, но и сформировать определенные волевые и нравственные качества личности, создать собственную систему жизненных ценностей и установок.

Предложения по организации мер, способствующих повышению привлекательности физической активности для молодежи, были дополнены и систематизированы автором статьи по трем основным направлениям:

а) создание благоприятных условий для занятий физической культурой и спортом: доступность объектов физической культуры и спорта и приближение их к местам проживания студентов, современное оснащение и безопасное оборудование спортивных сооружений, невысокая стоимость организованных занятий спортом, свобода выбора привлекательного вида спорта, популяризация езды на велосипеде и ходьбы пешком как наиболее полезных в экологическом и социальном плане способов отдыха и передвижения, организация велосипедных маршрутов и пеших троп здоровья;

б) психологический комфорт : высокая культура проведения спортивных и оздоровительных мероприятий, соответствующая квалификация тренеров и инструкторов, креативность преподавателей по физической культуре в учреждениях образования, учет интересов молодых людей, занимающейся спортом, адаптация физических нагрузок к состоянию здоровья и уровню физической подготовки, дружественная обстановка и атмосфера сотрудничества в спортивных залах, клубах и центрах;

в) удовлетворенность результатами физической активности. Свобода выбора привлекательного вида спорта, использование специальных комплексов упражнений, адаптированных к индивидуальным физическим возможностям и состоянию здоровья студента,

стимулируют развитие определенных двигательных навыков и умений владеть своим телом, повышают самооценку и формируют уверенность личности в себе. Осознание достигнутого прогресса в собственном развитии способствует получению удовольствия от физической активности и сохранению мотивации к занятиям физической культурой и спортом как в ближайшей, так и отдаленной перспективе.

Заключение. Метод кейсов является эффективной образовательной технологией при освоении содержания интегрированной учебной дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека». Обучение посредством метода кейсов развивает у студентов способность к анализу ситуации, формирует умения выявлять опасные факторы источника чрезвычайной ситуации и предотвращать их воздействие на организм благодаря тщательно продуманной стратегии поведения, имитирует механизм принятия решений в условиях неопределенности и высокого риска для жизни, формирует мотивацию к физическому совершенствованию. Высокий уровень физической подготовленности (выносливость, быстрота реакции, сила, ловкость, развитие двигательных навыков и др.), развитие эмоционально-волевых и нравственных качеств, способности к самоконтролю и саморегуляции поведения являются дополнительным ресурсом выживания человека в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. Естественное стремление человека выжить в условиях чрезвычайной ситуации, сопряженной с высоким риском для жизни и продемонстрированной студентам на примере учебного видеокейса, является мощным побудительным стимулом к развитию и совершенствованию жизненно необходимых двигательных навыков. В свою очередь, формирование у студентов устойчивой мотивации к физическому совершенствованию при обучении посредством метода кейсов является определяющим фактором для повышения уровня физической культуры. Следовательно, кейс выполняет не только обучающую нагрузку, при его решении достигается также воспитательный эффект. Реализация личностно-ориентированного подхода к повышению уровня физической культуры студентов классического университета предусматривает создание благоприятных условий для занятий физической культурой и спортом, психологический комфорт при их проведении, развитие удовлетворенности результатами физической активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности человека : типовая учеб. программа для учреждений высшего образования, рег. № ТД-ОН.006/тип.: утв. М-вом образования Респ. Беларусь 08 июля 2013 г. / Белорус. гос. ун-т ; авт.-сост. В.Е. Гурский [и др.]. – Минск : РИВШ, 2013. – 34 с.
2. Долгоруков, А. Метод case-study как современная технология профессионально-ориентированного обучения [Электронный ресурс] / А. Долгоруков. – Режим доступа : <http://pycode.ru/2012/05/case-study/>, свободный – Дата доступа : 29.02.2016.
3. Жук, О.Л. Педагогическая подготовка студентов : компетентностный подход / О.Л. Жук. – Минск : РИВШ, 2009. – 336 с.
4. Приешкина, А.Н. Содержание и методика подготовки учащихся старших классов к действиям в экстремальных ситуациях социального характера : автореф. дис. канд. пед. наук : 13.00.04 / А.Н. Приешкина. Сибирский гос. ун-т физ. культуры и спорта. – Омск, 2005.

