



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси

Том 1, № 2, 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 химических наук, доцент (Россия); Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Карпиленья 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 Университет 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.ucsp.by

E-mail редакции: vestnik@ucsp.by

ISSN 2519-237X

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

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

- Кудряшов В.А., Ботян С.С.** Теплопроводность цементных армированных плит при нестационарном тепловом режиме на основе данных экспериментальных исследований и численного моделирования 139
- Пасовец В.Н., Волчек Я.С., Савчук А.Г.** Система точного обнаружения очага возгорания 153
- Пармон В.В., Камлюк А.Н., Волчек Я.С., Асилбейли Р.Р., Морозов А.А.** Экспериментальные исследования пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» при подаче воды 159
- Камлюк А.Н., Лихоманов А.О.** Экспериментальные исследования влияния конструктивных элементов оросителей на кратность воздушно-механической пены 167
- Булва И.В., Еремин А.П., Булва А.Д.** Экранирование теплового потока распыленными струями воды в условиях пожара 178
- Пастухов С.М., Жук Д.В., Махмудов Э.М.о** Методика оценки поражающего воздействия волны вытеснения на искусственных водных объектах 188
- Иваницкий А.Г., Петрико Е.А.** Пороговые значения травмирования человека при воздействии избыточного давления взрыва 196

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)

- Журов М.М.** Технология получения и исследование свойств микродисперсного гидрофобного адсорбента на основе бентонитовой глины для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов 203
- Ахмедов М.А., Салямова К.Дж.** Анализ воздействия оползневых процессов на водохранилища, озера, водоемы при землетрясениях 215

Гражданская оборона

- Бордак С.С., Субботин М.Н.** Подготовка мероприятий гражданской обороны на основе анализа рисков 223

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (психологические науки)

- Голубева С.А., Хмарский П.А.** Программное обеспечение для своевременного выявления негативного информационно-психологического воздействия, осуществляемого в социальных сетях 232

Разное (обзоры)

- Якимов С.П.** Риски и причины возникновения техногенных катастроф, аварий и инцидентов на опасных производственных объектах Республики Беларусь 238
- Авторы статей 245
- Правила представления статей 248

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

- Kudryashov V., Batyan S.** Cement boards thermal conductivity based on experimental research and numerical simulation data in relation to nonstationary heat flows .. 139
- Pasovets V., Volchek Ja., Savchuk A.** System of precise detection of the center of fire 153
- Parmon V., Kamluk A., Volchek Ja., Asilbejli R., Marozau A.** Experimental investigations of the fire barell SPRUK 50/0,7 «Viking» when supplying water 159
- Kamluk A., Likhmanau A.** Experimental investigations of the influence of the structural elements of sprinklers on the expansion rate of air-mechanical foam 167
- Bulva I., Yeromin A., Bulva A.** Shielding of heat flux by water spray under fire conditions 178
- Pastukhov S., Zhuk D., Makhmudov E.** Method for assessing the damaging effect of the displacement wave on artificial water bodies 188
- Ivanitski A., Piatryka A.** Threshold values of human injury when exposed to excess explosion pressur. 196

Safety in emergencies (technical sciences)

- Zhurov M.** The technology of obtaining and study of properties of microdispersed hydrophobic adsorbent based on bentonite clay for elimination of emergency spills of oil and oil products 203
- Akhmedov M., Salyamova K.** Landslide processes and their effect on water reservoirs, lakes, ponds during severe earthquakes. 215

Civil defense

- Bordak S., Subbotin M.** Preparation of actions of civil defense on the basis of risk analysis. 223

Safety in emergencies (psychological sciences)

- Golubeva S., Khmarski P.** Auxiliary software for the prevention and neutralization of the consequences of the negative information-psychological impact 232

Miscellaneous (reviews)

- Yakimov S.** Risks and causes of technogenic catastrophes, accidents and incidents at hasardous production objects of the Republic of Belarus 238
- Authors 245
- Rules of submitting articles for publication 248

УДК [536.21:624.012.45]: 001.891.5

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ АРМИРОВАННЫХ ПЛИТ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Кудряшов В.А., Ботян С.С.

Проанализированы методы определения теплофизических характеристик материалов в ходе проведения испытаний по различным методикам и видам теплового режима. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования динамики прогрева модельных образцов цементных армированных плит толщиной 12,5 и 25 мм. Получены зависимости изменения температуры от времени на обогреваемой и необогреваемой поверхности материала образцов различной толщины при нестационарном тепловом режиме в диапазоне температур от 20 до 1000 °С. Разработана расчетная модель и решена обратная задача теплопроводности с оценкой эффективных коэффициентов теплопроводности рассматриваемых образцов в диапазоне температур от 20 до 1000 °С.

Ключевые слова: огнестойкость; теплофизические характеристики; коэффициент теплопроводности; экспериментальные исследования; обратная задача теплопроводности, стандартный температурный режим.

(Поступила в редакцию 5 апреля 2017 г.)

Введение. Решение задач теплообмена является неотъемлемой частью решения задач огнестойкости строительных конструкций. В настоящее время для внутреннего деления зданий на помещения с устройством противопожарных преград либо конструкций с нормируемой огнестойкостью, широко используются многослойные ненесущие каркасные перегородки на деревянном либо стальном каркасе с применением обшивных листовых материалов. Теплофизические характеристики обшиваемых листов, материала внутреннего заполнения перегородок определяют динамику прогрева конструкций при пожаре и, как следствие, величину их предела огнестойкости. Математическое моделирование процессов теплообмена многослойных ненесущих каркасных перегородок невозможно при отсутствии данных по теплофизическим характеристикам составляющих материалов конструкции. Одним из наиболее распространенных способов определения теплофизических характеристик – решение обратной задачи теплопроводности на основе экспериментальных данных.

Состояние проблемы на современном этапе. При определении теплофизических характеристик строительных материалов наиболее распространенным методом является проведение испытаний в соответствии с [1-7] в условиях стационарного и нестационарного теплового режима. Нестационарные методы основаны на исследовании меняющихся во времени по определенному закону температурных полей. Они более сложны в реализации в отличие от стационарных методов, основанных на исследовании неизменных во времени температурных полей. Однако при оценке огнестойкости строительных конструкций применяют именно нестационарный тепловой режим, соответствующий стандартной кривой пожара ГОСТ 30247.0 [8], что следует учитывать при определении теплофизических характеристик.

Испытания по ГОСТ 30290 [1] распространяются на строительные материалы и изделия (за исключением многослойных изделий) с коэффициентом теплопроводности от 0,02 до 1,00 Вт/(м·К) в интервале температур 5-40 °С. Метод заключается в создании одностороннего кратковременного теплового импульса на поверхности изделия и регистрации изменения температуры на ней. Затем, используя полученные экспериментальные данные, коэффициент теплопроводности определяют путем расчета по формулам, используемым в зависимости от толщины образца. Для изделий толщиной менее 15 мм коэффициент теплопроводности исследуемого материала для каждого измерения вычисляют по формуле (1).

$$\lambda = (z_i - b_3) \sqrt{C_R \cdot \frac{(z_l - b_3)(z_m - z_i)}{(z_m - b_3)(z_l - z_i)}}, \quad (1)$$

где z_i, z_m, z_l – величины, вычисляемые по соответствующим формулам по ГОСТ 30290 [1];

C_R, b_3 – коэффициенты, определяемые при градуировке и зависящие от мощности теплового импульса, чувствительности датчика температуры, размеров нагревателя, теплофизических свойств тела первичного преобразователя;

l, m, i – порядковые номера элементов рабочей зоны.

Определение коэффициента теплопроводности в соответствии с ГОСТ 30256 [2] осуществляют цилиндрическим зондом при нестационарном тепловом режиме в диапазоне температуры от -183 до 300 °С. Метод основан на зависимости температуры внедренного в материал нагреваемого тела (цилиндрического зонда) от теплопроводности окружающего материала. Испытания распространяются на строительные материалы и изделия с коэффициентом теплопроводности от $0,01$ до $2,00$ Вт/(м·К). Коэффициент теплопроводности вычисляют по формуле (2) для линейного источника тепла постоянной мощности.

$$\lambda_{\Lambda} = 0,05516 \cdot I^2 \cdot R \cdot E_0 / \Delta E, \quad (2)$$

где I – сила тока нагрева зонда, А;

R – сопротивление нагревателя зонда, Ом/м;

E_0 – чувствительность термопары зонда, мкВ/К;

ΔE – прирост ЭДС термопары зонда, мкВ.

Метод определения коэффициента теплопроводности по СТБ 1618 [3] распространяется на строительные материалы и изделия, а также теплоизоляционные материалы и изделия, предназначенные для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при средней температуре образца от -40 до 200 °С. Сущность метода заключается в создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым (наибольшим) граням образца, измерении плотности теплового потока, температуры противоположных лицевых граней и толщины образца. Коэффициент теплопроводности материала образца вычисляют по формуле (3).

$$\lambda_u = \frac{d_u}{\frac{\Delta t_u}{q_u} - 2R_k}, \quad (3)$$

где d_u – толщина образца, м;

Δt_u – разность температур лицевых граней испытываемого образца, °С;

q_u – плотность стационарного теплового потока, проходящего через испытываемый образец, Вт/м²;

R_k – термическое сопротивление между лицевой гранью образца и рабочей поверхностью плиты прибора, принимаемое равным $0,005$ м² · К/Вт, а для теплоизоляционных материалов и изделий – нулю.

Испытания, проводимые по [4, 5] осуществляют при стационарном тепловом режиме в диапазоне температур от -100 до 100 °С для образцов с термическим сопротивлением не менее $0,5$ м² · К/Вт с применением прибора с горячей охранной зоной и прибора, оснащенного тепломером. Стандарты распространяются на строительные теплоизоляционные материалы, но могут использоваться для испытываемых образцов из любого материала, который соответствует установленным требованиям [4, 5] (за исключением влажных материалов). Коэффициент теплопроводности испытываемых образцов определяют по формулам в зависимости от применяемых условий, методик и характеристик образца. Для образцов, в которых теплопередача может осуществляться одновременно проводимостью, конвекцией и излучением, коэффициент теплопроводности определяют по формуле (4).

$$\lambda = \frac{qd}{\Delta T} = \frac{d}{R}, \quad (4)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;
 d – толщина; средняя толщина испытываемого образца, м;
 ΔT – разность температур, К;
 R – термическое сопротивление м²· К/Вт.

Метод в соответствии с ГОСТ 23619 [6] распространяется на теплоизоляционные огнеупорные муллитокремнеземистые стекловолоконистые материалы и изделия, применяемые в качестве теплоизоляционного и/или компенсационного материала для теплоизоляции термических (нагревательных) установок. При проведении испытаний исследуемый образец нагревают до температуры (600±25) °С при помощи печи и осевого нагревателя, после чего снимают показания электроизмерительных приборов. Коэффициент теплопроводности испытуемых образцов определяют по формуле (5).

$$\lambda = \frac{Q \cdot \ln(r_2 / r_1)}{2 \cdot \pi \cdot l (\Delta T + \Delta T_n)}, \quad (5)$$

где Q – радиальный тепловой поток, Вт;
 l – расстояние между потенциометрическими выводами, м;
 $\Delta T = (T_2 - T_1)$ – перепад температур в точках r_2, r_1 , °С;
 r_2, r_1 – расстояние между центральной осью нагревателя и координатами спаев холодной и горячей измерительных термопар, м;
 ΔT_n – температурная поправка, °С.

Одним из наиболее современных методов по определению теплофизических характеристик материалов является метод лазерной вспышки (лазерного импульса). Метод относится к группе нестационарных в диапазоне температур от –125 до 2800 °С, позволяющий определить теплопроводность от 0,1 до 2000 Вт/(м·К). Сущность метода – поглощение короткого импульса лучистой энергии в тонком слое фронтальной поверхности плоского испытуемого образца, вызванное возмущение температуры регистрируется на тыльной поверхности образца. Полученные данные позволяют оценить одновременно коэффициент температуропроводности (термической диффузии), теплоемкость и теплопроводность образца. Для их определения используют следующие зависимости (6, 7, 8).

$$a = \frac{1,388 \cdot l^2}{\pi^2 \cdot \tau_{1/2}}, \quad (6)$$

$$C_p = \frac{Q}{T_{max} \cdot m}, \quad (7)$$

$$\lambda = a \cdot C_p \cdot \rho, \quad (8)$$

где l – толщина образца, м;
 m – масса образца, кг;
 ρ – плотность образца, кг/м³;
 a – температуропроводность образца, кг/м³;
 $\tau_{1/2}$ – время достижения половины амплитуды перегрева образца, с;
 C_p – теплоемкость образца, Дж/(кг·°С);
 Q – энергия поглощенная образцом, Дж;
 T_{max} – амплитуда перегрева образца, °С;
 λ – теплопроводность, Вт/(м·°С).

Все вышеприведенные методы и зависимости для определения теплофизических характеристик, изложенные в [1-7], весьма схожи с обратным решением задачи теплопровод-

ности (закона Фурье) [13]. Зависимости (2)-(5) для определения коэффициента теплопроводности являются частным решением задачи теплопроводности для стационарного режима, при этом в зависимости (2) геометрические параметры образца заложены в расчетном коэффициенте, а суммарная тепловая нагрузка определяется исходя из закона Джоуля-Ленца. Очевидно, что зависимость (1) является решением задачи теплопроводности с использованием алгоритмов подобия и линейной интерполяции. Зависимости (6)-(8) основаны на принципе использования коэффициента температуропроводности (термической диффузии), определяемого исходя из известной мощности поглощенного импульса. Примечательно, что для оценки удельной теплоемкости (7) в испытаниях по методу лазерной вспышки, используется также обратное решение классической задачи, но применительно к количеству теплоты, поглощаемое единицей массы вещества.

Аналогичный подход используется при определении удельной теплоемкости в соответствии с ГОСТ 23250 [7] распространяется на строительные материалы в диапазоне температур от +20 °С до 100 °С. Метод определения удельной теплоемкости основан на измерении количества теплоты, отданной калориметру образцом известной массы, нагретым до заданной температуры. Удельную теплоемкость в выбранном температурном интервале калориметрического опыта вычисляют по формуле (9).

$$C = \left[\frac{(M_{жс} + E)C_{жс}(t_p - t_0)}{t_e - t_p} - M_k C_k \right] / M_0, \quad (9)$$

где $M_{жс}$ – масса дистиллированной воды, г;

E – водяной эквивалент, с;

t_p – равновесная температура калориметра, °С;

$C_{жс}$ – удельная теплоемкость дистиллированной воды, равная 1 ккал/(кг·°С) или 4187 Дж/(кг·К);

t_0 – температура калориметра в момент погружения эталона, °С;

t_e – температура нагретой капсулы с образцом, °С;

M_k – масса капсулы, г;

C_k – удельная теплоемкость материала капсулы, ккал/(кг·°С) или Дж/(кг·К);

M_0 – масса образца, г.

В целом, для определения теплофизических характеристик материалов по методам, изложенным в [1-5, 7], необходимо наличие специализированных лабораторных установок. Исходя из температурного диапазона испытаний, полученные теплофизические характеристики применяются в основном для оценки тепловых потерь при теплопередаче через ограждающие строительные конструкции зданий. Такие диапазоны лишь частично соответствуют температурам стандартной кривой ГОСТ 30247.0 [8]. Применение теплофизических характеристик, полученных по методам изложенным в [1-7] для более высоких температур, чревато серьезными погрешностями в решении теплотехнической задачи огнестойкости [15].

Метод лазерной вспышки соответствуют требуемому температурному диапазону для оценки огнестойкости. Однако для их использования также необходимо специализированное оборудование. Кроме того, метод лазерной вспышки позволяет оценить теплофизические характеристики для сравнительно небольших образцов – от 0,1 до 6,0 мм. Предварительные испытания по указанному методу показали, что он не позволяет определить теплофизические характеристики многослойных либо пористых материалов.

Согласно данным А.И. Яковлева [10], для оценки теплофизических характеристик строительных материалов в рамках решения задачи огнестойкости, использование методов, основанных на решении обратных задач теплопроводности, также является наиболее достоверным путем. Это позволяет учесть нелинейные изменения теплофизических характеристик, вызванные изменением фазового состава и физико-химическими превращениями в материале, которые зависят от значения температуры и продолжительности нагрева.

По нашему мнению, актуальным также является направление исследований, в которых теплофизические характеристики образцов для оценки огнестойкости будут определяться на наиболее распространенном оборудовании, позволяющем создавать температуры, соответствующие температуре пожаров, – в камерных электропечах. В таких установках достаточно легко можно воссоздать режим нагрева стандартной кривой пожара по ГОСТ 30247 [8]. Однако это вынуждает производить оценку теплофизических характеристик в условиях резко нестационарного теплового процесса. Такая постановка задачи, с одной стороны, минимизирует возможные отклонения от реальных условий пожара, но с другой стороны требует использование сложных алгоритмов решения задач теплопроводности, что требует в конечном итоге применение программных систем конечно-элементного анализа. Указанный подход был принят в настоящих исследованиях в качестве основного.

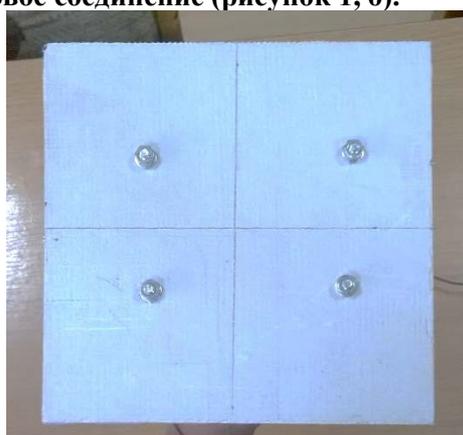
Для определения эффективных теплофизических характеристик строительных материалов при пожаре, на примере цементных армированных плит были решены следующие задачи:

- разработана методика проведения экспериментальных исследований модельных образцов, включающая: подготовку фрагмента модельного образца цементной армированной плиты и расстановку термоэлектрических преобразователей на обогреваемой и необогреваемой поверхности; обеспечение температурного режима в камерной электропечи SNOL-30/1300L, соответствующего стандартной температурной зависимости пожара по ГОСТ 30247 [8];

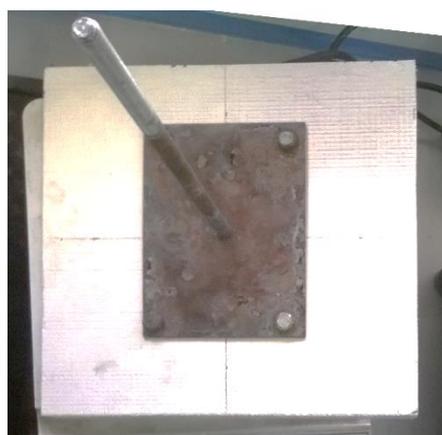
- проведены экспериментальные исследования в соответствии с разработанной методикой и получены данные, включающие: динамику температуры на обогреваемой и необогреваемой поверхности материала в диапазоне температур от 20 до 1000 °С и температуры в камерной электропечи SNOL-30/1300 L при нестационарном тепловом режиме;

- разработана методика решения обратной задачи теплопроводности с применением программной системы конечно-элементного анализа, включающая: расчетную модель прогрева образца, начальные и граничные условия, а также принятые неопределенности и упрощения в модели.

Методика и результаты экспериментальных исследований. В качестве исследуемого объекта принят образец цементной армированной плиты размерами 210×210 мм (размер образца обусловлен геометрическими размерами камерной электропечи), толщиной 12,5 и 25 мм (рисунок 1, а). Крепление образца осуществляли при помощи стальной пластины через болтовое соединение (рисунок 1, б).



а) вид с лицевой стороны



б) вид с тыльной стороны с креплением

Рисунок 1. – Вид образца материала

Камерная электропечь SNOL-30/1300L с применением микропроцессорного программируемого терморегулятора Е5СК-Т создает тепловой режим в зависимости от необходимых данных в диапазоне температур от 50 до 1300 °С (рисунок 2, а). Рабочая камера электропечи выполнена из волокнистой термоизоляции в виде нагревательного блока с от-

крытым нагревательный элементом. Нагревательные элементы электропечи открытого типа, намотаны на трубки и размещены на боковых стенках (рисунок 2, б).



а) общий вид камерной электропечи



б) общий вид рабочей камеры с открытыми нагревательными элементами

Рисунок 2. – Внешний вид камерной электропечи с открытым нагревательный элементом

Следует отметить, что скорость роста температуры в камерной электропечи с использованием электрических нагревателей ниже скорости роста температуры стандартного пожара в соответствии с ГОСТ 30247.0 [8]. С целью воссоздания стандартного температурного режима пожара, рабочую камеру предварительно нагревали до 450 °С, затем испытуемый образец помещали в рабочую камеру с последующим повышением температуры с учетом роста стандартной кривой. На рисунке 3 представлены данные изменения температуры рабочей камеры печи в сопоставлении с изменением температуры по стандартному огневому режиму с допустимыми отклонениями по ГОСТ 30247.0 [8].

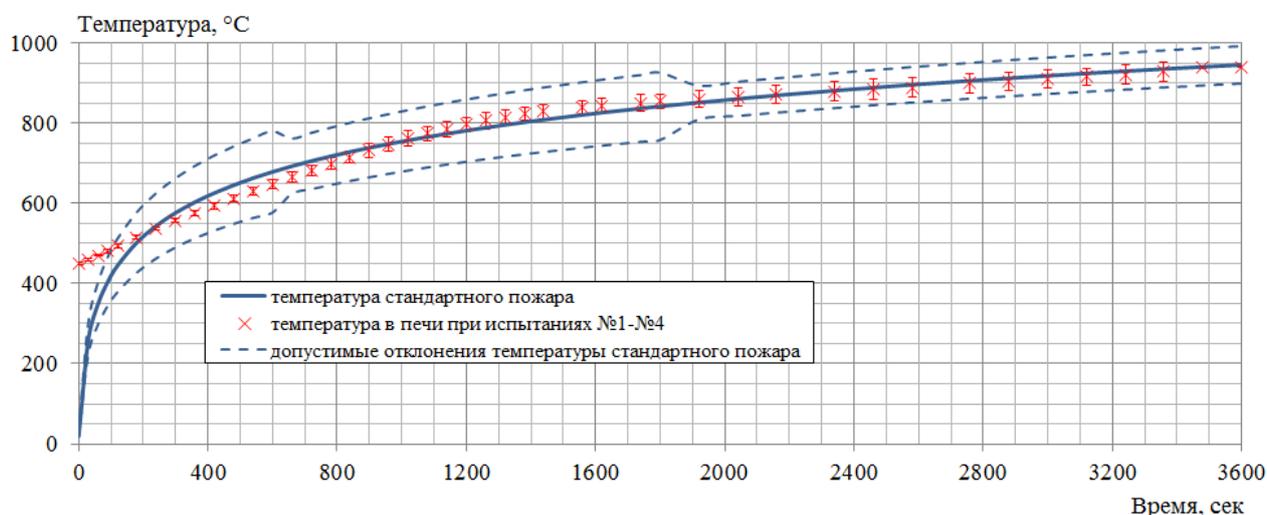


Рисунок 3. – График изменения температуры в камерной электропечи в ходе проведения экспериментальных исследований

Исходя из рисунка 3 следует, что динамика температуры в камерной электропечи соответствовала стандартному температурному режиму пожара по ГОСТ 30247.0 [8] с учетом допустимых отклонений, за исключением первых 100 с.

Перед проведением экспериментальных исследований, а также после их проведения определяли массу каждого образца с использованием лабораторных весов (тип ЕК-12К1) геометрические параметры с использованием линейки металлической (тип ЛС-ПР-30) и штангенциркуля (тип ST3505-150). В ходе проведения экспериментальных исследований регистрировали изменение температуры на обогреваемой и необогреваемой поверхностях

материала и в рабочей камере электропечи с использованием термоэлектрических преобразователей (тип ТХА(К)-1199/51/2/450/1,5/10) и измерителя регулятора типа «Сосна-004». Периодичность фиксации данных температуры была принята равной 60 с, длительность эксперимента – 3600 с.

Исследования осуществляли в 2 этапа, для приведенной толщины 12,5 и 25 мм, по 4 образца каждой толщины. Температура окружающей среды в ходе всех испытаний составляла 22 °С, влажность – 45 %. Среднее значение плотности образцов в результате высокотемпературного воздействия составило 80,84 % от исходного. На рисунке 4 представлены данные изменения средней температуры на обогреваемой и необогреваемой стороне образцов. Статистическая обработка результатов экспериментов была проведена согласно ГОСТ 8.207 [8].

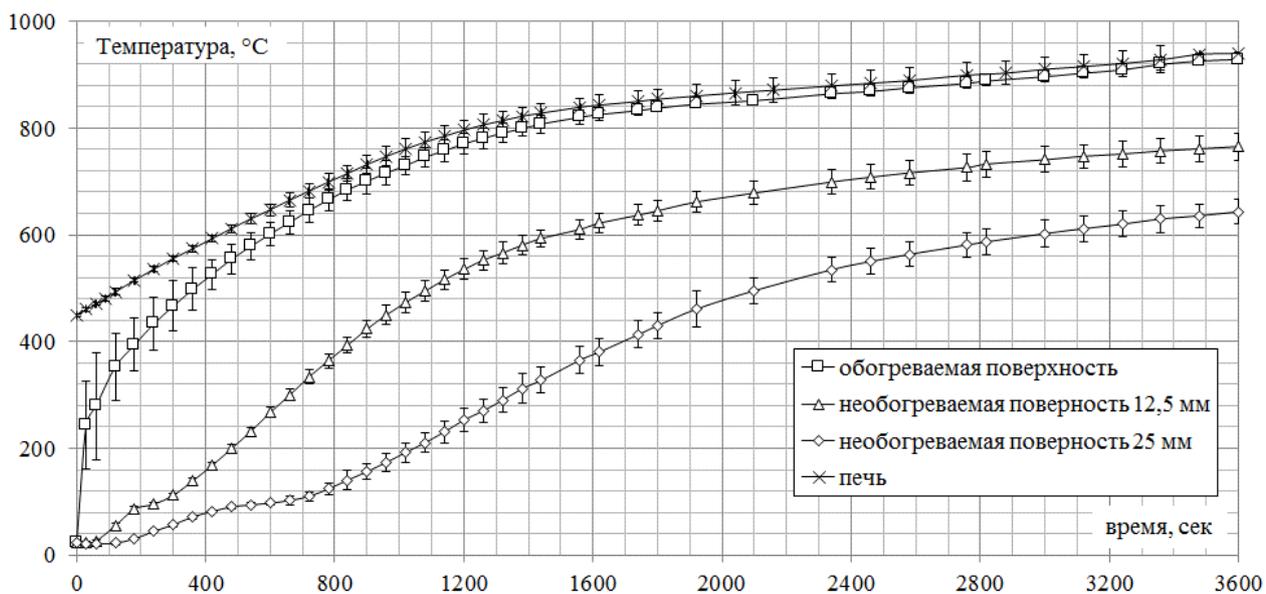


Рисунок 4. – График изменения температуры при проведении экспериментальных исследований

Как видно из графика, динамика повышения температуры необогреваемой поверхности экспериментальных образцов обусловлена его толщиной. Перегиб кривых нагрева в области 100 °С свидетельствует о процессах дегидратации. Дальнейшее повышение температуры характеризуется постепенным снижением скорости роста температуры в печи.

Решение обратной задачи теплопроводности с оценкой эффективных коэффициентов теплопроводности. Результаты проведенных экспериментальных исследований позволили решить обратную задачу теплопроводности для цементных армированных плит при нестационарном тепловом режиме стандартного пожара по ГОСТ 30247 [8]. Решение осуществлено с использованием программной системы конечно-элементного анализа.

Следует отметить, что работа программной системы конечно-элементного анализа основана на пошаговом решении системы уравнений теплового баланса, полученной на основе закона сохранения энергии. Суть метода конечных элементов состоит в том, что любую непрерывную величину возможно аппроксимировать дискретной моделью, которая состоит из множества кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. Для такой аппроксимации необходимо знать значения искомых величин в определяющих точках – узлах. Конечно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемой области [12]. Для качественного учета тепловых потоков на необогреваемой стороне исследуемого образца, конечно-элементная модель была принята двухслойной, в качестве второго слоя была принята дверца электропечи, к которой примыкала необогреваемая сторона образца в ходе экспериментальных исследований. Тепловые потери от модельного образца через

дверцу электропечи учитывались с использованием эффективных теплофизических характеристик рассматриваемой дверцы, которые были определены отдельными экспериментальными исследованиями по аналогичной методике в условиях ненагруженной печи.

В качестве начальных условий в расчетной модели было принято, что температура во всех точках образца одинакова и равна температуре окружающей среды (22 °С).

Граничные условия позволяют определить закономерности теплообмена между нагревающей и окружающей средами и поверхностями образца. В качестве граничных условий теплообмена была принята комбинация граничных условий 1 и 3 рода. Так, радиационно-конвективный теплообмен, создаваемый в рабочей камере электропечи, принимали в качестве известной температуры на обогреваемой поверхности образца материала в ходе проведения экспериментальных исследований, что соответствует граничным условиям 1 рода. С необогреваемой стороны дверцы электропечи был принят радиационно-конвективный теплообмен с вертикальной стенки в окружающую среду (воздух), что соответствует граничным условиям 3 рода. Поскольку со стороны необогреваемой поверхности величина теплоотдачи за счет конвекции существенно влияет на результаты расчета, для ее определения использовали решение, с учетом характера конвективного теплообмена с окружающим воздухом, геометрическим размером и положением тела. Указанное решение выполняли с использованием физического аппарата критериев подобия, на основе чисел Нуссельта (Nu), Прандтля (Pr), Грасгофа (Gr) и Рэлея (Ra), а также числа Рейнольдса (Re) в случае вынужденной конвекции (во всех случаях в качестве теплоносителя принят воздух). Значения коэффициента теплоотдачи конвекцией для рассматриваемой расчетной модели образца и крышки печи представлены на рисунке 5. Степень черноты наружной поверхности дверцы электропечи принята равной 0,7.

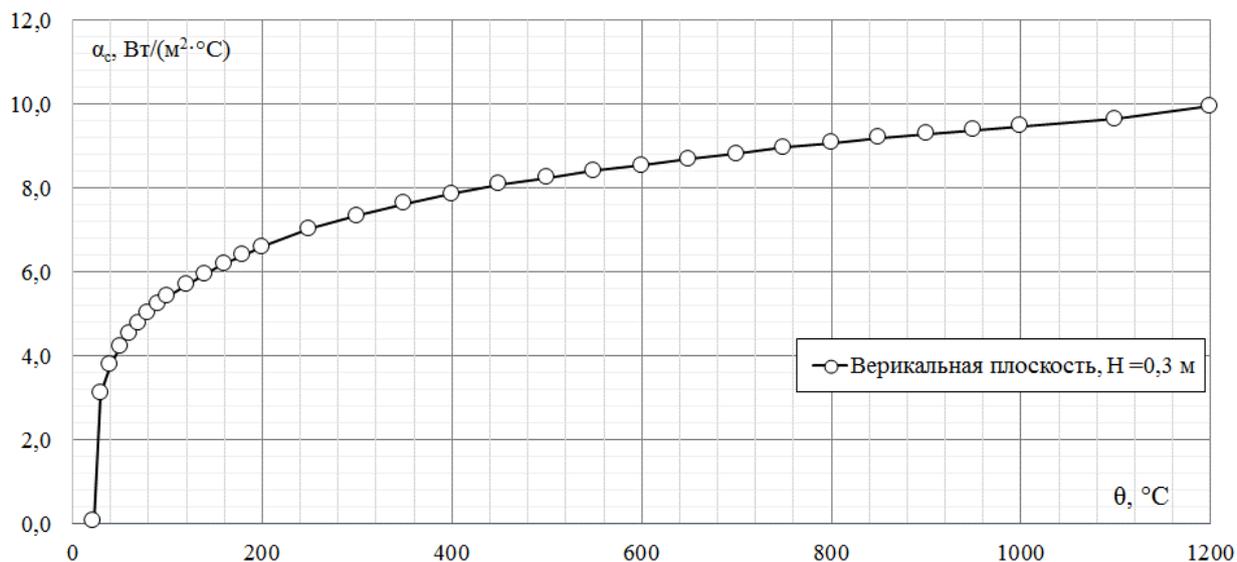


Рисунок 5. – Расчетные значения коэффициента теплоотдачи конвекцией для вертикальной стенки при теплообмене с воздухом (22 °С)

Кроме того, в граничных условиях были приняты следующие упрощения:

– ввиду того, что контактные и иные тепловые потери в принятой экспериментальной методике невозможно оценить, их влияние было отнесено к неопределенности расчетной модели, а полученные коэффициенты теплопроводности следует считать эффективными;

– ввиду того, что линейные размеры исследуемого образца и дверцы электропечи были много больше их толщины, направление теплового потока через исследуемые тела было принято перпендикулярным, а сам поток – одномерным, т. е. боковые поверхности расчетной модели были приняты с идеальной теплоизоляцией.

В ходе моделирования осуществляли аналитическую оценку теплофизических характеристик материала. В качестве искомой теплофизической характеристики в программной системе конечно-элементного анализа был принят эффективный коэффициент теплопроводности. Плотность материала и ее изменение в зависимости от температуры были приняты в ходе проведенных измерений и расчетов до и после проведения экспериментальных исследований.

Теплоемкость тела единичной массы представляет собой объем поглощенной энергии, данным телом которая расходуется на нагревание его на единицу температуры. Материал в ходе высокотемпературного воздействия характеризуется пиками по выделению или поглощению тепловой энергии. Данный факт объясняется фазовыми переходами материала путем его физико-химических превращений. При этом как правило данное явление в расчетных моделях учитывается в качестве удельной теплоемкости. Поскольку рассматриваемый материал является пористым влагосодержащим материалом, необходимо отметить, что в условиях высокотемпературного прогрева тепловая энергия расходуется не только на нагрев материала, но и на испарение влаги. Так как более 70 % заполнителя в цементной армированной плите составляет портландцемент и известняк в первом приближении в качестве расчетной удельной теплоемкости были приняты значения для влажного бетона с карбонатным заполнителем в соответствии с ТКП EN 1992-1-2 [11] (рисунок 6).

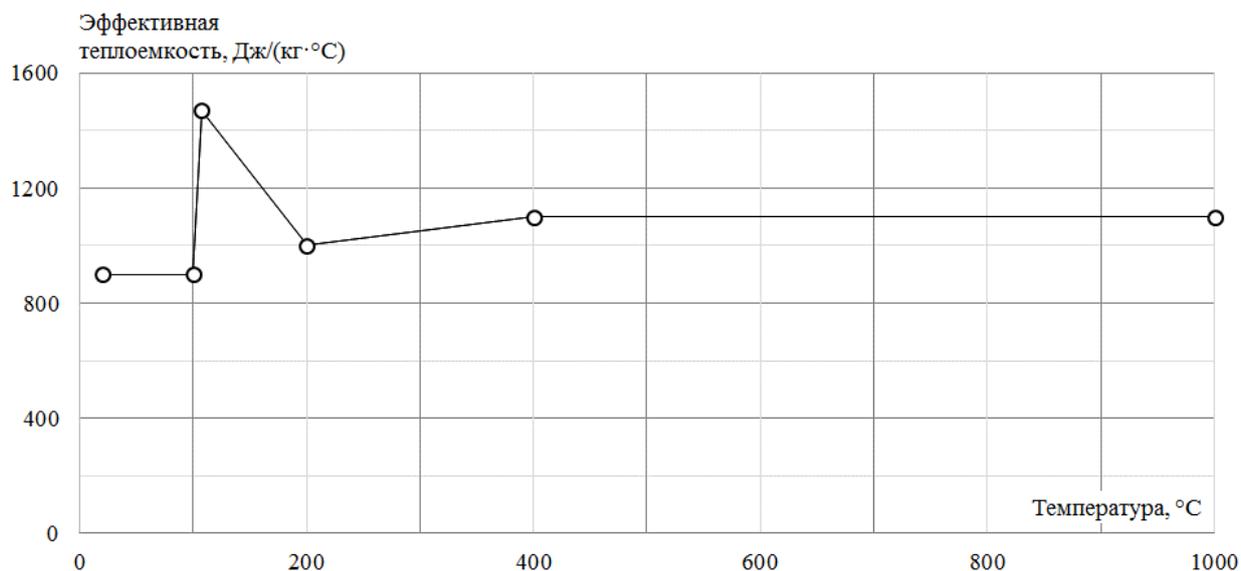


Рисунок 6. – Значения удельной теплоемкости для влажного бетона в диапазоне температур от 20 до 1000 °C в соответствии с ТКП EN 1992-1-2 [11]

Методика аналитической оценки заключалась в поэтапном подборе эффективного коэффициента теплопроводности до полного соответствия прогрева конечно-элементной модели в соответствии с данными экспериментальных исследований. Поэтапный подбор эффективного коэффициента теплопроводности осуществляли методом последовательных приближений. Для корректного описания нестационарного процесса теплопередачи при стандартном пожаре удовлетворительно подходит кусочно-линейная зависимость коэффициента теплопроводности, состоящая из пяти сегментов с узловыми точками при температуре 100, 200, 400, 700 и 1000 °C. При подборе коэффициента теплопроводности изначально предполагается постоянное значение коэффициента теплопроводности, т.е. не зависящее от температуры. С принятым значением коэффициента теплопроводности проводится расчет первой итерации, в результате которой оценивается отклонение расчетного времени достижения значения температуры на обогреваемой стороне, равной первой узловой точке (100 °C) от экспериментального значения. Если расчетное время менее экспериментального, значение коэффициента теплопроводности в рассматриваемой узловой точке

следует повысить на 10 %, если более – соответственно, понизить на 10 %. Итерации следует продолжать до тех пор, пока отклонение расчетного времени достижения температуры рассматриваемой узловой точки не достигнет 10 %. После достигнутого схождения в первой узловой точке, следует перейти ко второй узловой точке (200 °С) и провести аналогичные итерации, а затем те же действия провести для третьей, четвертой и пятой узловой точки соответственно (400, 700 и 1000 °С). Результат подбора эффективного коэффициента теплопроводности для цементной плиты представлен на рисунке 7.

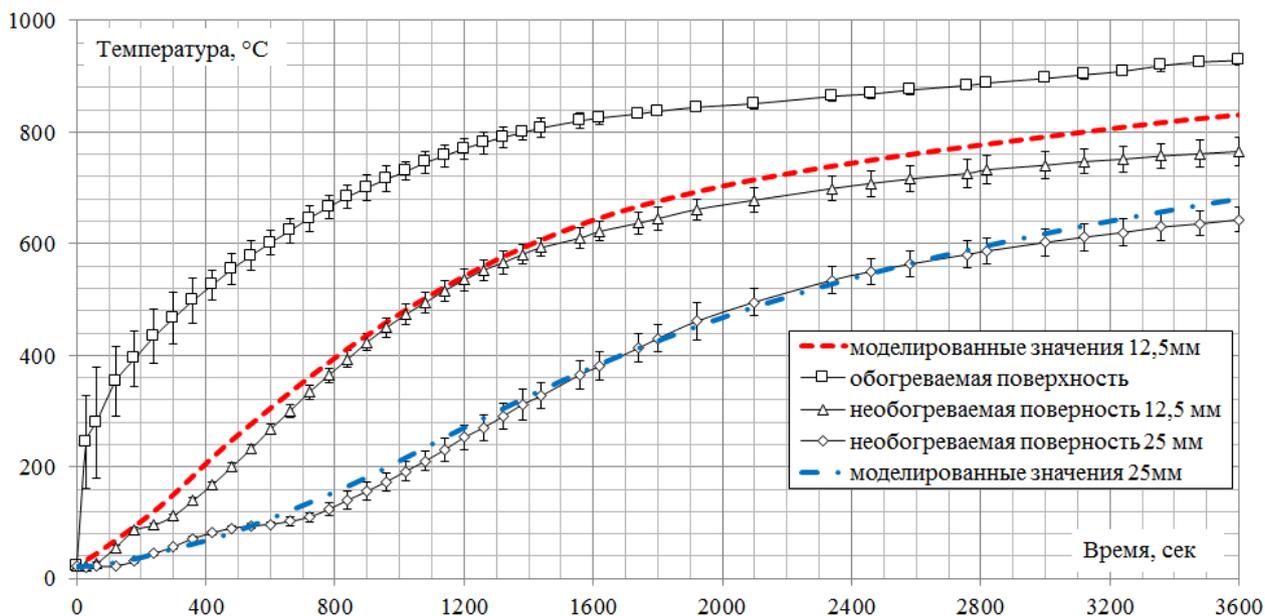


Рисунок 7. – Сопоставление экспериментальных данных изменения температуры на необогреваемой поверхности образцов со значениями, полученными по результатам численного моделирования

Следует отметить удовлетворительную сходимость расчетных с экспериментальными данными, при этом отклонение принято в сторону запаса безопасности, т.е. аналитическое решение показывает более интенсивный прогрев по сравнению с результатами экспериментальных исследований. Основные результаты определения эффективного коэффициента теплопроводности от температуры для принятых значений плотности и теплоемкости цементной армированной плиты толщиной 12,5 и 25 мм при использовании расчетной модели и решении обратных задач теплопереноса представлены на рисунке 8.

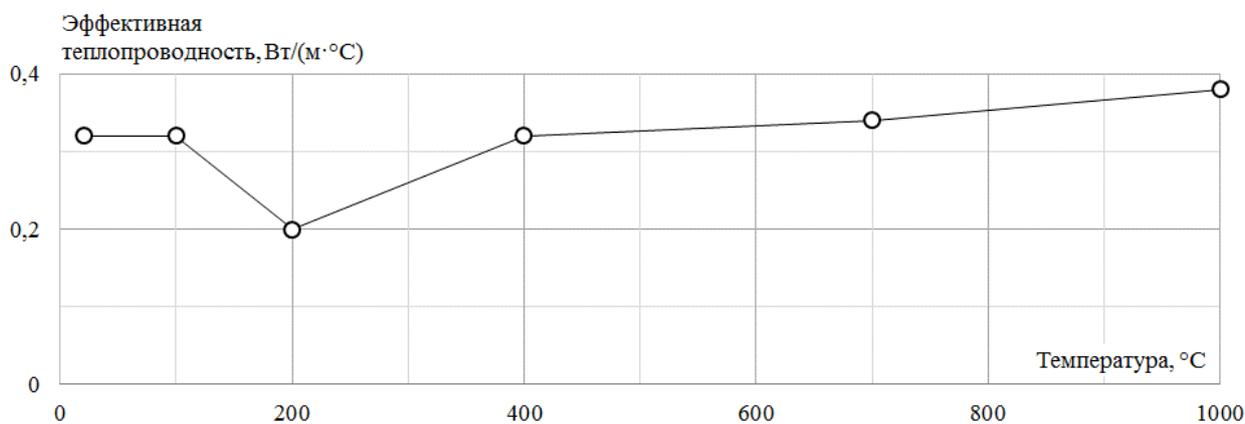


Рисунок 8. – График изменения эффективного коэффициента теплопроводности от температуры

Заключение. В результате анализа существующих методов оценки теплофизических характеристик для строительных материалов установлено, что они не могут быть

применены для решения задач огнестойкости ввиду ограничений по параметрам исследуемых образцов, диапазону и видам теплового режима, другими особенностями специализированных лабораторных установок.

Для решения задач огнестойкости теплофизические характеристики целесообразно определять в условиях температурного режима, близкого к стандартному пожару по ГОСТ 30247 [8] путем решения обратной задачи теплопроводности с применением программных систем конечно-элементного анализа.

Для оценки эффективного коэффициента теплопроводности строительных материалов предложена расчетно-экспериментальная методика включающая:

1. Экспериментальные исследования модельных образцов материалов в условиях нестационарного режима стандартного пожара в камерной электропечи с фиксацией динамики температуры от времени на обогреваемой и необогреваемой поверхности образца.

2. Аналитическое решение задачи теплопроводности для неограниченных пластин в системе конечно-элементного анализа, с оценкой эффективного коэффициента теплопроводности методом конечных приближений.

