



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал
Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси
(Journal of Civil Protection)
Том 6, № 1, 2022

Редакционная коллегия:

главный редактор:

**Полевода
Иван Иванович**

кандидат технических наук,
доцент

зам. главного редактора:

**Гончаренко
Игорь Андреевич**

доктор физико-математических наук,
профессор

**Платонов
Александр Сергеевич**

кандидат физико-математических
наук, доцент

Редакционный совет:

Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор – председатель; Богданова Валентина Владимировна, доктор химических наук, профессор – зам. председателя; Акулов Артем Юрьевич, кандидат технических наук (Россия); Байков Валентин Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Барановский Николай Викторович, кандидат физико-математических наук (Россия); Бирюк Виктор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент; Волочко Александр Тихонович, доктор технических наук, профессор; Волянин Ежи, доктор технических наук, профессор (Польша); Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Каван Степан, доктор технических наук (Чехия); Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, доцент (Россия); Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Карпиленя Николай Васильевич, доктор военных наук, профессор; Ковтун Вадим Анатольевич, доктор технических наук, профессор; Кремень Маркс Аронович, доктор психологических наук, профессор; Кудряшов Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент; Кузьмицкий Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, доцент; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лебедин Александр Владимирович, доктор военных наук, профессор; Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Украина); Соколов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор (Россия); Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Тур Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор; Фурманов Игорь Александрович, доктор психологических наук, профессор; Чень Цзяньго, доктор технических наук, профессор (Китай); Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич, доктор технических наук (Казахстан).

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

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

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

Журнал включен в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по психологическим, техническим (по научным направлениям – безопасность в чрезвычайных ситуациях; пожарная и промышленная безопасность; гражданская оборона) и военным (по научному направлению – гражданская оборона) наукам.

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

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

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

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

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

Сайт Университета гражданской защиты: www.ucsp.by

Email редакции: vestnik@ucsp.by

ISSN 2519-237X (print)

ISSN 2708-017X (online)

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

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

- Ботян С.С., Кудряшов В.А.** Оценка эффективных теплофизических характеристик строительных материалов в условиях воздействия стандартного режима пожара для решения задач огнестойкости 5
- Кудряшов В.А., Кураченко И.Ю.** Моделирование прогрева железобетонного монолитного перекрытия при огневых испытаниях в составе экспериментального фрагмента каркасного здания 17
- Полевода И.И.** Определение пределов огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона с применением компьютерного моделирования в ANSYS 42
- Жамойдик С.М., Шкараденко К.В., Лященко С.Ф.** Табличные данные для оценки огнестойкости изгибаемых стальных балок без огнезащиты 58
- Навроцкий О.Д., Михалев Р.Н., Грачулин А.В., Рябцев В.Н., Красавин В.Е.** Гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов 74
- Чан Д.Х., Камлюк А.Н., Лихоманов А.О., Грачулин А.В., Платонов А.С., Титовец А.Ф.** Оценка диаметра пузырьков и скорости потока пенообразующей смеси для их образования на сетке пеногенерирующих устройств 84

Гражданская оборона

- Хроколов В.А., Еремин А.П.** Определение аварийно-спасательных и других неотложных работ, выполняемых пожарной аварийно-спасательной службой гражданской обороны 95
- Булва А.В.** Законы вооруженной борьбы как научно-теоретическая основа комплексной защиты организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени 103
- Разное (обзоры)
- Полевода И.И., Иваницкий А.Г., Миканович А.С., Пастухов С.М., Грачулин А.В., Рябцев В.Н., Навроцкий О.Д., Лихоманов А.О., Винярский Г.В., Гусаров И.С.** Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе 119
- Чумила Е.А., Булыга Д.М., Маркач И.И., Гурин А.А., Войтехович Д.Р., Медведева Д.В.** К вопросу о психологической готовности спасателей к риску в условиях профессиональной деятельности 143
- Правила предоставления статей 151

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

- Batyan S.S., Kudryashov V.A.** Evaluation of the effective thermal properties of building materials under the influence of a standard fire mode for solving fire resistance tasks 5
- Kudryashov V.A., Kurachenko I.Yu.** Modeling of the reinforced cast-in-place concrete slab heating at fire test as a part of the experimental frame building unit 17
- Palevoda I.I.** Determination of fire resistance limits for modern reinforced concrete building structures using computer simulation in ANSYS 42
- Zhamoydik S.M., Shkaradenok K.V., Lyashchenko S.F.** Tabular data for estimating the fire resistance of bendable steel beams without fire protection..... 58
- Navrotsky O.D., Mikhailov R.N., Grachulin A.V., Ryabtsev V.N., Krasavin V.E.** Hydraulic resistance of pressure fire hoses 74
- Tran D.H., Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V., Platonov A.S., Titovets A.F.** Evaluation of the bubbles diameter and the blowing speed of the air-mechanical foam forming bubbles on the screen of the foam generators..... 84

Civil defense

- Khrokolov V.A., Eremin A.P.** Determining the types of rescue and other urgent work performed by the fire rescue service of civil defense 95
- Bulva A.D.** Laws of armed combat as a scientific and theoretical basis for comprehensive protection of organizations to be transferred to work in wartime conditions.... 103