CASE-STUDY AS EFFECTIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGY AT STUDYING INTEGRATED ACADEMIC DISCIPLINE «SAFETY OF HUMAN VITAL ACTIVITY»

Tatyana Dyubkova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor
Belarusian State University, Minsk, Belarus

Purpose. The experience of teaching students of the Belarusian State University based on case-study when learning the content of the academic discipline «Safety of human vital activity» is presented in this article.

Methods. Instructional videos or fragments of documentaries, based on real natural and technogenic emergency situations, are used as a content-information resource. Case-study is used for the development of students' abilities to analyze an emergency, find the optimal pattern of behavior and form motivation to increase the level of physical culture.

Findings. The element of novelty of the decision of case was in the comparative assessment of the behavior of people with different levels of physical training, differing degrees of severity of emotional and volitional qualities and self-control of behavior in an emergency situation. High level of physical training (endurance, reaction time, strength, agility, improvement of motor skills), development of volitional and moral qualities, ability to self-control and self-regulation of behavior are an additional resource for human survival in natural and technogenic emergency situations.

Application field of research. The need for a rapid response to any kind of danger emergency source requires instant mobilization of the body's physical resources for the survival of the organism. Systematic physical exercise contributes to the implementation of the body's inner potential and allows achieving physical improvement necessary to perform appropriate actions in any situation involving risk to life. It also contributes to the formation of emotional and volitional and moral qualities of the person required for the survival.

Conclusions. Teaching of students through case-study develops ability to analyze the situation, creates the ability to identify emergency source hazards and prevent their effects on the body due to the behavior of an elaborate strategy, imitates the mechanism of decision making under conditions of uncertainty and high risk to life, develops motivation for physical improvement.

Keywords: safety of human vital activity, emergency situation, pattern of behavior, case-study, students, motivation, physical culture.

(The date of submitting: October 5, 2016)

REFERENCES

1. Gurskiy V.E., Dunay V.I., Dyubkova T.P., Arinchina N.G., Zhadobina L.A., Rudkovskiy P.E. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti cheloveka* [Safety of human vital activity]: tipovaya ucheb. programma dlya uchrezhdeniy vysshego obrazovaniya, reg. No TD-ON.006/tip.: utv. M-vom obrazovaniya Resp. Belarus' 08.07.2013, Belorus. gos. un-t. Minsk: RIVSh, 2013, available at <http://elib.bsu.by/handle/123456789/46904> (accessed: January 30, 2016). (rus)
2. Dolgorukov A. *Metod case-study kak sovremennaya tekhnologiya professional'no-orientirovannogo obucheniya* [Case-study as a modern technology of professional-oriented teaching], available at <http://pycode.ru/2012/05/case-study/> (accessed: February 29, 2016). (rus)
3. Zhuk O.L. *Pedagogicheskaya podgotovka studentov: kompetentnostnyy podkhod* [Pedagogical training of students: competence approach]. Minsk: RIVSh, 2009. 336 p. (rus)
4. Prieshkina A.N. *Soderzhanie i metodika podgotovki uchashchikhsya starshikh klassov k deystviyam v ekstremal'nykh situatsiyakh social'nogo kharaktera* [The content and methods of training of the pupils of higher forms for actions in extreme situations of social character]. Cand. ped. sci. diss. Synopsis: 13.00.04. Sibirskiy gos. un-t fiz. kul'tury i sporta. Omsk, 2005. (rus)

АВТОРЫ СТАТЕЙ

Абрамов Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор

Национальный университет гражданской защиты Украины, главный научный сотрудник
61023, Украина, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94
тел.: +38 (057) 704-04-81, basmanov@ukr.net

Балло Ярослав Вячеславович

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты ГСЧС Украины,
научный сотрудник центра технического регулирования
01011, Украина, г. Киев, ул. Рыбальская, 18
тел.: +38 (044) 280-13-97, 2801397@ukr.net