На основе расчетно-экспериментальной методики определен эффективный коэффициент теплопроводности цементных армированных плит для нестационарных режимов нагрева в условиях пожара. Результаты решения задачи теплопроводности в системе конечно-элементного анализа показывают удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 30290-94 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности поверхностным преобразователем // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. ГОСТ 30256-94 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности поверхностным цилиндрическим зондом // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
3. СТБ 1618-2006 Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
4. СТБ ЕН 12667-2007 Теплотехнические свойства. Строительных материалов и изделий. Определение теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме с использованием прибора, включающего плиты, горячую охранную зону или тепломер. Материалы с высоким и средним коэффициентом теплопроводности // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
5. СТБ ЕН 12939-2007 Теплотехнические свойства. Строительных материалов и изделий. Определение теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме с использованием прибора, включающего плиты, горячую охранную зону или тепломер. Материалы утолщенные с высоким и средним коэффициентом теплопроводности // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
6. ГОСТ 23619-79. Материалы и изделия огнеупорные теплоизоляционные муллитокремнеземистые стекловолоконистые. Технические условия. – Введ 08.05.79. – М.: Издательство стандартов, 1979. – 15 с.
7. ГОСТ 23250-78 Материалы строительные. Метод определения удельной теплоемкости // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)

8. ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)
9. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений. – Введ. 01.01.77. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 7 с.
10. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988: – 143 с.
11. ТКП EN 1992-1-2-2009 (02250) Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
12. ANSYS Mechanical APDL Theory Reference, Release 15.0 ANSYS, Inc. November 2013.
13. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967: – 600 с.

CEMENT BOARDS THERMAL CONDUCTIVITY BASED ON EXPERIMENTAL RESEARCH AND NUMERICAL SIMULATION DATA IN RELATION TO NONSTATIONARY HEAT FLOWS

Vadim Kudryashov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Siarhei Batyan

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

Purpose. The paper is devoted to cement boards thermal properties based on experimental research and numerical simulation data in relation to nonstationary heat flows.

Methods. Thermal properties were estimated with experimental research and numerical simulation with both were preliminarily formulated on the base of analogous methods analysis.

Findings. Experimental temperature-time dependencies at both surfaces of flat cement boards samples for different thicknesses in relation to nonstationary heat flows were found. The inverse heat conduction problem was solved and the effective thermal conductivity coefficients were estimated.

Application field of research. The obtained thermal properties can be used in thermal problem evaluating during fire resistance assessment procedures.

Conclusions. (As a result, effective thermal conductivity coefficients for flat cement boards samples were found based on experimental research and numerical simulation data in relation to nonstationary heat flows. Obtained thermal properties give satisfactory convergence used in finite element analysis system simulation compared with the experimental data.

Keywords: fire resistance; thermal properties; thermal conductivity coefficient; experimental data; inverse heat conduction problem; standard temperature-time curve.

(The date of submitting: April 5, 2017)

REFERENCES

1. Interstate Standard 30290-94 *Materials and products for construction. Method for determining the thermal conductivity of a surface converter.* The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2016. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus).
2. Interstate Standard 30256-94 *Materials and products for construction. Method for determining the thermal conductivity of a surface cylindrical probe.* The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2016. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus).
3. State standard of the Republic of Belarus 1618-2006 *Materials and products for construction. Methods for determining the thermal conductivity under steady-state thermal conditions.* The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2016. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus).
4. State standard of the Republic of Belarus EN 12667-2007 *Thermotechnical properties. Building materials and products. Determination of thermal conductivity and thermal resistance in a stationary thermal mode using a device that includes slabs, a hot guard zone or a heat meter. Materials with high and average thermal conductivity.* The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2016. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus).
5. State standard of the Republic of Belarus EN 12939-2007 *Thermotechnical properties. Building materials and products. Determination of thermal conductivity and thermal resistance in a stationary thermal mode using a device that includes slabs, a hot guard zone or a heat meter. Materials thickened with high and average thermal conductivity.* The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2016. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus).
6. Interstate Standard 23619-79. *Materials and products refractory heat-insulating mullite-siliceous fiberglass. Technical conditions.* Enter 08.05.79. Moscow: Publishing House of Standards, 1979. 15 p.
7. Interstate Standard 23250-78 *Building materials. Method for determination of specific heat.* The full-

- text information retrieval system «StroyDOKUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2016. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus).
8. Interstate Standard 30247.0-94 *Construction constructions. Test methods for fire resistance. General requirements*. The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2016. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus).
 9. Interstate Standard 8.207-76. *Direct measurements with multiple observations. Methods for processing the results of measurements*. Enter 01.01.77. Moscow: Publishing House of Standards, 2001. 7 p.
 10. Jakovlev A.I. *Calculation of fire resistance of building structures*. M.: Stroiizdat, 1988. 143 p.
 11. Technical Code of Good Practice EN 1992-1-2-2009 (02250) *Design of reinforced concrete structures. Part 1-2. General rules for determining fire resistance*. The full-text information retrieval system «StroyDOKUMENT». Electronic text data and programs (700 Mb). Minsk, RUE «Stroytechnorm», 2016. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus).
 12. *ANSYS Mechanical APDL Theory Reference*, Release 15.0 ANSYS, Inc. November 2013.
 13. Lykov A.V. *Theory of heat conduction*. M.: Higher School, 1967. 600 p.

УДК 62-523.1

СИСТЕМА ТОЧНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ

Пасовец В.Н., Волчек Я.С., Савчук А.Г.

Представлены основные тенденции развития автоматических систем пожаротушения. На основе анализа опубликованных работ в области автоматических систем обнаружения и ликвидации пожара выявлены недостатки данных систем. Предложена разработанная конструкция автоматической системы точного обнаружения очага возгорания, позволяющая минимизировать ущерб, вызываемый воздействием огнетушащих веществ на материальные ценности, в процессе ликвидации пожара. Основным преимуществом разработки является простота конструкции и низкая стоимость.

Ключевые слова: автоматическая система пожаротушения, конструкция, температурные поля, программируемый модуль, пиродатчик, сканирование пространства, сервопривод.

(Поступила в редакцию 15 февраля 2017 года)

Введение. История разработки и применения технических устройств для пожаротушения берет начало в 1863 году, когда А. Крэйном в США был изобретен первый огнетушитель. В 1872 году была разработана и запатентована система пожаротушения. Двумя годами позже, в 1874 году в США Г. Пармали была сконструирована и установлена первая полуавтоматическая система водяного пожаротушения [1-3].

На сегодняшний день автоматические системы пожаротушения позволяют проводить контроль защищаемого объекта, обнаружение и ликвидацию пожаров в зданиях и сооружениях без участия человека. По сложности конструкции все автоматические системы пожаротушения можно разделить на индивидуальные, проектируемые под отдельное помещение, и модульные, устанавливаемые в стандартных типовых промышленных, производственных, складских и жилых помещениях. Однако, используемые системы, хотя и включают в себя средства обнаружения пожара в виде механических и электрических устройств, но не позволяют точно определить очаг возгорания, а как следствие приносят значительный экономический ущерб в результате подачи огнетушащих веществ на дорогостоящее оборудование и материальные ценности. Данная проблема особенно актуальна для научных лабораторий с дорогостоящим оборудованием, помещений хранения горючих музейных ценностей, фондохранилищ, картинных галерей, библиотек, торговых залов, банков, ломбардов, многофункциональных комплексов, так как в соответствии с НПБ 15 – 2007 они подлежат обязательному оборудованию средствами пожарной автоматики. Также актуальность данной проблемы подтверждается запозданием срабатывания автоматических систем пожаротушения датчики которых выполнены в виде термоэлементов и тепловых извещателей [4-7].

Наибольшее распространение для предотвращения пожароопасных ситуаций и ликвидации возгораний получили автоматические спринклерные и дренчерные системы пожаротушения, установка которых зависит от типа горючести материала, планировки здания и показателей окружающей среды. При этом спринклерная система пожаротушения, представляющая собой трубопровод, наполненный под давлением водой, со встроенными оросительными головками, отверстия которых закрыты на тепловой замок, открывающийся при достижении заданной температуры окружающей среды, имеет существенные недостатки: большая инерционность, что ведет к запоздалому ее срабатыванию; возможность монтажа только в помещениях с температурой выше нуля градусов, так как система оборудована трубопроводами, заполненными водой.

Необходимо отметить, что данный тип автоматических систем пожаротушения обладает простотой устройства, относительно низкой стоимостью. Спринклерные системы эффективны при ликвидации небольших локальных пожаров в помещениях и устанавли-

ваются в гостиницах, спортивных комплексах, офисах, жилых домах, административных зданиях, на складах и т. д.

Дренчерная система пожаротушения, в отличие от спринклерной, снабжена распылителями с открытыми выходными отверстиями, без применения теплового замка, и включается при срабатывании пожарной сигнализации или других ручных или автоматических дистанционных установок. Так как дренчерная система подразумевает использование открытых оросительных головок, то в большинстве случаев трубопроводы в режиме ожидания здесь остаются сухими, то есть незаполненными водой. При этом дренчерная система пожаротушения может использоваться как для непосредственного тушения возгорания, так и в качестве препятствия для распространения огня.

Как показывает практика, стационарные спринклерные и дренчерные системы пожаротушения не обладают точностью тушения очага возгорания и чаще всего только локализуют пожар, предполагая непременно участие в тушении пожара работников МЧС.

Еще одним видом автоматических установок, использующих воду, являются установки пожаротушения тонкораспыленной водой. Данные установки подают частицы воды диаметром не более 100 мкм, что, по сравнению со спринклерными и дренчерными установками, значительно уменьшает расход воды, снижает скорость падения частиц на горящую поверхность, создавая в объеме помещения влажную завесу. При этом установки пожаротушения тонкораспыленной водой производятся в двух исполнениях: для использования в небольших помещениях – модульные, и для защиты больших помещений – централизованные (агрегатные).

Системы порошкового пожаротушения, предназначенные для тушения пожаров путем подачи в зону горения огнетушащего вещества в виде порошка, оказывают минимальное воздействие на материальные ценности, находящиеся в охраняемом помещении, что минимизирует ущерб от тушения. Принцип действия таких систем основан на создании облака из порошка, перекрывающего доступ кислорода в зону горения, подаваемого под воздействием давления газа из баллонов. В соответствии с ТКП 45-2.02-190-2010 оборудованию автоматическими установками порошкового пожаротушения подлежат общественные, административные, производственные и складские здания, технологические установки, электроустановки в том числе под напряжением [8].

Принцип действия систем газового пожаротушения заключается в уменьшении концентрации кислорода в воздухе на объекте возгорания с помощью подачи инертного газа, углекислоты или хладона. Главным и самым значащим достоинством системы газового пожаротушения является отсутствие воздействия на предметы и само помещение при широком температурном диапазоне работы, включая минусовые температуры. Огнетушащие вещества данных установок неэлектропроводны и безопасны для электроники и компьютеров, исторических, художественных и культурных ценностей.

Установки пожаротушения с инертным газом используют в качестве огнетушащего вещества такие инертные газы и смеси газов, как аргон, азот, аргонит и некоторые другие. Аналогичны по принципу действия автоматические установки газового пожаротушения с углекислотой, которые используют в качестве огнетушащего вещества углекислый газ и диоксид углерода. При этом необходимо отметить, что установки автоматического пожаротушения с углекислым газом нельзя использовать для тушения пожаров щелочных и щелочноземельных металлов, а также развитых пожаров тлеющих материалов. Установки газового пожаротушения с хладоном постепенно выходят из употребления в связи с их отрицательным воздействием на природу и человека.

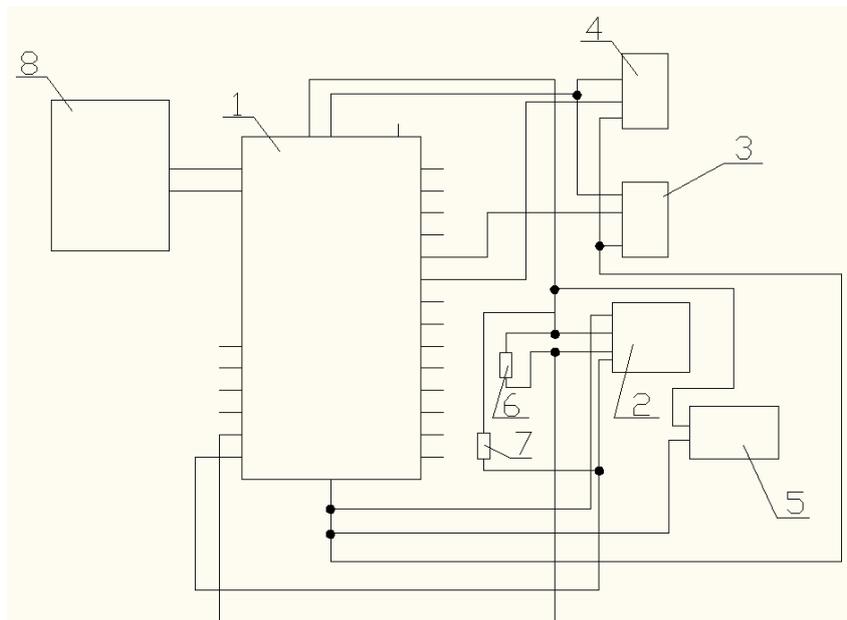
Необходимо отметить, что не все вещества, применяемые для тушения пожаров безопасны для человека. Ряд огнетушащих веществ резко снижает уровень кислорода в воздухе и вызывают удушье с потерей сознания, другие огнетушащие вещества содержат бром и хлор, приводящие к отравлению организма, третьи – раздражают зрительную и дыхательную системы организма. Наиболее опасными с точки зрения здоровья человека являются

мелкодисперсные химические порошки и газовое пожаротушение. Наибольший вред имуществу приносит водяным тонкодисперсным пожаротушением. Таким образом, порошковые и аэрозольные системы автоматического пожаротушения являются самыми опасными для здоровья людей при их дешевизне и простоте в монтаже. На основании вышесказанного можно сделать заключение о необходимости минимизации использования данных огнетушащих веществ в процессе ликвидации пожара [9-13].

Проведенный анализ вышеизложенного материала позволяет сделать вывод о том, что на сегодняшний день отсутствуют системы точного определения очага возгорания для подачи огнетушащих веществ в очаг пожара для защиты помещений жилого и офисного фондов, научных лабораторий с дорогостоящим оборудованием, электрощитовых, компьютерных залов и других объектов, что создает предпосылки для решения актуальной проблемы по разработке системы точного определения и ликвидации очага возгорания. Таким образом, цель работы заключалась в разработке автоматической системы определения очага возгорания.

Основная часть. В процессе выполнения научных исследований работниками ГУО «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» разработана новая конструкция системы обнаружения очага возгорания автоматической системы пожаротушения, предназначенной для обнаружения и подачи сигнала на тушение в начальной стадии развития пожара, что является ее основным отличием от существующих систем. При этом за счет точности определения очага пожара обеспечивается использование минимального количества огнетушащих веществ.

Основными элементами разработанной системы, структура которой представлена на схеме (рисунок 1), являются: программируемый модуль обработки сигналов датчиков и управления сервоприводами 1, пиродатчик 2, горизонтальный 3 и вертикальный 4 сервоприводы; целеуказатель пиродатчика 5, резисторы 6, 7, визуализатор 8.



1 – программируемый модуль обработки сигналов датчиков и управления сервоприводами, 2 – пиродатчик, 3 – горизонтальный сервопривод, 4 – вертикальный сервопривод, 5 – целеуказатель пиродатчика, 6, 7 – резисторы, 8 – визуализатор

Рисунок 1. – Структурная схема системы точного обнаружения очага возгорания

Принцип взаимодействия основных компонентов системы автоматического обнаружения очага возгорания заключается в следующем: программируемый модуль обработки сигналов датчиков и управления сервоприводами 1 создает двумерный массив данных получаемых с пиродатчика 2, перемещаемого при помощи горизонтального 3 и вертикально-

го 4 сервоприводов. В результате получается заполненный массив данных, характеризующих распределение температурных полей в контролируемом пространстве. Визуализация данного массива данных представлена на рисунке 2.

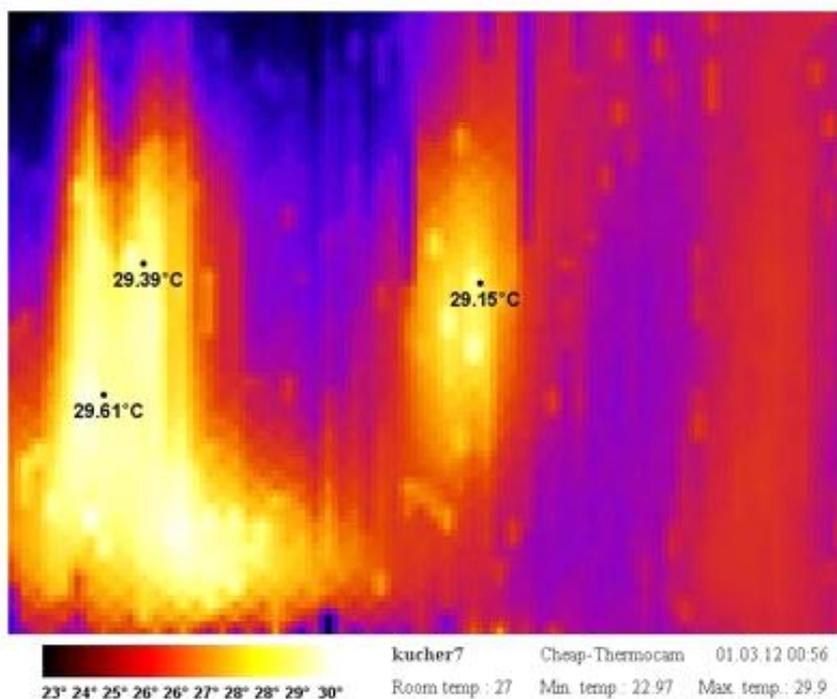


Рисунок 2. – Пример распределения температурных полей в контролируемом пространстве

Программируемый модуль обработки может быть настроен для работы в нескольких режимах:

- 1) в дискретном режиме сигнал на тушение подается в случае превышения заданной температуры в ячейке массива;
- 2) в дифференциальном режиме подача сигнала осуществляется при превышении скорости нарастания температуры в ячейке выше заданного значения.

Сканирование пространства происходит по заранее заданному алгоритму работы программы. Процесс обхода контролируемых точек проводится два раза для исключения ложного срабатывания устройства. Точки будут считаться активными, если системой было установлено изменение температуры в них. На основании результатов сканирования подается сигнал на включение системы пожаротушения.

Исполнительный элемент системы пожаротушения на который выводится сигнал на тушение, также может быть реализован несколькими способами. При первом способе сформированный сигнал подается исполнительному элементу установки тушения, расположенному непосредственно над очагом пожара. При втором способе сигнал на тушение подается при позиционировании конструктивно совмещенных сервоприводов установки тушения и пиродатчика.

Электропитание системы точного обнаружения очага возгорания осуществляется от источника бесперебойного питания. Однако во избежание непредвиденного отключения системы при воздействии негативных факторов пожара, ее необходимо комплектовать встроенными элементами питания, например, аккумуляторами.

Заключение. Не смотря на активное применение существующих систем автоматического пожаротушения, остается актуальным вопрос разработки систем точного обнаружения очага возгорания, позволяющих снизить затраты на огнетушащие вещества, а также минимизировать ущерб от тушения защищаемого объекта.

Внедрение на практике разработанной системы точного обнаружения очага возгора-

ния позволит повысить уровень безопасности эксплуатации защищаемого объекта, минимизировать ущерб от воздействия опасных факторов пожара. Основными преимуществами разработанной системы по сравнению с существующими аналогами являются: широкая номенклатура защищаемых объектов; простота конструкции; применение унифицированных деталей и радиоэлектронных компонентов; низковольтное электропитание; взаимодействие с другими системами дымоудаления, оповещения и эвакуации людей, сигнализации и управления энергопотребителями пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурагимов, И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: Высшая инженерная пожарнотехническая школа МВД СССР, 1980. – 259 с.
2. Горшков, В.И. Тушение пламени горючих жидкостей / В.И. Горшков. – М.: Пожнаука, 2007. – 268 с.
3. Собурь, С.В. Установки пожаротушения автоматические: справочник / С.В. Собурь. – М.: Пожкнига, 2004. – 384 с.
4. Долговидов, А.В. Автоматические установки порошкового пожаротушения / А.В. Долговидов, В.В. Терехнев; ред. А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2008. – 322 с.
5. Шароварников, А.Ф., Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение: научное издание / А.Ф. Шароварников, С.А. Шароварников. – М.: Пожнаука, 2005. – 314 с.
6. Исмагилов, И.И. Атака на огонь. Кн. 1 / И.И. Исмагилов. – Уфа: [б. и.], 2002. – 256 с.
7. Собурь, С.В. Пожарная безопасность общественных и жилых зданий / С.В. Собурь. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Пожкнига, 2004. – 234 с.
8. Пожарная автоматика зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования. – Введ. 01.01.11 (с отменой СНБ 2.02.05-04). – Минск, 2011. – 77 с.
9. Корольченко, А.Я. Средства огнезащиты: справ. издание / А.Я. Корольченко, О.Н. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2006. – 258 с.
10. Справочник инженера пожарной охраны: учеб.-практическое пособие / Под ред. Д.Б. Самойлов. – М.: Инфра-Инженерия, 2010. – 864 с.
11. Пожарная безопасность: справочник / ред. С.В. Собурь. – 3-е изд., доп. – М.: Пожкнига, 2007. – 272 с.
12. Смелков, Г.И. Пожарная безопасность электропроводок / Г.И. Смелков. – М.: КАБЕЛЬ, 2009. – 328 с.
13. Вишняков, С.А. Обеспечение пожарной безопасности при применении автоматических систем и установок водопенного тушения пожаров в насосных станциях / С.А. Вишняков // Молодой ученый. – 2009. – № 10. – С. 37-39.

SYSTEM OF PRECISE DETECTION OF THE CENTER OF FIRE

Vladimir Pasovets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Jaroslav Volchek

Alexandra Savchuk

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

Purpose. The article is dedicated to developments in the field of automatic systems of fire extinguishing.

Methods. The complex analysis of the existing developments, designing of system.

Findings. The main trends in the development of automatic fire-extinguishing systems are presented. The design of the automated system accurately detect the source of fire is proposed.

Application field of research. Automatic accurate detection of the source of fire to minimize damage and to maintain material assets in liquidation of fire.

Conclusions. The main advantage of the development are simple design and low cost.

Keywords: automatic fire extinguishing system, design, temperature fields, programmable module, pyrosensor, scanning of space, servo-driver.

(The date of submitting: February 15, 2016)

REFERENCES

1. Abduragimov I.M., Govorov V.Ju., Makarov V.E. *Fiziko-khimicheskie osnovy razvitiya i tusheniya pozharov* [Physical and chemical bases of development and fighting fires]. Moscow: Vysshaya inzhenernaya pozharno-tekhnicheskaya shkolaa MVD SSSR, 1980. 259 p. (rus)
2. Gorshkov V.I. *Tushenie plameni goryuchikh zhidkostey* [Extinguishing the flame of flammable liquids]. Moscow: Pozhnauka, 2007. 268 p. (rus)
3. Sobur' S.V. *Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskije: spravochnik* [Automatic fire extinguishing plants: the guide]. Moscow: Pozhkniga, 2004. 384 p. (rus)
4. Dolgovidov A.V., Terebnev V.V. *Avtomaticheskije ustanovki poroshkovogo pozharotusheniya* [Automatic installation of powder fire extinguishing installations]. Moscow: Pozhnauka, 2008. 322 p. (rus)
5. Sharovarnikov A.F., Sharovarnikov S.A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svoystva, primenenie: nauchnoe izdanie* [Foaming agents, and foam to extinguish fires. The composition, properties and application: scientific edition]. Moscow: Pozhnauka, 2005. 314 p. (rus)
6. Ismagilov I.I. *Ataka na ogon'. Kn. 1* [The attack on the fire. Book 1]. Ufa: [b. i.], 2002. 256 p. (rus)
7. Sobur' S.V. *Pozharnaya bezopasnost' obshchestvennykh i zhilykh zdaniy* [Fire safety of public and residential buildings]. Moscow: Pozhkniga, 2004. 234 p. (rus)
8. *Pozharnaya avtomatika zdaniy i sooruzheniy. Stroitel'nye normy proektirovaniya*. Enter 01.01.2011. Minsk, 2011. 77 p. (rus)
9. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko O.N. *Sredstva ognezashchity: sprav. izdanie* [Means of fire protection: Right. edition]. Moscow: Pozhnauka, 2006. 258 p. (rus)
10. *Spravochnik inzhenera pozharnoy okhrany: ucheb.-prakticheskoe posobie* [Handbook of fire protection engineer: practical guide], edited by D.B. Samojlov. Moscow: Infra-Inzheneriya, 2010. 864 p. (rus)
11. *Pozharnaya bezopasnost': spravochnik* [Fire safety: a guide], edited by S.V. Sobur'. Moscow: Pozhkniga, 2007. 272 p. (rus)
12. *Smelkov G.I. Pozharnaya bezopasnost' elektroprovodok* [Fire safety: the guide]. Moscow : Kabel', 2009. 328 p. (rus)
13. Vishnyakov S.A. Obespechenie pozharnoy bezopasnosti pri primenenii avtomaticheskikh sistem i ustanovok vodopennogo tusheniya pozharov v nasosnykh stantsiyakh [Fire safety in the application of automated systems and installations of water-foam fire extinguishing at pumping stations]. *Young scientist*. 2009. No 10. Pp. 37-39. (rus)

УДК 614.843.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЖАРНОГО СТВОЛА СПРУК 50/0,7 «ВИКИНГ» ПРИ ПОДАЧЕ ВОДЫ

Пармон В.В., Камлюк А.Н., Волчек Я.С., Асилбейли Р.Р., Морозов А.А.

В работе Приведены результаты экспериментальных исследований гидродинамических параметров пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг»: расхода огнетушащего вещества, дальности подачи огнетушащего вещества, эффективной дальности распыленной струи огнетушащего вещества и средней интенсивности орошения.

Ключевые слова: пожарный ствол; гидродинамические параметры; карта орошения; средняя интенсивность орошения.

(Поступила в редакцию 28 марта 2017 г.)

Введение. Согласно статистическим данным около 90 % от общего количества пожаров приходится на жилой фонд, поэтому значительный интерес при тушении пожаров представляет использование пожарных стволов с малым расходом (до 5 л/с). Это обусловлено рядом факторов. Во-первых, меньший расход огнетушащего вещества позволяет более эффективно использовать воду, что крайне важно при тушении пожаров в жилом фонде и при работе в условиях недостатка воды. Кроме того, ущерб от излишне пролитой воды может быть сравним с ущербом от пожара. Во-вторых, малый вес ствола позволяет увеличить скорость выполнения боевого развертывания и при этом сократить усилия личного состава.

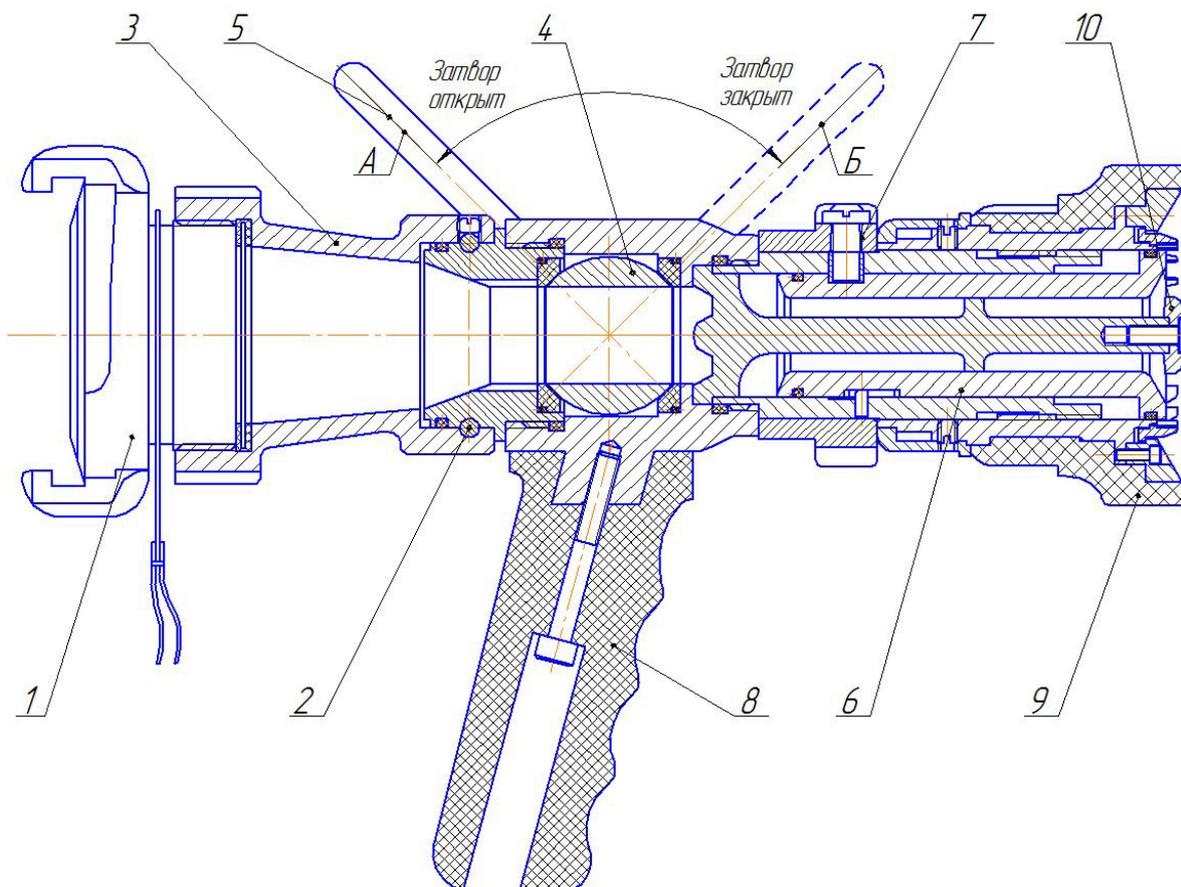
В настоящее время для тушения данных пожаров на вооружении в Республике Беларусь стоят пожарные стволы РСК-50 (Украина), пожарные стволы Protek 360 и Protek 366, разработанные и произведенные корпорацией «Protek» (Тайвань), а также аналог пожарного ствола Protek 366 – СПРУ-50/0,7, разработанный в Командно-инженерном институте МЧС Республики Беларусь и произведенный на заводе «Оптрон» [1 – 3].

С целью импортозамещения в 2015 году в Республике Беларусь был разработан ствол пожарный ручной универсальный комбинированный СПРУК 50/0,7 «Викинг» [4]. Согласно паспортным данным, полученный ствол обладает следующими гидродинамическими параметрами: дальность сплошной струи – 38 м; дальность распыленной струи – 20 м; возможность создания защитного экрана диаметром 4 м; регулируемый расход до 5,7 л/с; рабочее давление 0,7 МПа [5]. Следует отметить, что стоимость отечественного ствола более чем в два с половиной раза дешевле зарубежного аналога Protek 360. Однако данный ствол пока не поступил на вооружение наших спасателей, вследствие того, что не были в достаточной степени изучены его гидродинамические параметры: расход огнетушащего вещества, дальность подачи огнетушащего вещества, эффективная дальность распыленной струи огнетушащего вещества и средняя интенсивность орошения. Изучению тактико-технических характеристик СПРУК 50/0,7 «Викинг» при подаче воды и посвящена эта работа.

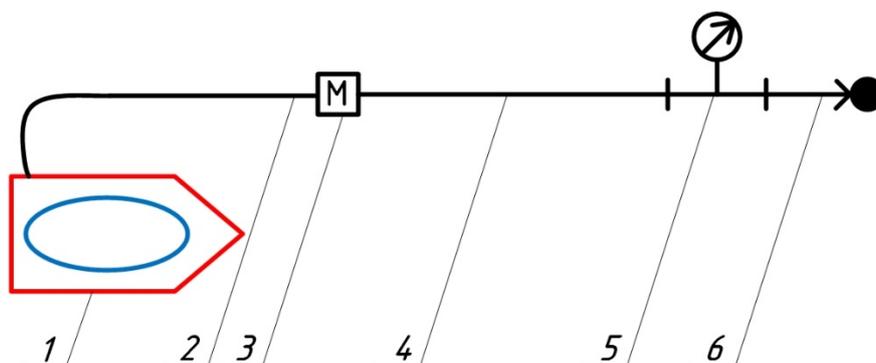
Методика проведения экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования были проведены на базе Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. Схема пожарного ствола приведена на рисунке 1.

Методика экспериментальных исследований разработана в соответствии с требованиями [6].

Для проведения исследований ручной пожарный ствол СПРУК 50/0,7 «Викинг» присоединяли к рукавной линии и пожарной автоцистерне АЦ 5,0-40/4 (533702) по схеме (рисунок 2). Исследования проводились на открытой площадке при скорости ветра не более 5 м/с. Давление перед пожарным стволом составляло от 400 до 700 кПа. В качестве огнетушащего вещества использовали водопроводную воду температурой (10–30)°С.



1 – головка соединительная ГЦ 50; 2 – крепежный элемент; 3 – вращающийся переходник; 4 – перекрывное устройство; 5 – рукоятка управления; 6 – механизм регулирования расхода огнетушащего вещества; 7 – дозатор; 8 – удерживающая рукоятка; 9 – насадок; 10 – дефлектор
Рисунок 1. – Схема пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг»



1 – пожарная автоцистерна; 2 – напорный пожарный рукав ($d = 51$ мм, $l = 4$ м);
 3 – расходомер электромагнитный РЭМ-02; 4 – напорный пожарный рукав ($d = 51$ мм, $l = 20$ м);
 5 – вставка с манометром МП 160 МЧ-1.0 Мпа; 6 - СПРУК 50/0,7 «Викинг»
Рисунок 2. – Схема подключения ствола к пожарной автоцистерне

Методика определения расхода огнетушащего вещества. Определение расхода огнетушащего вещества выполняли при рабочем давлении от 0,4 до 0,7 МПа. Измерение расхода воды проводили электромагнитным счетчиком воды с переходным расходом воды $3,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ и порогом чувствительности $0,2 \text{ м}^3/\text{ч}$. За результат принимали среднее арифметическое результатов 5-ти измерений.

Методика определения дальности струи. Для определения дальности струи пожарный ствол устанавливали под углом $30 \pm 1^\circ$ к горизонтали на высоте $1,00 \pm 0,01$ м от вы-

ходного отверстия насадка до площадки (рисунок 3). На площадке предварительно делали отметки на расстоянии 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 м от места установки ствола. После фиксации установившихся показаний манометра на месте падения крайних капель помещали метку. Измерения проводили рулеткой РЗУЗД. Выполняли серию из 5-ти измерений.



Рисунок 3. – Определение дальности подачи огнетушащего вещества

Методика определения эффективной дальности струи и средней интенсивности орошения. Определение эффективной дальности струи и средней интенсивности орошения проводили одновременно (рисунок 4). Для этого ствол размещали под углом $30 \pm 1^\circ$ к горизонтали на высоте $1,00 \pm 0,01$ м от выходного отверстия до площадки. На площадке устанавливали емкости, имеющие форму прямоугольного параллелепипеда с основанием $(100 \pm 5) \times (100 \pm 5)$ мм и высотой 200 ± 5 мм согласно схеме, приведенной на рисунке 5. Количество емкостей зависело от орошаемой площади, но не превышало 150 штук.



Рисунок 4. – Определение средней интенсивности орошения и эффективной дальности струи

До фиксации установившихся показаний манометра и по окончании сбора осадков ствол направлялся в сторону от испытательной площадки. Время сбора осадков 5 минут фиксировали по секундомеру. Для определения эффективной дальности струи и средней интенсивности орошения использовали только емкости, уровень воды в которых достиг отметки 10 мм. Для указанных емкостей определяли локальную интенсивность орошения по формуле

$$i = \frac{V}{S \cdot t}, \quad (1)$$

где V – объем воды в емкости, л;
 S – площадь основания емкости, м²;
 t – время сбора капель, с.

Среднюю интенсивность орошения определяли по формуле

$$i_{\text{ср}} = \frac{\sum i}{n}, \quad (2)$$

где n – количество мерных емкостей с уровнем воды не менее 10 мм.

Эффективную дальность струи определяли как расстояние от sprыска ствола до места с наибольшей локальной интенсивностью орошения.

По методике определения эффективной дальности струи и средней интенсивности орошения проводили серию из 3 измерений.

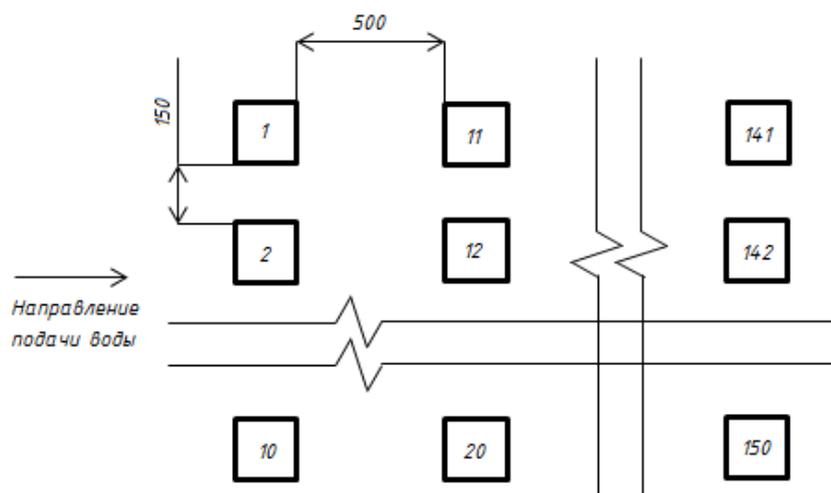


Рисунок 5. – Схема расстановки емкостей

Результаты экспериментальных исследований СПРУК 50/0,7 «Викинг». При обработке экспериментальных данных применяли методики, приведенные в [7]. При этом полагали, что распределений случайных ошибок измерений подчиняется нормальному закону распределения Гаусса. Оценка точности измерений при определении средней интенсивности орошения проводилась по методике оценки погрешности косвенных измерений. При оценке точности измерений расхода, дальности, эффективной дальности струи применялась методика обработки прямых измерений.

Относительная погрешность измерений при определении расхода не превысила 4 %, дальности, эффективной дальности струи – 10 %. При измерении средней интенсивности орошения относительная погрешность не превысила 20 %. Достаточно высокая погрешность объясняется воздействием порывов ветра на капли струи.

Результаты определения расхода огнетушащего вещества приведены в таблице 1.

Согласно паспортным данным [5] благодаря наличию устройства для регулирования расхода ствол пожарный СПРУК 50/0,7 «Викинг» может обеспечить подачу огнетушащего вещества в диапазоне расходов 0,53–5 л/с. По результатам определения расхода огнетушащего вещества можно сделать вывод, что испытываемый ствол по значению расхода огнетушащего вещества соответствуют заявленным показателям.

Таблица 1. – Результаты определения расхода огнетушащего вещества

Позиция регулятора расхода	Вид струи	Давление, МПа							0,8
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	
		Значение расхода, л/с							
1	компактная	0,31	0,39	0,47	0,53	0,58	0,67	0,69	0,81
	распыленная								
	завеса								
2	компактная	0,44	0,69	0,83	0,97	1,06	1,17	1,28	1,33
	распыленная								
	завеса								
3	компактная	1,11	1,33	1,61	1,83	2,06	2,28	2,42	2,53
	распыленная								
	завеса								
4	компактная	1,36	1,92	2,22	2,61	2,97	3,25	3,61	3,91
	распыленная								
	завеса								
5	компактная	2,11	2,41	2,75	3,15	3,45	3,73	4,17	4,58
	распыленная								
	завеса								
6	компактная	3,08	3,11	3,31	3,67	4,03	4,36	5,00	5,42
	распыленная								
	завеса								

Примечание. Выделенные в таблице значения давления являются рабочими согласно паспорту.

Результаты определения дальности подачи огнетушащего вещества приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты определения дальности подачи огнетушащего вещества

Позиция регулятора расхода	Вид струи	Давление, МПа							0,8
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	
		Значение дальности подачи огнетушащего вещества, м							
1	компактная	10	14	16	18	18,5	19	21	21,5
	распыленная	6	6,5	7	8,5	10	11	11,5	12
2	компактная	13	15	20	22	23	24,5	26	27
	распыленная	6	7	9	10	11	12	13	14,5
3	компактная	15	20	22	23	26	30	33	36
	распыленная	8	10	12	13	14	15	15,5	16,5
4	компактная	17	23	26,5	30	32,5	34	36	36,5
	распыленная	9	11	13	14,5	15,2	16	17,5	19
5	компактная	18	27	28	31,5	33,2	35,1	36,9	37,5
	распыленная	10,5	12	14	15,2	16	17	18	20,2
6	компактная	22	26	30	32,5	34,5	36,5	38	38,7
	распыленная	11	13,3	15,1	16,3	18	19,4	20,5	21,5

Примечание. Выделенные в таблице значения давления являются рабочими согласно паспорту.

Результаты определения эффективной дальности распыленной струи и средней интенсивности орошения приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты определения эффективной дальности распыленной струи и средней интенсивности орошения.

Положение регулятора расхода	Показатели	
	эффективная дальность распыленной струи, м	средняя интенсивность орошения, л/с·м ²
1	3,75	0,019
2	4,35	0,038
3	6,75	0,057
4	7,95	0,069
5	9,15	0,078
6	10,35	0,091

На рисунке 6 представлено сравнение карт орошения при различных положениях регулятора расхода испытываемого ствола.

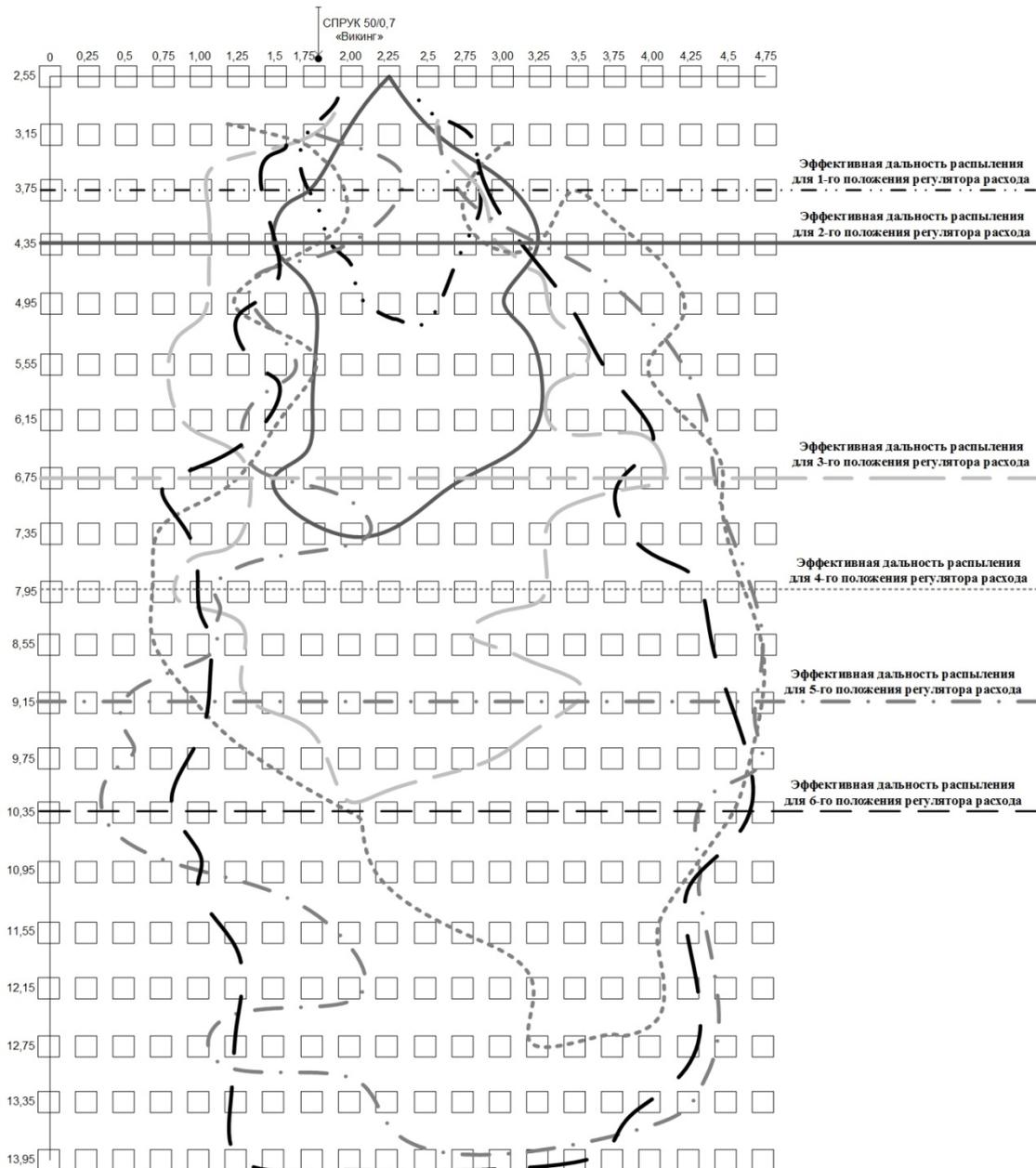


Рисунок 6. – Карты орошения при различных положениях регулятора расхода распыленной струи ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг»

Наибольшая эффективная дальность орошения наблюдалась для 5-го и 6-го положения регулятора расхода, наименьшая – для 1-го и 2-го. На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что с увеличением расхода огнетушащего вещества увеличиваются все показатели пожарного ствола.