Miscellaneous (reviews)

- Palevoda I.I., Ivanitskiy A.G., Mikanovich A.S., Pastukhov S.M., Grachulin A.V., Ryabtsev V.N., Navrotskiy O.D., Likhomanov A.O., Vinyarskiy G.V., Gusarov I.S.** Virtual and augmented reality technologies in the educational process 119
- Chumila Y.A., Bulyga D.M., Markach I.I., Gurin A.A., Voytekhovich D.R., Medvedeva D.V.** About the psychological readiness of rescuers to risk in the conditions of professional activity..... 143
- Rules of submitting articles for publication..... 151

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.5>

УДК [536.2+536.63]:691::614.841.332

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТАНДАРТНОГО РЕЖИМА ПОЖАРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОГНЕСТОЙКОСТИ

Ботян С.С., Кудряшов В.А.

Цель. На основе экспериментальных данных, полученных в камерной электропечи, и численного моделирования в системе конечно-элементного анализа определить зависимости эффективных теплофизических характеристик строительных материалов от температуры в условиях воздействия стандартного температурного режима пожара для решения задач огнестойкости.

Методы. Экспериментальные исследования, метод конечно-элементного анализа, метод параметрической оптимизации.

Результаты. Проведен анализ ранее выполненных экспериментальных исследований в камерной электропечи образцов цементных плит, армированных стеклосеткой (плотностью 1100 кг/м³) и минераловатных плит (плотностью 37 и 160 кг/м³) при стационарном и нестационарном условиях нагрева. Разработаны расчетные конечно-элементные модели нагрева образцов в системе конечно-элементного анализа. С применением метода параметрической оптимизации определены зависимости эффективного коэффициента теплопроводности и эффективной объемной теплоемкости цементных плит, армированных стеклосеткой (плотностью 1100 кг/м³) и минераловатных плит (плотностью 37 и 160 кг/м³) от температуры для решения задач огнестойкости.

Область применения исследований. Полученные зависимости эффективных теплофизических характеристик могут быть использованы при оценке огнестойкости строительных конструкций, а также при разработке огнестойких решений конструктивных элементов зданий.

Ключевые слова: огнестойкость, экспериментальные исследования, коэффициент теплопроводности, коэффициент объемной теплоемкости, метод конечно-элементного анализа, параметрическая оптимизация.

(Поступила в редакцию 5 января 2022 г.)

Введение

Развитие теории огнестойкости продиктовано постоянной необходимостью разработки новых, совершенствования существующих расчетных и экспериментальных методов оценки огнестойкости строительных конструкций [1–3]. В связи с тем что огнестойкость строительных конструкций определяется прежде всего их нагревом, установление теплофизических характеристик (далее – ТФХ) строительных материалов, входящих в уравнения аналитической теории теплопроводности, является актуальной задачей.

Современные строительные конструкции зданий предполагают широкое применение облегченных отделочных, теплоизолирующих и огнезащитных материалов (пористых, минераловатных, вспучивающихся, дегидратирующих и пр.), в которых при воздействии на них повышенных температур в условиях пожара протекают необратимые физико-химические процессы, что, в свою очередь, приводит к нелинейному изменению их ТФХ. Данный факт обуславливает необходимость разработки точных методов оценки ТФХ строительных материалов в условиях высокотемпературного воздействия стандартного температурного режима пожара для решения задач огнестойкости.

Состояние проблемы на современном этапе. В соответствии с дифференциальным уравнением теплопроводности к ТФХ относят коэффициент теплопроводности, теплоемкость (удельная или объемная) либо коэффициент температуропроводности в зависимости от формулировки тепловой задачи. Значения ТФХ материалов обусловлены прежде всего

их микро- и макроструктурой, а при повышенных температурах их изменение – в том числе сопровождающимися химическими и физическими процессами, которые, в свою очередь, зависят от условий экспериментов (диапазон температур, скорость нагрева и пр.). Ввиду того что классическое дифференциальное уравнение теплопроводности в полной мере не учитывает кинетику указанных процессов для разлагающихся при высоких температурах материалов (дегидратирующих, вспучивающихся, пористых и пр.), их учитывают в ТФХ, при этом полученные в таких условиях ТФХ называют эффективными.

ТФХ определяют преимущественно экспериментальными способами [4]. Условно все экспериментальные способы оценки ТФХ можно разделить на 2 группы: абсолютные (с непосредственным измерением температуры либо теплового потока исследуемого материала) и относительные (измерения проводятся относительно эталонного образца). Так как все способы по сути отражают решение дифференциального уравнения теплообмена относительно ТФХ при известных, в том числе измеряемых граничных условиях (так называемая коэффициентная обратная задача теплопроводности [5; 6]), то при выборе конкретного способа ориентируются прежде всего на условия нагрева (стационарный, нестационарный режим), размерность теплового потока (одномерный, двух-, трехмерный в декартовой, цилиндрической, сферической системе координат), а также форму, размеры, гомогенность образцов, иные особенности и возможности испытательных установок (например, диапазон требуемых температур).