Бардушко Сергей Николаевич

Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации» Университета гражданской
защиты МЧС Беларуси, преподаватель кафедры повышения квалификации
222515, Беларусь, Минская область, Борисовский район, пос. Светлая Роща
тел.: +375 (33) 333-81-03, priest46@yandex.ru

Безносик Евгений Анатольевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: ftkdor@tut.by

Бенедюк Вадим Степанович

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты ГСЧС Украины,
главный специалист научно-испытательного центра
01011, Украина, г. Киев, ул. Рыбальская, 18

Бобович Николай Михайлович, кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Академия Министерства внутренних дел
Республики Беларусь»
220005, Беларусь, г. Минск, пр-т Машерова, 6
тел.: +375 (17) 289-21-61, n.bobovich@rambler.ru

Вермениук Валентин Валентинович, кандидат физико-математических наук

Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65

Волочко Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор

Государственное научное учреждение «Физико-технический институт
Национальной академии наук Беларуси», заведующий лабораторией
микрористаллических и аморфных материалов
220141, Беларусь, г. Минск, ул. Купчевича, 10
тел.: +375 (17) 369-87-62, phti@tut.by

Гончаренко Игорь Андреевич, доктор физико-математических наук, профессор

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», профессор кафедры естественных наук
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25

Грачулин Александр Владимирович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», старший преподаватель
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, д. 25
тел.: + 375 (17) 341-73-22, Grachulin_A@mail.ru

Дюбкова Татьяна Петровна, кандидат медицинских наук, доцент

Белорусский государственный университет, доцент кафедры экологии человека
220030, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, д. 4
тел.: +375 (29) 624-33-65, djubkova_t_p@mail.ru

Еремин Алексей Петрович, кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», доцент кафедры гражданской защиты
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел.: + 375 (17) 341-72-11; e-mail: 58eremin@mail.ru

Жартковский Сергей Владимирович, кандидат технических наук, ст. научный сотрудник

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты ГСЧС Украины, ведущий научный сотрудник центра технического регулирования
01011, Украина, г. Киев, ул. Рыбальская, 18
тел.: +38 (044) 280-13-97, zhart20@ukr.net

Зализный Дмитрий Иванович, кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», доцент кафедры электроснабжения
246746, Беларусь, г. Гомель, проспект Октября, 48
тел.: 8 (0232) 40-57-64, zaldmi@yandex.ru

Ивашечкин Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор

Белорусский национальный технический университет, заведующий кафедрой
220013, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65
тел.: +375 (17) 265-95-89, Ivaschekhin_vlad@mail.ru

Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», заведующий кафедрой естественных наук
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел.: +375 (17) 341-74-11, e-mail: iav@tut.by

Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», заместитель начальника университета по научной и инновационной деятельности
220118, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, д. 25

Костенко Виктор Климентьевич, доктор технических наук, професор

Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», заведующий кафедрой природоохранной деятельности
85300, Украина, Донецкая область, г. Покровск, пл. Шибанкова, 2
тел.: +38 (050) 473-82-18, vk.kostenko@gmail.com

Костенко Татьяна Викторовна, кандидат технических наук

Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины, доцент кафедры автоматических систем безопасности и электроустановок
18034, Украина, г.Черкасы, ул.Оноприенко, 8
тел.: +38 (050) 987-33-93, tatiana.kostenko@gmail.com

Круглов Георгий Георгиевич, кандидат технических наук, доцент

Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65

Кузьмицкий Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, доцент
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
профессор кафедры управления и защиты от чрезвычайных ситуаций
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 341-73-22; e-mail: mail@kii.gov.by

Кулешов Владимир Константинович, кандидат физико-математических наук
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
заведующий лабораторией кафедры естественных наук
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25

Кустов Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент
Национальный университет гражданской защиты Украины
61023, Украина, г. Харьков, ул. Чернышевская, 94
тел.: +38 (057) 707-34-92; e-mail: m.kustov.nuczu@gmail.com

Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», профессор кафедры естественных наук
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25

Линкевич Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент
Белорусский национальный технический университет
220013, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65
тел. +375 (29) 323-66-25, nlinkevich@bntu.by

Мороз Денис Равильевич, кандидат технических наук, доцент
Проектное научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие
«НИИ Белгипротопгаз», директор
220036, Беларусь, г. Минск, пер. Домашевский, 11А