Заклучение. В работе представлены экспериментальные исследования пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» при подаче воды. Кроме того, были изучены эффективная дальность распыленной струи огнетушащего вещества и средняя интенсивность орошения. По итогам испытаний была составлена карта орошения для различных положений регулятора расхода, а также установлено, что фактические показатели превышают требуемые.

Тактико-технические характеристики СПРУК 50/0,7 «Викинг» ($P = 400 \pm 50$ кПа, четвертое положение регулятора расхода), ствола Protek 360 ($P = 400 \pm 50$ кПа, четвертое (крайнее) положение регулятора расхода) и ствола РСК-50 ($P = 400 \pm 50$ кПа) [8] приведены в таблице 4.

Таблица 4. – Сравнительные характеристики современных ручных пожарных стволов

Наименование показателя	Пожарные стволы		
	СПРУК 50/0,7 «Викинг»	Protex 360	РСК-50
Расход огнетушащего вещества, л/с	0,7-1,3-2,4- 3,6 -4,1-5,0	0,3-0,6-1,5- 2,5	2,8
Дальность струи воды, м			
- компактной	30	30	30
- распыленной	14,5	нет данных	12
Эффективная дальность струи, м	10,35	9,4	9,00
Средняя интенсивность орошения, л/с·м ²	0,091	нет данных	0,076

Из приведенной таблицы следует, что у пожарного ствола СПРУК 50/0,7 «Викинг» по сравнению со стволом РСК-50 средняя интенсивность орошения возрастает на 16 %. Следует отметить увеличение дальности распыленной струи на 9 % по сравнению со стволом РСК-50, а также эффективной дальности струи на 14 %. Важным преимуществом разработанного отечественно ствола является возможность подачи огнетушащего вещества в широком диапазоне расходов (от 0,7 до 5,0 л/с).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ствол пожарный ручной универсальный СПРУ 50/0,7. Паспорт. Руководство по эксплуатации. ЭФЮП 306142.001 РЭ. – М.: РУП «Приборостроительный завод «ОПТРОН». – 9 с.
2. Шафранский, Д.А. О результатах испытания экспериментального образца ствола ручного пожарного универсального СПРУ 50/0,7 / Д.А. Шафранский // Вестник Командно-инженерного института. – 2013. – № 1 (17). – С. 68-74.
3. Карпенчук, И.В. Разработка и оптимизация гидродинамических параметров отечественной модификации экспериментального образца ствола ручного пожарного универсального / И.В. Карпенчук, Д.А. Шафранский, Н.Г. Янкевич // Вестник Командно-инженерного института. – 2013. – № 2 (18). – С. 270-279.
4. Камлюк, А.Н. Расчет и оптимизация геометрии проточного канала пожарного ствола с расходом до 5 л/с / А.Н. Камлюк, В.В. Пармон, А.А. Морозов // Вестник Командно-инженерного института. – 2016. – № 1 (23). – С. 51-59.
5. Ствол пожарный ручной универсальный СПРУК 50/0,7 «Викинг». Паспорт. Руководство по эксплуатации. ЭФЮП 306142.001 РЭ. – М.: РУП «Приборостроительный завод «ОПТРОН». – 9 с.
6. Система стандартов пожарной безопасности. Стволы пожарные ручные. Общие технические условия: СТБ 11.13.14-2009. – Введ. 21.08.09. – М.: Госстандарт Республики Беларусь: Учреждение «Минское областное управление МЧС Республики Беларусь», 2009. – 12 с.
7. Учебно-методическое пособие по обработке экспериментальных данных / Н.И. Бохан [и др.] – Светлая Роща: ИППК МЧС Республики Беларусь, 2008. – 34 с.
8. Стволы пожарные ручные РСП-50, РСК-50 ДСТУ 2112-92 (ГОСТ 9923-93) паспорт – Харцыз, Украина: ООО «Харцызский машиностроительный завод». – 6 с.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE FIRE BARELL SPRUK 50/0,7 «VIKING» WHEN SUPPLYING WATER

Parmon Valerij Candidate of Technics, Associate Professor

Kamluk Andrei Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor

Volchek Jaroslau

Asilbejli Ramiz

Marozau Artsiom

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

Purpose. Study of the hydrodynamic parameters of the SPRUK 50/0,7 «Viking» fire barrel: the extinguishing agent consumption, the fire extinguishing agent delivery distance, the effective range of the sprayed spray of the extinguishing agent and the average irrigation intensity.

Methods. Experimental studies were carried out on the basis of the University of civil protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus in accordance with the requirements of STB 11.13.14-2009 Manual fire trunks. General specifications.

Findings. It has been established that the average fire intensity in the SPRUK 50/0,7 «Viking» fire barrel increases by 16% in comparison with the RSK-50 trunk, while the water consumption decreases by 14%. It should be noted that the range of the compact and sprayed jet is increased by 10 and 22 % in comparison with the Protek 360 and RSK-50 barrels, respectively, and the effective range of the jet by 14 %.

Application field of research. Extinguishing fires in a residential building using fire barrels with low consumption (up to 5 l/s).

Conclusions. As a result of the experiments, the effective range of the sprayed jet of the extinguishing agent and the average irrigation intensity were studied. As a result of the tests, an irrigation map was compiled for different positions of the flow controller, and it was also found that the actual values exceed the required values.

Keywords: fire barrel; hydrodynamic parameters; irrigation card; the average intensity of irrigation.

(The date of submitting: March 15, 2016)

REFERENCES

1. *Fire barrel, manual, universal SPRU 50/0,7. Passport. Manual.* EFUIP 306142.001 RE. - M: RUE «Instrument-Making Plant» OPTRON». 9 p. (rus)
2. Shafranskiy D.A. On the results of testing the experimental sample of the barrel of a manual fire-fighting universal SPRU 50/0,7. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2013. № 1 (17). Pp. 68-74.(rus)
3. Karpenchuk I.V., Shafranskiy D.A., Yankevich N.G Development and optimization of hydrodynamic parameters of the domestic modification of the experimental model of the manual fireman's trunk. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2013. № 2 (18). Pp. 270-279. (rus)
4. Kamlyuk A.N., Parmon V.V., Morozov A.A. Calculation and optimization of the geometry of the flow channel of the fire barrel at a flow rate of up to 5 l/s. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2016. № 1 (23). Pp. 51-59. (rus)
5. *Fire barrel manual universal SPRUK 50/0,7 «Viking». Passport. Manual.* EFUIP 306142.001 RE. M: RUE «Instrument-Making Plant» OPTRON». 9 p. (rus)
6. Fire safety standards system. *Fire fighting trunks manual. General specifications: STB 11.13.14-2009.* Enter. 21.08.09. M: Gosstandart of the Republic of Belarus Belarus: Establishment «Minsk regional department of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarussia», 2009. 12 p. (rus)
7. Bokhan N.I. and others. *Teaching-methodological manual on the processing of experimental data.* Light Grove: IPPK MChS Respubliki Belarus', 2008. 34 p. (rus)
8. *Stvolý požarnye ruchnye RSP-50, RSK-50 DSTU 2112-92 (GOST 9923-93) passport.* Khartsyz, Ukraina: OOO «Khartsyzskiy mashinostroitel'nyy zavod». 6 p.

УДК 614.844.5:614.844.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОРОСИТЕЛЕЙ НА КРАТНОСТЬ ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ

Камлюк А.Н., Лихоманов А.О.

Проведены экспериментальные исследования процесса образования воздушно-механической пены низкой кратности в розеточных оросителях с целью установления влияния отдельных элементов их конструкции на кратность получаемой пены. Проведен анализ полученных экспериментальных данных и определены наиболее перспективные направления повышения эффективности тушения пенными оросителями в автоматических установках пожаротушения.

Ключевые слова: автоматические установки пожаротушения, воздушно-механическая пена, предварительная аэрация, кратность пены, оросители, труба Вентури, розетка оросителя, эффективность тушения.

(Поступила в редакцию 5 апреля 2017 г.)

Введение. Автоматические установки пожаротушения (далее – УП) являются наиболее эффективными средствами противопожарной защиты зданий и сооружений. Высокая эффективность обеспечивается тем, что огнетушащее вещество в УП при возгорании автоматически подается в защищаемый объем и позволяет ликвидировать пожар на ранней стадии. По данным крупных зарубежных организаций [1, 2], занимающихся вопросами обеспечения пожарной безопасности, УП срабатывают, локализуют либо ликвидируют пожар в 93 % случаев. Причинами остальных 7 % неэффективности систем являются: 66 % – УП на момент возникновения пожара находились в отключенном состоянии, 16 % – были отключены либо выведены из строя путем ручного вмешательства, 10 % – некачественное обслуживание систем, 6 % – вид УП и/или огнетушащего вещества не соответствовали данному типу помещений и/или пожарной нагрузки, 2 % – были повреждены элементы систем. По представленной статистике видно, что в подавляющем большинстве случаев причиной невыполнения своих функций УП является человеческий фактор. Следовательно, можно утверждать, что при корректном проектировании, монтаже и обслуживании УП их эффективность может достигать 99 %. В различные годы данными системами было ликвидировано от 70 до 90 % пожаров при срабатывании не более чем 10 оросителей [3].

В настоящее время объем производства оросителей растет с большой интенсивностью как на территории Беларуси, так и за рубежом. Общемировой рост потребления оросителей для автоматических установок пожаротушения связан как с их высокой эффективностью, так и с предоставлением льгот при страховании при оборудовании помещений данными системами. Так, по данным [3] в Китайской Народной Республике внутренний рынок спринклеров за последние 10 лет вырос от единичных случаев установки до около 15 млн штук ежегодно устанавливаемых оросителей.

Наиболее применяемыми огнетушащими веществами в автоматических установках пожаротушения являются вода и пена [4]. Пена представляет собой дисперсную систему, состоящую из ячеек с газом, разделенных пленками жидкости, содержащей пенообразователь. Пенные установки получили широкое применение практически во всех странах мира при обеспечении пожарной безопасности зданий и сооружений, где тушение пеной будет наиболее эффективным, а именно: на химических, нефтехимических и металлургических предприятиях, в складских помещениях, общественных и образовательных учреждениях, учреждения здравоохранения и общественного питания. По данным МЧС Беларуси доля пенных УП составляет более 15 % от всех эксплуатируемых на территории страны систем [5].

Для получения воздушно-механической пены в современных автоматических уста-

новках пожаротушения используется два типа пенообразующих устройств: 1) механические пенообразующие устройства для получения пены низкой кратности (оросители розеточные, центробежные (эвольвентные), диафрагменные (каскадные), винтовые, шелевые, струйные, лопаточные и др.); 2) устройства для получения пены средней кратности (сеточные генераторы) типа ГПСС-200, ГПСС-600, ГПСС-2000, ГЧСМ. Под кратностью пены K понимается величина, равная отношению объема пены к объему раствора пенообразователя, содержащегося в ней. Иными словами, кратность показывает количество газа в пене, полученной из определенного количества пенообразователя. Различают пены низкой ($K < 20$), средней ($K = 20 \div 200$) и высокой ($K > 200$) кратности [6]. Безродным И.Ф., Меркуловым В.А., Кучером В.М., а также рядом других ученых и специалистов, занимавшихся исследованием процессов разрушения огнетушащих пен, определено, что пены низкой кратности обладают наибольшей проникающей способностью, растекаемостью по поверхности и эффективностью охлаждения по сравнению с пенами средней и высокой кратности [7-11].

Для получения пены низкой кратности наибольшей популярностью (до 90 % от общего числа пенных оросителей) пользуются розеточные оросители универсальные [4, 12]. Оросители в зависимости от наличия теплового замка либо привода для срабатывания подразделяются на спринклерные, дренчерные, с управляемым приводом, а также комбинированные [6]. В большинстве случаев применяются спринклерные либо дренчерные оросители. Спринклерный ороситель имеет запорное устройство выходного отверстия, вскрываемым при срабатывании теплового замка при определенной температуре. Дренчерный ороситель отличается отсутствием запорного устройства и теплового замка. Универсальными являются оросители, которые допускают применение для тушения очага пожара в УП как воды, так и водных растворов, в том числе пенных [6]. При этом оросители универсальные всех марок производителей имеют схожую конструкцию, характеристики для гидравлического расчета и принцип действия. При работе оросителей розеточного типа во время пожара водный раствор пенообразователя, проходя через выходное отверстие оросителя, формируется в коническую струю и подается на специальную перфорированную розетку, которая реализует механизм дезинтеграции потока пенообразователя и его вспенивание. Принцип работы розеточных пенных оросителей заключается в эжекции воздуха за счет скорости струи пенообразователя [5].

Популярность данного типа оросителей можно объяснить относительной простотой конструкции, что значительно уменьшает стоимость их производства и эксплуатации, однако, по декларируемой сопроводительной документации на изделия кратность воздушно-механической пены при их использовании не превышает 5–7.

Для повышения эффективности тушения розеточными оросителями в работе [13] была предложена конструкция пенного оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, состоящая из эжектора и оросителя универсального. Наибольший интерес в данной конструкции представляет эжектор, установленный перед оросителем, предназначенный для предварительной аэрации (газонасыщения) раствора пенообразователя. Эжектор имеет конфузорный и диффузорный участки, участок узкого сечения и выполнен по типу трубы Вентури с отверстиями для эжекции воздуха. Принцип действия данной конструкции заключается в подсосе окружающего воздуха через отверстия в корпусе оросителя за счет создаваемого в узком сечении эжектора разрежения. Благодаря предварительной аэрации образуемый на выходе газожидкостный поток, проходя через ороситель универсальный и попадая на его розетку, не способен сопротивляться растягивающим усилиям и легко дробится, образуя воздушно-механическую пену кратностью 10–14 [13]. В работе [15] также было подтверждено положительное влияние аэрации огнетушащего вещества на кратность получаемой пены при разработке конструкции водопенного насадка для пожарного ствола.

Недостатком конструкции эжектора [13] является сложность ее изготовления, при

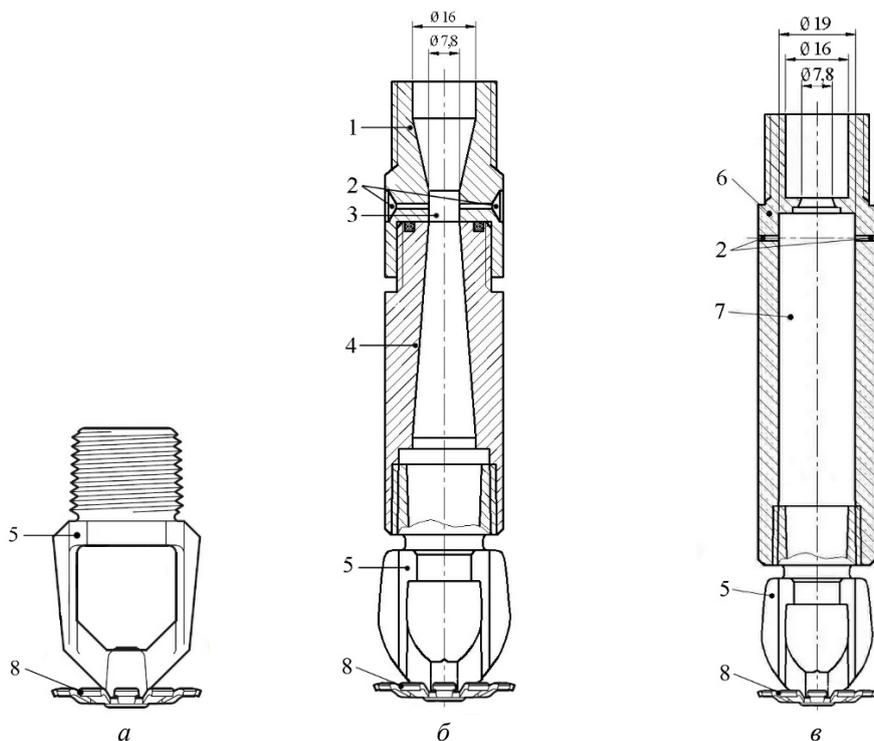
этом выполненный по типу трубы Вентури эжектор создающий гидродинамические условия для подсосывания воздуха, приводит к возникновению дополнительных потерь энергии. Также следует отметить ограниченный диапазон давлений, при которых в конструкции эжектора [13] будет проявляться эффект Вентури и производиться эжекция воздуха в поток раствора пенообразователя. С целью снижения технологических затрат на изготовление эжектора в [14] предлагается выполнить его проточный тракт цилиндрической формы, где подводящий и отводящий участки разделены диафрагмой с коническим проходным отверстием. За диафрагмой по ходу движения раствора пенообразователя располагаются отверстия для подсоса воздуха. Эжекция окружающего воздуха через отверстия в корпусе оросителя, по утверждению авторов, будет происходить за счет возникновения вихревых зон с нулевым давлением в их центрах за диафрагмой по ходу движения огнетушащего вещества. Однако характеристики получаемой в данном случае воздушно-механической пены в патенте не указываются, а также отсутствуют экспериментальные данные, доказывающие образование вихревых зон в полости эжектора, обеспечивающих подсос воздуха через отверстия в его корпусе.

Для получения воздушно-механической пены кратностью $K = 10\text{--}15$ можно использовать не только различные конструкции эжекторов, но и розеток, на которых происходит механическое разбиение газожидкостного потока. Благодаря активному внедрению аддитивных технологий в промышленности в перспективе можно изготавливать розетки любой геометрической формы, в том числе из металла. Геометрическая форма таких розеток может быть рассчитана и оптимизирована путем 3D-моделирования, а также точно воспроизведена посредством 3D-печати.

В настоящее время отсутствуют теоретические и экспериментальные данные о вкладе конструктивных пенообразующих факторов на значение кратности получаемой воздушно-механической пены, а именно влияние эжектора и розетки. Путем дифференциации влияния каждого из указанных факторов на кратность пены можно определить наиболее перспективное направление повышения эффективности тушения пенными оросителями в автоматических установках пожаротушения.

Описание экспериментальной установки и методики эксперимента. В рамках решения поставленной цели, заключающейся в проведении анализа экспериментальных данных о вкладе отдельных элементов конструкции современных оросителей в увеличение кратности получаемой воздушно-механической пены, были проведены исследования процесса образования пены низкой кратности в розеточных оросителях различной конструкции.

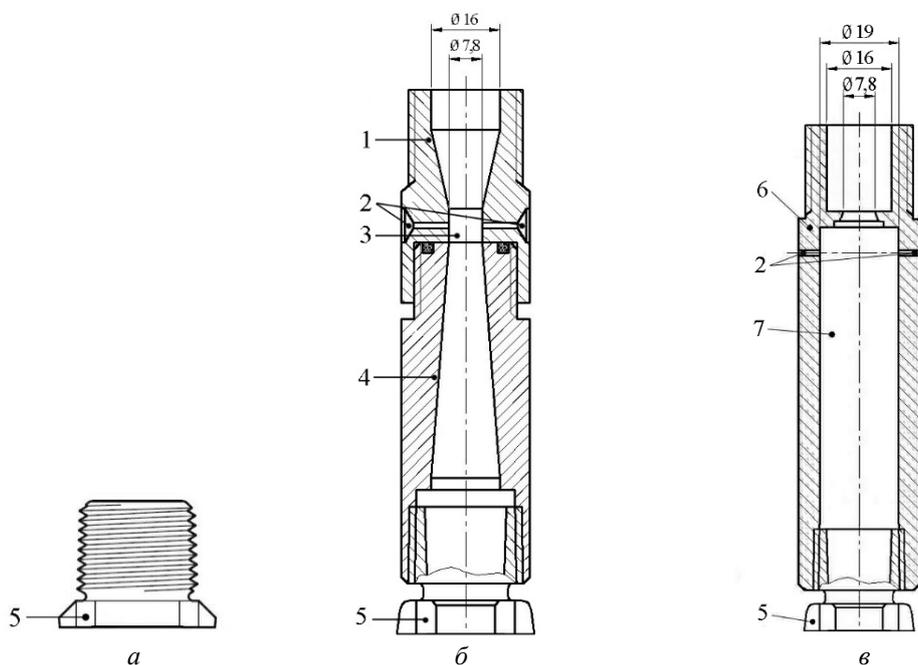
При выполнении серии экспериментов определялась кратность воздушно-механической пены, получаемой через оросители шести типов конструктивного исполнения (оросители № 1 – № 6, рисунки 1 и 2). Стандартный ороситель универсальный ТУСО 3251 принят в качестве экспериментального образца оросителя № 1 (рисунок 1, а). Конструкция оросителя № 2 аналогична предложенной в [13, 14] и представляет собой эжектор с 6-ю отверстиями, выполненный по принципу трубы Вентури, с оросителем универсальным ТУСО 3251 (рисунок 1, б). Конструкция оросителя № 3 выполнена согласно [14] и имеет цилиндрическую форму проточного тракта эжектора с шестью отверстиями для подсоса воздуха, разделенного диафрагмой с проходным отверстием, и ороситель универсальный ТУСО 3251 (рисунок 1, в). Конструкции оросителей № 4, № 5 и № 6 представляют собой соответственно оросители № 1, № 2 и № 3, но только со срезанной розеткой (рисунок 2, а–в).



а – ороситель № 1; б – ороситель № 2; в – ороситель № 3;

1 – конфузор; 2 – отверстия для эжекции воздуха; 3 – узкое сечение; 4 – диффузор; 5 – ороситель универсальный; 6 – корпус эжектора; 7 – отверстие для подачи огнетушащего веществ; 8 – розетка

Рисунок 1. – Схемы экспериментальных конструкций оросителей № 1 – № 3

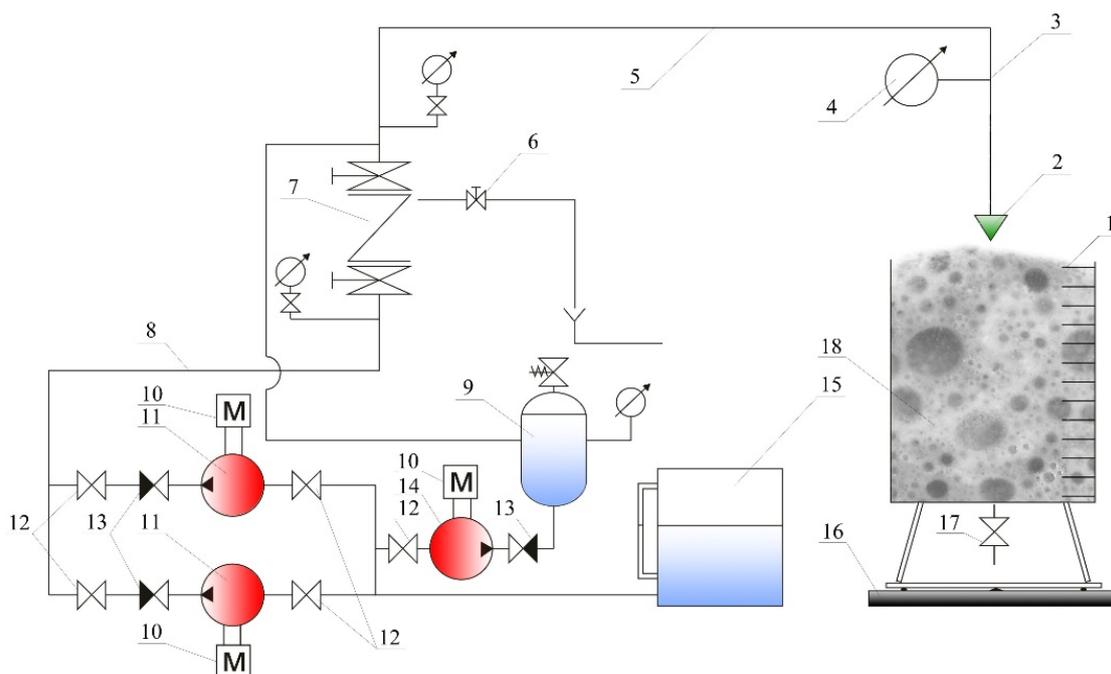


а – ороситель № 4; б – ороситель № 5; в – ороситель № 6;

1 – конфузор; 2 – отверстия для эжекции воздуха; 3 – узкое сечение; 4 – диффузор; 5 – ороситель универсальный; 6 – корпус эжектора; 7 – отверстие для подачи огнетушащего веществ

Рисунок 2. – Схемы экспериментальных конструкций оросителей № 4 – № 6

Экспериментальные исследования проводились на установке, гидравлическая схема которой представлена на рисунке 3.



- 1 – шкала; 2 – ороситель; 3 – распределительный трубопровод; 4 – манометр; 5 – питающий трубопровод; 6 – кран ручного пуска; 7 – клапан запорный универсальный; 8 – подводящий трубопровод; 9 – пневмобак; 10 – электроприводы насосов; 11 – основной и резервный насосы; 12 – регулирующие вентили; 13 – обратный клапан; 14 – жокей-насос; 15 – емкость для раствора пенообразователя; 16 – электронные весы; 17 – сливной кран; 18 – мерная емкость

Рисунок 3. – Схема экспериментальной установки для исследования влияния конструктивных элементов оросителя на кратность воздушно-механической пены

В ходе эксперимента применялись средства измерений и оборудование, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. – Средства измерений и оборудование для обеспечения экспериментальных исследований

Наименование	Диапазон измерений	Цена деления	Класс точности
Весы (электронные) для статического взвешивания типа ВЛК-500	(0–50) кг	–	средний (по ГОСТ 24104)
Секундомер СОПр-2а-3-000	(0–30) мин	0,2 сек	3
Термометр лабораторный по ГОСТ 28498	(–30 ÷ +70) °С	1°С	2
Манометр МПТИ-УЗ	(0–0,25) МПа	0,005 МПа	0,4
Прямоугольная емкость для сбора пены ($H = 0,5$ м; $V = 50$ дм ³)	–	–	–

Получение воздушно-механической пены низкой кратности осуществлялось при использовании водного раствора пенообразователя (ПО) марки «Синтек». Для этого емкость 15 заполняли 470 л воды и 30 л пенообразователя. При помощи термометра лабораторного определялась температура полученной смеси, которая должна находиться в диапазоне 10÷30 °С. Далее производилась циркуляция смеси воды и пенообразователя по замкнутому контуру экспериментальной установки с целью равномерного перемешивания ее компонентов и получения шестипроцентного раствора пенообразователя. Процесс перемешивания осуществлялся следующим образом: включали насосы 11, открывали вентили 12 и вентиль обводной линии 19, затем путем поднятия рычага клапана запорного универсального 7 в положение «Открыто» активировался ток смеси воды и ПО по обводной линии обратно в емкость 15. Перемешивание осуществлялось в течение 20 мин. После этого вентиль 19 закрывали. Далее для подачи раствора пенообразователя к оросителю открывался кран ручного пуска 6, устанавливалось рабочее давление $(0,2 \pm 0,01)$ МПа в трубопроводах 3, 5 и 8, определяемое по манометру 4.

После установления равномерного потока пены из оросителя (5–10 с, по секундомеру), осуществлялся ее сбор при помощи мерной емкости 18. Сбор пены выполнялся следующим образом: в начальный момент емкость 18 устанавливалась таким образом, что розетка оросителя (для оросителей № 1 – № 3, рисунок 1) либо его выходное отверстие (для оросителей № 4 – № 6, рисунок 2) находилось на расстоянии (5 ± 1) см от дна мерной емкости, после чего она постепенно опускалась вниз по мере наполнения и убиралась из-под потока огнетушащего вещества при достижении верхней кромки емкости. Затем определяли массу емкости с пеной путем взвешивания на электрических весах 16.

При заданном давлении для каждого оросителя производилось не менее 5 измерений. После проведения эксперимента закрывали рычаг КЗУ 7, вентили 12, кран ручного пуска 6 и выключали насосы 11.

Определение кратности пены, получаемой из оросителей № 1 – № 6, производилось объемным методом. Определив массу емкости 15, полностью наполненной пеной, кратность рассчитывали по формуле [6]:

$$K = \frac{V_{\text{м.е.}}}{m_2 - m_1} \cdot \rho_p, \quad (1)$$

где $V_{\text{м.е.}}$ – объем мерной емкости, м^3 ;

m_2 – масса мерной емкости, заполненной пеной, кг;

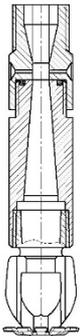
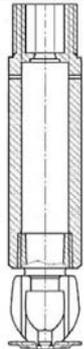
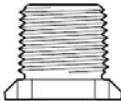
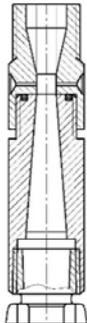
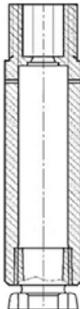
m_1 – масса мерной емкости, кг;

ρ_p – плотность раствора пенообразователя, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Обработка полученных экспериментальных данных производилась в соответствии с [16].

Результаты экспериментальных исследований и выводы. В результате проведенных экспериментальных исследований были получены численные значения кратности воздушно-механической пены, получаемой при использовании шести различных конструкций оросителей. Экспериментальные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты экспериментальных исследований

Наименование параметра	Значение параметра для оросителя					
Номер схемы оросителя	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Схема оросителя						
Предварительная аэрация за счет эффекта Вентури	–	+	–	–	+	–
Предварительная аэрация за счет вихревых зон	–	–	+	–	–	+
Механическое разбиение о розетку	+	+	+	–	–	–
Создание распыленной струи	+	+	+	–	–	–
Кратность пены	6,5	12,2	10,9	2,9	4,5	3,9

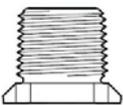
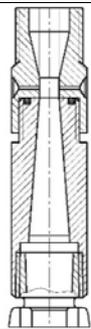
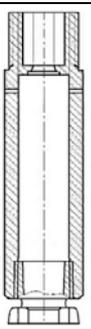
Проводя сравнение полученных значений кратности воздушно-механической пены при использовании оросителей с наличием розетки, т. е. оросителей № 1 – № 3 (таблица 2), необходимо отметить подтверждение опытных данных, представленных в работе [13], о значительном увеличении кратности пены при использовании эжектора, выполненного по принципу трубы Вентури, по сравнению со стандартными универсальными розеточными оросителями (K увеличена на 88 % по сравнению с оросителем № 1). Также высокую эффективность в повышении кратности пены показал ороситель № 3, осуществляющий предварительную аэрацию раствора пенообразователя по механизму, описанному в [14] (K увеличена на 68 % по сравнению с оросителем № 1). Кратность пены при использовании оросителя № 3 меньше оросителя № 2 всего на 12 %. Это подтверждает тот факт, что конструкция эжектора [14] способна осуществлять предварительную аэрацию огнетушащего вещества практически с одинаковой эффективностью в сравнении с конструкцией эжектора, представленной в работе [13]. В этом случае отпадает необходимость в сложной конструкции проточного тракта в виде трубы Вентури.

Положительный эффект от предварительной аэрации сохраняется и в случае, когда розетка отсутствует (оросители № 4 – № 6, таблица 2).

Сопоставляя значения кратности пены, полученные при использовании оросителей № 1 и № 4, № 2 и № 5, № 3 и № 6 (таблица 2), видно, что механическое разбиение потока раствора пенообразователя о розетку не только способствует его существенному повышению (на 124 %, 171 % и 179 % соответственно), но и обеспечивает создание распыленной струи огнетушащего вещества, орошающей необходимую для защиты площадь, чего не происходит при отсутствии розетки оросителя.

В ходе проведения экспериментальных исследований было замечено, что положение мерной емкости при сборе пены в серии опытов с оросителями без розетки (оросители № 4 – № 6) оказывает влияние на кратность получаемой пены. Ввиду этого была проведена дополнительная серия экспериментов, при выполнении которых была незначительно изменена методика их проведения в части осуществления сбора пены. Изменение заключалось в следующем: в начальный момент сбора пены мерная емкость 18 подносилась таким образом, что его выходное отверстие (для оросителей № 4 – № 6) находилось на одном уровне с верхней кромкой емкости, при этом расстояние до ее дна составляло около 50 см. Результаты проведенной серии дополнительных экспериментов приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты дополнительных экспериментальных исследований

Наименование параметра	Значение параметра для оросителя		
	№ 4	№ 5	№ 6
Номер схемы оросителя			
Схема оросителя			
Предварительная аэрация за счет эффекта Вентури	–	+	–
Предварительная аэрация за счет вихревых зон	–	–	+
Кратность пены	6,2	14,2	12,2

Увеличение расстояния до дна мерной емкости при сборе пены показали значительное увеличение кратности пены при использовании оросителей № 4 – № 6 по сравнению с

полученными данными для данных оросителей в первом случае (на 114 %, 207 % и 162 % соответственно). Данный факт говорит о том, что увеличение скорости струи за счет ускорения свободного падения и удар о препятствие, в данном случае в виде дна мерной емкости, создает настолько мощный эффект дезинтеграции потока огнетушащего вещества, что кратность в случае применения эжекторов для предварительной аэрации превышает значения, полученные при их использовании с оросителями универсальными с розеткой, установленной, как правило, на расстоянии 3–4 диаметра выходного отверстия оросителя.

Выводы. Таким образом, по результатам анализа полученных экспериментальных данных установлено влияние отдельных конструктивных элементов современных оросителей на кратность воздушно-механической пены. Подтверждена эффективность предварительной аэрации огнетушащего вещества, при этом показано, что простые конструкции эжектора (например, ороситель № 3) не уступают по своим аэрационным способностям эжекторам, выполненным по принципу трубы Вентури (например, ороситель № 2). Кроме того, установлено, что наибольший вклад в увеличение кратности приносит разбиение потока раствора пенообразователя о розетку оросителя. Следовательно, путем моделирования поверхности розетки, способа ее крепления (например, в оросителе № 1 газожидкостный поток сначала ударяется о винт оросителя, где теряет скорость, после чего достигает поверхности розетки) и расположения можно добиться значений кратности пены $K = 10\text{--}15$ даже без эффекта предварительной аэрации. За счет подсоединения к оросителю эжектора можно дополнительно повысить эффективность его использования. Для определения влияния геометрии розетки, способа ее крепления и расположения по отношению к оросителю требуются дополнительные теоретические и экспериментальные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sprinkler Reliability. Information file // BAFSA [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа : <http://www.bafsa.org.uk/pdfs/publications/9/00000109.pdf>. – Дата доступа : 07.03.2017.
2. John, R. Hall. JR. NFPA USA. U.S. Experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment [Text]. – 2013. – P. 81.
3. Развитие спринклерных пожарных систем. История и тенденции // Журнал «Сантехника». – 2011. – № 1. – С. 58-61.
4. Собурь, С.В. Установки пожаротушения автоматические : учебно-справочное пособие. – 9-е изд., перераб [Текст] / С.В. Собурь. – М. : ПожКнига, 2014. – 320 с.
5. Павлюков С.Ю. Ороситель автоматической установки пенного пожаротушения с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды : дисс. к.т.н. : 05.26.03 – Минск, 2016. – 160 л.
6. Государственный стандарт Республики Беларусь. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний [Текст] : СТБ ГОСТ Р 50588-99 – Введ. 30.12.1999 г. – Мн. : Госстандарт Республики Беларусь, 1999. – 18 с.
7. Изучение процессов тушения пламени нефтепродуктов низкократными пенами [Текст] / В.М. Кучер, В.А. Меркулов, В.В. Жуков, В.Н. Кучер, В.М. Понимасов. Пожаротушение: Сб. науч. тр. – М. : ВНИИПО, 1984 – С. 29–37.
8. Безродный, И.Ф. Разрушение пены на поверхности горючей жидкости [Текст]. И.Ф. Безродный, В.Ч. Реутт. / Исследования в области обеспечения пожарной безопасности на предприятиях авиационной промышленности / Сборник научных трудов. – М. : МАИ, 1983. – С.25-29.
9. Безродный, И.Ф. Разрушение воздушно-механической пены в факеле пламени [Текст] / И.Ф. Безродный, А.С. Бобков. Пожарная техника и тушение пожаров: Сб. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1982. – С. 70–73.
10. Лебедев, С.Ю. Влияние температуры растворителей на разрушение пен [Текст] // Пожаротушение: Сб. научн. тр. – М.: ВНИИПО, 1985. – С. 51-54.
11. Шароварников, А.Ф. Исследование кинетики разрушения пен водорастворимыми смесями [Текст] // Средства и способы пожаротушения: Сб. тр. – М.: ВНИИПО, 1980. – С. 8-14.
12. Мешман, Л.М. Оросители водяных и пенных автоматических установок пожаротушения [Текст] / Л.М. Мешман, С.Г. Цариченко, В.А. Былинкин. – М. : ВНИИПО, 2002. – 315 с.
13. Качанов, И.В. О влиянии предварительного газонасыщения пенообразующего раствора на ха-

- рактеристики пены, генерируемой в автоматических установках пожаротушения / И.В. Качанов, В.В. Кулебякин, С.Ю. Павлюков // Вестник Командно-инженерного института. – 2015 – № 2 (22). – С. 52-61.
14. Ороситель с предварительной аэрацией огнетушащего раствора: пат. 10277 Респ. Беларусь, МПК (2006.01) А 62С 31/00. / И.В. Карпенчук, И.И. Полевода, И.В. Качанов, С.Ю. Павлюков, Я.С. Волчек, С.М. Палубец; заявитель КИИ МЧС. – № u 20140830; заявл. 10.01.14; опубл. 02.06.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 5. – С. 175.
 15. Экспериментальные исследования опытных образцов водопенного насадка / А.Н. Камлюк [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 61–68.
 16. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст] : ГОСТ 8.207–76. – Введ. 01–01–77. – М. : Изд-во стандартов, 1976. – 9 с. – (Государственная система обеспечения единства измерений).

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL ELEMENTS OF SPRINKLERS ON THE EXPANSION RATE OF AIR-MECHANICAL FOAM

Andrei Kamluk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Aliaksei Likhmanau

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

Purpose. Differentiation of constructive foam-forming factors, namely the ejector and the sprinkler deflector, influencing the expansion rate of the obtained air-mechanical foam in automatic firefighting installations.

Methods. Conducting an experimental study of the process of formation of low expansion air-mechanical foam with sprinklers of various designs.

Findings. The design of the sprinkler ejector with a cylindrical flowing path performs a preaeration of the extinguishing agent by only 12 % less efficient than the ejector made on the Venturi principle.

It was found that the mechanical disintegration of the foaming solution flow on the sprinkler deflector has the greatest effect on increasing the expansion rate of the air-mechanical foam (the expansion rate increases by an average of 158 % in various sprinkler designs in the presence of the deflector).

It is determined that as the distance of the element is increased, which ensures the splitting of the jet of the foaming solution, the expansion rate of the foam is increased. Thus, when the disintegration element of the flow (the bottom of the measuring container) was installed at a distance of about 50 cm from the deflector, the expansion rate increased by an average of 161 % compared to the values obtained when this element was installed at a distance of 3-4 diameters of the deflector of the sprinkler.

Application field of research. The obtained results of experimental study can be used to improve the efficiency of firefighting with sprinklers in foam automatic firefighting installations.

Conclusions. The effectiveness of preaeration of the extinguishing agent has been confirmed. The effect of individual structural elements of modern sprinklers on the expansion rate of air-mechanical foam is established. It is determined that the greatest contribution to the increase of expansion rate is brought by the desintegration of the flow of the foaming solution on the sprinkler deflector. Consequently, by modeling the surface of the deflector, the way it is fastened and positioned, it is possible to achieve values of the foam expansion rate $K = 10-15$ even without the effect of preaeration. To determine the influence of the geometry of the deflector, the method of its fastening and positioning with respect to the sprinkler, additional theoretical and experimental studies are required.

Keywords: automatic firefighting installations, air-mechanical foam, preaeration, foam expansion rate, sprinklers, Venturi principle, deflector, fire-extinguishing efficiency.

(The date of submitting: April 5, 2017)

REFERENCES

1. *Sprinkler Reliability. Information file.* BAFSA, available at: <http://www.bafsa.org.uk/pdfs/publications/9/00000109.pdf> (accessed : March 07, 2017). (eng)
2. John R. Hall. JR. NFPA USA. U.S. Experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment [Text]. 2013. P. 81. (eng)
3. Razvitiye sprinklernykh pozharnykh sistem. Istoriya i tendentsii [Development of sprinkler fire systems. History and trends]. *Journal «Santekhnika»*. 2011. No. 1. Pp. 58-61. (rus)
4. Sobur' S.V. *Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskije : uchebno-spravochnoye posobie* [Automatic firefighting installations. Tutorial]. Moscow : PozhKniga, 2014. 320 p. (rus)
5. Pavlyukov S.Yu. *Orositel' avtomaticheskoy ustanovki pennogo pozharotusheniya s predvaritel'noy aeratsiyey ognjetushashchey rabochey sredy* [Sprinkler of the foam automatic firefighting installations with pre-aeration of extinguishing working substance]. PhD diss. Minsk, 2016. 160 p. (rus)
6. National standard of the Republic of Belarus. *Penoobrazovateli dlya tusheniya pozharov. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy* [Foaming agents for firefighting. General technical requirements and test methods]. STB GOST R 50588-99. Minsk : Gosstandart Respubliki Belarus', 1999. 18 p. (rus)

7. Kucher V.M., Merkulov V.A., Zhukov V.V., Kucher V.N., Ponimasov V.M. Izuchenie protsessov tusheniya plameni nefteproduktov nizkokratnymi penami [Study of the processes of extinguishing the flame of petroleum products with low expansion foams]. *Pozharotusheniye* : Sb. nauch. tr. Moscow : VNIPO, 1984. Pp. 29-37. (rus)
8. Bezrodnyy I.F., Reutt V.Ch. Razrushenie peny na poverkhnosti goryuchey zhidkosti [Foam destruction on the surface of a combustible liquid]. *Issledovaniya v oblasti obespecheniya pozharnoy bezopasnosti na predpriyatiyakh aviatsionnoy promyshlennosti*. Moscow : MAI, 1983. Pp. 25-29. (rus)
9. Bezrodnyy I.F. Bobkov A.S. Razrushenie vozdušno-mekhanicheskoy peny v fakele plameni [Destruction of air-mechanical foam in a flame]. *Pozharnaya tekhnika i tushenie pozharov* : Sb. tr. Moscow : VNIPO MVD SSSR, 1982. Pp. 70-73. (rus)
10. Lebedev S.Yu. Vliyaniye temperatury rastvoriteley na razrusheniye pen [The effect of solvent temperature on the destruction of foams]. *Pozharotusheniye*: Sb. nauchn. tr. Moscow : VNIPO, 1985. Pp. 51-54. (rus)
11. Sharovarnikov A.F. Issledovanie kinetiki razrusheniya pen vodorastvorimymi smesyami [Investigation of kinetics of destruction of foams by water-soluble mixtures]. *Sredstva i sposoby pozharotusheniya*: Sb. tr. Moscow : VNIPO, 1980. Pp. 8-14. (rus)
12. Meshman L.M., Tsarichenko S.G., Bylinkin V.A. *Orositeli vodyanykh i pennnykh avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya* [Sprinklers for water and foam automatic firefighting installations]. Moscow : VNIPO, 2002. 315 p. (rus)
13. Kachanov I.V., Kulebyakin V.V., Pavlyukov S.Yu. O vliyaniy predvaritel'nogo gazonasysyshcheniya penoobrazuyushchego rastvora na kharakteristiki peny, generiruyemoy v avtomaticheskikh ustanovkakh pozharotusheniya [On the effect of the preliminary gas saturation of the foaming solution on the characteristics of the foam generated in automatic firefighting installations]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2015. No. 2 (22). Pp. 52-61. (rus)
14. Karpenchuk I.V., Polevoda I.I., Kachanov I.V., Pavlyukov S.Yu., Volchek Ya.S., Palubets S.M. *Orositel' s predvaritel'noy aeratsiyei ognetyushashchego rastvora* [Sprinkler with pre-aeration of the extinguishing solution]. Pat. 10277 Resp. Belarus', MPK (2006.01) A 62S 31/00. Zayavitel' KII MChS. № u 20140830. Zayavl. 10.01.14. Opubl. 02.06.14. National center of the intellectual property. 2014. No. 5. 175 p. (rus)
15. Kamlyuk A.N. [et al.]. Eksperimental'nye issledovaniya opytnykh obraztsov vodopennogo nasadka [Experimental studies of prototypes of water-foam nozzle]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2015. No. 2 (22). Pp. 61-68. (rus)
16. *Pryamyie izmereniya s mnogokratnymi nablyudeniyami. Metody obrabotki rezul'tatov nablyudeniya. Osnovnyie polozeniya* [Direct measurements with multiple observations. Methods for processing the results of observations. Basic provisions]. GOST 8.207–76. Enter 01.01.77. Moscow : Izd-vo standartov, 1976. 9 p. (Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmereniy). (rus)

УДК 614.838.441

ЭКРАНИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА РАСПЫЛЕННЫМИ СТРУЯМИ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

Булва И.В., Еремин А.П., Булва А.Д.

В работе выполнена валидация математической модели, предложенной Виноградовым А.Г., для оценки экранирующей способности водяных завес, формируемых с помощью распылителей «Аквамастер-5». Показано, что предлагаемая модель имеет хорошую сходимость с экспериментальными данными и может быть положена в основу для проектирования дренчерных водяных завес в нормы национального технического регулирования, а также проведения инженерных расчетов по оценке их экранирующей способности относительно теплового излучения пожара. Также методика может служить действенным инструментом при выборе распылителей и сравнении их эффективности. В ходе исследования модель Виноградова А.Г. была незначительно усовершенствована путем введения упрощенной формулы для проведения расчета среднеобъемного диаметра капель, формируемых распылителями, а также предложен упрощенный графический способ определения толщины осажденного слоя.

Ключевые слова: водяная завеса, дренчер, коэффициент ослабления, пожар, распылитель, тепловой поток, экранирование, эффективность.

(Поступила в редакцию 17 февраля 2017 г.)

Введение. Вопросы применения распыленных струй воды для защиты от теплового излучения находятся под пристальным вниманием со стороны специалистов в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС).

Как было показано в работах [1,2], водяная завеса не способна создавать существенную преграду для опасных факторов пожара, однако она способна выполнять функцию экранирования теплового излучения. Способность воды поглощать и рассеивать это излучение обуславливает возможность применения водяной завесы в условиях пожара для защиты людей и объектов.

Модели процессов взаимодействия теплового излучения с каплями и водяными завесами для различных дисперсностей и спектров излучения пожара, а также их аппроксимирующие зависимости были обстоятельно исследованы и изложены в работах [3-9]. Применение таких моделей дает возможность определить экранирующие свойства водяной завесы посредством инженерных расчетов, т. е. без проведения огневых испытаний и программного моделирования.

Указанные модели имеют ряд ограничений и допущений:

- диаметр капель эквивалентной монодисперсной завесы не должен превышать 1,0 мм;
- среднеповерхностная температура очага пожара должна быть в диапазоне 700-1800 К;
- водяная завеса рассматривается как плоскопараллельный объект с однородной структурой;
- в ходе расчета завес не учитывается воздействие на завесу конвективных тепловых и воздушных потоков, способных исказить эпюру орошения;
- экранирование теплового излучения очага пожара паро- и дымогазовой средами за пределами зоны орошения завесы не учитывается;
- тепловое излучение, действующее на водяную завесу, принимается среднеповерхностным;
- в ходе расчета завес не учитывается воздействие на завесу вторичных воздушных потоков, т. е. вдоль границы эпюры орошения воздушная среда принимается неподвижной (вязкое взаимодействие подвижных капель с воздухом не учитывается);

- капли имеют сферическую форму и распределяются в раздробленном потоке равномерно по сечению струи;
- взаимодействие отдельных капель в раздробленном состоянии (т. е. их слияние, последующее дробление и т. д.) не учитывается;
- изменение диаметра капель эквивалентной монодисперсной завесы за счет испарения, а, следовательно, и изменение оптических свойств капель не учитывается.

Отсутствие расчетных методик в национальном законодательстве, предназначенных для проектирования и эксплуатации дренчерных водяных завес, является существенным препятствием для их широкого внедрения, повышения эффективности и надежности. В основу разработки и внедрения такой методики может быть положена математическая модель, предложенная украинским ученым, Анатолием Григорьевичем Виноградовым. Основные результаты исследований опубликованы в работах [3 – 7]. Предлагаемая модель позволяет получить расчетные параметры экранирующих свойств дренчерных водяных завес. Для валидации математической модели мы поставили перед собой цель сравнить уже известные экспериментальные данные и данные, которые можно получить, воспользовавшись математической моделью Виноградова А.Г. В качестве объекта исследования принят коэффициент поглощения (ослабления) теплового потока водяных завес, формируемых распылителями «Аквастер-5», подробные экспериментальные характеристики которого приведены в [12].

Основная часть. Организация испытания, приведенного в [12], представлена на рис.1, 2.

Завеса сформирована струями распыленной воды осесимметричной формы в виде параболоида вращения, направленными вертикально вниз. Высота создаваемой завесы 3,0 м. Для измерения плотности теплового потока использовался радиометр РАП-12Д, установленный на штативе на высоте 0,9 м от пола.

В испытании применялся распределительный трубопровод в две нитки диаметром $\frac{3}{4}$ дюйма. Нитки устанавливались на расстоянии 1 м одна от другой.

В качестве модельного очага пожара использовался противень диаметром 1170 мм, горючая нагрузка – бензин А80 объемом 10 л.

Давление у «диктующего» (наиболее удаленного) оросителя или распылителя варьировалось в пределах 0,5 –1,0 МПа.

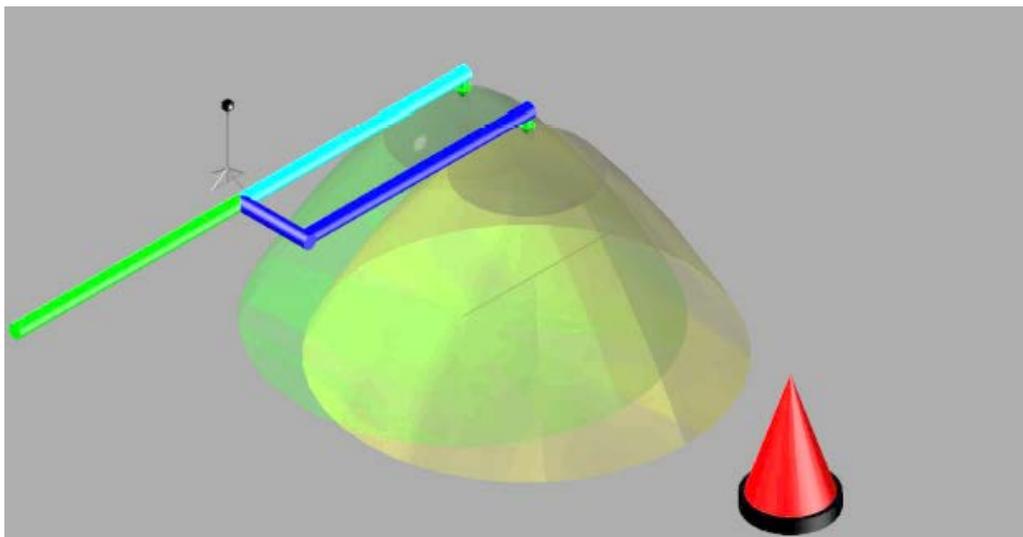
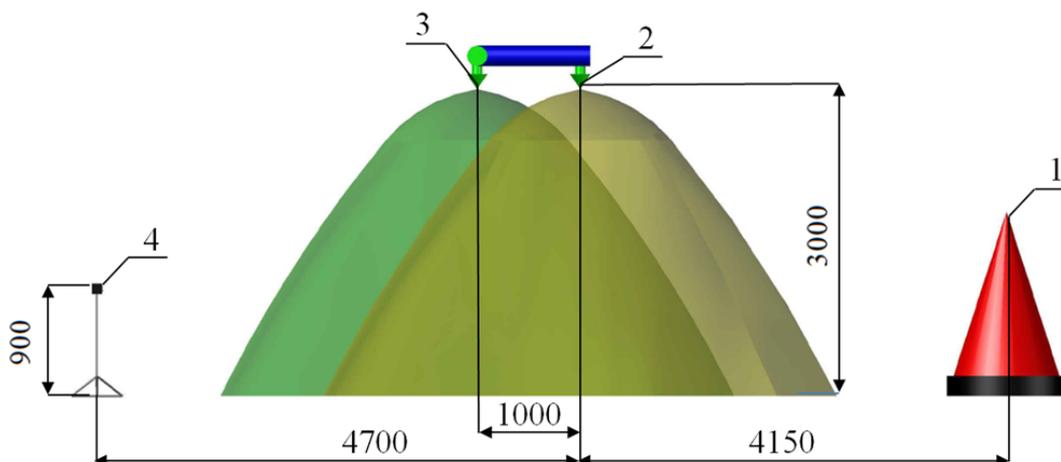


Рисунок 1. – Принципиальная схема испытания (общий вид)



1 – противень с горючей жидкостью; 2, 3 – ороситель (распылитель первого эшелона орошения); 4 – радиометр РАП 12 со штативом
Рисунок 2. – Принципиальная схема испытания (вид сбоку)

Расстояние от плоскости борта противня до плоскости 1-ой нитки распределительного трубопровода – 4,15 м, до плоскости 2-ой нитки – 4,70 м, до плоскости приемника излучения – 8,85 м. Расстояние между нитками распределительного трубопровода 1 м.

За критерий эффективности водяных завес принят коэффициент поглощения (ослабления) теплового потока, определяемый по формуле:

$$\Delta_{эф}^3 = \frac{\Delta I}{I_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где ΔI – тепловой поток, поглощенный водяной завесой;

I_0 – тепловой поток, регистрируемый приемником излучения при отсутствии водяной завесы.

В процессе эксперимента было установлено, что $I_0 = 0,29 \text{ кВт/м}^2$.

Прочие результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты эксперимента

Тип оросителя (распылителя)	<i>n</i> , шт.	<i>K</i>	<i>P</i> , МПа	<i>Q</i> , л/с	<i>I</i> ₀ , Вт/м ²	<i>I</i> , Вт/м ²	$\Delta_{эф}^3$, %
Распылитель «Аквастер-5»	1	0,07	0,5	0,49	290	209	28
		0,07	1,0	0,70	290	145	50
Распылитель «Аквастер-5»*	2	0,07	0,5	0,49	290	145	50
		0,07	0,8	0,63	290	67	77

Примечание – * между модельным очагом пожара и приемником излучения действуют два распылителя.

В основе расчета критерия эффективности водяных завес, предлагаемых Виноградовым А.Г., положены параметры, оказывающие существенное влияние на величину теплового потока:

глубина водяной завесы (*l*);

расход воды через ороситель (*Q*);

счетная концентрация капель в завесе (*n*);

диаметр капель завесы (*D*);

среднеповерхностная температура очага пожара (*T*);

весовой коэффициент, определяющий соотношение вкладов спектра абсолютно черного тела и молекулярных полос (ψ);

параметр формы, определяющий ширину функции распределения капель, (σ).

Следует учесть, что такие параметры, как глубина водяной завесы, расход воды через распылитель приводятся в его паспорте в зависимости от давления и коэффициента производительности. Среднеповерхностная температура очага пожара и весовой коэффициент, опре-

деляющий соотношение вкладов спектра абсолютно черного тела и молекулярных полос, зависят от конкретного вида тепловой нагрузки и могут быть определены по справочным данным. Экспериментально и с помощью компьютерного моделирования возможно определить счетную концентрацию водяных капель, их диаметр, а также параметр формы.

Основной проблемой при выполнении расчетов является установление значений счетной концентрации капель в завесе и диаметр капель в полидисперсной завесе. Их определение – весьма сложная и дорогостоящая задача, поэтому реально можно осуществить лишь оценочные измерения на основе косвенных данных (рассеяние света и т. п.). Причем, указанные характеристики оросителей могут быть определены экспериментально уже после их изготовления. При компьютерном моделировании процессов гидродинамического анализа, в частности, модели турбулентного движения вязкой жидкости, было показано, что даже при использовании достаточно производительных машин применение этих моделей оказывается неприемлемым из-за слишком больших временных затрат. Так, на основе модели крупных вихрей (Large Eddy Simulation (LES)), заложенной в программный комплекс Flow FES, процесс моделирования распыления капель распылителем TPВ с целью дальнейшего определения n , D водяной завесы занял 37 суток. При этом удалось смоделировать процесс распыления продолжительностью всего лишь 0,15 с [10].

Следовательно, для практических инженерных расчетов следует отказаться от рассмотрения характеристик водяной завесы с точки зрения индивидуальных характеристик капли, и рассматривать водяную завесу, как некий конгломерат капель, выполняющих единую функцию экранирования теплового излучения.

Достигнуть этой цели возможно посредством применения теории затопленных струй [11].

Благодаря тому, что при взаимодействии мелких капель с воздушной средой происходит быстрая релаксация и уравнивание скорости их движения со скоростью окружающего воздуха. Движение каждой капли влияет на состояние воздуха, создавая в нем некоторое поле скоростей и давлений. Импульс, потерянный каплей при торможении, передается окружающему воздуху, который вследствие этого приходит в движение, что и капля. После этого движение капель в основном соответствует законам движения воздуха, и распыленную в воздухе воду (водяной туман) в первом приближении можно считать затопленной воздушной струей.

Одним из приближений теории Виноградова А.Г. является так называемая толщина осажденного слоя l_s , т. е. толщина водяной пленки, которая образовалась бы, если всю воду из капель удалось равномерно распределить вдоль центральной плоскости.

Стоит отметить, что толщина осажденного слоя l_s является паспортной величиной и численно толщина осажденного слоя равна средней интенсивности орошения.

При отсутствии справочных данных толщину осажденного слоя можно определить по формуле:

$$l_s = \frac{Q}{S_{op}}, \quad (2)$$

где Q – расход воды из распылителя, м³/с;

S_{op} – площадь орошения, м².

Расход из распылителя Q , м³/с, можно определить по формуле [14]:

$$Q = \frac{K \cdot \sqrt{P}}{100}, \quad (3)$$

где P – давление непосредственно перед выходом из сопла оросителя, МПа;

K – коэффициент производительности распылителя.

Эквивалентный диаметр капель, образованных традиционными оросителями, может быть определен с использованием соотношения, приведенного в [15]:

$$D_{eq} = 0,02108 \cdot U_0^{-\frac{4}{3}} \cdot d_0^{\frac{1}{12}}, \quad (4)$$

где d_0 – диаметр сопла распылителя, м;

U_0 – скорость потока струи на начальном участке, м/с, определяемую по формуле:

$$U_0 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_0^2}. \quad (5)$$

Для оросителей тонкораспыленной воды D_{eq} определяется посредством экспериментов.

Коэффициент пропускания сферической капли с диаметром эквивалентной монодисперсной завесы с учетом спектрального состава излучения может быть получен, как показано в [7], в зависимости от эквивалентного диаметра каплей D_{eq} :

$$\eta(\psi, D_{eq}) = (1 - \psi) \cdot \eta(0, D_{eq}) + \psi \cdot \eta(1, D_{eq}), \quad (6)$$

где ψ – весовой коэффициент, определяющий соотношение вкладов в общий спектр излучения абсолютного черного тела и молекулярных полос.

Коэффициент пропускания капли для абсолютно черного тела определяется по формуле (7), а входящие коэффициенты – по формулам (8) – (10) [11]:

$$\eta(0, D_{eq}) = A \cdot D_{eq}^B + C, \quad (7)$$

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} \cdot (T - 207,6)^{11,02}, \quad (8)$$

$$B = -2,329 + 1,6362 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1,0519 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 1,386 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 + 5 \cdot 10^{-13} \cdot T^4 - 0,651 \cdot 10^{-16} \cdot T^5, \quad (9)$$

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,002495T}, \quad (10)$$

где T – среднеповерхностная температура пожара, К.

Коэффициент пропускания капли для молекулярных полос рассчитывается по формуле (11):

$$\eta(1, D_{eq}) = 1,8 \cdot 10^{-7} \cdot D_{eq}^{-1,47} - 2 \cdot 10^{-3}. \quad (11)$$

Коэффициент пропускания водяной завесы H может быть определен по формуле, приведенной в [3]:

$$H = \exp \left[-1,4 \cdot \left(1 - \eta(\psi, D_{eq}) \right) \cdot \frac{l_s}{D_{eq}} \right]. \quad (12)$$

Расчетная экранирующая эффективность защиты от теплового излучения с помощью водяных завес оценивается соотношением (1).

В статье приведем пример расчета экранирующих свойств водяных завес для распылителя «Аквастер-5» при следующих исходных данных (часть параметров принята по паспорту оросителя: давление, коэффициент производительности, условный диаметр выходного отверстия, толщина осажденного слоя, а часть параметров – по справочным данным: плотность воздуха, воды, температура горения бензина):

давление непосредственно перед выходом из сопла – $P=0,5$ МПа;

коэффициент производительности распылителя – $K=0,07$;

условный диаметр выходного отверстия – $d_0=5 \times 10^{-3}$ м;

плотность воздуха – $\rho_{возд.}=1,293$ кг/м³;

плотность воды – $\rho_{вод.}=1000$ кг/м³;

температура горения бензина – 1573 К;

толщина осажденного слоя для распылителя «Аквастер-5» – $l_s=5,67 \times 10^{-5}$ м.

Здесь следует отметить, что толщина осажденного слоя для одиночного распылителя «Аквастер-5» определена с помощью графического анализа эпюры орошения и изме-

нения площади орошения с высотой, что оказывает существенное влияние на толщину осажденного слоя. В паспортных данных на ороситель «Аквастер-5» приведено значение интенсивности орошения $0,4 \text{ л}/(\text{с} \times \text{м}^2)$ при расстоянии до сопла $2,5 \text{ м}$, а в рассматриваемом случае значение интенсивности необходимо принимать для расстояния $2,1 \text{ м}$ (высота установки радиометра). С этой целью справочные данные были пересчитаны для получения корректного значения.

Расход из оросителя определяем по формуле (3):

$$Q = \frac{0,07 \cdot \sqrt{0,5}}{100} = 4,95 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Скорость потока струи на начальном участке струи рассчитываем, используя соотношение (5):

$$U_0 = \frac{4 \cdot 4,95 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-3})^2} = 25,2 \text{ м} / \text{с}.$$

По формуле (4) определяем эквивалентный диаметр каплей, образованный оросителем:

$$D_{eq} = 0,02108 \cdot 25,2^{\frac{4}{3}} \cdot (5 \cdot 10^{-3})^{\frac{1}{12}} = 1,83 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Коэффициент пропускания сферической капли с диаметром эквивалентной монодисперсной завесы с учетом спектрального состава рассчитываем по формуле (6):

$$\eta(\psi, D_{eq}) = (1 - 0,7) \cdot 0,368 + 0,7 \cdot 0,054 = 0,148.$$

Весовой коэффициент, определяющий соотношение вкладов в общий спектр излучения абсолютного черного тела и молекулярных полос при горении бензина, принимаем $\psi = 0,7$ (по результатам обработки экспериментальных данных работы [16]).

Коэффициент пропускания капли для абсолютно черного тела определяем, воспользовавшись формулами (7-10):

$$A = 1,25 \cdot 10^{-35} \cdot (1573 - 207,6)^{11,02} = 0,444,$$

$$B = -2,329 + 1,6362 \cdot 10^{-3} \cdot 1573 + 1,0519 \cdot 10^{-6} \cdot 1573^2 - 1,386 \cdot 10^{-9} \cdot 1573^3 + 5 \cdot 10^{-13} \cdot 1573^4 - 0,651 \cdot 10^{-16} \cdot 1573^5 = -0,113,$$

$$C = -9,59 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,002495 \cdot 1573} = -0,806,$$

$$\eta(0, D_{eq}) = 0,444 \cdot (1,83 \cdot 10^{-4})^{-0,113} - 0,806 = 0,368,$$

$$\eta(1, D_{eq}) = 1,8 \cdot 10^{-7} \cdot (1,83 \cdot 10^{-4})^{-1,47} - 2 \cdot 10^{-3} = 0,054.$$

Из формулы (12) определяем коэффициент пропускания водяной завесы H :

$$H = \exp \left[-1,4 \cdot (1 - 0,148) \cdot \frac{5,67 \cdot 10^{-5}}{1,83 \cdot 10^{-4}} \right] = 0,691.$$

Тогда тепловое излучение, прошедшее через завесу:

$$I_1 = I_0 \cdot H = 0,29 \cdot 0,691 = 0,200 \text{ кВт}/\text{м}^2.$$

Экранирующая эффективность защиты от теплового излучения с помощью водяных завес составит (см. формулу (1)):

$$\Delta_{эф}^p = \frac{0,29 - 0,200}{0,29} \cdot 100\% = 31\%.$$

Результаты расчета по методу Виноградова А.Г. для различных вариантов использования распылителей представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты расчета по методу Виноградова А.Г.

Тип оросителя (распылителя)	n, шт.	K	P, МПа	Q, л/с	I ₀ , Вт/м ²	I, Вт/м ²	Δ _{эф} ^p , %
Распылитель «Аквамастер-5»	1	0,07	0,5	0,49	290	200	31
		0,07	1,0	0,70	290	134	53,8
Распылитель «Аквамастер-5»*	2	0,07	0,5	0,49	290	138	52,3
		0,07	0,8	0,63	290	84	71

Примечание – * между модельным очагом пожара и приемником излучения действуют два распылителя.

Сравнительная оценка экспериментальных и расчетных данных экранирующей эффективности водяных завес приведена в таблице 3.

С учетом указанных в таблице 3 погрешностей измерений совпадение результатов можно считать удовлетворительным (отклонение между теоретическими и экспериментальными значениями коэффициента пропускания не превышает 10 %). Кроме экспериментальных погрешностей, на результат измерений некоторое влияние могли оказать особенности конструкции распылителя водяной струи. Возможно, это проявляется в свойствах распыленной струи, которые сложно учесть при разработке математической модели.

Таблица 3. – Результаты сравнения экспериментальной и расчетной экранирующей эффективности водяной завесы

Тип оросителя (распылителя)	n, шт.	Δ _{эф} ^э , %	Δ _{эф} ^p , %	δ = Δ _{эф} ^p - Δ _{эф} ^э
Распылитель «Аквамастер-5»	1	28	31	3
		50	53,8	3,8
Распылитель «Аквамастер-5» *	2	50	52,3	2,3
		77	71	6

Примечание – * между модельным очагом пожара и приемником излучения действуют два распылителя.

Заключение. Результаты эксперимента и значения, полученные расчетом с использованием модели Виноградова А.Г. позволяют говорить о хорошей сходимости результатов по оценке экранирования теплового излучения пожара дренчерными водяными завесами. В основе рассматриваемой модели положены: эквивалентный диаметр капель воды, равный среднеобъемному диаметру Саутера; коэффициент пропускания капель и толщина эквивалентного слоя воды. Отклонение между теоретическими и экспериментальными значениями коэффициента пропускания не превышает 10 %.

Таким образом, полученные результаты позволяют говорить о возможном практическом использовании математической модели в качестве базовой для оценки эффективности применения дренчерных водяных завес по экранированию теплового излучения от пожара, а также использовать модель для сравнения эффективности различных технических средств (распылителей) по указанной характеристике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булва, И.В. Пространственное распределение опасных факторов пожара с учетом работы водяной завесы в качестве противопожарной преграды / И.В. Булва // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: Сб. статей по материалам VII Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. уч. 29-30 сент. 2016 г.: в 2-х ч. Ч. 1 / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2016. – 134-136 с.
2. Булва, И.В. Применение дренчерной водяной завесы в качестве противопожарной преграды / И.В. Булва, А.П. Еремин, А.Д. Булва // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2016. – № 2 (40). – С. 42-48.
3. Виноградов, А.Г. Методика расчета экранирующих свойств водных завес // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 1. – С. 45-54.
4. Виноградов, А.Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 7. – С. 73-82.

5. Виноградов, А.Г. Поглощение теплового излучения водяными завесами. Часть 2 // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 4. – С. 72-84.
6. Виноградов, А.Г. Экранирование теплового излучения полидисперсными водяными завесами // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 6. – С. 74-84.
7. Виноградов, А.Г. Учет спектрального состава теплового излучения при расчете коэффициента пропускания капли воды // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 21, № 9. – С. 64-73.
8. Coppalle, D. Nedelka, and B. Bauer, «Fire Protection: Water Curtains» // Fire Safety J. – 1993. – Vol. 20. – Pp. 241-255.
9. S. Dembele, J. X. Wen, and J.F. Sacadura «Analysis of the Two-Flux Model for Predicting Water Spray Transmittance in Fire Protection Application» // ASMS J. Heat Transfer, 2000. – Vol. 122, No. 1. – Pp. 183-186.
10. Гурьев, Ю.В. Анализ методов компьютерного моделирования процесса распыления из оросителя тонкораспыленной воды / Ю.В. Гурьев, И.В. Ткаченко, Ю.С. Еремин // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 10. – С. 77-80.
11. Виноградов, А.Г. Применение теории затопленных струй к расчету параметров водяных завес // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 5. – С. 76-87.
12. Проектирование автоматических установок пожаротушения тонкораспыленной водой с применением распылителей «Аквамастертм»: Технические условия. – М.: ВНИИПО, 2008. – 76 с.
13. Виноградов, А. Г. Экспериментальное исследование экранирования теплового излучения распыленной водой / А.Г. Виноградов, С.Ю. Огурцов, В.А. Дунюшкин, В.С. Бенедюк, Е.А. Линчевский // Науковий вісник УкрНДШБ, 2014, № 2 (30). – С. 99-108.
14. Бабуров, В.П. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения: Учебник / В.П. Бабуров, В.В. Бабурин, В.И. Фомин, В.И. Смирнов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 298 с.
15. Булва, А.Д. Применение водяных завес для ограничения распространения опасных примесей в атмосфере / А.Д. Булва // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 9. – С. 74-81.
16. Агафонцев, М.В. О выборе спектрального интервала при исследовании полей температуры в пламени с помощью тепловизора / М.В. Агафонцев, Е.Л. Лобода, Е.А. Макарова, В.В. Рейно // Вестник науки Сибири. 2015. Спецвыпуск (15). – С. 37-42.

SHIELDING OF HEAT FLUX BY WATER SPRAY UNDER FIRE CONDITIONS

Inessa Bulva

Aliaksei Yeromin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Alexander Bulva

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

Purpose. The paper is devoted to the evaluation of the ability of water curtains formed by a spray «Akvamaster-5» for shielding of heat flux. The A. Vinogradov model was used to confirm experimental data.

Methods. The methods of observation, comparison, analysis, and modeling were used.

Findings. The results confirm the possibility of practical use of mathematical models as the basis for evaluation of the effectiveness of the use of water curtains shielding radiant heat from a fire, as well as the use of the model for the comparison of effectiveness of different technical means (irrigators).

Applications field of research. The obtained experimental data can be used in designing of water curtains and in assessing their effectiveness.

Conclusions. The results of the research can be used for the increase of the effectiveness of active fire protection.

Keywords: water curtain, drencher, attenuation coefficient, fire, spray gun, heat flux, shielding, effectiveness.

(The date of submitting: February 17, 2017)

REFERENCES

1. Bulva I.V. Prostranstvennoe raspredelenie opasnykh faktorov pozhara s uchetom raboty vodyanoy zavesy v kachestve protivopozharnoy pregrady [The spatial distribution of fire hazards taking into consideration the work of water curtain as fire barrier] *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy: Sb. statey po materialam VII Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uch. 29-30 sent. 2016 g.: v 2-kh ch. Ch. 1.* FGBOU VO Voronezhskij institut GPS MChS Rossii. Voronezh, 2016. Pp. 134-136.
2. Bulva I.V. Eremin A.P., Bulva A.D. Primenenie drenchernoy vodyanoy zavesy v kachestve protivopozharnoy pregrady [The application of drencher water curtain as fire barrier] *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2016. No. 2 (40). Pp. 42-48.
3. Vinogradov A.G. Metodika rascheta ekraniruyushchikh svoystv vodnykh zaves [The methodology of calculation of shielding properties of water curtains] *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2014. V. 23. No. 1. Pp. 45-54.
4. Vinogradov A.G. Pogloshchenie teplovogo izlucheniya vodyanymi zavesami [The absorption of thermal radiation by water curtain] *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2012. V. 21. No. 7. Pp. 73-82.
5. Vinogradov A. G. ogloshchenie teplovogo izlucheniya vodyanymi zavesami. Chast' 2 [The absorption of thermal radiation by water curtain. Part 2] *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2013. V. 22, no. 4. Pp. 72-84.
6. Vinogradov A.G. Ekranirovanie teplovogo izlucheniya polidispersnymi vodyanymi zavesami [The shielding of heat radiation by polydisperse water curtains] *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2013. V. 22. No. 6. Pp. 74-84.
7. Vinogradov A.G. Uchet spektral'nogo sostava teplovogo izlucheniya pri raschete koeffitsienta propuskaniya kapli vody [Spectral composition of the thermal radiation taken into consideration while the calculation of the coefficient of water droplet transmission] *Pozharovzryvbezopasnost'*, 2013. V. 21. No. 9. Pp. 64-73.
8. Coppalle D. Nedelka, and B. Bauer, «Fire Protection: Water Curtains», *Fire Safety J.*, 1993. V. 20. Pp. 241-255.
9. Dembele S., Wen J.X., and J.F. Sacadura «Analysis of the Two-Flux Model for Predicting Water Spray Transmittance in Fire Protection Application», *ASMS J. Heat Transfer*, 2000. V. 122. No. 1. Pp. 183-186.
10. Gur'ev Yu.V. Tkachenko I.V., Eremin Yu.S. Analiz metodov komp'yuternogo modelirovaniya protsessa raspyleniya iz orositelya tonkoraspylennoy vody [Analysis of methods of computer modeling

- of the spraying process from water mist sprinkler] *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2012. V. 21. No. 10. Pp. 77-80.
11. Vinogradov A.G. Primenenie teorii zatoplennykh struy k raschetu parametrov vodyanykh zaves [The application of the theory of flooded jets to the calculation of parameters of water curtains] *Pozharovzryvobezopasnost'*, 2014. V. 23. No. 5. Pp. 76-87.
 12. *Proektirovanie avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya tonkoraspynnoy vodoy s primeneniem raspyliteley «Akvamastertm»: Tekhnicheskie usloviya* [The designing of automatic fire-extinguishing systems using water mist nozzles «Akvamastertm»: Specifications] M.: VNIPO, 2008. 76 p.
 13. Vinogradov A.G. Ogurcov S.Yu., Dunyushkin V.A., Benedyuk V.S., Linchevskiy E.A. Eksperimental'noe issledovanie ekranirovaniya teplovogo izlucheniya raspynnoy vodoy [The experimental research of thermal radiation shielding by sprayed water] *Naukoviy visnik UkrNDSHB*, 2014, No. 2 (30). Pp. 99-108.
 14. Baburov V.P., Baburin V.V., Fomin V.I., Smirnov V.I. *Proizvodstvennaya i pozharnaya avtomatika. Ch. 2. Avtomaticheskie ustanovki pozharotusheniya: Uchebnik* [Production and fire automatics. Part 2. Automatic fire suppression systems: Textbook]. M.: Akademiya GPS MChS Rossii, 2007. 298 p.
 15. Bulva A.D. Primenenie vodyanykh zaves dlya ogranicheniya rasprostraneniya opasnykh primesey v atmosfere [The application of water curtains to limit the spread of hazardous pollutants in the atmosphere] *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2013. No. 9. Pp. 74-81.
 16. Agafontsev M.V. Loboda E.L., Makarova E.A., Reyno V.V. O vybore spektral'nogo intervala pri issledovanii poley temperatury v plameni s pomoshch'yu teplovizora [On the choice of spectral range in the study of flame temperature fields using thermal imager] *Vestnik nauki Sibiri*. 2015. Specvypusk (15). Pp. 37-42.

УДК 614.8.084

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОРАЖАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЛНЫ ВЫТЕСНЕНИЯ НА ИСКУССТВЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Пастухов С.М., Жук Д.В., Махмудов Э.М.о.

В статье приведена методика экспериментальных исследований параметров волн вытеснения на искусственных водных объектах, учитывающая обрушения цельного объема грунта и смеси камня с грунтом при различных сценариях развития аварийных ситуаций. На основании разработанной методики определены длина, высота волны, высота над гребнем плотины при переливе воды в зависимости от различных характеристик погружаемых образцов.

Ключевые слова: волна вытеснения, авария на гидротехническом сооружении, плотина, обвал, чрезвычайная ситуация.

(Поступила в редакцию 6 апреля 2017 г.)

Введение. Функционирование имеющихся и строящихся объектов энергетики без чрезвычайных ситуаций является важной задачей каждой страны. Как Азербайджанская Республика, так и Республика Беларусь богаты водными ресурсами. Около 0,2 % энергии, потребляемой в стране, вырабатывается гидроэлектростанциями, которые обеспечивают объекты регионального уровня. Территория Беларуси является водоразделом бассейнов Балтийского и Черного морей. Примерно 55 % речного стока приходится на реки бассейна Черного моря и 45 % – Балтийского. По территории республики протекает семь больших рек (Западная Двина, Западный Буг, Неман, Днепр, Припять, Виляя, Березина) и 41 средняя. Водотоки рек и их притоки питают водой искусственно созданные водохранилища, пруды, озёра. В настоящее время в Республике Беларусь создано и эксплуатируется 153 водохранилища. В северной части (Витебская область) широко используются водохранилища, созданные в результате подпора уровня воды в озерах (Освейское, Лепельское и т. д.) [1, 15].

Вместе с устойчивым и бесперебойным режимом работы гидротехнических сооружений (ГТС) в течение многих лет нельзя недооценивать риск аварий, тяжелые экономические и людские потери, вывод из строя оборудования и всего объекта в целом [2]. Такого рода аварии в мировой практике случаются с периодичностью 1,5-3 случаев за год [14]. Данные об авариях на искусственных водных объектах указывают на образование волны вытеснения, как на один из опасных сценариев развития чрезвычайной ситуации. Это связано как с поражающим действием самой волны, так и с вторичными факторами после ее образования [3, 6, 7]. Примерами катастрофического действия рассматриваемого явления служат аварии на таких плотинах как Вайонт (Италия), погибло около 2500 человек, уничтожено 2 населенных пункта; Лития Бей (США), нанесен крупный ущерб; Хок Крик (США), нанесен крупный ущерб. Еще большее количество аварий такого рода имеет место в мировой гидроэнергетике, но с меньшим ущербом [5].

Проанализировав процесс образования причин вышеупомянутых катастроф можно сделать вывод о схожести механизма образования волны вытеснения в каждом из случаев. Основная причина возникновения волны вытеснения состоит в передаче потенциальной энергии погружаемого тела в энергию образования волны. Погружаемым телом может послужить каменная осыпь, обвал грунта (берега), сход селя, сход лавины. Для образования волн вытеснения на водных объектах Республики Беларусь наиболее характерны обвалы слоев грунта, обвалы камня и грунта в смеси. Причем обвалы характерны не только для рек Неман (г. Гродно, Коложская церковь, 1853 г., 1884 г., 1889 г.; д. Дубно, Мостовский р-н), Западная Двина и Днепр, но и для равнинной Припяти, озера Нарочь и более крупных водохранилищ. Обрушения берегов на реке Неман были зафиксированы в 1853, 1884, 1889 годах в Гродненском районе, ежегодно в д. Дубно, Мостовского р-на главная причина ко-

торых является эрозии берегов и фильтрации в слоях грунта. Периодически происходят обрушения на реке Западная Двина. В 2006 году под угрозу обрушения попал жилой дом, построенный на берегу. Берега реки Припять имеют в большинстве своем пологие берега, не представляющие опасности обвала. Русло реки имеет большое количество изгибов, затонов, стариц. На изгибах, в местах с интенсивным движением, как правило происходит эрозия и обвал берега. За последние годы на реке Припять и ее притоках подобные обрушения произошли в 2010 и 2016 годах. Обвал 2010 года в Петриковском районе лишил жизни двух человек. Обвалы 2016 года произошли в г.Мозыре. Высота обвала составила около 20 м. Зарегистрированы обрушения откоса на водном объекте «Хмелевские пруды» города Заславля в 2015. Под водой оказались 4 единицы техники вместе с водителями. Зафиксированы трещины и сползание грунта на берегах озера Нарочь в Мядельском районе [10, 11, 12, 15].

Для прогнозирования поражающего воздействия волны на ГТС производится моделирование процессов возникновения, развития и воздействия на ГТС. Исходя из анализа экспериментальных данных, с учетом критериев геометрического и динамического подобия, можно будет прогнозировать распространение волны на реальных (действующих) объектах.

Методика проведения экспериментальных исследований. Для изучения параметров волны вытеснения на искусственных водных объектах были проведены лабораторные исследования по предварительно разработанной методике. Методика регламентирует порядок проведения регистрации параметров волны вытеснения при авариях гидроузлов на основании сценарного подхода. В результате исследований определены следующие параметры волны вытеснения [4]:

- высота волны в разные промежутки времени (h_i) (рисунок 1);
- длина волны в разные промежутки времени (l_i) (рисунок 1);
- объем опытного образца (V), угол заложения откоса, при котором высота волны вытеснения превысит высоту плотины ($m_1:m_2$) (рисунок 1).

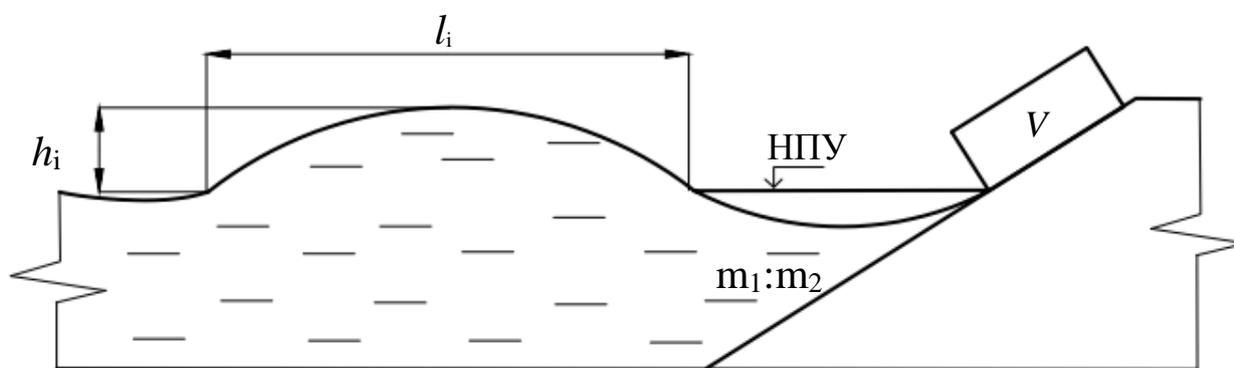


Рисунок 1. – Основные параметры волны вытеснения

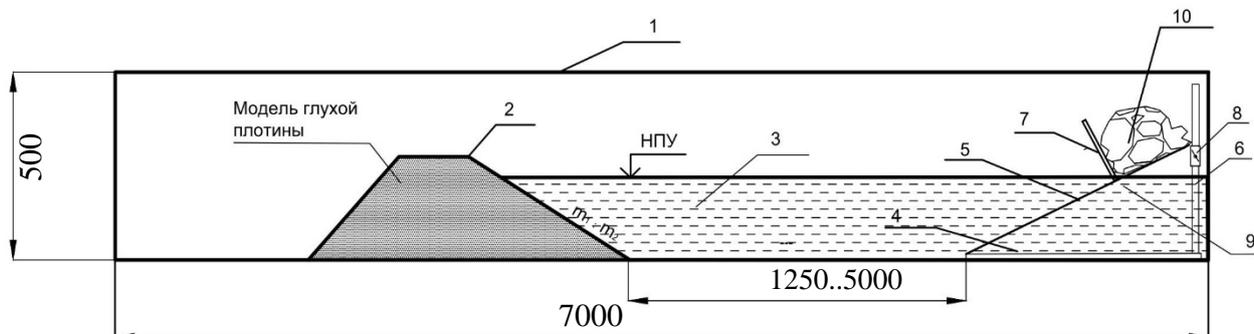
Моделирование возникновения волны вытеснения проводится по двум исходным сценариям:

1. Обрушение части берега, имеющего преимущественно однородный грунт, либо связанные слои грунта вследствие воздействия факторов овражной эрозии, увеличения нагрузки на склон, изменения внутреннего трения между слоями грунта и т. д. Механика воздействия такого рода обрушения характеризуется максимальным переходом потенциальной энергии оползня в кинетическую энергию движения волны [9]. Данный сценарий характерен для водохранилищ, расположенных в условиях рельефа Азербайджанской Республики.

2. Обрушение части берега, имеющего различный состав твердых пород грунта не связанного между собой. Такой сценарий моделирования применяется для оценки обрушения каменно-грунтовой смеси, не имеющей связи между составляющими. При таком об-

рушении передача энергии будет неравномерной по площади воздействия обвала на жидкость вследствие несвязности частей обвала. Однако, площадь воздействия увеличивается [8, 9]. Данный сценарий наиболее характерен для водохранилищ Республики Беларусь.

Лабораторные исследования выполняются в волновом лотке (1) шириной 0,32 м, высотой 0,5 и длиной 5 м, боковые стенки которого выполнены прозрачными для наблюдения и регистрации параметров волны в течение эксперимента. Непосредственно в лотке устанавливается глухая неразрываемая плотина (2) и модель склона (9) (рисунок 2).

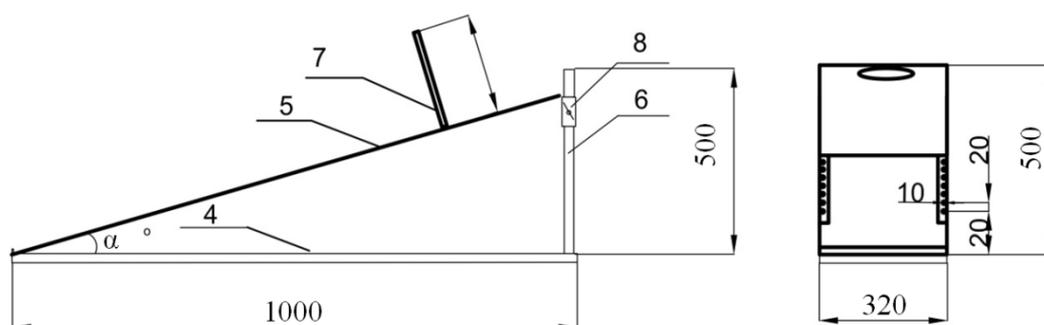


1 – лоток; 2 – модель глухой плотины; 3 – водоем; 4 – основание модели склона;
5 – поверхность скольжения; 6 – устройство изменения угла наклона; 7 – вставка;
8 – фиксирующий винт; 9 – модель склона; 10 – опытный образец

Рисунок 2. – Схема лабораторной установки

Перед проведением лабораторных исследований выполняются следующие работы: конструирование и изготовление модели гидроузла в зависимости от выбранного масштаба исследований, с учетом критериев геометрического и динамического подобия; определение массы опытных образцов грунта и их состава. При моделировании принимается условие динамического подобия исходя из критерия Фруда, так как при моделировании безнапорных потоков жидкости движение обуславливается, главным образом, силами тяжести, а силами трения пренебрегают [16].