Мурашко Ольга Александровна
Белорусский национальный технический университет, магистрант
220013, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65

Навроцкий Олег Дмитриевич, кандидат технических наук
Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности
и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь,
начальник отдела технологий ликвидации чрезвычайных ситуаций
220046, Беларусь, г. Минск, ул. Солтыса, д. 183а

Недашковская Ирина Васильевна
Белорусский национальный технический университет, преподаватель
220013, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65

Нижник Вадим Васильевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты ГСЧС Украины,
начальник центра технического регулирования
01011, Украина, г. Киев, ул. Рыбальская, 18

Новиков Михаил Николаевич, кандидат технических наук, доцент
Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет им. П.О. Сухого», декан энергетического факультета
246746, Беларусь, г. Гомель, проспект Октября, 48

Подболотов Кирилл Борисович, кандидат технических наук

Белорусский государственный технологический университет,
ведущий научный сотрудник кафедры технологии стекла и керамики
220006, Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова, 13а
тел.: +375 (29) 668 40 81, kirbor@tut.by

Рудченко Юрий Александрович, кандидат технических наук, доцент

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет им. П.О. Сухого», заместитель декана заочного факультета
246746, Беларусь, г. Гомель, проспект Октября, 48

Рябцев Виталий Николаевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
старший преподаватель кафедры автоматических систем безопасности
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел.: +375 (29) 248-78-17; e-mail: v.reabtsev@kii.gov.by

Сизиков Александр Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты ГСЧС Украины,
старший научный сотрудник центра технического регулирования
01011, Украина, г. Киев, ул. Рыбальская, 18

Терешенков Владимир Иванович, кандидат физико-математических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», доцент кафедры естественных наук
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел.: +375 (17) 341-74-11, e-mail: iav@tut.by

Тищенко Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент

Институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля Национального университета
гражданской защиты Украины, начальник кафедры
18034, Украина, г. Черкассы, ул. Оноприенко, 8
тел.: +38 (047) 255-09-56

Яшеня Дмитрий Николаевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
начальник кафедры организации службы, надзора и правового обеспечения
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел.: +375 (44) 715-58-34, surveyor@tut.by

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

1. Направляемые в журнал «Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси» статьи должны представлять собой 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 (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и другие). В этот объем входят таблицы, фотографии, графики, рисунки и список литературы.

3. Статья представляется 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 и дополнительные сведения, подготовленные в текстовом редакторе Microsoft Word, представляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес vestnik@ucp.by. Рисунки дополнительно представляются как отдельные файлы.

5. Материал статьи излагается в следующей последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи;
- информация о каждом авторе: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученое звание, место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны), должность, телефон, e-mail. Если авторов много указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;
- аннотация, ясно излагающая содержание статьи и пригодная для опубликования в аннотациях к журналам отдельно от статьи (не менее 80 и не более 120 слов);
- ключевые слова и словосочетания статьи (не более 15 слов);
- дата поступления статьи (месяц и год);
- введение; основная часть статьи; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;
- список цитированной литературы.

На отдельной странице на английском языке приводятся следующие сведения: название статьи; информация о каждом авторе: фамилия и имя (указываются по паспорту), ученая степень, ученое звание, страна, город, место работы; аннотация; ключевые слова и словосочетания; транслитерация на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы.

Для русскоязычных источников в транслитерации на латинице приводятся Ф.И.О. авторов, названия статей, журналов (если нет англоязычного названия), материалов конференций и 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>.

Необходимо учитывать, что англоязычная аннотация – независимый от статьи источник информации, предназначенный для англоязычных читателей, которые смогут по ней ознакомиться с содержанием работы. Рекомендуемый объем – 150-300 слов. В англоязычной аннотации уместно размещать ключевые фрагменты основной части статьи. Англоязычная аннотация должна включать в себя следующие пункты: *purpose* – раскрывается название статьи, определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования; *methods* – излагаются подходы, методы и технологии исследования; *findings* – приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна; *application field of research* – описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость; *conclusions* – подводятся итоги статьи, даются рекомендации, оценки, обозначаются перспективы исследования.

Основные требования к набору статей, представляемых в журнал, и пример оформления статьи размещены на сайте журнала <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.

**ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАБОРУ СТАТЕЙ,
представляемых в журнал
«Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси»**

Весь текст статьи, включая таблицы, примечания, надписи на рисунках и подрисуночные подписи, должен быть набран гарнитурой **Times New Roman**.

УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, ученые звания и степени, основной текст статьи должны быть набраны размером **12 пт**.

Место работы авторов, адреса, аннотация, ключевые слова и список цитируемой литературы должны быть набраны размером **11 пт**.

Надписи на рисунках и подрисуночные подписи, таблицы и примечания к ним, а также слово «Таблица» и заголовок таблицы должны быть набраны размером 10 пт.

Стили к абзацам и заголовкам не применять.

1. Параметры страницы

1.1. Поля: верхнее – **2 см**, нижнее – **2,3 см**, левое – **2,15 см**, правое – **2,15 см** (*Параметры страницы/Поля*).

1.2. Размер листа набора – **A4** (*Параметры страницы/Размер бумаги*).

2. УДК

2.1. Располагается в верхнем левом углу страницы без отступов.

3. Название статьи

3.1. Располагается на следующей строке после УДК по центру без отступов.

3.2. Набирается полужирным начертанием, без переносов слов.

3.3. Отделяется от УДК на **6 пт** (*Абзац/Отступы и интервалы/Интервал После – 6 пт*).

4. Информация об авторах

4.1. Инициалы и фамилии авторов

4.1.1. Располагаются на следующей строке после названия статьи **по центру** (*Абзац/Отступы и интервалы/Выравнивание – По центру*) **без отступов** (*Абзац/Отступы и интервалы/Отступ первая строка – (нет)*).

4.1.2. Набираются полужирным начертанием, без переносов.

4.1.3. Инициалы от фамилии отделяются неразрывным пробелом: **А.П. Петров** (*Ctrl + Shift + «пробел»*).

4.1.4. Отделяются от названия статьи на **6 пт**.

4.2. Информация о каждом авторе

4.2.1. Располагается по ширине страницы (*Абзац/Отступы и интервалы/Выравнивание – По ширине*).

4.2.2. Абзацный отступ – **Выступ 1 см** (*Абзац/Отступы и интервалы/Отступ первая строка – Выступ 1 см*).

4.2.3. Включает в себя:

- фамилию, имя, отчество полностью, ученую степень, ученое звание;
- место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны);
- должность, телефон, e-mail.

4.2.4. Сведения о разных авторах отделяются друг от друга на **6 пт**.

4.3. Если авторов много, указывается корреспондент по вопросам содержания статьи.

5. Аннотация (не мене 80 и не более 120 слов) и **ключевые слова и словосочетания** (не более 15 слов)

5.1. Располагаются на следующей строке после информации об авторах.

5.2. Аннотация и ключевые слова отделяются друг от друга на **6 пт** (*Абзац/Отступы и интервалы/Интервал После – 6 пт*).

5.3. Отступ абзаца справа и слева – **1 см**, отступ первой строки абзаца – **0,6 см** (*Абзац/Отступы и интервалы/Отступ Слева и Справа – 1 см, первая строка – Отступ 0,6 см*).

5.4. Отделяется от нижеследующей даты поступления на **6 пт**.

6. Дата поступления статьи приводится в виде: (поступила в редакцию 31 июня 2010 г.).

7. Основной текст статьи

7.1. Рекомендуется разбивать текст статьи на **Введение, Результаты, Обсуждение, Заключение** или **подобные им разделы**. Рекомендуется располагать эти слова в начале абзаца с выделением полужирным шрифтом, после них ставится точка, далее следует основной текст.

7.2. Располагается **по ширине** страницы (*Абзац/Отступы и интервалы/ Выравнивание – По ширине*).

7.3. Абзацный отступ (отступ первой строки) – **Отступ 1,25 см** (*Абзац/Отступы и интервалы/ Отступ первая строка – Отступ 1,25 см*).

7.4. Междустрочный интервал – **12 пт** (*Абзац/Отступы и интервалы/Интервал между-строчный – Точно 12 пт*).