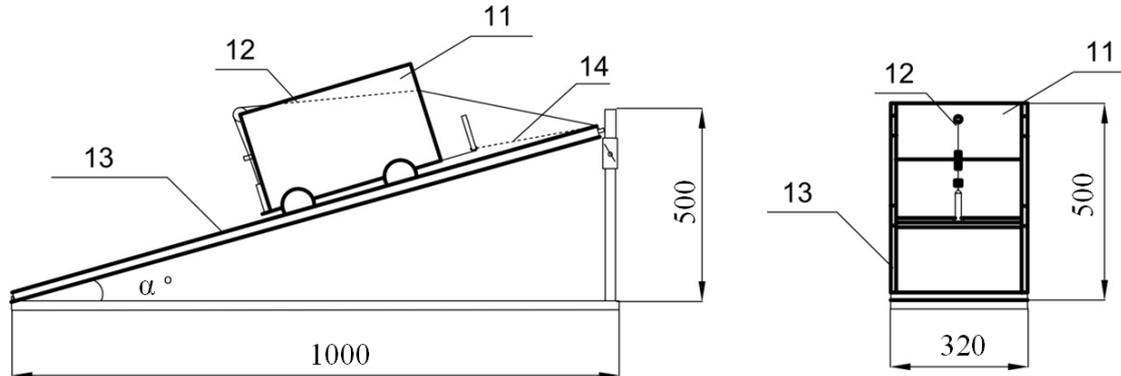
Модель склона (9) представляет собой устройство для моделирования возникновения обвала и осыпи грунтовых пород в водоем (рисунок 3). Устройство состоит из основания (4), поверхности скольжения (5), устройства изменения угла наклона поверхности скольжения (6), вставки для удержания опытных образцов (7). На поверхности скольжения установлена металлическая сетка для укладки глины в качестве скользящего материала. Вставка (7) представляет собой металлический лист размерами 0,3×0,25 м с приваренными в торцах с обеих сторон держателями диаметром 0,01 м, которые вставляются в отверстия на поверхности скольжения. Отверстия сделаны парами, расстояние между центрами отверстий в паре – 0,027 м, шаг между парами – 0,01 м. Моделирование погружения опытного образца осуществляется путем ручного отпирания устройства (7). Угол наклона поверхности скольжения при подготовке эксперимента регулируется вручную, путем изменения высоты ползунка с фиксирующим винтом (8) (рисунок 3).



4 – основание модели склона; 5 – поверхность скольжения;
6 – устройство изменения угла наклона; 7 – вставка; 8 – фиксирующий винт

Рисунок 3. – Принципиальная схема устройства моделирования обрушения склона

Для моделирования погружения каменно-грунтовой смеси на модель склона (9) устанавливается рама, изготовленная из металлического уголка с смонтированным крюком в торце рамы (13). На раму устанавливается вагонетка (11), свободный ход которой регулируется длиной цепи (14). Для автоматического открывания фронтального борта используется устройство отпирания на тросово-блочной системе (12) (рисунок 4).



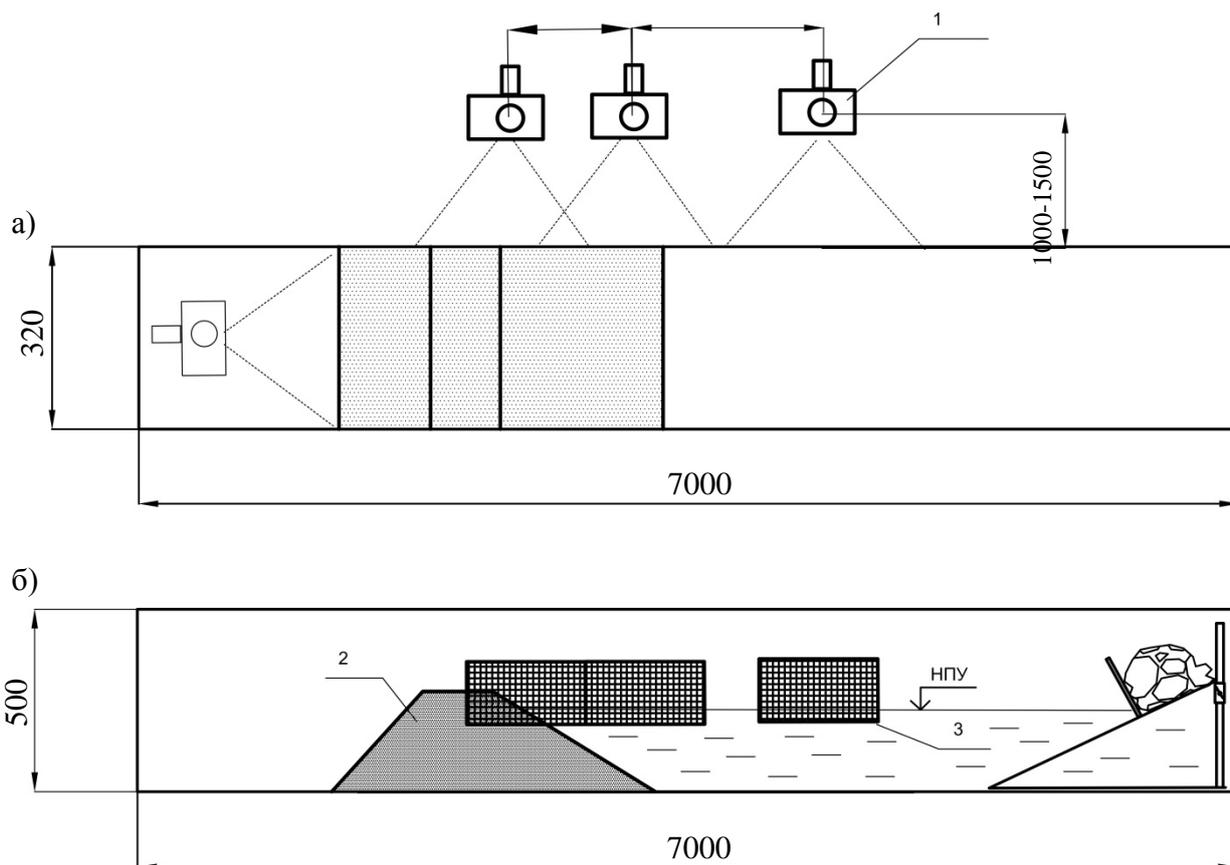
11 – вагонетка; 12 – устройство отпирания; 13 – металлическая рама; 14 – цепь
Рисунок 4. – Устройство для моделирования погружения каменной смеси

Центр модели склона располагается на расстоянии 50-200 м от плотины, что с учетом критериев геометрического подобия соответствует 1250-5000 м. Минимальное расстояние принято на основании детального анализа исходных данных катастрофы на плотине Вайонт (Италия, 1963 г.) [17]. Заполнение водоема (3) производится до нормально подпорного уровня (НПУ). Для обеспечения удобной и более точной обработки фиксируемого видеоматериала вода в лотке подкрашивается перманганатом натрия и устанавливается дополнительное освещение места фиксации параметров.

Опытный образец изготавливается из глины либо каменно-грунтовой смеси. Поверхность скольжения модели склона (9) укладывается из глины, предварительно насыщенной водой. Опытные образцы из глины изготавливаются в форме параллелепипеда для упрощения изготовления формы глыбы и увеличения объема глины в образце при меньших размерах. Опытные образцы для моделирования схода каменно-грунтовой смеси изготавливаются в виде щебеночной смеси диаметром от 0,002 до 0,015 м. Для погружения смеси в водоем используется вагонетка (11) с автоматически открывающимся бортом при достижении поверхности воды. Для исправного срабатывания устройства закладка щебеночной смеси производится равномерно, распределяя в горизонтальной плоскости по вагонетке.

При первой серии опытов подготавливаются 5 калибровочных образцов массой от 5 кг, с последующим увеличением на 5 кг. При достижении перелива воды через гребень плотины образец берут за отправную точку и изготавливаются образцы с уменьшением по массе на 3 кг. Аналогичным алгоритмом подготавливаются образцы каменно-грунтовой смеси. Количество однотипных опытов с образцом каждой массы принято не менее 6.

На прозрачную стенку рабочей области волнового лотка наносится миллиметровая сетка, затем устанавливается видео регистрирующее оборудование на уровне НПУ и на фокусном расстоянии от стенки лотка (рисунок 5). Для контроля перелива воды через гребень плотины устанавливается видео регистрирующее оборудование над моделью неразмываемой плотины. Процесс моделирования распространения волны обрабатывается путем раскадровки видеозаписи. Одновременно осуществляется контрольная (дублирующая) видеозапись моделируемого процесса (рисунок 5).



1 – видео регистрирующее оборудование; 2 – модель неразмываемой плотины;
3 – миллиметровая сетка; а – вид сверху, б – вид сбоку

Рисунок 5. – Схема установки видео регистрирующего оборудования

Выводы. В результате проведенных работ разработана методика лабораторных исследований, учитывающая сценарное развитие аварийных ситуаций на искусственных водных объектах: 1 – обрушение части берега, имеющего преимущественно однородный грунт; 2 – обрушение части берега, имеющего различный состав твердых пород несвязного грунта.

Методика позволяет моделировать обрушение связных и несвязных грунтов, прогнозировать опасные факторы действия волны и предупредить крупный материальный ущерб и человеческую гибель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водохранилища Беларуси: справочник / М.Ю. Калинин [и др.]; под общ. ред. М.Ю. Калинина. – Минск : Полиграфкомбинат им. Я. Коласа, 2005. – 183 с.
2. Малик, Л.К. Повреждения гидроузлов и их последствия / Л.К. Малик, Н.И. Коронкевич // Водн. ресурсы. – 2001. – Т. 28, № 3. – С. 148-152.
3. Risley, J. Usoi Dam Wave Overtopping and Flood Routing in the Bartang and Panj Rivers, Tajikistan // J. Risley, J. Walder, R. Denlinger. – Reston, Virginia : U.S. Geological Survey, 2006. – 29 p.
4. Расчет устойчивости откосов методом Монте-Карло / Н.С. Розанов, Л.В. Горелик, Т.В. Матрошилина, Г.А. Чугаева, Б.А. Шойхет // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике; Оценка и обеспечение надежности гидротехнических сооружений / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. М. : – 1981. – С. 55-59.
5. ICOLD (International commission of Large Dams), Bulletin 99, Dam Failures, Statistical Analysis, Commission Internationale des Grands Barrages. – 1995. Paris. – 73 p.
6. Tailings Dams – Risk of Dangerous Occurrences, Lessons learnt from practical experiences, Bulletin 121, Published by United Nations Environmental Programme (UNEP) Division of Technology, Industry and Economics (DTIE) and International Commission on Large Dams external link (ICOLD). – 2001. Paris – 144 p.

7. Environmental and Safety Incidents concerning Tailings Dams at Mines: Results of a Survey for the years 1980-1996 by Mining Journal Research Services; a report prepared for United Nations Environment Programme, Industry and Environment external link. Paris, 1996. – 129 p.
8. Михайлов, В.О. Математическое моделирование селей, обвалов и оползней / В.О. Михайлов, С.С. Черноморец; под ред. В.О. Михайлов. – Москва : Lambert academic publishing, 2011. – 131 с.
9. Карпенчук, И.В., Стриганова, М.Ю., Махмудов, Э.М. Оценка безопасности сооружений и территорий от поражающего воздействия волны вытеснения // Интернет-журнал «Технологии техноферной безопасности» Выпуск № 3 (49). – 2013 г.
10. Обрушение грунта в Минском районе [Электронный ресурс] / МЧС Республики Беларусь. – Режим доступа: http://mchs.gov.by/rus/main/events/news/~year__m22=2015~news__m22=46445. – Дата доступа: 15.10.2016.
11. Природу оползней изучают специалисты в Мозыре [Электронный ресурс] / Телев. Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – Режим доступа: http://ont.by/news/our_news/opolzen-soshyol-v-mozire. – Дата доступа: 20.10.2016.
12. Клебанович, Н.В. География почв Беларуси: учебное пособие / Н.В. Клебанович, В.С. Аношко, Н.К. Чертко, Н.В. Ковальчик, А.Ф. Черныш. – Минск: БГУ, 2009. – 198 с.
13. Розанов, Н.С. Аварии и повреждения плотин / Н.С. Розанов [и др.] ; под общей редакцией А.А. Борового. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 126 с.
14. Мурашко, М.Г. Водноэнергетический кадастр Белорусской ССР: потенциальные гидроэнергоресурсы / М.Г. Мурашко [и др.] ; ред. Т.Л. Золотарев ; Академия наук Белорусской ССР, Институт энергетики. – Минск : Издательство Академии наук БССР, 1960. – Т. 1 – 282 с.
15. Леви, И.И. Динамика русловых потоков. Л.-М., Госэнергоиздат, 1948. – 222 с.
16. Waltham, A. C. Катастрофы: неистовая земля / А.С. Waltham. – Москва : Недра, 1982. – 113 с.

METHOD FOR ASSESSING THE DAMAGING EFFECT OF THE DISPLACEMENT WAVE ON ARTIFICIAL WATER BODIES

Searhei Pastukhou, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Dzmitry Zhuk

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

Eltin Makhmudov

The state educational establishment «Academy of the Ministry for Emergency Situations of the Azerbaijan Republic»

Purpose. Forecasting of parameters of the displacement wave on artificial water bodies.

Methods. Modeling of emergency situation in hydraulic laboratory.

Findings. The developed methodology will increase the level of safety of facilities on the territory adjacent to the reservoirs.

Application field of research. The research results can be used in calculations of risk assesment of hydraulic structures.

Conclusions. As a result of the carried out work the methodology for laboratory research has been developed that takes into account the scenario of development of emergency situations on artificial water bodies: 1 – collapse of a part of the coast having a predominantly homogeneous soil; 2 – collapse of a part of the coast which has a various composition of solid ground rocks unrelated to each other.

The technique allows to simulate the collapse of cohesive and incoherent soils, to forecast dangerous factors of wave action and to prevent major material damage and human death.

Keywords: the displacement wave, incident on hydraulic structures, dan, landslide, emergency situation.

(The date of submitting: April 6, 2017)

REFERENCES

1. Kalinin M.Yu. [et.] *Vodokhranilishcha Belarusi: spravochnik*. Minsk : Poligrafkombinat im. Ya. Kolasa, 2005. 183 p. (rus)
2. Malik L.K., Koronkevich N.I. Povrezhdeniya gidrouzlov i ikh posledstviya. *Vodn. Resursy*, 2001. Vol. 28, No. 3. Pp. 148-152. (rus)
3. Risley J., Walder J., Denlinger R. *Usoi Dam Wave Overtopping and Flood Routing in the Bartang and Panj Rivers, Tajikistan*. Reston, Virginia : U.S. Geological Survey, 2006. 29 p.
4. Rozanov N.S., Gorelik L.V., Matroshilina T.V., Chugaeva G.A., Shoykhet B.A. Raschet ustoychivosti otkosov metodom Monte-Karlo. *Materialy konferentsiy i soveshchaniy po gidrotekhnike; Otsenka i obespechenie nadezhnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy*, VNIIG im. B.E. Vedeneeva. Moscow, 1981. Pp. 55-59. (rus)
5. *ICOLD (International commission of Large Dams)*, Bulletin 99, Dam Failures, Statistical Analysis, Commission Internationale des Grands Barrages. Paris, 1995. 73 p.
6. *Tailings Dams – Risk of Dangerous Occurrences, Lessons learnt from practical experiences*, Bulletin 121, Published by United Nations Environmental Programme (UNEP) Division of Technology, Industry and Economics (DTIE) and International Commission on Large Dams external link (ICOLD). Paris, 2001. 144 p.
7. *Environmental and Safety Incidents concerning Tailings Dams at Mines: Results of a Survey for the years 1980-1996 by Mining Journal Research Services*; a report prepared for United Nations Environment Programme, Industry and Environment external link. Paris, 1996. 129 p.
8. Mikhaylov V.O., Chernomorets S.S. *Matematicheskoe modelirovanie seley, obvalov i opolzney*. Moscow: Lambert academic publishing, 2011. 131 p. (rus)
9. Karpenchuk I.V., Striganova M.U., Makhmudov E.M. Otsenka bezopasnosti sooruzheniy i ter-ritoriy ot porazhayushchego vozdeystviya volny vytesneniya. *Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti»*, 2013. No. 3 (49). (rus)
10. *Prirody opolzney izychaut specialist v Mozyre*. TV of the Republic of Belarus, Minsk, 2016, available at: http://ont.by/news/our_news/opolzen-soshyol-v-mozyre (accessed: October 20, 2016). (rus)

11. *Obrushenie grunta v Minskom rayone*. MES Republic of Belarus. Minsk, 2016, available at: http://mchs.gov.by/rus/main/events/news/~year__m22 (accessed: October 15, 2016). (rus)
12. Klebanovich N.V., Anoshko V.S., Chertko N.K., Koval'chik N.V., Chernysh A.F. *Geografiya pochv Belarusi: uchebnoe posobie*. Minsk: BSU, 2009. 198 p. (rus)
13. Rozanov N.S. [etc.] *Avarii i povrezhdeniya plotin*; edited by A.A. Borovoy. Moscow : Energoatomizdat, 1986. 126 p. (rus)
14. Murashko M.G. [etc.] *Vodnoenergeticheskiy kadastr Belorusskoy SSR: potentsial'nye gidroenergoresursy*; edited by T.L. Zolotarev; Academy of Sciences of the Byelorussian SSR, Institute of Energy. Minsk : Izdatelsvo Akademii nauk BSSR, 1960. Vol. 1. 282 p. (rus)
15. Levi I.I. *Dinamika ruslovykh potokov*. L.-M., Gosenergoizdat, 1948. 222 p. (rus)
16. Waltham A. C. *Katastrofy: neistovaya zemlya*. Moscow : Nedra, 1982. 113 p. (rus)

УДК 616.-001:662.215.23

ПОРОГОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТРАВМИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА

Иваницкий А.Г., Петрико Е.А.

Изучены литературные данные механизма воздействия избыточного давления взрыва топливовоздушных смесей на организм человека для определения возможных последствий. Установлено, что наиболее чувствительны к воздействию волны избыточного давления взрыва органы слуха, дыхания, желудочно-кишечного тракта и головной мозг, а основной травмирующий эффект зависит от величины избыточного давления взрыва. Определены пороговые значения травмирования человека при воздействии избыточного давления взрыва, на основании чего установлено, что на первоначальном этапе проведения экспериментальных исследований по определению последствий воздействия избыточного давления взрыва на человека возникает необходимость изучения аэродинамических характеристик поведения тела человека с учетом его антропометрических данных.

Ключевые слова: взрыв, избыточное давление взрыва, организм человека, механизм травмирования.

(Поступила в редакцию 7 апреля 2017 г.)

Проведенный анализ статистических данных взрывов, произошедших в мире, а также их последствий свидетельствует о том, что обеспечение безопасности людей при аварийных взрывах топливовоздушных смесей является актуальной на сегодняшний день задачей [1]. В связи с этим возникает необходимость детального изучения механизма воздействия избыточного давления взрыва топливовоздушных смесей на организм человека для определения возможных последствий.

При взрывах происходит быстрое изменение давления, плотности и температуры газовой среды. Сгорание большинства конденсированных взрывчатых веществ протекает в режиме детонации, при этом взрывная волна в веществе распространяется с постоянной скоростью при данных плотности и форме заряда. Значения скоростей детонации находятся в пределах от 1,5 км/с для некоторых промышленных взрывчатых веществ до 8 км/с для мощных типичных взрывчатых веществ; при этом давления взрывов достигают 20–38 ГПа. Что касается дефлаграционного горения, оно происходит при достижении скоростей распространения пламени значений сотен метров в секунду, но не превышающих скорость распространения звука в данной среде. При дефлаграционном горении газовая среда может нагреваться до 1500–3000 °С, а давление в закрытых объемах увеличивается до 0,6–0,9 МПа. Применительно к аварийным взрывам под дефлаграцией обычно понимают горение облака со скоростью 100–300 м/с, при котором генерируются волны избыточного давления с максимальным давлением 20–100 кПа. В определенных условиях дефлаграционное горение может перейти в детонационный процесс, при котором скорость распространения пламени превышает скорость распространения звука и может достигать 1–5 км/с. Как правило, взрывы топливовоздушных смесей протекают в режиме дефлаграционного горения [2].

Одним из опасных факторов взрыва является волна избыточного давления. Самыми важными характеристиками волны избыточного давления являются: скорость нарастания и максимальное значение избыточного давления, длительность положительной фазы (период времени, в течение которого наблюдается повышенное давление) и импульс. Тело человека способно легко адаптироваться к изменению давления в широком диапазоне. Когда давление изменяется постепенно, его действие компенсируется изменением давления в органах, содержащих воздух. Если давление изменяется быстро, увеличивается разность давлений, что может привести к повреждению внутренних органов. Таким образом, наиболее чув-

ствительны к воздействию волны избыточного давления взрыва органы слуха, дыхания, желудочно-кишечного тракта и головной мозг [3].

В целом воздействие волны избыточного давления взрыва на человека представляет собой сложный процесс, в котором необходимо учитывать действие следующих параметров: разность между нормальным давлением и избыточным давлением взрыва; величина перепада давления перед фронтом волны избыточного давления взрыва и позади нее; действие динамического давления, оказываемого волной и продолжительность ее действия. В результате анализа литературных источников [3, 4] установлено, что основной травмирующий эффект зависит от величины избыточного давления взрыва.

Механизмы поражения живого организма воздушной ударной волной складываются из нескольких моментов: прямого или непосредственного воздействия, метательного эффекта и действия звукового раздражения. Момент соприкосновения фронта ударной волны с телом и полное его обтекание характеризуется величиной давления во фронте ударной волны. В начальный период на поверхности тела, обращенной к взрыву, за счет эффекта отражения возникает скачок давления, в несколько раз превышающий давление во фронте волны. При этом человек испытывает сотрясение всего тела и общий лобовой либо касательные удары. В силу преобладания в спектре ударной волны высоких частот, она одновременно легко проникает в тело, порождая сложную систему продольных и поверхностных волн. Скорость их прохождения близка к скорости звука в среде той или иной плотности. Ударные волны, распространяясь в теле по неоднородным средам и микроструктурам, вызывают 3 вида повреждающих эффектов: расщепляющие (обусловлены растягивающими усилиями, возникающими при отражении, преломлении и интерференции ударных волн на границах раздела тканей с неодинаковой плотностью), инерционные (включаются в образовании градиента скорости в соседних тканях и органах, имеющих различную массу и удельную плотность, что ведет к разрушению их структуры за счет разности ударных перегрузок тканей на соседних участках), кавитационные (обусловлены выделением большого количества тепла и образования пузырьков газа в жидкостях организма при мгновенном поглощении энергии ударной волны) [5].

Метательный эффект представляет собой в сотни и тысячи раз более длительный и более стабильный процесс, занимающий всю положительную фазу сжатия. В этот период человек подвергается влиянию динамического напора волны. Поверхность тела, обращенная к центру взрыва, испытывает давление, равное сумме давлений отражения и скоростного напора; боковые поверхности – давление, равное давлению во фронте ударной волны, противоположная взрыву сторона – еще меньше. Разница давлений рождает смещающую силу, параллельную плоскости земли. Возникает разница и в силе обдувания тела сверху и снизу потоком сжатого воздуха, вследствие чего образуется подъемная сила. В результате такого сочетания сил образуется результирующая сила, направленная вверх и в сторону от центра взрыва. Человек, попавший в зону вблизи центра мощного взрыва, может быть отброшен на несколько десятков метров. Тяжесть поражения определяется количеством движения, которое сообщается телу при взаимодействии со взрывной волной и зависит от проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению распространения взрывной волны, а также характера изменения избыточного давления. Следует отметить, что с увеличением массы человека его сопротивляемость к действию взрывной волны возрастает.

Одновременно с травмированием человека, воздействие взрывной волны на окружающую среду приводит к возникновению осколков и обломков, которые также способны причинить значительные повреждения.

В целом, все нарушения, возникающие в организме в результате действия взрывной волны, принято разделять на первичные, вторичные и третичные: первичные поражения возникают в результате непосредственного воздействия взрывной волны на организм; вторичные поражения возникают в результате действия на организм предметов, приведенных в действие взрывной волной; третичные поражения возникают в результате ударов тела,

приведенного в движение действием взрывной волны, о расположенные рядом твердые поверхности [6].

Соотношение указанных повреждений будет зависеть от мощности и вида взрыва, расстояния от его центра, степени защищенности людей и условий распространения ударной волны: рельефа местности, наличия окружающих предметов, времени года, метеорологических и других условий.

Рассмотрим подробнее механизм повреждения наиболее подверженных к травмированию при взрыве органов (дыхания и слуха), механизм повреждения человека в целом при его взрывном перемещении, а также механизм повреждения осколками и обломками.

Как было сказано ранее, при взрыве чаще всего травмируются органы дыхания – легкие. Баротравма легких является причиной легочных кровотечений и отеков, разрыва легких, потери дыхательного запаса и т. д. Механизм повреждения легких при взрыве заключается во внезапной мощной компрессии заключенного в грудной клетке легкого. Ребра при этом играют роль рычагов, которые ударяют по поверхности легкого или (на противоположной стороне) образуют для сдавливаемого легкого жесткую подкладку.

Осложнением баротравмы легких может быть пневмоторакс или гемоторакс. Чаще скопление воздуха в плевральной полости сочетается с внутривнутриплевральным кровотечением. В зависимости от характера сообщения плевральной полости с внешней средой различают закрытый, открытый и клапанный пневмоторакс. Гемоторакс является следствием повреждения сосудов грудной стенки и легкого. Реже выявляются опасные ранения сердца, аорты, полых и легочных вен.

При баротравме легких в трахее и бронхах отмечается жидкая кровь, участки вздутия и ателектаза легочной ткани, множественные разрывы, очаговые кровоизлияния. Чаще всего страдают легкие на стороне, обращенной к центру взрыва (взрывное легкое). В паренхиме легких наблюдают кровоизлияния, локализующиеся преимущественно в области верхушек, поверхности печени и прикорневой зоны. Под плеврой легких заметны множественные точечные геморагии, располагающиеся соответственно межреберным пространствам.

В настоящее время в литературных источниках [3, 4] приведены сведения о том, что воздействие ударной волны влечет за собой быстрое внутреннее смещение грудной клетки, что и является одной из главных причин возникновения взрывной травмы. Быстрое смещение стенки грудной клетки может создать локальную волну давления на ткани легких, в то время как невозможно быстро освободить избыток энергии, при этом происходит кровоизлияние легких и отек повреждений.

В то время, как ударная волна подходит к грудной клетке человека, которая обладает более высокой плотностью, она отражается от объекта и рассеивается вокруг него. Величина отраженного давления связана как с падающей силой удара, так и с углом падения взрывной волны. Падающая волна будет проникать внутрь грудной стенки и генерировать ее сдвиг и сжатие легких в пределах человеческой груди.

Скорость движения стенки грудной клетки, в основном, определяется тремя факторами: величиной внешних нагрузок, вызываемых взрывной волной; волновым давлением, вызванным движением стенки грудной клетки; внутренним давлением, обусловленным сжатием легких и других органов.

Следует отметить, что в настоящее время достаточно стремительно развивается направление моделирования поведения организма человека при воздействии взрывных волн различных параметров. Модели разрабатываются на основе результатов проведенных ранее экспериментов [7]. В настоящее время разработана детальная 3D-модель конечных элементов овечьей грудной клетки для определения повреждения отдельно левого и правого легкого, а также объемного повреждения легких вследствие воздействия избыточного давления взрыва [8]. Общая модель грудной клетки была построена на основе компьютерной томографии трупов овец, однако большинство сведений и характеристик поведения ребер при различных значениях избыточного давления взрыва взяты из литературных ис-

точников, где отражены результаты проведенных ранее экспериментальных исследований повреждающего действия взрыва на живые организмы [9, 10].

Метод моделирования поведения грудной клетки используется не только для установления изменения перемещения грудной клетки, но и для прогнозирования последствий возникновения и тяжести травм легких человека. В [11] представлены результаты численного моделирования динамических характеристик грудной клетки человека, нагруженной взрывной волной. Данная модель, в основу которой положена реальная геометрическая форма человеческого тела, является наиболее точной с точки зрения определения вероятности травмирования легких и имеет весьма важное практическое значение. Установлено, что максимальную скорость движения внутрь при нагрузке имеют третьи, четвертые и пятые ребра, следовательно, в этих местах будут наблюдаться наибольшие повреждения легких.

По данным источника [11] установлено, что человек не пострадает, в том случае, когда максимальная скорость движения грудной стенки внутрь не превышает 3,6 м/с, наблюдается незначительная травма легкого при скорости грудной клетки 3,6-7,5 м/с, средние и серьезные травмы наблюдаются, когда скорость смещения грудной клетки составляет 7,5-16,9 м/с. Программное обеспечение позволяет анализировать величины напряжений и смещение грудной клетки человека при воздействии взрывной волны.

Таким образом, пороговым давлением, приводящим к повреждениям легочной ткани при расположении человека на открытой местности, является избыточное давление взрыва порядка 200-345 кПа [11]. Величина избыточного давления, приводящего к смертельным повреждениям, составляет около 660 кПа. Для замкнутых пространств пороговые уровни снижены в 5 раз.

Также при взрыве часто наблюдается травмирование органа слуха, причем первым проявлением является потеря слуха. Повреждение слуха при взрыве происходит по одному из трех механизмов. При первом возможен разрыв барабанной перепонки. Это обычно происходит у взрослых при разнице в давлении между средним и наружным ухом примерно в 100 кПа, что чаще всего наблюдается как линейная перфорация туго натянутой части перепонки. Второй механизм состоит в смещении слуховых косточек, которое может сопровождать разрыв барабанной перепонки или же наблюдается как изолированное повреждение. Наконец, при третьем механизме оглушение может быть обусловлено действием взрывной волны на внутреннее ухо, что приводит к возникновению перилимфатической фистулы и других повреждений.

Данные оригинального исследования, в котором использовались трупы, а давление в наружном слуховом проходе повышалось до разрыва барабанной перепонки, показали, что среднее давление разрыва у взрослых составляет порядка 150 кПа, у детей – 200 кПа. Следует отметить, что в группе из 100 человек велика вероятность того, что у кого-то прочность барабанной перепонки окажется менее 50 кПа [12].

В результате так называемого взрывного перемещения воздуха, тело человека может быть перенесено на некоторое расстояние. Во время такого перемещения перевороты и скольжение по поверхности могут привести к травмированию. Также во время перемещения существует вероятность столкновения с жесткими предметами. Тяжесть последствий в основном зависит от скорости удара, твердости и формы объекта или преграды и части человеческого тела, подверженной воздействию при столкновении. Наиболее уязвимой частью тела в случае столкновения является череп.

Результаты ранее проведенных экспериментальных исследований последствий воздействия ядерных взрывов на манекены (объекты испытаний) показали, что скорость взрывного перемещения человека зависит от его положения относительно распространения взрывной волны. Так, в случае расположения манекена перпендикулярно направлению распространения взрывной волны вероятность его травмирования и гибели в случае перемещения и удара о жесткие преграды значительно выше, чем при его расположении лежа (в данном случае смещения были незначительными) [3].

При определении пороговых скоростей удара животных о жесткие преграды, приводящих к гибели, использовали результаты свободного падения подопытных животных с различных высот на бетонную плиту. Так, в 50 % случаев наблюдалась гибель мышей, крыс, морских свинок и кроликов при скоростях удара 11,6; 13,4; 9,4 и 9,4 м/с соответственно. В последующем, при экстраполяции этих данных на человека установлено, что в 50 % смерть наступит при скорости около 7,9 м/с. Кроме того, было определено, что в 1% случаев гибель наступает уже при скорости удара 6,1 м/с.

Известна также зависимость скорости удара человека и частоты переломов при этом: скорость удара о твердую ровную поверхность примерно от 4,3 до 7 м/с приводит к растрескиванию костей черепа; перелом ног и лодыжек происходит при скоростях удара от 3,6 до 4 м/с; перелом поясничного отдела позвоночника наблюдали при скорости удара в сидячем положении 2,4 м/с.

В источнике [13] приведены результаты компьютерного моделирования воздействия ударной волны на тело человека с учетом его антропометрических данных. При проведении исследований тело человека делилось на сегменты, что позволило рассмотреть поведение отдельно взятых частей тела человека при воздействии опасных факторов взрыва. Результаты моделирования показали, что после воздействия воздушной ударной волны человек начинает двигаться и, в зависимости от величины вторичных (отраженных) волн, положение его тела, а также форма изменяется. Установлено, что основные повреждения при таком перемещении в пространстве человек получает при воздействии отраженных волн.

Наряду с повреждающим действием газообразных продуктов взрыва и взрывной волны, возникающих в окружающей среде, важное значение при определении повреждающих воздействий приобретают осколки и части разрушившихся аппаратов, агрегатов, установок и т. д. Характер и тяжесть осколочного поражения зависят прежде всего от кинетической энергии осколка, определяемой его скоростью и массой. Осколки при взрывах, как правило, причиняют слепые и касательные раны, реже – сквозные. Осколки, имеющие небольшую скорость полета (около 50 м/с), могут наносить закрытые повреждения – ушибленные раны, ссадины, разрывы внутренних органов, переломы и др. [14].

Помимо энергетических параметров осколков при формировании повреждений имеет значение их форма и размеры, а также особенности анатомического строения поражаемой части тела. Движение осколков характеризуется «кувырканием», вследствие чего в поражаемом объекте они встречают большое сопротивление, быстрее теряют свою скорость, чем пуля, и наносят повреждения непосредственно в зоне своего продвижения. На основе анализа литературных данных, минимальной массой осколков, которые уже способны поражать кожу человека, считается 0,07–0,1 г.

Результаты проведенного исследования механизма воздействия избыточного давления взрыва на организм человека представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Пороговые значения травмирования человека при воздействии избыточного давления взрыва

60 кПа	50-ти процентная вероятность гибели человека вследствие удара о жесткую преграду при взрывном перемещении
78 кПа	гибель человека вследствие удара о жесткую преграду при взрывном перемещении
150 кПа	среднее давление разрыва барабанной перепонки у взрослого человека
200 кПа	повреждение легочной ткани при расположении человека на открытой местности
660 кПа	повреждение легких, приводящее к гибели

Из таблицы видно, что пороговое значение избыточного давления взрыва, которое приводит к гибели человека, при взрывном перемещении значительно ниже, чем пороговые значения повреждения органов слуха и дыхания человека. Следовательно, на первоначальном этапе проведения экспериментальных исследований по определению последствий воздействия избыточного давления взрыва на человека возникает необходимость изучения аэродинамических характеристик поведения тела человека с учетом его антропометрических данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иваницкий А.Г., Миканович А.С., Петрико Е.А. Проблемы определения вероятности поражения человека избыточным давлением взрыва / А.Г. Иваницкий, А.С. Миканович, Е.А. Петрико // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2012. – № 1 (15). – С. 4-9.
2. Бесчастнов, М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М.В. Бесчастнов. – М. : Химия, 1991. – 432 с.
3. Lee's loss prevention in the process industries. A 3rd ed. / edited by Sam Mannan. . – London, 2005. – 3708 p.
4. Тюрин, М.В. Повреждения воздушной ударной волной и разработка специальных средств защиты и безопасности : автореф. дис. докт. мед. наук : 05.26.02 / Тюрин М.В.; Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины МЧС России – Санкт-Петербург, 2000. – 42 с.
5. Исаков, В.Д. Судебно-медицинская экспертиза взрывной травмы / В.Д.Исаков, Р.В.Бабаханян, А.А.Матышев и др. – Санкт-Петербург, 1997. – 120 с.
6. Richmond, D.R. Biological effects of blast and shock. Technical Progress Report / D.R. Richmond, C.S. White; Lovelace Foundation for Medical Education and Research Albuquerque. – New Mexico. – 1966. – P. 57.
7. Иваницкий А.Г., Петрико Е.А. Оценки последствий воздействия избыточного давления взрыва топливозвоздушных смесей на человека / А.Г. Иваницкий, Е.А. Петрико // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2014. – № 1 (19). – С. 67-72.
8. Gibbons, M. Finite Element Modeling of Blast Lung Injury in Sheep [Text] / Melissa M. Gibbons, Xinglai Dang, Mark Adkins; Journal of Biomechanical Engineering. – USA. – 2015. – 9 p.
9. White, C.S. The biodynamics of air blast / C.S. White, R.K. Jones, G.E. Damon. –Lovelace Foundation for Medical Education and Research, Albuquerque, NM. – 1971.
10. Bowen, J.G. Estimate of man's tolerance to the direct effects of air blast. Lovelace Foundation for Medical Education and Research / J.G. Bowen, E.R. Fletcher, D.R. Richmond. – Albuquerque, New Mexico. – 1968. – 120 p.
11. Kang, J. Numerical simulation on dynamic response of the chest wall loaded by the blast wave / J. Kang, C.Yu, H.Li, J.Chen, H.Lui; Engineering Review. – 2015. – 113-120 p.
12. Чигарев, А.В. Биомеханика / А.В. Чигарев, Г.И. Михасев, А.В. Борисов. – Минск, 2000. – 284 с.
13. Explosion and Blast-Related Injuries: Effects of Explosion and Blast From Military Operations and Acts of Terrorism / edit. N.M. Elsayed, J. Atkins. – Elsevier Inc., 2008. – 380 p.
14. Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials. CPR 16E. – Committee for the Prevention of Disaster caused by dangerous substances. The Hague: Directorate-General of Labour of the Ministry of Social Affairs and Employment, 1992. – 337 p.

THRESHOLD VALUES OF HUMAN INJURY WHEN EXPOSED TO EXCESS EXPLOSION PRESSURE

Aliaksandr Ivanitski, candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Alena Piatryka

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

Purpose. To study the mechanism of the effect of excessive pressure on fuel in order to determine the possible consequences.

Methods. The analysis of literature sources and conduction of experimental studies.

Findings. It was found that the most sensitive to excessive pressure are the organs of hearing, respiration, gastrointestinal tract and brain, the main traumatic effect depending on the excess pressure. The threshold values of human injury risk at the onset of excessive explosion pressure are determined.

Conclusion. It is established that the initial stage is conduction of experimental studies to determine the consequences of the effect of excessive pressure on human body taking into account its anthropometric data.

Keywords: explosion, excessive explosion pressure, human body, the mechanism of injury.

(The date of submitting: April 7, 2017)

REFERENCES

1. Ivanitsky A.G., Mikanovich A.S., Petriko E.A. Problems of determining the likelihood of human injury by excessive explosion pressure. *Vestnik Komandno-Inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*. 2012. №1 (15). Pp. 4-9.(rus)
2. Beschastnov, M.V. *Industrial explosions. Evaluation and Prevention*. M.: Chemistry, 1991. 432 p. (rus)
3. *Lee's loss prevention in the process industries*. A 3rd ed. Edited by Sam Mannan. London, 2005. 3708 p.
4. Tyurin M.V. *Damage by an air shock wave and development of special means of protection and safety: the author's abstract*. Dr. med. sci diss. Synopsis: 05.26.02. All-Russia Center for Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia. St. Petersburg, 2000. 42 p. (rus)
5. Isakov V.D. Babakhanyan R.V., Matyshev A.A. and others. *Forensic examination of explosive trauma*. St. Petersburg, 1997. 120 p. (rus)
6. Richmond D.R., White C.S. *Biological effects of blast and shock. Technical Progress Report*. Lovelace Foundation for Medical Education and Research Albuquerque. New Mexico. 1966. P. 57.
7. Ivanitsky A.G., Petriko E.A. Estimates of the consequences of the effect of excessive pressure of the explosion of fuel-air mixtures on humans. *Vestnik Komandno-Inzhenernogo institute MChS Respubliki Belarus'*. 2014. №1 (19). Pp. 67–72. (rus)
8. Gibbons M., Dang X., Adkins M. Finite Element Modeling of Blast Lung Injury in Sheep [Text]. *Journal of Biomechanical Engineering*. USA. 2015. 9 p.
9. White C.S. Jones R.K., G.E. Damon. The biodynamics of air blast. *Lovelace Foundation for Medical Education and Research*, Albuquerque, NM. 1971.
10. Bowen J.G., Fletcher E.R., Richmond D.R. Estimate of man's tolerance to the direct effects of air blast. *Lovelace Foundation for Medical Education and Research*. Albuquerque, New Mexico. 1968. 120 p.
11. Kang J., Yu C., Li H., Chen J., Lui H. *Numerical simulation on dynamic response of the chest wall loaded by the blast wave*. Engineering Review. 2015. 113-120 p.
12. Chigarev A.V., Mikhachev G.I., Borisov A. *Biomechanics*. Minsk, 2000. 284 p.
13. Elsayed N.M., Atkins J. *Explosion and Blast-Related Injuries: Effects of Explosion and Blast From Military Operations and Acts of Terrorism*. Elsevier Inc. 2008. 380 p.
14. *Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials*. CPR 16E. Committee for the Prevention of Disaster caused by dangerous substances. The Hague: Directorate-General of Labour of the Ministry of Social Affairs and Employment, 1992. 337 p.

УДК 544.023.57:661.183.1

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МИКРОДИСПЕРСНОГО ГИДРОФОБНОГО АДСОРБЕНТА НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Журов М.М.

В статье представлены результаты разработки технологии получения и исследований эксплуатационных и физико-химических свойств микродисперсного гидрофобного адсорбента на основе бентонитовой глины Острожанского месторождения, применяемого для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

Ключевые слова: адсорбент, бентонитовая глина, модификатор, технология получения, гидрофобность, плавучесть, нефтеемкость, удельная поверхность, скорость сорбции.

(Поступила в редакцию 22 декабря 2016 г.)

Введение. Одним из перспективных способов удаления нефти и нефтепродуктов с водных поверхностей и почвы является использование сорбционных технологий, предусматривающих применение специальных материалов (сорбентов), поглощающих с высокими скоростями большие объемы различных жидких органических продуктов [1]. В Республике Беларусь широко используются выпускаемые белорусскими предприятиями сорбенты на основе торфа «Белнефлесорб-экстра» и «Экоторф», синтетический сорбирующий волокнисто-пористый материал «СВПМ» и высокоэффективный сорбент нефти и нефтепродуктов из пенополиуретана «Пенопурм». Из вышеперечисленных продуктов по значению сорбционной емкости единицей массы наиболее эффективными являются синтетические нефтепоглощающие материалы. Недостатком таких сорбционных материалов, во-первых, является сложность их получения: для обеспечения заданной плотности и концентрации открытых ячеек к смесительно-дозировочному и формирующему оборудованию предъявляют высокие требования [2]. Во-вторых, применение синтетических сорбентов сдерживается из-за высокой стоимости реагентов, необходимых для их получения.

Известно, чем меньше плотность сорбента, тем большее значение нефтеемкости даст даже незначительная величина поглощенной нефти к массе его навески. Существенно возрастают и транспортные проблемы с доставкой больших объемов легких сорбентов к месту аварии. Декларируемые как положительные моменты эксплуатации этих материалов и изделий из них в качестве многократно используемых сорбирующих материалов, также имеют несколько отрицательных моментов. Так, существенно возрастают трудности с хранением замазученных материалов с точки зрения пожарной опасности и экологии, а многократное использование загрязненных нефтью сорбирующих материалов может приводить к повторному загрязнению очищаемых объектов [3].

Следовательно, разработка сорбентов с применением простой технологии изготовления из недорогих материалов и реагентов по-прежнему актуальна. В этом плане для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов перспективно применение нефтепоглощающих материалов на основе недорогого природного минерального сырья, обладающего адсорбционными свойствами и имеющегося на территории Республики Беларусь, – бентонитовой глины. Ее запасы составляют более 10 млн.т [4]. Установлено, что отечественная бентонитовая глина относится к виду кальциевых, для которых характерны лучшие адсорбционные свойства по отношению к нефти и нефтепродуктам по сравнению с натриевыми из-за более высокой пористости [5]. На рисунке 1 приведено схематическое изображение слоистого строения порообразующего минерала бентонитовой глины – монтмориллонита [6,7].

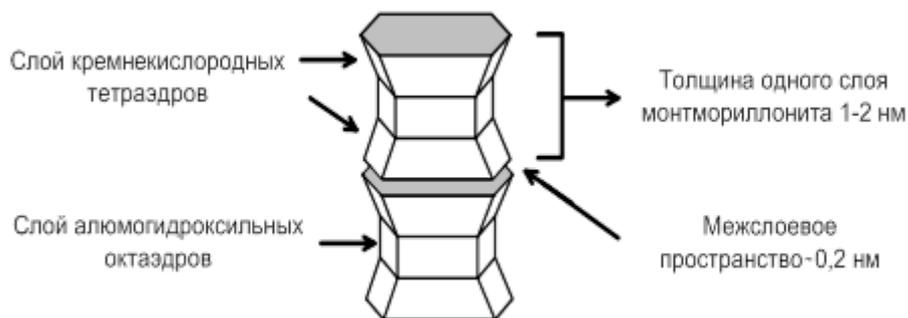


Рисунок 1. – Схематическое изображение слоистого строения порообразующего минерала бентонитовой глины – монтмориллонита

Применение бентонитовых глин в естественном виде в качестве нефтепоглощающих материалов ограничено вследствие их невысокой нефтеемкости и отсутствия плавучести в нефтенасыщенном состоянии. Необходимо отметить, что модифицирование бентонитовой глины для придания ей требуемых эксплуатационных свойств представляет определенные сложности. Так, качественное модифицирование с получением однородного состава адсорбента возможно при полном контакте – смачивании модификатором, а развитая поверхность минерала требует и большого расхода модификатора. В таких случаях применяют органические растворители, что крайне нежелательно с точки зрения экологичности процесса. Кроме того, после модифицирования требуется дополнительное измельчение глины.

В настоящее время известно несколько способов подготовки и модифицирования минеральных сорбентов. Часть глинистых природных адсорбентов обладает высокой активностью в естественном виде и их подготовка к использованию в промышленности заключается лишь в термической обработке. Другая часть глинистых пород приобретает высокие адсорбционные свойства после химической активации, наиболее распространенным способом является обработка минеральными и органическими кислотами [8].

Модифицирование кислотой приводит к разрушению кристаллической структуры глинистых минералов вследствие вымывания ионов алюминия, железа и магния, способствуя развитию поверхности. Удельная поверхность бентонита возрастает с 24 до 76 м²/г за счет формирования более мелкопористой структуры – средний радиус пор уменьшается с 59 до 33 нм [9]. Недостатком применения кислот является трудоемкость процесса, агрессивность таких сред и необходимость при их использовании применять индивидуальные средства защиты, что, в конечном счете, значительно влияет на стоимость нефтепоглощаемого продукта. Также для увеличения плавучести минеральных адсорбентов используют диметилдихлорсилан, триметилхлорсилан и гексаметилдисилазан, которые вступают в реакцию с гидроксильными (силанольными) группами адсорбента и обеспечивают гидрофобизацию поверхности [10]. Недостатком применения является большая стоимость вышеуказанных реагентов.

Для упрощения и удешевления процесса получения адсорбента модифицирование поверхности глин может быть достигнуто в результате обработки не только кислотами, но и другими реагентами. Проведенные исследования [8] показали, что введение модифицирующих добавок в межслоевое пространство монтмориллонита приводит к его «раскрытию», которое становится доступным для молекул углеводородов.

С целью придания отечественной бентонитовой глине необходимых физико-химических свойств для использования в качестве адсорбента нефтепродуктов проведены исследования условий ее подготовки и улучшения эксплуатационных свойств с использованием как технологических приемов, так и модифицирующих агентов.

Основная часть. Для создания минерального адсорбента на основе бентонитовой глины наряду с увеличением адсорбционной емкости требуется также обеспечить его плавучестью. С этой целью нами осуществлялся выбор оборудования и метода модифицирования бентонитовой глины.

На предварительных этапах исследования проведен выбор модификатора, повышающего адсорбционную емкость бентонитовой глины по нефтепродуктам и придающего ей плавучесть в нефтенасыщенном состоянии. К модификатору мы выдвигали следующие требования: он должен быть экологически безопасным и недорогим, а главное – обеспечивать требуемые эксплуатационные свойства. Поэтому в качестве модификаторов нами были отобраны soapstock, ПМС-200 и отработанная отбеленная глина Grade F-160.

Soapstock представляет собой малоподвижную коллоидную систему сложного качественного и количественного состава. Состав soapstock зависит от вида рафинируемого масла, условий рафинации и хранения, при этом основными группами соединений являются: жировой природы – мыла, жирные кислоты и нейтральный жир (моно-, ди- и триглицериды); не жировой – органические кислоты и их соли, углеводороды, спирты, пигменты и некоторые другие органические вещества. Нами в исследованиях применялись подсолнечные soapstock, в которых содержится 60–72 % линолевой кислоты, 25–30 % олеиновой, 7–8 % пальметиновой и 2–4 % стеариновой кислоты.

Кремнийорганические жидкости марки ПМС представляют собой смесь полимеров линейного строения $((\text{CH}_3)_3\text{SiO}-[(\text{CH}_3)_2\text{SiO}-]_n\text{SiO}-(\text{CH}_3)_3$ с различной степенью полимеризации – «n»). Кремнийорганические жидкости инертны, взрыво-безопасны, нетоксичны, термостабильны и имеют малую зависимость физико-химических характеристик от температуры. Цифра в обозначении марки ПМС указывает на вязкость жидкости. Удельная плотность ПМС-200 – 968 кг/м³.

Отработанный адсорбент на основе отбеленной глины представляет собой бентонитовые глины, гидрофобизированные примесями, содержащимися в жирах и маслах и поэтому также может быть использован в качестве модификатора для исходной бентонитовой глины.

Результаты по исследованию адсорбционной емкости, которая является главным эксплуатационным показателем с точки зрения эффективности адсорбента, по нефти в зависимости от вида модификатора и его количества представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Адсорбционная емкость бентонитовой глины в зависимости от вида и количества вводимого модификатора

Количество модификатора в составе адсорбента, мас. %	Адсорбционная емкость по нефти, г/г адсорбента		
	модификатор – отработанная отбеленная глина (Grade F-160)	модификатор – soapstock	модификатор – ПМС-200
0	1,4	1,4	1,4
3	1,7	1,7	1,75
5	1,9	1,8	1,9
10	2,1	1,7	1,85
20	1,3	1,4	1,5

Результаты по исследованию плавучести конгломерата нефти и адсорбента в зависимости от количества модификатора представлена в таблице 2.

Таблица 2. – Плавучесть конгломерата нефти и адсорбента в зависимости от вида и количества вводимого модификатора

Количество модификатора в составе адсорбента, мас. %	Плавучесть, ч		
	модификатор – отработанная отбеленная глина (Grade F-160)	модификатор – soapstock	модификатор – ПМС-200
0	0	0	0
3	0,5	6	8
5	6	72	84
10	72	100	120
20	100	120	140

Проведенные экспериментальные исследования показали, что с учетом наибольшей адсорбционной емкости по нефти в качестве модификатора целесообразнее применять

именно отработанные отбеленные глины Grade F-160. Увеличение адсорбционной емкости достигается за счет увеличения удельной поверхности модифицированной бентонитовой глины по сравнению с исходной. Кроме того, введение модификатора уменьшает насыпную плотность модифицированной бентонитовой глины по сравнению с исходной с 0,97 до 0,92 г/см³, что в целом положительно влияет на ее плавучесть в нефтенасыщенном состоянии.

Применение в качестве модификатора отработанной отбеленной глины Grade F-160, которая до настоящего момента не применялась в качестве гидрофобизатора, является главной новизной в предлагаемом нами способе модифицирования. Используемые в качестве модификатора отработанные отбеленные глины Grade F-160 в свой состав включают эфиры, липиды и при адсорбции на поверхности частиц глины придают ей гидрофобные свойства.

Увеличение модификатора в составе адсорбента более 20 мас. % приводит к слипанию мелкодисперсных частиц бентонитовой глины и уменьшению свободной удельной поверхности. Поэтому необоснованное и чрезмерное введение гидрофобизирующего модификатора приводит к уменьшению адсорбционной емкости.

Для определения оптимального количества модификатора (отработанных отбеленных глин Grade F-160) в составе адсорбента с учетом наибольшей адсорбционной емкости по нефти применяли пакет программ для обработки статистических и математических функций и анализа научной графики OriginLab Corporation, с помощью которого было установлено, что оптимальное массовое содержание модификатора составляет 10,1 % от массы адсорбента, при этом емкость по нефти увеличивается с 1,4 до 2,1 г/г адсорбента (рисунок 2).

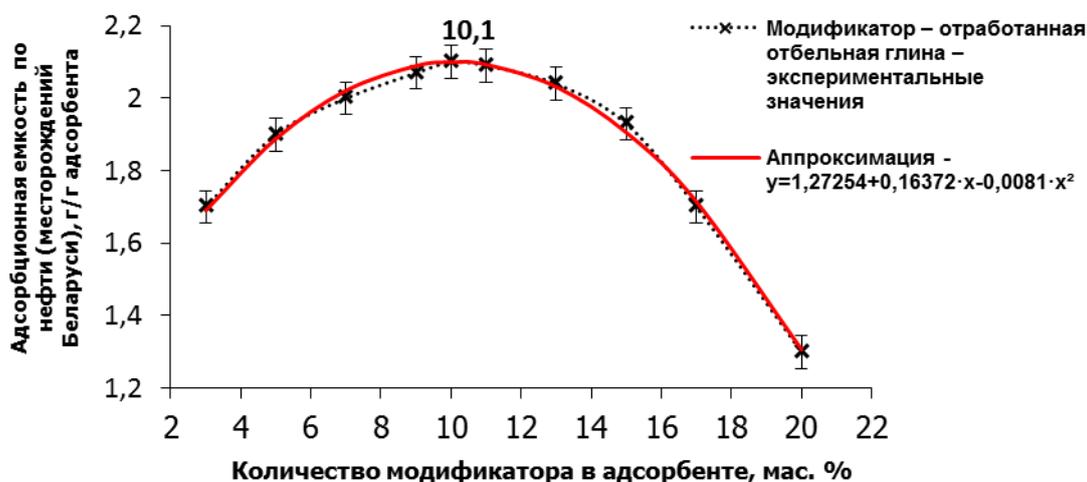
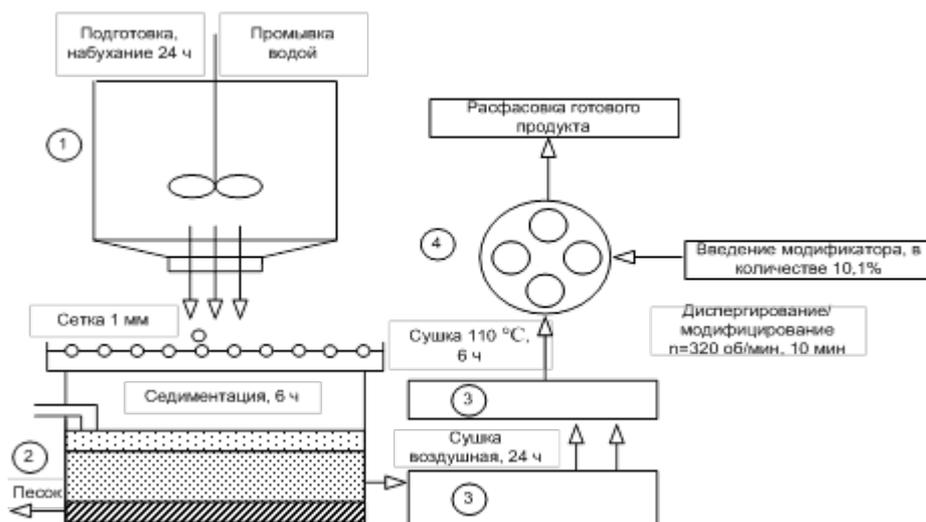


Рисунок 2. – Нефтеемкость композиционного адсорбента на основе бентонитовой глины

Для модифицирования бентонитовой глины и с целью ее применения в качестве основы адсорбента нефтепродуктов при аварийных разливах углеводородов нами впервые вместо активации кислотами предложено применять механодеструкцию с применением отработанной отбеленной глины Grade F-160. Такое решение позволяет совместить стадии модифицирования и измельчения бентонитовой глины и в отличие от существующих методов гидрофобизации является более простым и менее энергозатратным. Сложность введения модификатора заключалась в слеживаемости глины при механодеструкции, что не позволяло качественно производить ее гидрофобизацию. Для решения этой проблемы нами также впервые предложено производить сушку основы – бентонитовой глины перед механодеструкцией и модифицированием отработанной отбеленной глиной Grade F-160.

Как результат, предлагаемая технологическая схема изготовления опытной партии адсорбента на основе бентонитовой глины (рисунок 3) является более простой, малозатратной, экологически и химически безопасной и позволяет исключить применение

пожароопасных растворителей и растворов кислот и щелочей при модифицировании глины.



1 – бак для набухания; 2 – бак для седиментации; 3 – сушильный шкаф; 4 – мельница планетарная

Рисунок 3. – Технологическая схема изготовления опытной партии адсорбента на основе бентонитовой глины

В качестве основы адсорбента использовалась бентонитовая глина Острожанского месторождения, которое расположено юго-западнее одноименной деревни в Лельчицком районе Гомельской области. Глина естественной влажности серо-оливкового цвета, мылкая на ощупь, в сухом состоянии светло-серая. После 24 ч набухания в воде глина вручную и с помощью механической мешалки разбивалась в суспензию до консистенции жидкой сметаны, далее добавлялась вода в пропорции 1:1 и суспензия тщательно перемешивалась вручную. Для удаления посторонних включений суспензия перетиралась через сито с размером ячейки 1 мм. Далее суспензия помещалась в бак для седиментации в течение 6 ч. После седиментации вода сливалась через сифон, сырье извлекалось из бака. Вода и крупный песок, осевший на дне, в дальнейшем технологическом процессе не участвовали. Дисперсное сырье выкладывалось тонким слоем на противень и подвергалось воздушной сушке в течение 24 ч. Далее сырье предварительно измельчалось с помощью ручной мельницы дискового типа. После этого следовала сушка в сушильном шкафу при температуре 110 °C в течение 6 ч до постоянной массы. Признаком постоянной влажности являлось отсутствие снижения массы образца за время 30 мин [11]. Высушенные образцы глины модифицировались и диспергировались в планетарной мельнице «Пульверизетте-5» в течение 10 мин. Масса каждого образца составляла 200 г (180 г – масса исходной бентонитовой глины и 20 г – масса модификатора), количество шаров на образец – 10 шт., диаметр шара – 10 мм, частота вращения барабана – 320 об/мин.

Новым в предлагаемой технологии изготовления адсорбента на основе бентонитовой глины является:

- предварительная сушка при температуре 110 °C в течение 6 ч до постоянной массы, предотвращающая слеживаемость глины при модифицировании;
- использование механодеструкции вместо «мокрого» способа модифицирования;
- совмещение стадий модифицирования и механодеструкции;
- применение в качестве модификатора отработанной отбеленной глины Grade F-160.

Как результат, предлагаемая технология изготовления адсорбента является более простой и малозаратной по сравнению с «мокрой» технологией, что в свою очередь снижает конечную стоимость получаемого адсорбента.

Для исследования состояния поверхности бентонитовой глины до и после модифицирования и обоснования придаваемых ей гидрофобных свойств нами использовался метод

растровой электронной микроскопии (РЭМ) с применением микроскопа VEGA II марки Tescan. Для подготовки проб применяли двусторонний электропроводный скотч, на поверхность которого наносили образцы порошка исходной и модифицированной бентонитовой глины. Полученные микрофотографии образцов исходной и модифицированной бентонитовой глины представлены рисунке 4.

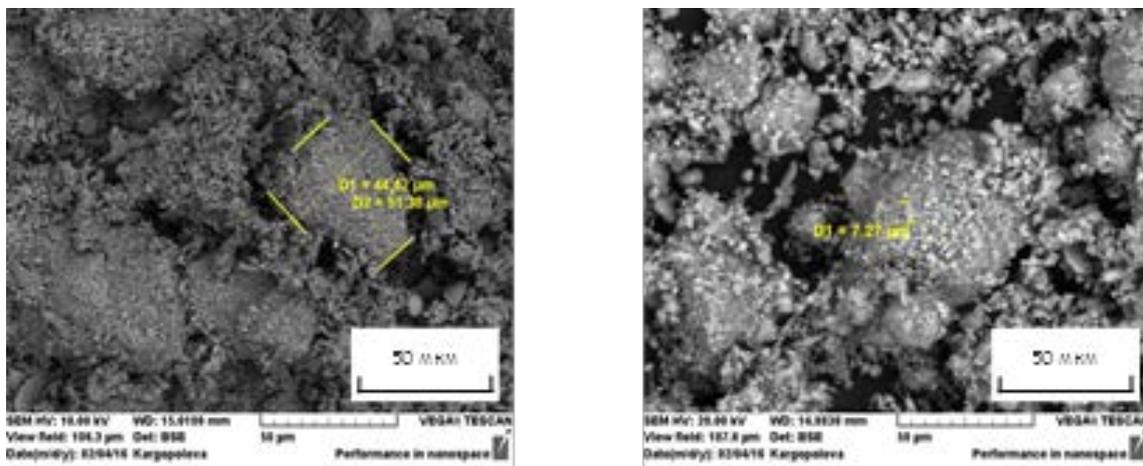


Рисунок 4. – Микрофотографии исходной и модифицированной бентонитовой глины

Исследования методом РЭМ показали, что на поверхности бентонитовой глины сформированы частицы модификатора размером до 8 мкм, которые имеют практически правильную сферообразную форму. Полученные материалы с гидрофобными частицами модификатора на их поверхности дают возможность создавать новые микродисперсные гидрофобные композиционные адсорбенты для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов.

Исследование поверхности исходной и модифицированной бентонитовой глины методом адсорбции – десорбции азота позволило определить величину их удельных поверхностей. Измерение проводилось на анализаторе сорбции газов Quantachrome NOVA 2200 при подаче газообразного азота при температуре жидкого азота. Проведенные исследования позволили определить изменение характеристик бентонитовой глины при модифицировании отработанными отбельными глинами Grade F-160. Изотермы адсорбции – десорбции азота исходной и модифицированной бентонитовой глины и адсорбента Grade F-160 представлены на рисунке 5.

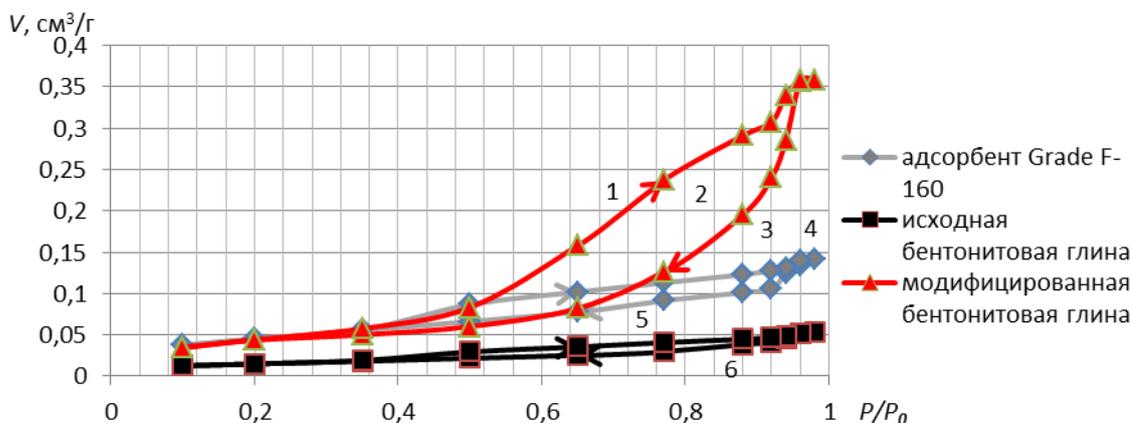


Рисунок 5. – Изотермы адсорбции (1, 3, 5) – десорбции (2, 4, 6) азота

Полученные изотермы адсорбции по классификации Брунауэра относятся ко II типу, начальные участки которых связаны с микропорами, присутствующими в мезопористых адсорбентах. Необходимо обратить внимание на характерный участок кривой в диапазоне

малых давлений: значительное увеличение количества сорбируемого газа в области малых давлений свидетельствует о наличии микропор, заполнение которых происходит еще на стадии формирования монослоя и обычно полностью заканчивается. По результатам исследований установлено, что модифицированная бентонитовая глина по сравнению с исходной характеризуется большими значениями удельной поверхности: отмечается увеличение общей удельной поверхности модифицированной глины до $144 \text{ м}^2/\text{г}$, в то время как удельная поверхность исходной глины составляет $56 \text{ м}^2/\text{г}$.

Сравнивая полученные значения удельной поверхности адсорбента на основе модифицированной бентонитовой глины (удельная поверхность – $144 \text{ м}^2/\text{г}$) с удельной поверхностью кислотно-активированного адсорбента на основе бентонитовой глины Grade F-160 (удельная поверхность – $161 \text{ м}^2/\text{г}$) можно заключить, что предлагаемый нами способ модифицирования без применения пожароопасных растворителей и растворов кислот и щелочей является эффективным.

Ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с поверхности воды с применением адсорбентов на основе бентонитовых глин не эффективна по причине отсутствия их плавучести в нефтенасыщенном состоянии, что до настоящего момента оставалось принципиально не решенной задачей. Эксперименты по определению плавучести композиционного микродисперсного гидрофобного адсорбента на основе бентонитовой глины показали, что она как в ненасыщенном нефтью состоянии (рисунок 6, б), так и при полном насыщении нефтью не тонет в воде более 72 часов, в то время как исходная глина при поглощении нефти сразу тонет (рисунок 7).



а) через 5 секунд

б) через 72 часа

Рисунок 6. – Плавучесть исходной (а) и модифицированной (б) бентонитовой глины в ненасыщенном нефтью состоянии в зависимости от времени

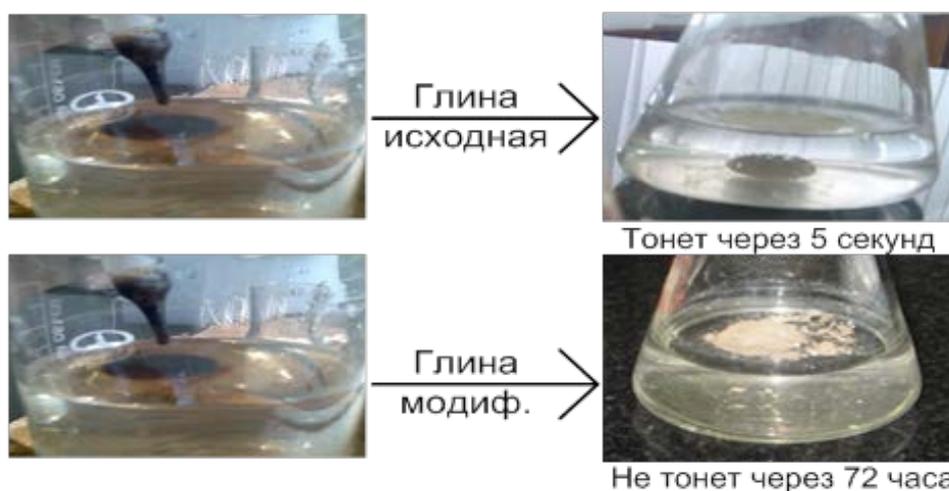


Рисунок 7. – Исследование плавучести исходной и модифицированной бентонитовой глины в нефтенасыщенном состоянии в зависимости от времени

Из эксперимента видно, что придаваемые бентонитовой глине гидрофобные свойства, обеспечивают плавучесть композиционному адсорбенту на ее основе в насыщенной нефтью состоянии за счет возникаемых Ван-дер-Вальсовских сил на границе раздела трех фаз вода-воздух-гидрофобный адсорбент, в то время как исходная глина впитывает воду и тонет в ней (рисунок 6, а).

Эксперименты по определению плавучести в случае адсорбции более легких фракций нефтепродуктов – бензина АИ-95 показали, что полученный композиционный адсорбент на основе бентонитовой глины позволяет ликвидировать аварийные разливы и более легких фракций с поверхности воды.

Известно, что материалы с удельным весом меньше чем у воды обладают хорошей плавучестью. Для объяснения придаваемой плавучести разработанного адсорбента в насыщенном углеводородами состоянии, произведен расчет значения удельного веса конгломерата, образованного адсорбентом и углеводородом. Расчет удельного веса конгломерата произведен по значению истинной плотности композиционного порошкообразного микродисперсного гидрофобного адсорбента с учетом адсорбционной емкости. Удельный вес конгломерата вычисляли по формуле (1):

$$d = \frac{(m_1 + m_2) \cdot g}{(V_1 + V_2)}, \quad (1)$$

где m_1 – масса адсорбента (1 г);

m_2 – масса нефти, адсорбированной 1 г адсорбента (2,1 г);

V_1 – объем адсорбента без учета объема пор и объема между частицами порошка адсорбента;

V_2 – объем поглощенной нефти.

Объем адсорбента без учета объема пор и объема между частицами порошка адсорбента вычисляли по формуле (2):

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_u}, \quad (2)$$

где m_1 – масса адсорбента (1 г);

ρ_u – истинная плотность композиционного адсорбента.

С помощью анализатора сорбции газов Quantachrome NOVA 4200e и стандартного программного обеспечения установлено, что истинная плотность композиционного адсорбента – 1,42 г/см³.

Объем поглощенной нефти вычисляли по формуле (3):

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_n}, \quad (3)$$

где m_2 – масса нефти (2,1 г);

ρ_n – плотность нефти ($\rho_n = 0,864$ г/см³).

Таким образом, расчетное значение удельного веса конгломерата, образованного композиционным микродисперсным гидрофобным адсорбентом и нефтью, по формуле (1) составляет 9694 Н/м³. В свою очередь это объясняет плавучесть образованного конгломерата в воде, т. к. значение его удельного веса меньше значения удельного веса воды (9810 Н/м³).

Как видно из рисунков 6 и 7, композиционный адсорбент на основе бентонитовой глины не тонет в воде как в исходном так и нефтенасыщенном состоянии, вместе с тем время полного насыщения адсорбента завистит от скорости адсорбции. И чем выше скорость адсорбции, тем выше эффективность применения нефтепоглощающего материала, т. к. при аварийных разливах нефтепродуктов на земной поверхности происходит ее проникновение в толщу почвы, что дополнительно требует удаления загрязненного почвенного слоя.

Для исследования скорости сорбции предлагаемого нами нефтепоглощающего

материала мы использовали следующую методику [12]: с учетом адсорбционной емкости по нефти рассчитывали минимальное количество адсорбента необходимое для ее полного поглощения. В емкость наливали воду, выливали навеску нефтепродукта (50 г) и распыляли сверху предварительно взвешенный порошок адсорбента на основе бентонитовой глины. Включали секундомер и отмечали время полного поглощения нефти адсорбентом. После полного сбора нефти образованный конгломерат извлекали с поверхности воды и взвешивали. Наличие гидрофобных свойств также гарантирует, что при адсорбции нефти с поверхности воды адсорбент не впитывает воду.

Скорость сорбции $V_{\text{сорб(адс)}}$ измеряли количеством поглощенной жидкости 1 г сорбента за 1 с ($\text{кг}/\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$) по формуле (4):

$$V_{\text{адс}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1 \cdot t}, \quad (4)$$

где m_1 – масса навески адсорбента, г;

m_2 – масса навески адсорбента после поглощения нефтепродуктов, г;

t – время полного насыщения сорбента, с.

Согласно эксперименту значение времени полного поглощения нефти адсорбентом для разработанного микродисперсного гидрофобного композиционного адсорбента на основе бентонитовой глины составило 52 с, а значение скорости сорбции по нефти – 0,04 $\text{кг}/(\text{кг}\cdot\text{с})$. Эксперименты по определению скорости адсорбции нефти разработанного нами адсорбента показали, что он обладает скоростью адсорбции 0,04 $\text{кг}/(\text{кг}\cdot\text{с})$ и превосходит эффективный по данному показателю сорбент «Пенопурм» со скоростью сорбции нефти 0,02 $\text{кг}/(\text{кг}\cdot\text{с})$ [13].

Проведенные исследования показывают, что скорость сорбции мелкодисперсных нефтепоглощающих материалов, обусловленная «поверхностной» адсорбцией, больше скорости абсорбции «объемных» нефтепоглощающих материалов. Можно также сделать вывод о том, что скорость поглощения нефти нефтепоглощающими материалами зависит от их удельной поверхности, причем для полного насыщения материала с большей удельной поверхностью необходимо меньше времени, чем для того же объема материалов с меньшей удельной поверхностью.

Заключение. Разработана технология получения нефтепоглощающего материала на основе бентонитовой глины, позволяющая создавать на ее основе новые гидрофобные композиционные адсорбенты для нефти и нефтепродуктов, которая заключается в совмещении стадий модифицирования и механодеструкции, перед которыми требуется предварительная сушка при температуре 110 °С в течение 6 ч до постоянной массы. В качестве модификатора предложено использовать отработанную отбеленную глину Grade F-160. Данная технология изготовления адсорбента для нефти и нефтепродуктов не требует применять пожароопасные растворители и растворы кислот и щелочей и является более простой, малозатратной, экологически и химически безопасной по сравнению с «мокрой» технологией изготовления. Оптимизирован состав адсорбента с учетом наибольшей нефтеемкости и разработанной технологии изготовления. Установлено, что оптимальное количества модификатора – 10,1 % по массе: соотношение модификатор / основа = 1 / 8,9.

Исследования показали, что разработанный адсорбент на основе бентонитовой глины обладает плавучестью в нефтенасыщенном состоянии более 72 ч, его скорость сорбции нефти составляет 0,04 $\text{кг}/(\text{кг}\cdot\text{с})$, а удельная поверхность по сравнению с исходной бентонитовой глиной после модифицирования увеличивается с 56 до 144 $\text{м}^2/\text{г}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ксенофонтов, М.А. Сорбирующие материалы, применяемые для очистки территорий и акваторий от нефтяных загрязнений. / М.А. Ксенофонтов, А.С. Хатенко, В.С. Васильева // Охрана труда и социальная защита. – 2002. – № 9. – С. 12-14.
2. Ксенофонтов, М.А. Разработка технологии производства высокоэффективного сорбента нефти и нефтепродуктов из пенополиуретана. / М.А. Ксенофонтов [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2005. – № 6 (16). – С. 163-176.
3. Сорбенты // Торф [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.grantorf.by/adsorbenty-dlya-sbora-nefti>. – Дата доступа: 04.09.2014.
4. Отчет по детальной разведке Острожанского месторождения глин Лельчицкого района Гомельской области РБ с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.1997 г. : отчет о НИР (заключ.) / Произв. об-ние геологоразведоч. работ «Белгеология», № ГР 6-94-1/1; рук. темы П.З. Хомич. – Минск, 1997. – 576 с.
5. Ошакбаев, М.Т. Использование природных алюмосиликатных глин для очистки фосфорной кислоты / М.Т. Ошакбаев // Хим. журн. Казахстана. – Алматы. – 2009. – № 1. – С. 25-31.
6. Montmorillonite Structure [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://nsp.md/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B8%D0%B9-Coral-Calcium>. – Дата доступа: 02.02.2017.
7. Montmorillonite Structure [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://resizeandsave.online/openphoto.php?img=http://www.intechopen.com/source/html/38892/media/image1_w.jpg. – Дата доступа: 02.02.2017.
8. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники / Н. В. Кельцев. – 2-е изд., перераб., доп. – М. : Химия, 1984. – 591 с.
9. Пономарев, В.В. Изучение структуры и адсорбционных свойств природного и модифицированного бентонитов / В.В. Пономарев, В.Г. Бакун, С.А. Кононенко, А.П. Савостьянов, С.В. Пугачева // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки.– 2008. – № 3. – С. 94-97.
10. Гольберт, К.А. Введение в газовую хроматографию / К.А. Гольберт, М.С. Вигдергауз. – М.: Химия, 3-е изд., перераб. и доп., 1990. – 352 с.
11. Каменщиков, Ф.А. Нефтяные сорбенты / Ф.А. Каменщиков, Е.И. Богомольный. – Москва–Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 268 с.
12. Программа и методика испытаний сорбента из пенополиуретана в лабораторных условиях.– Минск: БГУ, 2001. – 7 с.
13. Ксенофонтов, М.А. Пенополиуретаны. Структура и свойства / М.А. Ксенофонтов // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика. – 2011. – № 3. – С. 48-52.

THE TECHNOLOGY OF OBTAINING AND STUDY OF PROPERTIES OF MICRODISPERSED HYDROPHOBIC ADSORBENT BASED ON BENTONITE CLAY FOR ELIMINATION OF EMERGENCY SPILLS OF OIL AND OIL PRODUCTS

Mark Zhurov

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

Purpose. The article is devoted to the development of technologies of obtaining and study of the properties of fine and ultrafine hydrophobic adsorbent for elimination of emergency spills of oil and oil products based on bentonite clay.

Methods. The following methods have been applied: method of determination of specific surface of adsorbent based on bentonite clay (BET method), method of study of surface morphology of bentonite clay, method of determining of chemical composition of clay, buoyancy and speed of adsorption.

Findings. It is established that the modification of clay by used bleached bentonite clay Grade F-160 together with the increase of specific surface ensures powdery of the adsorbent, required buoyancy in oil-saturated condition, and also allows increasing adsorption capacity of oil up to 2.1 g/g.

Application field of research. The adsorbent based on bentonite clay can be used for liquidation of emergency oil and petroleum products spills on the ground and water surfaces.

Conclusions. The results of the research confirm the positive impact of the modifier and method of its application to the increase in the specific surface. In addition, developed composite ultrafine hydrophobic adsorbent based on bentonite clay has buoyancy in oil-saturated condition within more than 72 hours and the rate of oil sorption to 0.05 kg/(kg·s), and its complete saturation requires less than 1 minute.

Keywords: adsorbent, bentonite clay, modifier, production technology, water repellency, buoyancy, oil capacity, specific surface, sorption rate.

(The date of submitting: December 22, 2016)

REFERENCES

1. Ksenofontov M.A. *Sorbirujushhie materialy, primenjaemye dlja ochistki territorij i akvatorij ot nefjanyh zagryznenij* [Sorbent materials used to clean areas and waters from oil pollution]. *Ohrana truda i social'naja zashhita* [Labour and social protection]. 2002. No. 9. Pp. 12-14. (rus)
2. Ksenofontov M.A. *Razrabotka tehnologii proizvodstva vysokoeffektivnogo sorbenta nefi i nefteproduktov iz penopoleuretana* [Development of the technology of production of highly effective oil sorbent and oil products from polyurethane]. *Chrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidacija* [Emergencies: prevention and elimination]. 2005. No. 6 (16). Pp. 163-176. (rus)
3. *Sorbents. The Turf*, available at : <http://www.grantorf.by/adsorbenty-dlya-sbora-nefti> (accessed: September 04, 2014). (eng)
4. *Otchet po detal'noj razvedke Ostroz'hanskogo mestorozhdenija glin Lel'chickogo rajona Gomel'skoj oblasti RB s podschetom zapasov po sostojaniju na 01.01.1997: otchet o NIR (zakljuch.)* [Report on detailed exploration of Ostroz'hansky deposits of clays of Lelchitsy district of Gomel region of Belarus with calculation of reserves as to 01.01.1997 : research report (concluded)]. *Proizv. ob-nie geologorazvedoch. rabot «Belgeologija»*, No. 6-94-1 GR/1; ruk. temy P. Z. Homich [Manuf. Ob-nie Geologorazvedka. works «Belgeologiya» ; hands. topic P. Z. Khomich]. Minsk, 1997. 576 p. (rus)
5. Oshakbayev M.T. *Ispol'zovanie prirodnyh aljunosilikatnyh glin dlja ochistki fosfornoj kisloty* [The use of natural aluminosilicate clays for purification of phosphoric acid]. *Him. zhurn. Kazakhstana* [Chem. Sib. Kazakhstan]. Almaty. 2009. No. 1. Pp. 25-31. (rus)
6. *Montmorillonite Structure. Montmorillonite*, available at : <http://nsp.md/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B8%D0%B9-Coral-Calcium> (accessed: February 02, 2017). (eng)
7. *Montmorillonite Structure. Montmorillonite*, available at : <http://resizeandsave.online/openphoto.php>

- ?img=http://www.intechopen.com/source/html/38892/media/image1_w.jpg (accessed: February 02, 2017). (eng)
8. Kel'cev N.V. *Osnovy adsorbcionnoj tehniki* [Fundamentals of adsorption technology] Moscow. Chemistry, 2nd ed., Rev., 1984. 591 p. (rus)
 9. Ponomarev V.V., Bakun V.G., Kononenko A.S., Savostyanov A.P., Pugachev S.V. Izuchenie struktury i adsorbcionnyh svojstv prirodnogo i modifitsirovannogo bentonitov [Study of the structure and adsorption properties of natural and modified bentonites] *Izv. vuzov. Severo-Kavkazskij region. Tehnicheskie nauki* [Izv. universities. The North Caucasus region. Technical Sciences]. 2008. No. 3. Pp. 94-97. (rus)
 10. Golbert K.A., Vigdergauz M.S. *Vvedenie v gazovuju hromatografiju* [Introduction to gas chromatography]. Moscow. Chemistry, 3rd ed., Rev., 1990. 352 p. (rus)
 11. Kamenshnikov F.A., Bogomol'nyj E.I. Neftjanye sorbenty [Oil sorbents]. Moscow. Izhevsk : NIC «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika» [SIC «Regular and chaotic dynamics»]. 2005. 268 p. (rus)
 12. *Programma i metodika ispytanij sorbenta iz penopoliuretana v laboratornyh uslovijah* [Program and methods of testing sorbent polyurethane foam in the laboratory]. Minsk: BSU, 2001. 7 p. (rus)
 13. Ksenofontov M.A. Penopoliuretany. Struktura i svojstva [Polyurethane Foams. Structure and properties]. *Vestnik of Belarusian state University. Ser. 1, Physics. Math. Informatics*. 2011. No. 3. Pp. 48-52. (rus)

УДК 550.34

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДОХРАНИЛИЩА, ОЗЕРА, ВОДОЕМЫ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

Ахмедов М.А., Салямова К.Дж.

На основе изучения причин природных явлений, таких как обвалы и оползни в горах в результате сильных землетрясений, произошедших в прошлые времена в разных странах земного шара, сделан анализ разрушения завальных дамб. Выполнен анализ последствий воздействия на гидротехнические сооружения этих природных бедствий, приводящих к разрушению плотин, наводнению, значительным повреждениям сети железных, шоссейных дорог и т. п. Это все влияет на масштаб ущерба от землетрясений.

Ключевые слова: землетрясение, оползни, обвалы, водохранилище, гидротехнические сооружения, баллы, горные породы.

(Поступила в редакцию 15 февраля 2017 г.)

Введение. Сейсмические толчки, внезапно вызывающие резкие временные перераспределения напряжений в массиве пород вблизи активных разрывов и крупных трещин, являются нередко непосредственным поводом обрушения значительных по объему масс горных пород. Так, около 300 лет тому назад на территории Киргизии во время землетрясения произошел обвал, перегородивший долину реки Тегирмоч. Возникло озеро Яшин куль глубиной до 250 м и объемом около 20 млн. м³. В июне 1966 года из-за продолжительных дождей озеро переполнилось, и 18 июня естественную плотину прорвало; образовался прорыв шириной по низу 50-60 м и поверху 280-340 м, глубиной 90 м. Максимальный расход воды составил 5000 м³/с. Ринувшаяся вниз по р. Тегирмоч вода влилась в русло р. Исфайрамсай, по которой в это время проходил дождевой паводок. Вал воды высотой 10-12 м с шумом и ревом устремился вниз по реке, неся с собой камни, деревья, обломки домов и др. Поток бушевал семь часов, причинив значительные разрушения. Крупные обвалы, как следствие землетрясений, отмечалось в плейстосейсмой области Чаткальского землетрясения 1946 года, обвалы склонов в долине р. Чангель при Маркайсайском землетрясении 1962 года и др. [1].

Основная часть. С 18 на 19 февраля 1911 года, после нескольких сильных толчков, продолжавшимися в течение двух минут, произошел обвал правого склона в нижнем течении реки Мургаб, перегородивший долину реки. Наибольшая ширина завала по дну долины была более 5 км, длина его русла около 1 км, наибольшая высота средней части 650-700 метров и объем составил 2,2-2,4 км³. В сентябре того же 1911 года аккумулятивные в горной котловине воды реки Мургаб затопили кишлак Сарез, образовалась Сарезское озеро – одно из самых больших завальных озер мира [2]. Каменная плотина, перекрывшая реку Мургаб, получила название Усойского завала по наименованию погребенного кишлака Усой, в котором погибли 57 жителей, а во всей Орошорской волости Памирского района, где находился и кишлак Усой, погибло 180 человек. Все примитивные пути общения между населенными пунктами района – горные тропы, овраги, насыпные балконы – были разрушены. Кроме долины реки Бартанг разрушение и жертвы были во всех крупных населенных пунктах, расположенных в долинах рек Гунт и Пяндж, Хоробе, Рушане, Шугнани, Иш-кашими, Мургабе. На территории Афганистана – в Кабуле, Ханабаде, Файзибаде было разрушено около 400 жилых построек, погибло и получило ранения более 700 человек. На озере Каракуль, в 120 км от Усайского завала, образовавшейся волной был взломан и выброшен на восточный берег ледяной покров, достигающий толщины 80 см. Когда волна схлынула, на берегу осталось полоса льда шириной 500 м. В зоне самого обвала обломки горных пород отлетали на 16 км, каменные глыбы объемом в несколько кубометров оказались отброшенными на расстояние 3-4 км от завала водохранилища [3].

В 1999 году у озера Сарез были следующие размеры: площадь водного зеркала

80 км², объем 17 км³, наибольшая глубина 505 м. Приток и отток воды в нем сбалансирован – это одно из самых больших завальных озер мира. Оно расположено в чрезвычайно сейсмоактивной зоне, на что указывают серии сильных землетрясений в этом районе Памира. За период с 1940 по 1980 гг. здесь было зафиксировано 25 землетрясений силой свыше 5 баллов и три силой 7 баллов и два силой 4 балла. В результате этих землетрясений в озере сошло большое количество обвалов.

Причиной высокой сейсмичности является близость крупного Рушан-Пшартского регионального тектонического разлома, от которого отходит большое количество мелких разломов. Сейсмологическая структура разлома относится к категории наиболее опасных с возможным возникновением глубинных землетрясений с магнитудой 7-9. Это обуславливает происхождение на поверхности землетрясений силой более 9 баллов. С учетом этого учеными и специалистами Академии наук Республики Таджикистан просчитаны возможные варианты обрушения горных масс с объемом породы от 20 до 2000 млн.м³. Если принять средний для условий Сареза правобережный обвал в 1000 млн. м³, то плотину перелестнет волна высотой 80-120 м, за какие-то 1-2 минуты через нее перельется около 100 млн. м³ воды. При развитии событий по худшему сценарию – прорыв завала или выплеск грандиозной разрушительной волны, когда разрушительный каменный поток ринется в нижерасположенные долины, сметая населенные пункты и инфраструктуру, а в равнинных частях своего пути вызовет наводнения. По приведенным цифрам на международном семинаре, посвященном проблемам Аральского моря (г. Вашингтон, 1993 г.), зона поражения от прорыва плотины Сарезского озера составляет 52 тыс. км², в которую входят значительные территории Таджикистана, Узбекистана и в меньшей степени, Афганистана и Туркмении, и проживают примерно 5 млн. человек. В связи с этим складывающаяся ситуация прямо затрагивает интересы безопасности как национального, так и регионального уровней [4].

Опасность для объектов народного хозяйства состоит не столько в самих сейсмических воздействиях, сколько в образующихся после землетрясения оползнях и обвалах. Как и при Сарезском 1911 года землетрясении, Каратегинское (1907 г.), Файзабадское (1943 г.), Хайитское (1949 г.), Гиссарское (1989 г.) сотрясения также сопровождались смещением склонов больших масс горных пород. Помимо механического воздействия, роль землетрясения как фактора формирования оползней зависит от «чувствительности» самого склона. Поскольку степень устойчивости склонов в течение даже одного года изменяется в широких пределах, то сила воздействия землетрясений на ее склоны также не одинакова. Часты случаи, когда землетрясения силой 8-9 баллов не вызывали деформации склонов, а небольшие толчки в 3-4 балла способствовали образованию крупных оползневых смещений. Сочетание интенсивности землетрясений, частоты повторяемости толчков с другими факторами – обводненность, состав, состояние и свойства грунтов, условия рельефа, тектоники и др. создают различные показатели устойчивости горных склонов. Так, при значительных удалениях от эпицентральных зон сейсмодислокации возникают только в наиболее податливых и крутых склонах (круче 40-45°), преимущественно в условиях значительного увлажнения грунтов. Так, например, при Гиссарском землетрясении 23 января 1989 года с магнитудой $M = 5,2$, глубиной очага 5-7 км и интенсивностью 7 баллов возникли крупные оползни и оплывуны, которые обрушились на кишлаки Шарора, Оккули-Боло, Оккули-Поев. В районе кишлака Шарора склон лессового массива был подрезан дорожной магистралью. Высота вертикальной стенки оставляла более 10 метров. Водонасыщенная толща испытывала давление от сухой толщи лессовых пород мощностью 10-12 м. Вся эта масса ко времени землетрясения находилась в состоянии неустойчивого равновесия. Во время землетрясения в лессовом массиве произошли крупные оползни, оплывуны, обвалы и другие виды остаточных деформаций. Под многометровым слоем земли оказались около ста домов, административных и социальных объектов, животноводческих помещений. Оползни, образуя ступенчатые перекосы, обрушились на часть кишлака Шарора. Под телом

оползня остались более 50 дворов, в которых погибло около 200 человек. Из домов, расположенных вблизи от лессового массива, никто из жителей не смог спастись. Из домов, расположенных у нижнего края оползня спасся только один человек. Все это свидетельствует о том, что скорость движения оползня в начале процесса была очень большой, затем начала замедляться. Оползень, разрушивший кишлак Оккули-Поен, произошел на другой стороне холма Уртабоз. Интенсивность землетрясения такая же, как и в кишлаке Шарора – 7 баллов. Оползнем была унесена часть площади под хлопчатник, яблони и виноградники в западном направлении по склону, имеющему незначительный уклон. В зоне оползня оказалась часть кишлака Оккули-Боло. В итоге, в спящих кишлаках погибло 274 человека, погибли тысячи голов скота, были разрушены дороги, оросительные сети, линии электропередач. Таким образом, в пределах орошаемого массива образовался «подвешенный» техногенный переувлажненный грунт, который стал основной причиной образования катастрофического сейсмо-оползневого явления [5].