8. Рисунки

8.1. Не разрешается использовать полутоновые фотографии, сканированные рисунки, надписи, выполненные от руки; все линии на рисунках должны быть четкие и равномерные по толщине.

8.2. Все надписи на рисунках должны быть набраны на компьютере и сгруппированы с рисунком.

8.3. Не допускается размещение рисунков в конце статьи (непосредственно перед списком литературы).

8.4. Рисунок должен находиться после абзаца, содержащего ссылку на него.

8.5. Отступ рисунка от основного текста сверху и снизу – **11 пт** (1 пустая строка).

8.6. Цифры или буквы, обозначающие детали, графики, части рисунка (1, 2, 3 или *a*, *b*, *в*) на рисунке и в подрисуночной подписи к нему имеют *курсивное* начертание.

8.7. Слово **Рисунок 1** и подрисуночная подпись располагаются на следующей строке после самого рисунка, отделяются от него на **6 пт** и имеют размер **10 пт** (**Рисунок 1 – Подрисуночная подпись**). Все выделяется полужирным шрифтом.

8.8. Выравнивание рисунков и подрисуночных подписей – по центру **без абзацных отступов**.

9. Таблицы

9.1. Таблица должна находиться после абзаца, содержащего ссылку на нее.

9.2. Не допускается размещение таблицы в конце статьи (непосредственно перед списком литературы).

9.3. Таблица создается посредством меню *Вставка/Таблица*, где указывается количество строк и столбцов.

9.4. Выравнивание данных в таблице – по центру.

9.5. Примечание (при необходимости) к таблице отделяется от таблицы на **6 пт**, выравнивается по ширине с отступом первой строки – **0,6 см**.

9.6. Слово *Примечание* выделяется курсивом, после него ставится точка.

9.7. Текст примечания следует за словом *Примечание* и начинается с прописной буквы.

9.8. Отбивка таблицы от основного текста сверху и снизу – **11 пт** (одна пустая строка).

10. Формулы

10.1. Отступ формул от текста сверху и снизу – **6 пт**, выравнивание – по центру.

10.2. Простые формулы, не содержащие дробей, знаков сумм, интегралов, одновременно верхних и нижних индексов, следует набирать как текст: $p = a, p^2, \lg a$.

Греческие буквы ($\alpha, \beta, \delta, \varphi, \lambda, \mu, \rho$ и др.), а также знаки ($\leq, \pm, \times, \neq, \infty, \rightarrow, ^\circ, \notin$ и др.) вставляются из меню *Вставка/Символ* шрифт *Symbol*.

10.3. Формулы, содержащие дроби, знаки сумм, интегралов, одновременно верхние и нижние индексы, следует набирать в редакторе формул *Microsoft Equation*:

$$\frac{[\text{H}_2\text{SO}_4] - \alpha}{[\text{C}_n\text{H}_m\text{O}_l\text{N}_d]}; \sum_{i=1}^n e; [\text{N}]_2 = \frac{m_N \cdot 100}{m_i(100 - W_S)}; \text{SO}_4^{2-}.$$

10.4. **Прямое начертание** должны иметь греческие символы ($\alpha, \beta, \delta, \varphi, \dots$), тригонометрические функции ($\text{tg}, \sin, \cos, \text{ctg}, \ln, \max$ и др.), единицы измерения (Вт, В, Дж, кг, м и пр.), кириллические буквы (П, Л, Ц), сокращения от русских или белорусских слов.

10.5. **Курсивное** начертание должны иметь латинские буквы, обозначающие переменные (K, y, z, x, V, i, j).

10.6. В расшифровке формул, которая начинается словом где (в статье данное слово не подчеркивать), символы и их порядок должны соответствовать символам и их порядку следования в формулах.

10.7. Математические символы в формулах, уравнениях следует отделять от слов, чисел пробелом.

10.8. Все формулы необходимо размещать в колонке шириной 8 см. Если длина фор-

мулы превышает ширину колонки (8 см), то следует разорвать данную формулу на несколько строк в соответствии с правилами переноса математических формул (по знаку «=» или знакам математических операций, повторяя их в начале второй строки).