Есть много примеров возникновения очень крупных оползней и обвалов с высокими скоростями, связанные с воздействием сильных землетрясений в других частях земного шара. К примеру – оползни Мэдисон (США, 1959 г.), Шерман-Глейшер (Аляска, США, 1964 г.), Юнгай (Перу, 1970 г.) были обусловлены землетрясениями и вызванными ими разжижениями грунта, например, Ганьсу (Китай, 1920 г.) [1, 3].

Другим примером подобного природного явления является катастрофа 9 октября 1963 года в водохранилище Вайонт (Италия). Одна из высочайших в мире арочных плотин (высотой 265,5 м, толщиной 3,4 м в верхней части и 22,7 м в нижней части, длиной гребня 105,5 м, глубиной до 250 м) была построена в 1960 году на южном склоне Альп в узком ущелье реки Вайонт (Рис.1) [6].

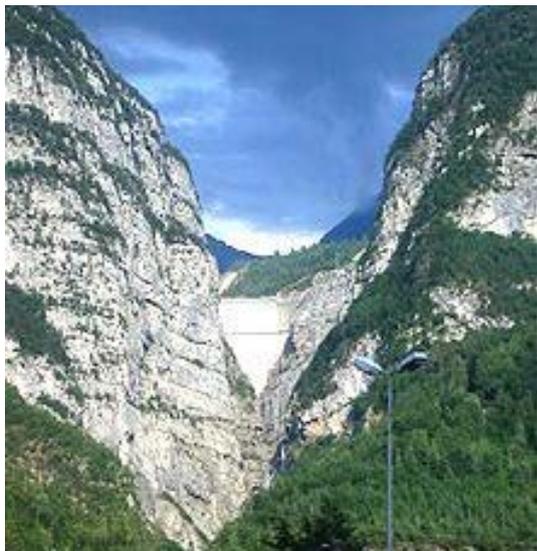


Рисунок 1. – Плотина Вайонт, современный вид. С этого ракурса видны верхние 60-70 м бетонной кладки плотины. При аварии слой перелива воды доходил до верхней части фотографии [1]



Рисунок 2. – Заполнение водохранилища оползневой массой, спустившейся с горы Маунт-Ток с правой стороны [7]

За три года с момента завершения строительства гидроузла подпруженная река создала Вайонтское водохранилище в 90 км к северу от Венеции. В злополучный день 9 октября 1963 года, с левого борта водохранилища с высоты 1200 м над дном долины обрушился со скоростью 15-30,5 м/с громадный оползень-обвал объемом до 360 млн. м³ скальных пород. Он перелетел через ущелье Вайонт, не коснувшись его дна, и поднялся на правый берег на высоту до 140 м. Оползень вызвал гигантский выплеск и почти полностью вытеснил воду из водохранилища. 114 млн. м³ воды выметнулась над гребнем плотины чудовищной волной высотой 264 м. Она поднялась над гребнем плотины почти на 100 м. Об-

разошедшая волна высотой 70 м ринулась вниз по долине реки Вайонт, сметая все на своем пути. Она смыла расположенные в ущелье Вайонт служебные помещения обсерватории, где велись тщательные наблюдения за динамикой развития оползня со всем обслуживающим персоналом, и вырвавшись в главную долину реки Пьява, уничтожила города Ложероне, Пираго, Вилданова, Ривальта и Фас (рисунки 2 и 3) [1, 8,9]. Жертвами стихии, стали около 3000 человек, погибли 350 семей. Примечательно, что сама 262-метровая плотина устояла. Однако с тех пор водохранилище больше не наполняется. На рисунках 3 и 4 приведены последствия катастрофы [10,11].

Анализ последствий катастрофы показал, что она была вызвана неблагоприятными геологическими условиями, усугубившимися в связи с изменением уровня грунтовых вод из-за обильных дождей (с 28 сентября по 9 октября) и увеличения поверхностного стока. От гидравлического удара было зарегистрировано сейсмическое сотрясение в городах Вене и Брюсселе, однако землетрясения, которое могло бы послужить толчком для возникновения оползня, не было.



Рисунок 3. Обломочные отложения и спасательные работы в долине реки Пьяве после катастрофы [10]

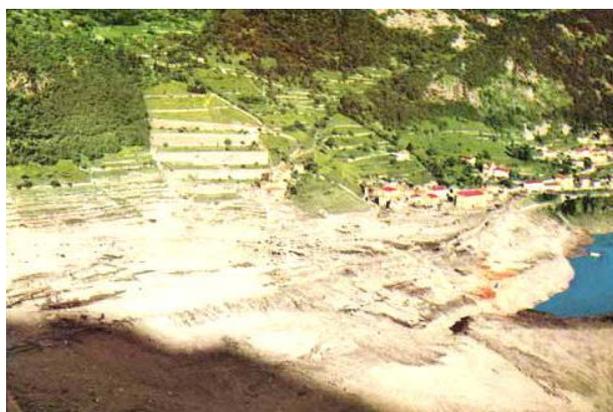


Рисунок 4. – Поселок Лонгароне до и после трагедии [11]

При этом на интенсивность процесса волнообразования в водохранилище влияли следующие факторы: общий объем обрушившейся массы горных пород, общее время обрушения и его средняя скорость, протяженность фронта обрушения, характер вхождения обрушающихся пород в воду. Причем наибольший интерес представляет быстрое обрушение и оползание значительных объемов грунта. Предполагается, что время обрушения быстрых оползней лежит в интервале от десятков секунд до нескольких (1-5) минут, а скорости могут достигать десятков метров в секунду.

Обрушения плотин в результате землетрясений – страшная угроза для миллионов людей, живущих в потенциально затопляемых зонах ниже плотин. К примеру, в ближайших окрестностях Сан-Франциско расположены 226 плотин; более полумиллиона человек живет в зоне возможного затопления этих плотин. А именно:

- нижнее водохранилище Кристалл Сирингз может затопить большую территорию в городе Сан-Матео;
- водохранилище Лексинтон может затопить города Сан-Хосе;
- водохранилище Сан-Пабло может затопить г. Сан-Пабло и др. [9].

При землетрясении наблюдаются понижения больших участков суши. Из-за проседания грунта участки земли наклоняются, растрескиваются, разламываются, вызывая повреждение зданий, дорог, мостов и трубопроводов. Проседания особенно заметны на грунтах, легко поддающихся сжатию – это насыпные грунты. Во время землетрясения 1906 года в Сан-Франциско проседания произошли в районах, где грунт был подсыпан. Там, где проседание превысило метр, на улицах и в домах возникли большие трещины и были разрушены подземные коммуникации [9].

При Чилийском землетрясении 22 мая 1960 года – одного из сильнейших из когда-либо пережитых человечеством, огромная полоса земли шириной 20-30 км и протяженностью 500 км внезапно опустилась и площадь в 15 тыс. км² или 1,5 млн. га опустилась почти на 2 метра за какие-то 10 секунд. Землетрясение в той же Чили в 1906 году сопровождалось поднятием полосы Чилийского побережья, протяженностью 300 км почти на 1 метр [1, 12, 13]. При Тянь-Шанском землетрясении 1976 года в Китае, тяжелые повреждения получили системы ирригации, а одна прибрежная деревня, осевшая на 3 м метра ушла под воду [1].

В соответствии с этим в сейсмических районах при строительстве гидротехнических сооружений предъявлялись особые повышенные требования. Так как, во-первых, сооружения типа плотин чрезвычайно дороги, а во-вторых, даже частичное повреждение их может привести к прорыву водохранилища и почти мгновенному затоплению населенных пунктов, промышленных объектов и сельскохозяйственных угодий. Приведенные примеры и анализ воздействия других землетрясений на гидротехнические сооружения показывает, что от разрушения плотин и последующего наводнения могут получить значительные повреждения сети железных и шоссейных дорог, мосты, путепроводы, насыпи и др. [13]. Повреждения транспортной сети, существенно осложняет бедствия пострадавшего при землетрясении района, затрудняя переброску спасательных отрядов, борьбу с пожарами, доставку продовольствия и восстановительных работ. Наводнения, вызванные разрушением плотин, крупных резервуаров, как искусственного, так и природного происхождения и находящихся в наиболее сейсмоактивных зонах Центрально-Азиатского региона будут существенно влияют на масштабы ущерба от землетрясений [13].

В связи с этим, если от Чарвакского водохранилища исходит потенциальная опасность наводнения г. Ташкента и его пригородов, то разрушение плотины Сарезского озера грозит потоплением городов Узбекистана, Таджикистана, Афганистана и в меньшей степени Туркменистана [1, 4, 13].

Уровни повреждения объектов, подверженных действию высокоскоростного потока можно оценивать по данным таблицы 1, установленным для сооружений на поверхности земли, высотой меньше 10 метров [9].

Таблица 1. – Среднее значение повреждения территорий от наводнений

Толщина слоя воды, м	Среднее значение повреждения от наводнения, %
1	10
2	20
3	50
4	80
5	100

Из статистики повреждений плотин можно видеть, что разрушение земляных, арочных и гравитационных плотин под влиянием даже более или менее значительных землетрясений (7-8 баллов по 12 балльной системе) происходит, как редкое явление. Факт сейсмостойкости плотин объясняется, во-первых, закладкой большинства больших сооружений на скалистых, не разбитых сбросами и сдвигами основаниях и во-вторых, своеобразными конструктивными особенностями плотин, а именно сосредоточенной массой материала в нижней части сооружения и малом числе отверстий и колонн или стоек в верхней части объекта в отличие мостами и гражданскими сооружениями. Поэтому менее благоприятной конструкцией в смысле сейсмостойкости представляют плотины мостового типа, при большом числе высоких бычков и глубоких отверстий, в особенности, если обоснование их производится на рыхлых, сыпучих и глинистых грунтах, каковыми, например, являются аллювиальные отложения [9].

Инструментальные наблюдения великого Японского землетрясения в 1923 г. в Токио, показали, что на твердых грунтах наибольшее ускорение, т. е. внезапность, с какой наступает движение, вдвое меньше, чем на грунтах рыхлых, а эта характеристика движения является главной причиной разрушения сооружения. По данным этого землетрясения степень сотрясения в мягком аллювии достигла 30 %, в плотном делювии – 10 % [6].

Заключение. В сейсмических районах в частности Центрально-Азиатском регионе необходимо знать силу и частоту землетрясений и установить, не угрожают ли месту расположения гидротехнического сооружения естественные нарушения в земной коре в виде сбросов, сдвигов, обвалов, оползней, пещер и подземных потоков. После возведения этих сооружений необходимо заботиться о безопасности населения, проживающего в районах ниже по течению, и не забывать о вероятности будущих разрушительных землетрясений. Несомненно, что геологические условия в районе строительства, в том числе условия образования оползней и разрывов, должны изучаться самым тщательным образом соответствующими организациями МЧС и местных органов власти. Постоянно анализировать результаты мониторинга ответственных сооружений и вовремя принимать меры по их укреплению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмедов, М.А. Землетрясение, последствия, защита / М.А. Ахмедов. – Ташкент: ТГТУ, 2016. – 352 с.
2. Макиевский, П., Мухабатов, Х. Таджикистан: Сарезское озеро: геодинамические, технические и социальные аспекты проблемы / П. Макиевский, Х. Мухабатов // Центральная Азия и Кавказ, 1999. – № 2(3). – С. 187-195.
3. Колобков, Н.В. Катастрофические оползни / Н.В. Колобков // Природа, 1963. – № 12. С. 112-113.
4. Рысбеков, Ю.Х. Озеро Сарез как потенциальная угроза национальной и региональной безопасности / Ю.Х. Рысбеков // И.А. Каримов «Узбекистан, устремленный в XXI век», Актуальные проблемы защиты населения от чрезвычайных ситуаций: материалы Первой Республиканской научно-практической конференции. – Ташкент, 1999. – С. 29-31.
5. Джураев, А., Туйчиев, И.А. Последствия сильных землетрясений и вопросы защиты населения / А. Джураев, И.А. Туйчиев // И.А. Каримов «Узбекистан, устремленный в XXI век», Актуальные проблемы защиты населения от чрезвычайных ситуаций: материалы Первой Республиканской научно-практической конференции. – Ташкент, 1999. – С. 59-61.
6. Гир, Дж., Шах, Х. Зыбкая твердь / Дж. Гир, Х. Шах. – М.: МИР, 1988. – 219 с.

7. Техногенные катастрофы: Плотина Вайонт, Италия, 1963 // [Электронный ресурс]. – <http://industrial-disasters.ru/disasters/vajont-dam/>. – Дата доступа: 10.02.2017.
8. Мюллер, Л. Оползень в долине Вайонт / Л. Мюллер // Проблемы инженерной геологии, 1967. – № 4.
9. Анализ и оценка повреждений гидротехнических сооружений / М.А. Ахмедов, К.Дж. Салямова. – Ташкент: Фан ва технология, 2016. – 158 с.
10. Волна смерти: катастрофа на плотине Вайонт // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://realt.onliner.by/2015/04/22/vajont?clwjskumynkbjzjf>. – Дата доступа: 10.02.2017.
11. Плотина Вайонт 9 октября 1963 года // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://russos.livejournal.com/878767.html>. – Дата доступа: 10.02.2017.
12. Rojahn, C., Sharpe, R.L. Earthquake damage evaluation data for California // Applied Technology Council, Redwood City, California USA, 1985. – Vol. 13. – 492 p.
13. Робертс, Э. Когда сотрясается земля / Э. Робертс. – М.: МИР, 1966. – С. 26-29.

LANDSLIDE PROCESSES AND THEIR EFFECT ON WATER RESERVOIRS, LAKES, PONDS DURING SEVERE EARTHQUAKES

Mashrap Akhmedov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Klara Salyamova, Doctor of Technical Sciences

Institute of Seismic Stability of Structures of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Purpose. The purpose of the article is an assessment of the hazard and the causes of natural phenomena such as avalanches and landslides in the mountains during severe earthquakes occurred in the past in different countries of the world (United States, Peru, China, Italy, Tajikistan, Uzbekistan). The aim of this study is to assess the hazards and their consequences on hydro-technical structures.

Methods. Statistical data on the effect on hydro-technical structures of the consequences of natural disasters and severe earthquakes occurred in the world are analyzed. The factors of their initiation are given.

Findings. Cases when the earthquakes cause the damage of dams and large reservoirs of both man-made and natural origin, located in seismically active areas of the Central Asian region and their influence on the consequences (avalanches, landslides, displacement of rock masses), i.e. on the extent of the damage are given.

Application field of research. The obtained results should be considered in design, construction and operation of important structures in seismic regions in order to reduce the after-effects.

Conclusions. A number of recommendations for safe and reliable operation of hydro-technical structures in seismic regions are offered.

Keywords: earthquake, landslides, avalanches, reservoir, hydro-technical structures, seismic intensity, rock mass.

(The date of submitting: February 15, 2017)

REFERENCES

1. Akhmedov M.A. *Zemletryasenie, posledstviya, zashchita*. Tashkent.: TGTU, 2016. 352 p.
2. Makievskiy P., Mukhabatov H. Tadzhikistan: Sarezskoe ozero: geodinamicheskie, tekhnicheskie i sotsial'nye aspekty problemy. *Tsentral'naya Aziya i Kavkaz*, 1999. No. 2 (3). Pp. 187-195.
3. Kolobkov N.V. Katastroficheskie opolzni. *Priroda*, 1963. No. 12. Pp. 112-113.
4. Rysbekov Yu. Kh., Ozero Sarez kak potentsial'naya ugroza natsional'noy i regional'noy bezopasnosti. I.A. Karimov «Uzbekistan, ustremlenny v XXI vek», *Aktual'nye problemy zashchity naseleniya ot chrezvychaynykh situatsiy: materialy Pervoy Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Tashkent. 1999. Pp. 29-31.
5. Dzhuraev A., Tuychiev I.A. Posledstviya sil'nykh zemletryaseniy i voprosy zashchity naseleniya I.A. Karimov «Uzbekistan, ustremlenny v XXI vek», *Aktual'nye problemy zashchity naseleniya ot chrezvychaynykh situatsiy: materialy Pervoy Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Tashkent. 1999. Pp. 59-61.
6. Gir Dzh., Shakh H. *Zybka tverd'*. Moscow: MIR.1988. 219 p.
7. *Tekhnogennye katastrofy: Plotina Vajont, Italiya, 1963*, available at: <http://industrial-disasters.ru/disasters/vajont-dam/> (accessed: February 10, 2017) (rus)
8. Mjuller L. Opolzen' v doline Vajont. *Problemy inzhenernoj geologii*, 1967. No 4.
9. Akhmedov M.A., Salyamova K.Dzh. *Analiz i otsenka povrezhdeniy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy*. Tashkent: Fan va tekhnologiya, 2016. 158 p.
10. *Volna smerti: katastrofa na plotine Vajont*, available at : <https://realt.onliner.by/2015/04/22/vajont?clwjskumynkbjzjz> (accessed: February 10, 2017) (rus)
11. *Plotina Vajont 9 oktyabrya 1963 goda*, available at : <http://russos.livejournal.com/878767.html> (accessed: February 10, 2017) (rus)
12. Rojahn C., Sharpe R.L. Earthquake damage evaluation data for California. *Applied Technology Council*, Redwood City, California USA, 1985. V. 13. 492 p.
13. Roberts E. *Kogda sotryasaetsya zemlya*. Moscow: MIR, 1966. Pp. 26-29.

УДК 351.861

ПОДГОТОВКА МЕРОПРИЯТИЙ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РИСКОВ

Бордак С.С., Субботин М.Н.

В статье проведен анализ современных военных конфликтов, уточнено понятие военных действий и опасностей возникающих (возникших) при их ведении или вследствие их относительно гражданской обороны. На основе анализа открытых литературных источников перечислены наиболее важные объекты тыла, указаны приоритеты их поражения в ходе ведения военных действий. Рассмотрены виды сил, применяемые для их поражения. Охарактеризованы вероятные неблагоприятные последствия, которые могут возникнуть в результате применения средств поражения. Определены риски, возникающие при ведении военных действий или вследствие этих действий, а также проанализированы подходы по их оценке.

Ключевые слова: гражданская оборона, гражданская защита, чрезвычайные ситуации, военные угрозы, военные опасности, риск, средства поражения, анализ рисков.

(Поступила в редакцию 2 декабря 2016 года)

Введение. В мире сегодня насчитывается более 400 очагов нестабильности, из них около 50 являются локальными вооруженными конфликтами, десять из которых можно охарактеризовать как гражданские войны, в основе еще 20 конфликтов лежат требования о самоопределении государственных образований. Наиболее конфликтогенными зонами выступают Ближний Восток и Африка. Число погибших в вооруженных конфликтах с начала XXI века достигло 1,2 млн человек [1]. Поэтому обеспечение безопасности в т.ч. военной является одной из приоритетных задач любой страны. В законе [2] под гражданской обороной (ГО) понимается составная часть оборонных мероприятий Республики Беларусь по подготовке к защите и по защите населения, материальных и историко-культурных ценностей на территории Республики Беларусь от опасностей, возникающих (возникших) при ведении военных действий или вследствие этих действий. Там же указано, что подготовка государства к ведению гражданской обороны осуществляется заблаговременно в мирное время с учетом совершенствования средств вооруженной борьбы и средств защиты населения от опасностей, возникающих при ведении военных действий.

Исходя из указанных выше положений следует, что для реализации цели и вытекающих из нее задач ГО, прежде всего, необходимо заблаговременно провести оценку и прогнозирование возможной обстановки, которая может сложиться в результате ведения военных действий на территории Республики Беларусь и на этой основе спланировать и провести комплекс превентивных защитных мер, которые будут противопоставляться проявлению возможных опасностей.

Учитывая многообразие форм и методов вооруженной борьбы, непрерывного совершенствования средств поражения, различных взглядов на применение вооруженной силы опасности которые могут возникнуть при ведении военных действий или вследствие этих действий заранее не являются детерминированными. Принимая во внимание данное обстоятельство, полагаем, что целесообразно ввести понятие «риск, возникающий при ведении военных действий или вследствие этих действий».

Целью данной работы явилось проведение анализа рисков, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий, и на его основе формирование исходных данных необходимых для подготовки мероприятий ГО.

Идентификация рисков, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий. Исторически категория «риск» сформировалась на основе осознания человеком возможных неблагоприятных исходов и опасностей в ходе событий, связанных с той или иной деятельностью. В научной литературе понятие «риск» в зависимости от области его применения приводится в широкой интерпретации. В различных источ-

никах риск определяется следующим образом: возможность опасности наступления неблагоприятных событий; вероятность возникновения какого-либо события с предсказуемыми последствиями за определенный промежуток времени [3-4]; ожидаемый ущерб; вероятность поражающих воздействий; мера возможной опасности и последствий ее реализации; возможность (вероятность) наступления опасного события [5-6]; мера возможной реализации опасности [7].

В связи с вышеизложенным необходимо уточнить понятие военных действий и опасностей возникающих (возникших) при их ведении или вследствие их относительно гражданской обороны. В энциклопедии гражданской защиты [8] военные действия охарактеризованы как: 1) противоборство сторон в войне; 2) организованное применение сил и средств, видов вооруженных сил, стратегических и оперативных группировок на театре военных действий для достижения политических и военных целей.

Анализ военных конфликтов последних десятилетий (Югославия, Ирак, Афганистан, Ливия, Сирия) [11-12] показывает, что они характеризуются следующими особенностями:

- оперативной внезапностью нападения за счет обеспечения скрытности планов операций;

- дезинформированием на всех уровнях и использованием новых приемов развязывания военных действий;

- оказанием мощного информационного и психологического воздействия на командование и личный состав вооруженных сил, а также население;

- проведением начальных этапов военных операций ограниченным составом сил до завершения стратегического развертывания основной группировки войск;

- применением военной силы без санкций Совета Безопасности Организации Объединенных Наций;

- нанесением массированных ударов по наземным объектам крылатыми ракетами морского и воздушного базирования;

- длительным ведением боевых действий на значительном удалении от мест базирования авиации и районов нахождения кораблей;

- применением сухопутных войск, в основном, для закрепления успеха воздушно-наступательной операции;

 - увеличением дистанции огневого поражения при наземных операциях;

 - увеличением роли сил специальных операций;

 - увеличением высокоточного оружия в общей доле применяемых средств поражения (в т.ч. за счет разработки удешевленных модульных систем вооружения);

 - интеграцией в единую взаимоувязанную систему космических, воздушных, морских и наземных средств разведки и поражения.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что в ходе ведения военных действий воздействию средств поражения подвергаются не только живая сила и техника вооруженных сил противоборствующих сторон, но и административные здания, школы, медицинские учреждения, социальные объекты, объекты инфраструктуры, что зачастую сопровождается потерями среди гражданского населения. Таким образом, можно предположить, что в случае возникновения военного конфликта с участием нашего государства и ведении военных действий на его территории с применением современных средств поражения в административных центрах районов, других населенных пунктах вероятно возникновение безвозвратных и санитарных потерь среди населения, в том числе среди работников объектов тыла, множественных пожаров, разрушений, зон химического заражения, зон затоплений, возможно нарушение устойчивости функционирования энергетических объектов и объектов топливно-энергетического комплекса, объектов жизнеобеспечения, а также нарушения работы системы государственного управления. Из выше указанного следует, что опасности, которые могут возникнуть при ведении военных действий или вследствие

этих действий, характеризуется возможными неблагоприятными последствиями применения вооруженной силы, или как неблагоприятные последствия, возникающие в результате применения средств поражения по определенным объектам. Рассматриваемые опасности можно разделить на следующие категории:

- опасности, вызываемые прямым действием средств огневого поражения;
- опасности, вызываемые вторичными поражающими факторами, в случае поражения потенциально-опасных объектов;
- опасности, связанные с нарушением или изменением среды обитания человека.

Реализация указанных опасностей в полной мере зависит с одной стороны от имеющихся взглядов иностранных военных специалистов на применение вооруженной силы для достижения поставленных целей, приоритетов применения средств поражения по военным объектам, войскам (силам), объектам тыла, экономики, коммуникаций (таблица 1), а с другой от степени защищенности указанных объектов.

Таблица 1. – Приоритеты поражения различных объектов *

Уровни приоритетов	Подуровни приоритетов	Поражаемые объекты
I	1	Пункты управления
	2	Узлы связи, радиовещательные станции и телецентры
	3	Узлы железных дорог
	4	Железнодорожные мосты основных направлений
	5	Автомобильные мосты федеральных дорог
	6	Морские и речные порты, аэропорты, базы
	7	Насосные станции трубопроводов
	8	Склады резервов
II	1	Атомные электростанции
	2	Гидроэлектростанции
	3	Тепловые электростанции
	4	Подстанции линий электропередач
	5	Склады горюче-смазочных материалов, нефтебазы
III	1	Нефтеперерабатывающие и химические производства
	2	Предприятия оборонного комплекса
	3	Предприятия цветной и черной металлургии
	4	Предприятия машиностроения
	5	Предприятия по производству электрооборудования

* составлено по [13-14]

Таким образом, риск, возникающий при ведении военных действий или вследствие этих действий можно охарактеризовать как вероятностную меру реализации опасностей, возникающих при ведении вооруженной борьбы. При этом необходимо отметить, что опасность могут характеризовать различные риски, которые выражают оценку различных ее параметров, например частоту возникновения, величину последствий при реализации опасности.

Анализ подходов по оценке рисков, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий. Существует множество методов оценки риска, в основе которых лежит вероятностный или статистический подход. В связи с этим видится проблематичным определение вероятности опасностей возникающих в результате применения средств поражения. Данную величину не уместно определять на основе анализа статистических данных прошлых военных конфликтов, т. к. возможные новые конфликты будут характеризоваться новыми условиями, тактическими приемами, применением более совершенных технических средств и т. д., и в целом полученные данные будут обладать низкой степенью воспроизводимости. Не целесообразно при этом использование и опыта учений или испытаний образцов военной техники, так как полученные вероятности не будут соответствовать реальной обстановке военного времени. Следовательно, в мирное время получение вероятностей опасностей вооруженной борьбы имеющих

значение для ведения ГО, на основе анализа статистических данных, практически исключается.

Также необходимо отметить, что в настоящее время отсутствуют обоснованные данные о законах распределения случайных событий (возникновения опасности и ущерба в результате (вследствие) военных действий). Энтропия этих случайных событий не определена. В связи с этим в практических исследованиях рисков принято использовать упрощенную зависимость для оценки показателя риска каждой i -й опасности, j -й степени опасности [5]:

$$R_{ij} = q_{ijcp} \cdot U_{ijcp}, \quad (1)$$

где q_{ijcp} – средняя частота возникновения опасности i -го вида j -й степени опасности;

U_{ijcp} – возможный средний ущерб при возникновении i -го вида опасности, приводящий к j -той степени опасности;

Рассмотрим возможные способы определения средних значений q_{ijcp} и U_{ijcp} .

В работе [5] приведены обоснования и описание соответствующих методик. При оценке q_{ij} в зависимости от объема статистических данных используются следующие методы:

- статистический, при количестве числа опасностей i -го вида j -й степени опасности за время наблюдения T более 100, т.е. $N_{ij} > 100$;
- вероятностно-статистический ($1 \leq N_{ij} \leq 100$);
- теоретико-статистический (очень редки случаи, меньше 1 за время наблюдения ΔT).

Если за опасность в рассматриваемой области, как было отмечено выше, принимать неблагоприятные последствия, возникающие в результате применения средств поражения по определенным объектам (таблица 1), то вероятность опасности, можно выразить, как отношение n -го количества поражаемых объектов к общему количеству объектов $N_{общ}$ имеющихся на рассматриваемой территории. Обозначив событие – D , которое характеризуется выполнением боевой задачи (поражение объекта), приходим, что вероятность опасности есть вероятность события D :

$$P = P(D). \quad (2)$$

Учитывая взгляды зарубежных военных специалистов на применение сил (войск) и средств можно предположить, что для достижения поставленных целей в ходе военного конфликта могут применяться силы специальных операций, военно-воздушные и военно-морские силы. Проведенный анализ различных литературных источников [9-12] показывает, что наиболее вероятный сценарий войны заключается в проведении, в период нарастания военной угрозы, силами специальных операций диверсий по уничтожению объектов военной инфраструктуры и значимых объектов тыла, в последующем осуществляется проведение воздушной наступательной операции, в ходе которой производится применение по данным объектам крылатых ракет морского и воздушного базирования. Завершающим этапом при необходимости закрепления успеха воздушной наступательной операции может быть проведена сухопутная фаза кампании.

В работе [14] приведен математический и методический аппарат для оценки количества поражаемых объектов силами диверсионных формирований, авиацией и военно-морскими силами, а также определения возможного ущерба:

$$N_{од} = T_3(1 - 10^{-2}h) \cdot \sum_{k=1}^2 \frac{\Pi(N_k f_k)}{n_k t_k}, \quad (3)$$

где $N_{од}$ – число объектов, поражаемых диверсионными силами;

T_3 – продолжительность действий диверсионных формирований в ходе военной кампании, сут.;

- h – доля формирований, оставляемых в резерв командованию, %;
 t_k – нормативное время поражения объекта тыла, сут.;
 N_k – общее число диверсионных формирований;
 k – число видов диверсионных формирований (от 1 до 2);
 f_k – коэффициент эффективности противодействия диверсионным силам;
 n_k – полигонный наряд ресурса диверсионных сил.

$$N_{ом} = \sum_{k=1}^3 \frac{P_{крмб} (1 - f_{нво})}{H_k^{крмб}}, \quad (4)$$

- где $N_{ом}$ – прогнозируемое число объектов тыла, поражаемых военно-морскими силами;
 $P_{крмб}$ – ресурс ВМС (планируемое количество пусков крылатых ракет морского базирования по объектам тыла);
 $f_{нво}$ – коэффициент противодействия противовоздушной обороны;
 $H_k^{крмб}$ – полигонные наряды средств поражения, применяемых для различных объектов;
 k – количество групп важных объектов (от 1 до 3).

$$N_{оа} = \sum_{k=1}^3 \frac{P_{ав} (1 - h_{рез} 10^{-2}) f_{нво}}{H_{ав}}, \quad (5)$$

- где $N_{оа}$ – количество поражаемых авиацией объектов тыла;
 $P_{ав}$ – ресурс авиации, выделяемый для поражения групп объектов, самолето-вылеты;
 $h_{рез}$ – не снижаемый резерв авиации, %;
 $f_{нво}$ – коэффициент противодействия противовоздушной обороны;
 $H_{ав}$ – полигонный наряд ресурса авиации назначаемый для поражения одного объекта, самолето-вылеты;
 k – количество групп важных объектов (от 1 до 3).

Таким образом, вероятность искомой опасности можно выразить в следующем виде:

$$P(D) = \frac{N_{од} + N_{ом} + N_{оа}}{N_{общ}}. \quad (6)$$

При определении вероятности поражения различных объектов необходимо учитывать распределение ресурса средств поражения в зависимости от приоритета объекта (таблица 2).

Таблица 2. – Распределение ресурса средств поражения в зависимости от приоритета объекта тыла*

Расход общего ресурса от всех видов средств поражения, выделяемого на поражение объекта	Уровень приоритета объекта
60%	I
30%	II
10%	III

* составлено по [14].

Следовательно, риск можно выразить как:

$$R_{ij} = P(D) \cdot U_{ijcp}. \quad (7)$$

Показателями второй составляющей величины риска – ущерба могут быть: экономическими, социальными, материальными, потери людей и др. Наиболее общим показателем риска может быть среднее значение ущерба U_{ijcp} в результате поражения объекта за

промежуток времени (как правило, за год). В Республике Беларусь методики расчета этих показателей в настоящее время находятся в стадии разработки. Для практического использования наиболее приемлемые методики могут быть использованы из публикаций, приведенных в литературных источниках [15-19].

Таким образом, основными переменными показателями на основании которых производится оценка риска, являются время T , ущерб U_{ijcp} , и вероятность поражения объекта $P(D)$.

В оценке риска важное значение имеет критерий приемлемости или установление уровня риска, с которыми сопоставляются полученные результаты. Это определяет целесообразность проведения мероприятий направленных на снижение риска. Уровни рисков, как правило, определяются соответствующими нормативными правовыми актами. Необходимо отметить, что на сегодняшний день рассматриваемые уровни риска, возникающие при ведении военных действий или вследствие этих действий в нашем государстве не регламентированы, что значительно затрудняет разработку обоснованных предложений по снижению рисков в исследуемой области.

Заключение. Для эффективного ведения ГО необходимо в мирное время провести комплекс подготовительных мероприятий. Начальным этапом подготовки мероприятий ГО является прогнозирование возможной обстановки, которая может сложиться в результате применения средств поражения в ходе вооруженного конфликта. По-нашему мнению, такой прогноз должен учитывать значения величины рисков, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий. Это позволит дифференцированно распределить имеющиеся ресурсы сил и средств ГО, спланировать достаточные и экономически адаптивные мероприятия ГО, и будет способствовать снижению уровня риска, возможного экономического ущерба, вреда для жизни и здоровья людей, а также вреда окружающей среде.

В ходе проведенного анализа современных военных конфликтов определены опасности, которые возникают или могут возникнуть при ведении военных действий или вследствие этих действий, проведен анализ подходов по оценке их рисков.

Получение количественных показателей по результатам оценки рисков, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий, может быть использовано для уточнения порядка расчета зон возможного поражения при нанесении ударов обычными средствами поражения, а также определения объемов аварийно-спасательных и других неотложных работ, необходимых для подготовки мероприятий ГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Равков, А.А. Документ мира и безопасности / А.А. Равков // Беларуская думка. – 2016. – №8. – С. 3-10.
2. О гражданской обороне: Закон Респ. Беларусь, 27 ноября 2006 г. № 183-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 31 декабря 2009 г. № 114-З // Консультант Плюс : Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016
3. Гражданская защита: Энциклопедический словарь (издание третье, переработанное и дополненное); под общей ред. В.А. Пучкова / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. 664 с.
4. Ожегов, С.И. Словарь русского языка: Ок. 100 000 слов, терминов и фразеологических выражений / С.И. Ожегов; Под общ. ред. проф. Л. И. Скворцова. – 27-е изд., испр. – М.: АСТ: Мир и Образование, 2014. – 1360 с. – (Классические словари).
5. Акимов, В.А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах: учеб. пособие / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев; под ред. В.А. Акимова. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
6. Ковалевич, О.М. К вопросу об определении «степени риска» / О.М. Ковалевич // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2004. – № 1. – С. 73-80.
7. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование / Н.Н. Брушлинский [и др.]; под ред. Н.Н. Брушлинского и Ю.Н. Шебеко. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2007. – 370 с.
8. Гражданская защита: Энциклопедия в 4-х томах. Т. I (А – И) (издание третье, переработанное и

- дополненное); под общей ред. В.А. Пучкова / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. – 666 с.
9. Jane defense weekly. Vol. 34. 19 July 2000, Issue №03, p. 6.
 10. Taylor C. Military Operations in Libya, House of Commons Library, Standard Note SN/LA/5909, 24.10.2011
 11. Quadrennial Defense Review report [Электронный ресурс] / Department of Defense USA., 2014. – Режим доступа: http://archive.defense.gov/pubs/2014_Quadrennial_Defense_Review.pdf – свободный – Дата доступа: 28.09.2016.
 12. Валецкий, О.В. Новая стратегия США и НАТО в войнах в Югославии, Ираке, Афганистане и ее влияние на развитие зарубежных систем вооружения и боеприпасов / О.В. Валецкий – М.: «Арктика 4Д», 2008. – 344 с.
 13. Организация медицинской службы гражданской обороны Российской Федерации / Ю.И. Погодин [и др.]; под общ. ред. Ю.И. Погодина и С.В. Трифонова – М: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, – 210 с.
 14. Малышев, В.П. Оценка военной опасности для организации и ведения гражданской обороны / В.П. Малышев, Э.Я. Богатырев // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – № 1 – С. 643-659.
 15. Потапов, Б.В. Экономика природного и техногенного рисков / Б.В. Потапов, Н.Н. Радаев. – М: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2001 – 513 с.
 16. Аварии и катастрофы. в 6 т. / редколл. : В.А. Котляревский (гл. ред.) [и др.] . – М.: АС ВУЗов, 1999-2003. – 2 т.
 17. Защита населения и территорий от ЧС: учеб. пособие / М.И. Фалеев [и др.]; под общ. ред. М.И. Фалеева – Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. – 480 с.
 18. Шулежко, В.Ф. Обеспечение безопасности частей и соединений в ЧС / В.Ф. Шулежко. – М.: МО РФ, 1998. – 240 с.
 19. Шулежко, В.Ф. Теоретические основы управления и организации КГЗ. 4-е изд. – Новогорск, АГЗ, 2004. – 141 с.

PREPARATION OF ACTIONS OF CIVIL DEFENSE ON THE BASIS OF RISK ANALYSIS

Sergej Bordak

Mihail Subbotin, Candidate of Military Sciences, Associate Professor

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

Purpose. The paper is devoted to the preparation of actions of civil defense on the basis of risk analysis.

Methods. Induction, deduction, analysis and synthesis methods were used. Theoretical approaches of the research are investigations in the sphere of general theory of risk. Empirical basis of the research are the laws of the Republic of Belarus and other documents concerning civil protection.

Findings. Protection of the population from the threats of the perils in wartime under modern conditions is an essential part of safety. None of the States are completely protected from disaster, and public administration in such cases has its own specifics, which involves timeliness and responsiveness.

In the article the concepts of military operations and military hazards concerning civil defense are specified. Probable adverse effects which can result from application of weapons of destruction are characterized. The risks arising when conducting military operations or in result of these actions are defined, and also the approaches to their assessment are analyzed.

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

Conclusions. The analysis of the modern military conflicts is carried out, dangers which arise are determined when conducting military operations, the analysis of approaches according to their risks is carried out. The obtained quantitative indices can be used for the assessment of risks arising when conducting military operations or in result of these actions. They can be used for planning of rescue and other urgent works necessary for preparation of actions of civil protection.

Keywords: civil defense, civil protection, emergency situations, military attacks, military hazards, risk, weapon of destruction, risk analysis.

(The date of submitting: December 2, 2016)

REFERENCES

1. Ravkov A.A. Dokument mira i bezopasnosti [Document of peace and safety] *Belaruskaya dumka*. 2016. No. 8. P. 3–10.
2. *O grazhdanskoy oborone* [About civil defense]: Zakon Resp. Belarus [law of Belarus], 27 November 2006 No 183-Z: in edition law of Belarus 31 December 2009 No 114-Z Konsul'tant Plyus: Belarus'. Tekhnologiya 3000 [Electronic resource] OOO «YurSpektr», Nats. tsentr pravovoy inform. Resp. Belarus'. Minsk, 2016.
3. Puchkov V.A. *Grazhdanskaya zashchita: Entsiklopedicheskiy slovar'* [Civil protection: Encyclopedic dictionary] (Vol. 3 processed and augmented); Moscow: FGBU VNII GOChS (FC), 2015. 664 p.(rus)
4. Ozhegov S.I. *Slovar' russkogo yazyka (izdanie 27)* [Dictionary of Russian language (edition 27)]. Moscow: AST: Mir i Obrazovanie, 2014. 1360 p. (rus)
5. Akimov V.A. *Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tekhnogennoy sferakh: ucheb. posobie* [Bases of the analysis and management of risk in natural and technogenic spheres: education guidance]. Moscow: Delovoy eksperess, 2004. 352 p. (rus)
6. Kovalevich O.M. K voprosu ob opredelenii «stepeni riska» [About question of definition of «risk degree»] *Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh*, 2004. No. 1. Pp. 73-80. (rus)
7. Brushlinskiy N.N. *Pozharnye riski. Dinamika, upravlenie, prognozirovaniye* [Fire risks. Dynamics, management, prognostication]. Moscow: FGU VNIPO, 2007. 370 p. (rus)
8. Puchkov V.A. *Grazhdanskaya zashchita: Entsiklopediya v 4-kh tomakh. T. 1* [Civil protection: The encyclopedia in 4 volumes. Vol. 1 (Edition 3)]. Moscow: FGBU VNII GOChS (FC), 2015. 666 p. (rus)
9. *Jane defense weekly*. Vol. 34. 19 July 2000, Issue No. 3, p. 6.(eng)

10. Taylor C. *Military Operations in Libya*, House of Commons Library, Standard Note SN/IA/5909, 24.10.2011 (eng)
11. *Quadrennial Defense Review report*. Department of Defense USA., 2014, available at: http://archive.defense.gov/pubs/2014_Quadrennial_Defense_Review.pdf (accessed: September 28, 2016). (eng)
12. Valetskiy O.V. *Novaya strategiya USA i NATO v voynakh v Yugoslavii, Irake, Afganistane i ee vliyanie na razvitie zarubezhnykh sistem vooruzheniya i boepripasov* [The new strategy of the USA and NATO in the wars in Yugoslavia, Iraq, Afghanistan and their influence on the development of foreign systems of arms and ammunition]. Moscow: Arktika 4D, 2008. 344 p. (rus)
13. Pogodin Yu.I. *Organizatsiya meditsinskoj sluzhby grazhdanskoy oborony Rossijskoj Federatsii* [Organization of health service of civil defense of the Russian Federation]. Moscow: GOU VUNMC MZ RF, 210 p. (rus)
14. Malyshev V.P., Bogatyrev E.Ya. Otsenka voennoj opasnosti dlya organizatsii i vedeniya grazhdanskoy oborony [Assessment of military hazards for the organization and conducting civil defense]. *Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*. 2014. No. 1 Pp. 643-659. (rus)
15. Potapov B.V. *Ekonomika prirodnogo i tekhnogenogo riskov* [Economy of natural and technogenic risk]. Moscow: ZAO FID «Delovoy ekspress», 2001. 513 p. (rus)
16. Kotlyarevskiy V.A. *Avarii i katastrofy*. v 6 t. [Accidents and disasters. in 6 volumes]. Moscow: AS VUZov, 1999-2003. 2 vol. (rus)
17. Faleev M.I. *Zashchita naseleniya i territoriy ot ChS: ucheb. posobie*. [Protection of the population and territories against emergency situations: education guidance]. Kaluga: GUP «Oblizdat», 2001. 480 p. (rus)
18. Shulezhko V.F. *Obespechenie bezopasnosti chastey i soedineniy v ChS* [Safety in emergency situations]. Moscow: MO RF, 1998. 240 p. (rus)
19. Shulezhko V.F. *Teoreticheskie osnovy upravleniya i organizatsii KGZ* [Theoretical bases of management and organization of civil protection] 4 ed. Novogorsk, AGZ, 2004. 141 p. (rus)

УДК 316.6

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ СВОЕВРЕМЕННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОГО В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Голубева С.А., Хмарский П.А.

Рассмотрено разработанное программное обеспечение для выявления, предупреждения и нейтрализации последствий негативного информационно-психологического воздействия, осуществляемого в социальных сетях на специалистов экстремального профиля. Работа программного обеспечения реализуется в 5 основных этапов: инициализация, предварительная обработка информации, сбор неструктурированных данных, первичная и вторичная обработка. Разработанное программное обеспечение не является полностью автоматизированной системой и придается в помощь психологу подразделения, который обладая полученной информацией, осуществляет ее последующий анализ, прогнозирует возможные последствия и при выявлении опасности для морально-психологического состояния личного состава принимает меры для ее нейтрализации (предотвращения).

Ключевые слова: информационно-психологическое воздействие; манипулирование; средства массовой коммуникации; социальные сети; мониторинг социальных сетей.

(Поступила в редакцию 29 марта 2017 г.)

Введение. Специфика выполняемых задач специалистов экстремального профиля (военнослужащих, спасателей и пожарных МЧС, сотрудников МВД и т.п.) предопределяет значимость вопросов защиты от негативного информационно-психологического воздействия, так как подобное воздействие может отрицательно повлиять на всю систему национальной безопасности государства. Знание целей, задач, методов, средств реализации негативного информационно-психологического воздействия со стороны потенциального противника позволяет определить необходимые и эффективные меры противодействия его мероприятиям, направленным на подрыв морально-психологического состояния, создание психологической несовместимости подразделений, дезинформирование, возникновение убежденности в слабости своего оружия и снижение доверия личного состава силовых структур Республики Беларусь к основным государственным институтам, органам власти и управления.