10.9. Номер формулы выравнивается по правому краю колонки.

10.9.1. Если одна формула разделена на несколько строк, то номер формулы располагается напротив последней строки данной формулы.

10.9.2. Если номер относится к нескольким формулам одновременно, то он располагается по центру всех формул, которые он объединяет.

11. Литература

11.1. Ссылки на цитированную литературу необходимо оформить согласно требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 7.1-2003.

11.2. Слово **Литература** выделяется полужирным начертанием шрифта, выравнивается по центру колонки без абзацного отступа, имеет отступ сверху от основного текста – **6 пт** и снизу от списка литературы – **6 пт** (*Абзац/Отступы и интервалы/Интервал Перед и После – 6 пт*).

11.3. Источники цитирования нумеруются и приводятся в порядке их упоминания в тексте.

11.4. Каждый источник располагается с новой строки с абзацного отступа **0,6 см**.

11.5. Примеры оформления литературы см. на сайте Высшей аттестационной комиссии: <http://www.vak.org.by/>.

12. Некоторые правила набора

12.1. Дефис не отделяется в сложных словах: минерал-индикатор, К-пространство.

12.2. Тире отделяется с обеих сторон неразрывным пробелом (*Ctrl + Shift + «пробел»*) как знак препинания между словами, а также в следующих случаях: закон Бойля – Мариотта, система «человек – машина», май – июнь и т. п.

12.3. Тире не отделяется между цифрами, обозначающими пределы какой-либо величины (напр., 20-30 чел.).

12.4. Кавычки по всей работе должны быть одного вида («елочки»), они не отделяются от заключенных в них слов.

12.5. Знаки %, °, от предшествующих чисел отделяются пробелом (10 %, 12 °С, сам символ ° от буквы С не отделяется).

12.6. Знаки –, +

- не отделяются, если они находятся при цифре (–10 °С),

- отделяются неразрывным пробелом, если они являются знаками арифметического действия ($R_1 + R_2 = 0,75$).

13. Сведения о статье на английском языке

13.1. Приводятся на отдельной странице.

13.2. Содержат:

- название статьи (п. 3);

- инициалы и фамилии авторов (п. 4.1);

- информацию о каждом авторе (п. 4.2);

- аннотацию (150-300 слов) и ключевые слова и словосочетания (п. 5);

- транслитерацию на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы (п. 11).

13.3. Англоязычная аннотация должна включать в себя следующие пункты.

Purpose – раскрывается название статьи, определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования.

Methods – излагаются подходы, методы и технологии исследования.

Findings – приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна.

Application field of research – описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость.

Conclusions – подводятся итоги статьи, даются рекомендации, оценки, обозначаются перспективы исследования.

13.4. Для транслитерации на латиницу списка цитированной литературы применяется система транслитерации BGN.

**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 – 5 лет.

1-94 02 02 «Пожарная и промышленная безопасность» с присвоением квалификации «Инженер по пожарной и промышленной безопасности». Форма обучения заочная – 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 непроизводственной 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.

Курсы повышения квалификации (на базе высшего и среднего специального образования) по образовательным программам:

- «Экспертная деятельность»;
- «Экспертная деятельность» для работников проектных организаций;
- «Экспертная деятельность» для работников органов и подразделений по ЧС;
- «Пожарная безопасность и предупреждение чрезвычайных ситуаций»;
- «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»;
- «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»;
- «Выполнение работ с огнезащитным составом (инженерно-технические работники)»;
- «Выполнение работ с огнезащитным составом (исполнители работ)»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей».

Занятия на курсах повышения квалификации проводятся по мере комплектования учебных групп. За неделю до начала учебных занятий заинтересованным лицам на указанный в заявке факс направляются письма с необходимой информацией.

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 340-71-89 (ФЗО), тел. 340-69-55, факс 340-35-58 (ФБЖ).**

Дополнительная информация размещена на сайте института <http://ucsp.by>.

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 1, № 1, 2017

Технический редактор М.В. Лапина

Подписано в печать 17.02.2017.
Формат 60х84 1/8.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 13,88.
Тираж 110 экз. Заказ 011-2017.

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.