Эффективность работы по защите личного состава от негативного информационно-психологического воздействия в решающей степени зависит от того как удастся командирам (начальникам) и офицерам-психологам на практике реализовывать принципы упреждения, доходчивости и эмоциональной насыщенности проводимых мероприятий [1, 2]. Важное место в решении этих задач в Вооруженных Силах Республики Беларусь занимает контрпропагандистская деятельность, включающая в себя информационно-аналитическую работу и проведение контрпропагандистских мероприятий [1]. Если контрпропагандистские мероприятия могут проводиться должностными лицами воинских частей, то информационно-аналитическая работа проводится только органами военного управления [1]. Вместе с тем проведение некоторых профессиональных элементов информационно-аналитической работы психологом подразделения позволит повысить эффективности мероприятий, направленных на выявление и нейтрализацию последствий негативного информационно-психологического воздействия. В рамках проведенных исследований было разработано программное обеспечение, задачей которого является осуществление психологом подразделения контент-анализа в социальных сетях.

Целью настоящей статьи является рассмотрение особенностей реализации и применения разработанного программного обеспечения для своевременного выявления, предупреждения и нейтрализации последствий негативного информационно-психологического

воздействия, осуществляемого в социальных сетях. Для достижения указанной цели решены следующие задачи: проведен обзор и анализ существующих информационных систем мониторинга электронных СМИ и социальных сетей; обоснована структура и разработано программное обеспечение для выявления, предупреждения и нейтрализации последствий негативного информационно-психологического воздействия.

Основная часть. Социальные сети в настоящее время представляют собой коммуникативную площадку, которая активно используется для формирования и манипулирования общественным мнением [3, 4]. Социальную сеть можно рассматривать как общественную среду, на которую пытаются каким-то образом повлиять для достижения определенной цели, например формирования определенного общественного мнения по определенному вопросу. Помимо формирования общественного мнения актуальны такие прикладные задачи как оценка успешности любого нововведения: сервис, сообщество или рекламная компания [4]. Такая оценка позволяет разрабатывать сервисы не наугад, а целенаправленно повышать пользовательскую активность. Все это обуславливает развитие систем мониторинга электронных СМИ и социальных медиа. Существующие системы мониторинга можно классифицировать на две основные подгруппы: бесплатные (доступные рядовым пользователям) и коммерческие. Бесплатные системы обладают ограниченным функционалом и, как правило, носят рекламный характер.

Достоинства существующих коммерческих систем мониторинга электронных СМИ и социальных медиа:

1. Обработка большого объема данных в режиме реального масштаба времени. Применение подходов *BigData* в некоторых из них.

2. Возможность оценки «тональности» публикаций, вовлеченности пользователей, формирования социальных графов.

3. Кластеризация по сюжетам, формирование рейтингов.

4. Интеллектуальный поиск.

Однако существующие коммерческие системы мониторинга электронных СМИ и социальных медиа не лишены недостатков, среди которых:

1. Высокая стоимость профессиональных версий (в основном варьируется от 100 до 2000 у.е. в месяц) [5].

2. Ориентирование разработок на рекламу, продвижение товаров и услуг, что не позволяет эффективно применять данные системы для задач иного рода.

3. Ограниченные возможности по обработке информации в закрытых группах и сообществах.

Проведенный обзор и анализ существующих информационных систем мониторинга социальных сетей показал, что для них характерны следующие принципы функционирования [5, 6, 7]:

приватность данных – доступ к данным пользователей разрешен только для зарегистрированных и авторизованных участников сети, что требует поддержки эмуляции пользовательской сессии с помощью специальных учетных записей (аккаунтов);

слабая структурированность данных – во многих случаях программные интерфейсы (*Application Programming Interface*) социальных сетей имеют ограниченный функционал, что требует поддержки получения статических копий HTML-страниц с помощью пользовательского веб-интерфейса, корректной обработки их динамической части (включая исполнение асинхронных запросов к серверу социальной сети), извлечения нужных данных с помощью алгоритма и/или шаблона и построения их структурированного представления, удобного для дальнейшей автоматической обработки;

ограничение доступа и блокировка возможности автоматического сбора информации – с целью предотвращения несанкционированного автоматического сбора данных и ограничения нагрузки на инфраструктуру сервиса социальной сети владельцы сервисов зачастую вводят явные или скрытые ограничения на допустимое количество запросов от од-

ного пользовательского аккаунта и/или IP-адреса в единицу времени, что требует учёта количества посылаемых запросов, а также поддержки динамической ротации используемых для сбора данных пользовательских аккаунтов и IP-адресов;

большая размерность данных обуславливает необходимость в параллельном методе сбора данных, а также методов получения репрезентативной выборки пользователей социальной сети (сэмплирование).

В ходе проводимых исследований, посвященных негативному информационно-психологическому воздействию на курсантов военных факультетов гражданских учреждений высшего образования, было выявлено, что среди курсантов, принявших участие в исследовании: 89 % – интересуется политическими и экономическими новостями; для 82 % самым популярным источником, из которых они узнают о событиях в мире, является интернет; 95 % – зарегистрировано в социальных сетях; одними из наиболее популярных способов проведения свободного времени является общение в социальных сетях и чтение (просмотр) новостных сайтов в интернете. Таким образом, одним из возможных каналов негативного информационно-психологического воздействия на курсантов могут являться электронные СМИ и социальные медиа. Для исследования потребляемого курсантами контента разработано собственное программное обеспечение, осуществляющее сбор открытой информации, полученной в социальных сетях, и предназначенное для:

выполнения предварительной обработки данных, полученных из социальных сетей; выявления негативного информационно-психологического воздействия и его возможных источников в социальных сетях;

определения целей, направленности возможного негативного информационно-психологического воздействия на личный состав, а также анализ его содержания, форм и методов.

С учетом выявленных особенностей существующих систем мониторинга электронных СМИ и социальных медиа, работа программного обеспечения осуществляется в 5 этапов:

1. *Этап инициализации* – формирование «рабочего кабинета» психолога, выбор исследуемой группы лиц (подразделения), выбор анализируемых социальных сетей и авторизация в них.

2. *Этап предварительной обработки информации* – анализ открытых и закрытых сообществ социальных сетей, в которые вовлечен личный состав, а также их открытые друзья.

3. *Этап сбора неструктурированных данных* – сканирование общедоступной открытой информации со страниц пользователей, их друзей и популярных сообществ при помощи *поискового робота («краулера»)*, имитирующего работу реального пользователя.

4. *Этап первичной обработки данных* – преобразование отсканированной неструктурированной информации в структурированную при помощи технологии *MapReduce*.

5. *Этап вторичной обработки данных* – выявление в структурированных данных информационных трендов (в том числе лавинообразных) и популярных новостей.

На рисунке 1 изображена структура применения разработанного программного обеспечения.

С учетом перечисленных выше этапов, особенности работы с разработанным программным обеспечением заключаются в следующем. Психолог подразделения начинает работу с программным обеспечением с создания своего рабочего кабинета, в котором он указывает свои данные и параметры анализируемого подразделения. Через управляющие команды психолог указывает программному комплексу перечень анализируемых сетей, а также период времени. Личный состав подразделения осуществляет обмен информацией и общается в социальных сетях, которые оказывают информационно-психологическое воздействие, в том числе и негативное. С другой стороны, информация из социальных сетей за указанный период в неструктурированном виде поступает на программный комплекс. Программный комплекс осуществляет предварительную, первичную и вторичную обработку поступающей информации, после чего структурированные данные в виде информационных трендов и наиболее популяр-

ных и обсуждаемых новостей передаются психологу подразделения. Полученная от программного комплекса структурированная информация анализируется психологом с целью прогноза поведения личного состава и его своевременной коррекции.

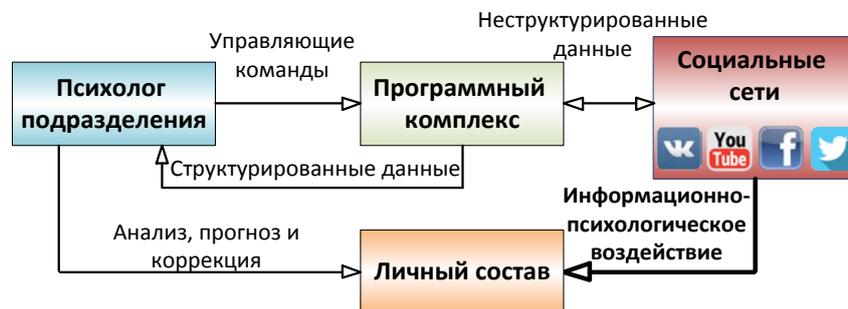


Рисунок 1. Обобщенная структура применения психологом программного обеспечения

Как было указано выше на этапе сбора неструктурированных данных используется краулер, разработанный на интерпретируемом высокоуровневом языке программирования *Ruby*. Особенность работы краулера заключается в том, что информация в большинстве социальных сетей (*facebook*, *vk.com*, *twitter* и др.) представляется с помощью динамических технологий. Поэтому для сканирования информации в социальных сетях краулеру требуется полностью имитировать работу реального пользователя, что достигается формированием определенной последовательности запросов типа *POST* (например, полностью имитирующей вертикальную прокрутку страницы), отправляемой на *HTTP*-сервер Сети [1, 4]. Ответы сервера Сети, являющиеся сообщениями со страниц пользователей, сохраняются краулером в базу данных *MySQL*.

Сложность при разработке краулера заключается в том, что около 2/3 всех пользователей социальных сетей закрывают свои страницы для неавторизованных пользователей [4, 8]. Для обхода этой проблемы используется созданный «рабочий кабинет» психолога, через который краулер авторизуется на сервере социальных сетей как зарегистрированный пользователь. При разработке программного обеспечения учитывалось, что при чрезмерной активности пользователь блокируется серверами социальных сетей, поэтому перед переходом на следующую сканируемую страницу краулер делает паузу длительностью в 1 с, заметно снижающую скорость работы [4]. Чтобы ускорить работу, программа использует многопоточность, где каждый поток обращается к серверу как отдельный зарегистрированный пользователь, а список страниц распределяется между потоками.

Краулер может работать в нескольких режимах [4]: с использованием или без использования авторизации, а также в режиме из-под прокси-сервера, идея которого подробно описана в [9]. Режим без авторизации используется для предварительного сканирования страниц, которые открыли пользователи, что позволяет сэкономить время на начальных этапах работы программного обеспечения.

Следует подчеркнуть, что разработанное программное обеспечение не является полностью автоматизированной системой, а лишь придается в помощь психологу подразделения. Психолог, обладая полученной обработанной и структурированной информацией, осуществляет ее анализ, прогнозирует возможные последствия и при выявлении опасности для морально-психологического состояния личного состава принимает меры для ее нейтрализации (предотвращения). В качестве структурированной информации выступают: популярные и наиболее обсуждаемые новости (при необходимости можно получить их эмоциональную оценку и информацию о комментариях к ним), особое внимание уделяется лавинообразным новостям, информационным трендам.

Направлениями дальнейших исследований при разработке и реализации предлагаемого программного обеспечения являются:

1. Реализация возможности **анализа объектов социальной сети** (от отдельно взятого информационного сообщения и пользователя до социальной сети в целом и внешних по отношению к ней источников) и **учета различных взаимоотношений** между такими объектами (связи знакомств между пользователями, связи цитирования, связи комментирования) [6];

2. Использование известных математических моделей и методов *интеллектуального анализа* данных (статистические, графовые, нейросети и др.);

3. *Интеграция* с известными существующими подсистемами *сбора данных* из различных открытых источников (социальных сетей, блоговых площадок, новостных ресурсов) [6];

4. Обработка *больших массивов данных* с привлечением эффективных технологий *BigData* (позволяет осуществлять обработку от большого круга лиц, в том числе за счет использования распределенных систем обработки).

Заключение. Рассмотрено разработанное программное обеспечение для выявления, предупреждения и нейтрализации последствий негативного информационно-психологического воздействия, осуществляемого в социальных сетях. Программное обеспечение учитывает особенности существующих систем обработки информации: приватность и слабая структурированность данных, ограничение доступа и блокировка возможности автоматического сбора информации, большая размерность данных. Предлагаемое вспомогательное программное обеспечение будет полезно как психологам Вооруженных Сил Республики Беларусь, так и другим специалистам, занимающимся психологическим сопровождением представителей экстремального профиля.

Работа программного обеспечения реализуется в 5 этапов: инициализация, предварительная обработка информации, сбор неструктурированных данных, первичная и вторичная обработка. Разработанное программное обеспечение не является полностью автоматизированной системой и придается в помощь психологу подразделения, который обладая полученной структурированной информацией, осуществляет ее анализ, прогнозирует возможные последствия и при выявлении опасности для морально-психологического состояния личного состава принимает меры для ее нейтрализации (предотвращения).

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Инструкции о порядке организации идеологической работы в Вооруженных Силах: приказ Министра обороны Республики Беларусь, 10 сентября 2014 г., № 967 // МО РБ, Мн. – 2014.
2. Караяни, А.Г. Прикладная военная психология / А.Г. Караяни, И.В. Сыромятников. – СПб.: Питер, 2006. – 480 с.
3. Киселева, А.М. Социальные сети в процессе коммуникации между властью и обществом / А.М. Киселева, Е.А. Шпак // Вопросы управления. – 2015. – № 6 (37). – С. 66-75.
4. Рабчевский, Е. Система мониторинга социальной сети Вконтакте с возможностями получения статического и динамического состояния структурных, демографических, поведенческих и семантических характеристик интересующих пользователей, сообществ, материалов и тем / Е. Рабчевский, А. Цукерман // Национальный Открытый Университет «Интуит», 2012. – С. 7.
5. Анализ социальных сетей: методы и приложения / А. Коршунов [и др.] // Труды Института системного программирования РАН. 2010. – № 1. – Том 26. – С. 439-455.
6. Базенков, Н.И. Обзор информационных систем анализа социальных сетей / Н.И. Базенков, Д.А. Губанов // Управление большими системами: сборник трудов. – 2013. – № 41. – С. 357-394.
7. Barabasi, A.L. Scale Free Networks Scientific American / A.L. Barabasi // Scientific American. – 2003. – Vol. 288 – No. 5. – P. 50-59.
8. Губанов, Д.А. Социальные сети модели информационного влияния, управление и противоборство / Д.А. Губанов, Д.А. Новиков, Чхартишвили А.Г. М.: Издательство физико-математической литературы, 2010. – 288 с.
9. Бизнес-анализ в социальной сети Одноклассники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/commanv/odnoklassniki/blog/149391>. – Дата доступа: 1.02.2017.

AUXILIARY SOFTWARE FOR THE PREVENTION AND NEUTRALIZATION OF THE CONSEQUENCES OF THE NEGATIVE INFORMATION-PSYCHOLOGICAL IMPACT

Golubeva Svetlana

Establishment of education «Belarusian state academy of aircraft», Minsk, Belarus

Khmarski Petr, Candidate of Technical Sciences

Establishment of education «Military academy of Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The purpose of the paper is to develop auxiliary software for the prevention and neutralization of the consequences of the negative information-psychological impact carried out in social networks.

Methods. Theoretical analysis and monitoring software product.

Findings. Software for preventing and neutralizing the consequences of negative information and psychological impact carried out in social networks on specialists of extreme profile is presented.

Application field of research. Psychological investigation.

Conclusions. The developed software is not a fully automated system and is attached to a psychologist of the unit who, having received the information, analyzes it, predicts possible consequences, and, in identifying the danger to the moral and psychological state of the personnel, takes measures to neutralize (prevent) it.

Keywords: psychological impact, informational impact, information psychological impact, manipulation, communication media.

(The date of submitting: March 29, 2016)

REFERENCES

1. *Ob utverzhdenii Instruktsii o poryadke organizatsii ideologicheskoy raboty v Vooruzhennykh Silakh: prikaz Ministra oborony Respubliki Belarus'*, September 10, 2014., № 967 [On approval of the Instruction on the organization of ideological work in the Armed Forces: the order of the Minister of Defense of the Republic of Belarus]. MO RB, Mn. 2014. (rus)
2. Karayani A.G., Syromyatnikov I.V. *Prikladnaya voennaya psikhologiya* [Applied military psychology]. SPb: Piter, 2006. 480 p. (rus)
3. Kiseleva A.M., Shpak E.A. *Sotsial'nye seti v protsesse kommunikatsii mezhdu vlast'yu i obshchestvom*. [Social networks in the process of communication of the authorities and society]. Management Issues. 2015. № 6 (37). Pp. 66-75. (rus)
4. Rabchevskiy E., Tsukerman A. *Sistema monitoringa sotsial'noy seti Vkontakte s vozmozhnostyami polucheniya staticheskogo i dinamicheskogo sostoyaniya strukturnykh, demograficheskikh, povedencheskikh i semanticheskikh kharakteristik interesuyushchikh pol'zovateley, soobshchestv, materialov i tem* [Monitoring system of social network Vkontakte with the possibilities of obtaining static and dynamic state of structural, demographic, behavioral and semantic characteristics of users, communities, materials and topics of interest]. Natsional'nyy Otkrytyy Universitet «Intuit», 2012. Pp. 7. (rus)
5. Korshunov A. [et.] *Analiz sotsial'nykh setey: metody i prilozheniya* [Social network analysis: methods and applications] Proceedings of the Institute for System Programming of the RAS. 2010. No. 1. Vol. 26. Pp. 439-455. (rus)
6. Bazenkov N.I., Gubanov D.A. *Obzor informatsionnykh sistem analiza sotsial'nykh setey* [Information systems for social networks analysis: a survey] *Large-scale Systems Control*. 2013. № 41. Pp. 357-394. (rus)
7. Barabasi, A.L. *Scale Free Networks* Scientific American. *Scientific American*. 2003. № 5. Vol. 288. Pp. 50-59.
8. Gubanov D.A., Novikov D.A., Chkhartishvili A.G. *Sotsial'nye seti modeli informatsionnogo vliyaniya, upravlenie i protivoborstvo* [Social networks in the process of communication of the authorities and society] M.: Izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 2010. 288 p. (rus)
9. *Biznes-analiz v sotsial'noy seti Odnoklassniki* [Business Analysis in a Social Network], available at: <http://habrahabr.ru/commanv/odnoklassniki/blog/149391> (accessed: February 01, 2017). (rus)

УДК 614.8

РИСКИ И ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ, АВАРИЙ И ИНЦИДЕНТОВ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Якимов С.П.

В статье приводится обзор современного состояния проблемы обеспечения техногенной безопасности на опасных производственных объектах Республики Беларусь. Детальный анализ статистических данных показывает, что риски возникновения аварий и инцидентов на настоящем этапе развития производства достаточно высоки. Приводится характеристика потенциальных источников угроз, анализируются основные причины возникновения аварий, а также предлагаются меры, направленные на повышение безопасности технологических процессов и минимизацию предпосылок возникновения чрезвычайных ситуаций.

(Поступила в редакцию 16 февраля 2017 г.)

Развитие промышленности в современном мире неизменно ведет к повышению опасностей, связанных с возникновением техногенных катастроф и аварий. **В мировой практике техногенная катастрофа** рассматривается как *крупная авария на технологическом объекте, влекущая за собой массовую гибель людей, нанесение существенного экономического ущерба и (или) масштабные неблагоприятные последствия для окружающей среды.*

Техногенные катастрофы обычно различают по субъективному отношению (вызванные халатностью обслуживающего персонала, внешними факторами, непредвиденными последствиями штатного функционирования технологических систем), по объекту (промышленные и транспортные) и по месту возникновения (на АЭС, на химически опасных объектах с выбросом ядовитых веществ, на трубопроводах, в энергосистемах, и др.).

Справочно:

Самой масштабной по числу жертв считается Бхопальская катастрофа (Индия, 1984 год) – в результате выброса токсичных паров на химическом заводе Union Carbide в день аварии погибло 3 тыс. человек, более 15 тыс. умерло в последующие годы.

26 апреля 1986 г. произошла авария на Чернобыльской АЭС, которая считается самой крупной и дорогостоящей экологической катастрофой: ликвидация последствий ведется до сих пор, по некоторым оценкам уже затрачено более 200 млрд. долларов.

В 1989 году в Челябинской области произошла железнодорожная катастрофа в результате взрыва облака углеводородов из-за утечки на трубопроводе: 573 человека погибли, 693 ранены.

В 2007 году в результате взрыва метано-воздушной смеси и угольной пыли на шахте «Ульяновская» в Кемеровской области погибли 110 человек. Причина – отключение оборудования безопасности.

В 2009 году в результате аварии на Саяно-Шушенской ГЭС погибли 75 человек, нарушено энергоснабжение сибирских регионов.

В 2015 году в Тяньцзинь (Китай) в результате возгорания на складе логистической компании Riihai произошли два взрыва, погибли 173 человека, 797 получили ранения.

В Республике Беларусь техногенная катастрофа определяется как *чрезвычайная ситуация: обстановка, сложившаяся на определенной территории в результате промышленной аварии, иной опасной ситуации техногенного характера, катастрофы, опасного природного явления, стихийного или иного бедствия, которые повлекли или могут повлечь за собой человеческие жертвы, причинение вреда здоровью людей или окружающей среде, значительный материальный ущерб и нарушение условий жизнедеятельности людей.*

Принимаемые в республике меры, направленные на повышение безопасности технологических процессов, прежде всего на опасных производствах, позволили минимизировать предпосылки к возникновению техногенных катастроф. При этом чрезвычайные ситу-

ации на опасных производственных объектах в соответствии с Законом Республики Беларусь от 5 января 2016 г. № 354-З «О промышленной безопасности» классифицируются как **аварии** (разрушение опасных производственных объектов и (или) потенциально опасных объектов, в том числе эксплуатируемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ) и **инциденты** (отказ в работе или повреждение потенциально опасных объектов, эксплуатируемых на опасном производственном объекте, технических устройств, эксплуатируемых на потенциально опасном объекте, разрушение технических устройств, эксплуатируемых на потенциально опасном объекте, отклонение от параметров, обеспечивающих безопасность ведения технологического процесса, не приводящие к аварии).

В результате надзорной и профилактической деятельности МЧС за последние 10 лет в целом снижено количество аварий и инцидентов на опасных производственных объектах в 4,5 раза (с 45 в 2005 году до 10 в 2015 году), несчастных случаев – на 22 % (с 9 до 7), в том числе со смертельным исходом – в два раза (с 4 до 2) (рисунок 1),

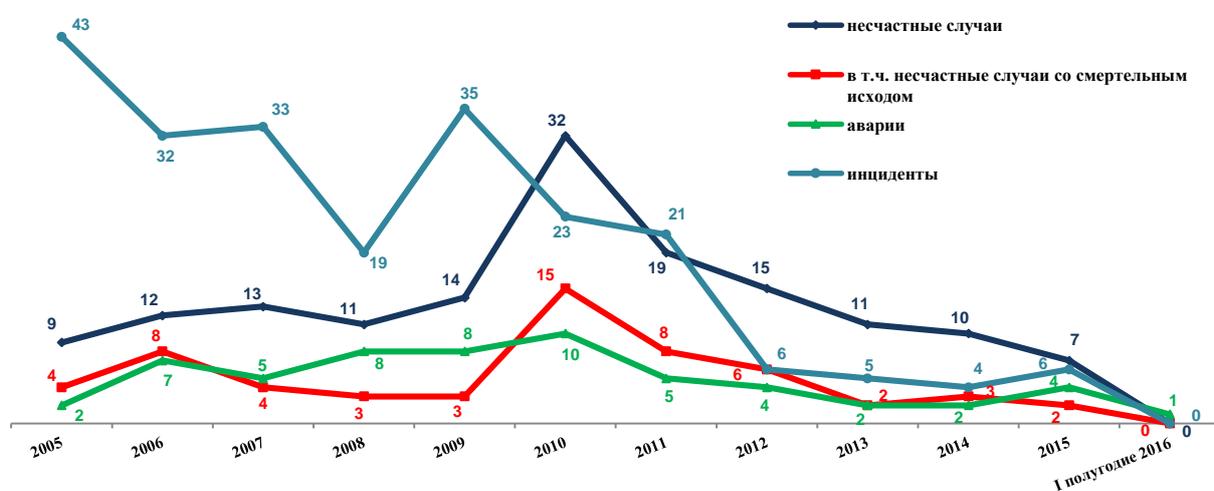


Рисунок 1. – Количество аварий, инцидентов, несчастных случаев, произошедших на опасных производственных объектах за 2005 г. – I полугодие 2016 г.

Для Республики Беларусь наиболее характерными авариями на опасных производственных объектах (рисунок 2) являются происшествия на подъемных сооружениях (43 % от общего числа аварий), большинство из которых приходится на стреловые и башенные краны.

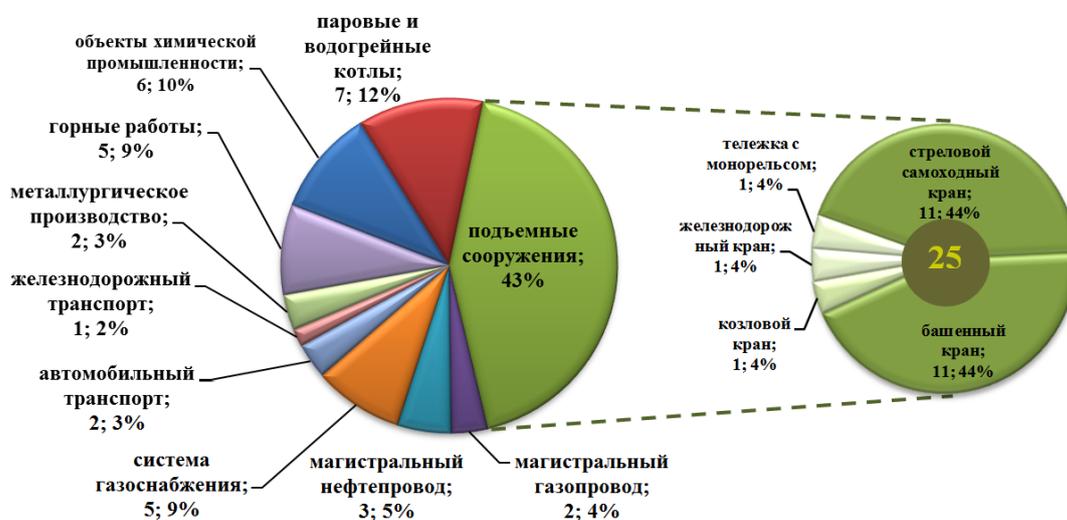


Рисунок 2. – Сведения об авариях, произошедших на опасных производственных объектах за 2005 г. – I полугодие 2016 г.

На эту же категорию опасных производственных объектов приходится большинство несчастных случаев (рисунок 3) – 69 % от общего их числа, в том числе с гибелью людей (66 % от всех погибших).



Рисунок 3. – Сведения о несчастных случаях, произошедших на опасных производственных объектах за 2005 г. – I полугодие 2016 г.

По общепринятой классификации, **аварии и инциденты на опасных производственных объектах** происходят по *техническим причинам* (неисправность машин, механизмов, агрегатов и оборудования, отсутствие приборов безопасности), *организационным* (отступления от требований проектной, технологической документации, несоответствие проектных решений условиям производства работ и обеспечения безопасности, отсутствие производственного контроля на местах, неудовлетворительные знания требований безопасности работников, недостаточный уровень производственной и технологической дисциплины) и *организационно-техническим*.

В **техническом плане** для Республики Беларусь наиболее характерным **фактором возникновения аварий и инцидентов** выступает **значительная доля устаревшего и изношенного оборудования** на опасных производственных объектах. Основная причина невыполнения планов по замене и модернизации – недостаток средств. Зачастую срок эксплуатации такой техники продлевается за счет проведения технического диагностирования. Однако даже несоответствие оборудования предъявляемым требованиям, как правило, не является для собственника поводом для замены.

Справочно:

18 июля 2009 г. по причине усталостного разрушения (износа) сварного шва заглушки аммиакопровода произошла авария на ОАО «Слуцкий мясокомбинат» с выбросом газообразного аммиака. Погиб один человек, травмировано – четверо.

Из-за критического износа литейного оборудования ОАО «МТЗ» увеличилось количество чрезвычайных происшествий на производстве (только за октябрь-ноябрь 2016 г. – 3). Ввиду неисправности систем пылегазоочистки данного производства норма выбросов в 15 раз превышает разрешенные параметры.

Наиболее остро в этом плане складывается ситуация на некоторых **химически опасных объектах**. В концерне «Белнефтехим» 71 % оборудования отработал нормативный срок эксплуатации (95 % технологического оборудования ОАО «Нафтан» используется с превышением нормативных сроков службы, износ активной технологической части ОАО «Мозырский НПЗ» составляет более 62 %). При этом на предприятиях концерна обрабатывается 18,4 тыс. тонн аварийно химически опасных веществ (94,6 % от всего объема по республике), что создает угрозу аварийных ситуаций с выбросом в атмосферу химически опасных веществ. По причине износа оборудования с 2010 года только в ОАО «Нафтан» и на заводе «Полимир» произошло 16 нештатных ситуаций и аварийных остановок производств.

Справочно:

По расчетам МЧС, в случае возникновения на предприятиях концерна «Белнефтехим» аварийных ситуаций, связанных с выбросом в атмосферу аммиака, в зону химического заражения попадают в Гродненской области 330 тыс. человек (зона заражения – 500 км²); в Витебской – 194 тыс. (685 км²); в Гомельской – 65,8 тыс. (74,7 км²).

Всего по республике доля работающего под давлением оборудования с истекшим нормативным сроком эксплуатации в химической промышленности составляет 74 %, при этом в Гродненской области – 92 %, в Минской – 93 %, в Могилевской – 96 %.

Следует отметить, что с 2005 года на химически опасных объектах по техническим причинам произошло только 14 из 72 аварийных ситуаций. С целью обнаружения и оперативного реагирования проводится работа по оборудованию данных объектов комплексами раннего обнаружения для автоматизации действий дежурного персонала при ликвидации аварий с выбросом ядовитых веществ (в 2015 году доля оборудованных такими комплексами объектов составила 73,2 %).

Вместе с тем, несмотря на прогнозируемое снижение доли отработавшего нормативные сроки эксплуатации оборудования (до 65 % в 2020 году при сохранении существующих темпов замены), выполнение планов по модернизации оборудования зависит от реальных возможностей предприятий, что, учитывая сложное экономическое состояние многих из них, создает предпосылки для срыва планов замены оборудования и может представлять реальную угрозу возникновения аварийных ситуаций на химически опасных объектах.

Эксплуатация изношенного оборудования характерна и для некоторых операторов, эксплуатирующих **системы газоснабжения и магистральные трубопроводы**. Например, ОАО «Полоцктранснефть Дружба» использует магистральные нефтепроводы, отработавшие нормативный срок эксплуатации на 100 %. Износ оборудования ОАО «Гомельтранснефть Дружба» незначительно меньше и составляет 75,8 %. Предусмотренная с 2011 года программа по замене оборудования на предприятии практически не выполняется с момента ее введения.

Несмотря на то, что доля аварийных ситуаций, возникавших на **паровых и водогрейных котлах** по техническим причинам, незначительна, дальнейший рост количества отработавшего нормативный срок эксплуатации оборудования (в 2016 году – 67 % от всего такого оборудования) неизменно повышает риск возникновения чрезвычайных происшествий.

Помимо этого в отдельных отраслях хозяйствования сохраняется высокая доля используемой **техники для перевозки опасных грузов с истекшими нормативными сроками эксплуатации**. Например, в Минсельхозпрод и подведомственных организациях по состоянию на 2015 год 76 % данной категории техники отработало нормативный срок эксплуатации. Вместе с тем в целом по республике за счет сокращения количества транспортных средств с истекшими нормативными сроками (32 % на 2016 год от всей такой техники), достаточно жесткой транспортной дисциплины в отношении объектов перевозки опасных грузов предотвращено возникновение аварийных ситуаций по организационным причинам и значительно снижено – по техническим (с 17 случаев в 2011 году до 1 случая в 2012 году и 1 – в 2015).

Наблюдается рост количества **лифтов**, отработавших нормативный срок эксплуатации (с 27 % в 2005 году до 36 % в 2015 году). Незначительное их количество обновляется в рамках реализации соответствующей государственной программы, однако и здесь фиксируется невыполнение планов. Например, в 2014 году заменено всего 30 % оборудования от запланированного, в 2015 году – 81 %. В то же время соблюдаемые в целом планы технического обслуживания и планового ремонта лифтов позволяют избежать аварий и инцидентов на данной категории опасных объектов.

Отмечаются факты несоблюдения графиков вывода местными властями из эксплуа-

тации и замены **аттракционов**. С 2011 года в Брестской области заменено 2 из 13 запланированных, Витебской – 3 из 7, Гомельской – 5 из 8, Гродненской – 7 из 9, Минской – 8 из 12 и Могилевской – 7 из 14. В то же время, за последние 10 лет аварийных ситуаций на данной категории опасных объектов не зафиксировано.

Усугубляет ситуацию с износом оборудования **несоблюдение должностными лицами требований промышленной безопасности, а также невыполнение предписаний контролирующих органов** по устранению уже выявленных в сфере промышленной безопасности нарушений, что создает предпосылки к возникновению аварий и инцидентов на опасных объектах.

Справочно:

Высокотоксичное производство завода синтетических смол ОАО «Речицадрев» функционирует с июня 2015 г. без официальных заключений на соответствие экологическим и противопожарным нормам, требованиям охраны труда и техники безопасности.

Несмотря на постановление МЧС о приостановке работы, руководство солигорского филиала ОАО «Слуцкий сыродельный комбинат» продолжает эксплуатировать 4 емкости с аммиаком под давлением. Кроме того, не выполнено распоряжение Миноблсполкома о снижении объема используемого аммиака с 3 т до 0,5 т.

С 2014 года руководство ОАО «Оршанский молочный комбинат» не выполняет предписания надзорных служб по замене оборудования и переводу на фреон расположенного на территории Сенненского района производства (700 кг аммиака).

Следует отметить, что «человеческий фактор» остается одной из основных причин возникновения аварийных ситуаций. По *организационно-техническим и организационным аспектам* возникают соответственно 50 и 28 % аварий от их общего числа.

Чаще всего чрезвычайные ситуации, в том числе несчастные случаи с гибелью людей, происходят из-за **недостаточной квалификации** занятого на опасных производствах технического персонала, а также вследствие **снижения уровня производственно-технологической дисциплины**.

Справочно:

12 января 2015 года на Мозырском нефтеперерабатывающем заводе стреловым краном во время разгрузочных работ получил травмы монтажник. Основная причина – нарушение правил проведения разгрузочных работ и привлечение рабочих без нужной квалификации.

19 сентября 2015 г. в ОАО «Пинский мяскокомбинат» из-за нарушения порядка обслуживания трубопровода произошла утечка аммиака в компрессорном помещении. В августе 2016 г. в Клецком филиале ОАО «Слуцкий сыродельный комбинат» имело место идентичное происшествие, в результате которого пострадал 1 человек.

В октябре 2015 г. вследствие нарушения начальником секции С-300 установки ЛК-6У ОАО «Мозырский НПЗ» правил технической дисциплины погиб сотрудник ОАО «Ремспецстрой», проводивший плановые работы на предприятии.

31 мая 2016 г. по вине работников ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение» произошло крупное возгорание вентиляционных шахт предприятия.

Данная ситуация складывается, прежде всего, из-за **отсутствия должного контроля знаний и умений персонала в области обеспечения промышленной безопасности** со стороны руководства объектов, а также соблюдения производственно-технологической дисциплины.

Следует отметить, что по организационным причинам происходит большинство аварий и инцидентов на **подъемных сооружениях** (32 из 35 за 2005–2015 годы).

Справочно:

16 апреля 2015 года на филиале «Управление механизации № 75» Стройтреста № 14 при производстве погрузочных работ смертельно травмирован монтажник. Причина – отсутствие контроля организации работа со стороны руководства, что привело к выполнению крановщиком работ в состоянии алкогольного опьянения.

Схожая ситуация складывается и на **химически опасных объектах**, где с 2005 года зарегистрировано 72 аварийные ситуации, из них по организационным и организационно-техническим причинам – 58.

Одновременно предпосылки для возникновения аварийных ситуаций создает **низкое качество регламентного технологического обслуживания** (планово-предупредительных ремонтов и несоблюдение межремонтных сроков при эксплуатации оборудования) опасных объектов.

Низкая квалификация персонала, отсутствие должного контроля со стороны надзорных органов и руководства, а также производственно-технологической дисциплины приобретают особую актуальность в свете предупреждения рисков и угроз возникновения чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах в будущем. Прежде всего, это касается вопросов **обеспечения безопасности при строительстве Белорусской АЭС**, а также ее работы после ввода в эксплуатацию.

Осуществляющий надзор за обеспечением безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию атомной электростанции Госатомнадзор МЧС фиксирует нарушения и выносит предписания на их устранение. В то же время не всегда принимаются действенные меры воздействия на систематически не соблюдающие требования безопасности строительные организации. В целом, ситуация с безопасностью при строительстве атомной станции требует дополнительного всестороннего изучения и принятия конкретных мер.

Справочно:

В ходе комплексной проверки строительства Белорусской АЭС в июне 2016 г. Госатомнадзор выявил 37 нарушений. До настоящего времени 23 из них не устранены. По предписаниям Госатомнадзора, выданными АО «Нижегородской инжиниринговой компании «Атомэнергопроект» и субподрядчикам, не устранены 87 нарушений, выявленных в 2015–2016 годах.

Нельзя исключать возможное возникновение **внутренних факторов**, влияющих на безопасность опасных объектов, такие как уровень общей дисциплины персонала, возникновение очагов социальной напряженности на отдельных опасных объектах, состояние зданий и сооружений, отсутствие систем аварийного контроля и предупреждения.

Таким образом, можно сделать следующие **выводы**.

1. Несмотря на общее повышение опасности возникновения техногенных катастроф с развитием промышленности и транспортной инфраструктуры, принимаемые в Республике Беларусь меры, направленные на повышение безопасности технологических процессов, прежде всего – вредных производств, позволили минимизировать предпосылки к возникновению чрезвычайных ситуаций.

2. В техническом плане наибольшая опасность возникновения аварий и инцидентов обуславливается эксплуатацией на опасных производственных объектах устаревшего и физически изношенного оборудования, в первую очередь, на химически опасных объектах и магистральных трубопроводах. Первоочередными задачами при этом являются реализация программ технического перевооружения и замены такого оборудования, а также оснащение химически опасных объектов комплексами раннего обнаружения для автоматизации действий дежурного персонала при ликвидации аварий с выбросом ядовитых веществ.

3. В организационном плане главными источниками угроз выступают низкая квалификация персонала, несоблюдение или игнорирование должностными лицами предприятий требований промышленной безопасности, недостаточный уровень производственно-технологической дисциплины.

4. По количеству происшествий и тяжести их последствий, в частности гибели и травмирования людей, наихудшая ситуация складывается при эксплуатации подъемных сооружений, главным образом стреловых и башенных кранов, однако данные происшествия по сути являются несчастными случаями и не носят масштабного характера.

5. Отсутствие в республике в последнее время масштабных чрезвычайных происше-

ствий на опасных производственных объектах не должно приводить к самоуспокоенности должностных лиц и надзорных органов. В этом плане особую актуальность приобретает соблюдение правил и требований безопасности, должного уровня производственно-технологической дисциплины при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской АЭС. Ситуация с безопасностью при строительстве и последующей эксплуатации атомной станции требует дополнительного изучения, особенно в плане выявления потенциальных угроз, в том числе с учетом «чернобыльского» опыта.

**RISKS AND CAUSES OF TECHNOGENIC CATASTROPHES,
ACCIDENTS AND INCIDENTS AT HAZARDOUS PRODUCTION OBJECTS
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Yakimov Sergey

State Secretariat of the Security Council of the Republic of Belarus, Belarus

The article gives an overview of the current state of the problem of ensuring technogenic safety at hazardous production facilities in the Republic of Belarus. A detailed analysis of statistical data shows that the risks of accidents and incidents at the current stage of production development are quite high. The characteristics of potential sources of threats are described, the main causes of accidents are analyzed, and measures aimed at improving the safety of technological processes and minimizing the prerequisites for emergencies are suggested.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

Асилбейли Рамиз Рамазан оглы

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25

Ахмедов Маширап Абдуганиевич, ведущий научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук

Институт сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан
100125, Узбекистан, Ташкент, Дурмон йули, 31
тел. +998 (71) 262-71-32

Бордак Сергей Сергеевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
старший преподаватель кафедры гражданской защиты
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел.: +375 (17) 340-35-59, bordak.usp@gmail.com

Ботян Сергей Сергеевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
преподаватель кафедры пожарной безопасности
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 341-75-11; e-mail: aseckis@mail.ru

Булва Александр Дмитриевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
доцент кафедры управления защиты от чрезвычайных ситуаций
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел.+375(17) 341-72-11; e-mail: bulva@list.ru

Булва Инесса Владимировна

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
слушатель факультета подготовки руководящих кадров
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел.+375 (17) 340-71-89; e-mail: inaumovich@list.ru

Волчек Ярослав Станиславович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
старший преподаватель кафедры автоматических систем безопасности
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 341-73-22; e-mail: asb@kii.gov.by

Голубева Светлана Александровна

Учреждение образования «Белорусская государственная академия авиации»,
преподаватель кафедры тактики и общевойенных дисциплин
220096, Минск, ул. Уборевича, 77
тел. +375 (17) 287-44-63; e-mail: saluto@tut.by

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, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. + 375 (17) 341-72-11; e-mail: 58eremin@mail.ru

Жук Дмитрий Викторович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
начальник кабинета специальных дисциплин
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: z.d.vic@yandex.ru

Журов Марк Михайлович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
научный сотрудник
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 341-32-99; e-mail: Zhurmark@mail.ru

Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
старший преподаватель кафедры пожарной безопасности
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 341-75-11; e-mail: a.ivanitski@gmail.com

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, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 345-41-35; e-mail: kan@ucsp.by

Кудряшов Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
начальник отдела научной и инновационной деятельности
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 341-32-99; e-mail: vadkud@gmail.com

Лихоманов Алексей Олегович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
слушатель факультета подготовки руководящих кадров
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (33) 689-08-67; e-mail: alexlikh20@gmail.com

Махмудов Эльтин Мусса оглы

Государственное учреждение образования «Академия Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Азербайджан», начальник факультета
AZ1089, Баку, пос. Говсаны, ул. Эльмана Гасымова

Морозов Артем Александрович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
преподаватель кафедры ликвидации чрезвычайных ситуаций
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
e-mail: morozow974@gmail.com

Пармон Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
начальник кафедры автоматических систем безопасности
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 340-35-59; e-mail: niipb@yahoo.ru

Пасовец Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
доцент кафедры промышленной безопасности
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел.+375 (17) 341-73-22; e-mail: pasovets_v@mail.ru

Пастухов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
начальник факультета руководящих кадров
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 340-35-59; e-mail: plamennyj98@gmail.com

Петрико Елена Александровна

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
преподаватель кафедры пожарной безопасности
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 341-75-11; e-mail: petriko_lena@mail.ru

Савчук Александра Геннадьевна

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», курсант
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25

Салямова Клара Джаббаровна, ведущий научный сотрудник, доктор технических наук

Институт сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан
100125, Узбекистан, Ташкент, Дурмон йули,31
тел. +998 (71) 262-71-32, e-mail: klara_51@mail.ru

Субботин Михаил Николаевич, кандидат военных наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
профессор кафедры гражданской защиты
220118, Беларусь, Минск, ул. Машиностроителей, 25

Хмарский Петр Александрович, кандидат технических наук

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»,
доцент кафедры авиационных радиоэлектронных систем
220057, Минск, пр-т Независимости, 220
тел. +375 (17) 287-44-43; e-mail: pierre2009@mail.ru

Якимов Сергей Петрович

Государственный секретариат Совета Безопасности Республики Беларусь
220016, Минск, ул. Карла Маркса, 38

**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, подготовленная 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, рабочий 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, отмечаются 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.

**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 непромышленной сферы» с присвоением квалификации «Специалист по охране труда». Срок обучения 19 месяцев. Форма обучения заочная (четыре сессии).

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

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, № 2, 2017

Технический редактор М.В. Лапина

Подписано в печать 02.05.2017.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 13,37. Уч.-изд. л. 12,22.
Тираж 110 экз. Заказ 072-2017.

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.