Ввиду того что многие строительные материалы не являются огнеупорными, их нагрев до высоких температур, как правило, сопровождается многообразием химических и физических процессов, существующие установки не всегда способны корректно оценить ТФХ в условиях повышенных температур, в том числе с учетом динамики стандартного температурного режима пожара¹, а иногда и переменных граничных условий теплообмена. Для таких случаев наиболее приемлемыми становятся способы оценки ТФХ, основанные на решении коэффициентных обратных задач теплопроводности, с использованием имеющихся высокотемпературных установок – электрических и огневых печей.

Особенностью обратных задач теплообмена является то, что они относятся к классу так называемых некорректно поставленных задач [6; 7]. Некорректность в данном случае объясняется вариативностью их постановки, а также неоднозначностью и неустойчивостью их решения. Для решения некорректно поставленных обратных задач разработаны многочисленные методы и алгоритмы, наиболее распространенными из которых являются метод регуляризации (итерационной или вариационной) и функциональной аппроксимации с использованием численных способов решения [6–8].

Указанный способ был успешно реализован в 80–90 гг. XX в. для наиболее простых распространенных строительных материалов [5]: бетонов, арматурной стали, некоторых видов огнезащитных материалов для стальных конструкций. Однако искомые теплофизические характеристики представлены в виде линейных зависимостей значений эффективного коэффициента теплопроводности и эффективной удельной теплоемкости от температуры и плотности в виде константы. Указанные зависимости не учитывают в полной мере процессы, происходящие при высокотемпературном нагреве, а для тонкостенных материалов, а также материалов с существенно отличными рецептурой и способом изготовления могут привести к значительным неопределенностям при оценке огнестойкости.

В настоящей статье представлены результаты научных исследований, в которых получены зависимости значений эффективных ТФХ от температуры для материалов, составляющих строительные перегородки: цементных плит, армированных стеклотекстурой (плотностью 1100 кг/м³) и минераловатных плит (плотностью 37 и 160 кг/м³). Зависимо-

¹ ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.normy.by/doc2.php?type=-1&id=365>. – Дата доступа: 15.12.2021.

сти получены с использованием экспериментально-расчетного метода, камерной электропечи и численного моделирования в системе конечно-элементного анализа для решения обратной задачи теплообмена.

Основная часть

В ходе экспериментальных исследований для нагрева строительных материалов [9] использовали лабораторную муфельную электропечь ЭКПС-10/1300, которая позволяет создавать тепловой режим в диапазоне температур от 20 до 1300 °С. Описание образцов, методика выполнения экспериментальных исследований, схема расположения термоэлектрических преобразователей подробно изложены в работе [9].

Для исключения вариативности решения обратной задачи теплообмена исследования были разделены на два этапа. На первом этапе проводили нагрев образцов для дискретных значений температур в стационарных условиях. Таким образом, в задаче теплообмена была исключена объемная теплоемкость, т.к. изменение температуры во времени в указанных условиях стремилось к нулю, а единственной неизвестной величиной остался эффективный коэффициент теплопроводности. С целью минимизации затрат в стационарных условиях проводили экспериментальные исследования для 4 дискретных шагов: 275, 550, 770 и 1150 °С (принимая значения при нормальных условиях известными). Результаты экспериментальных исследований по нагреву образцов в условиях стационарного теплового режима приведены в таблице 1.

На втором этапе проводили нагрев образцов по нестационарной зависимости температуры стандартного режима пожара от времени. При этом в задаче теплообмена значения эффективного коэффициента теплопроводности принимали известной величиной, а обратную задачу решали вновь для единственной неизвестной величины – эффективной объемной теплоемкости. Так как оценить изменение плотности (снижение массы и объема образцов) во время проведения эксперимента является достаточно сложной задачей, а оценка по результатам измерений до и после термического воздействия приводит к определенным неточностям и искажениям, в экспериментальных исследованиях при нестационарных условиях нагрева определяли именно объемную, а не удельную теплоемкость. Результаты экспериментальных исследований по нагреву образцов в условиях стационарного теплового режима приведены на рисунке 1.

Таблица 1. – Результаты экспериментальных исследований по нагреву образцов в условиях стационарного теплового режима

Температура в печи в условиях стационарного теплового режима, °С	Температура на необогреваемой поверхности образца, °С		
	цементная плита плотностью 1100 кг/м ³ и толщиной 12,5 мм	минераловатная плита плотностью 160 кг/м ³ и толщиной 25 мм	минераловатная плита плотностью 37 кг/м ³ и толщиной 25 мм
275 ± 7	234 ± 13	212 ± 11	219 ± 13
550 ± 6	503 ± 19	468 ± 13	481 ± 13
770 ± 8	699 ± 20	682 ± 15	701 ± 14
1150 ± 11	1105 ± 21	1150 ± 20	1150 ± 15

Примечание. Указан доверительный интервал в °С для прямых измерений температуры².

Исходя из представленных в таблице данных минераловатные плиты плотностью 37 кг/м³ прогреваются интенсивнее в сравнении с минераловатными плитами плотностью 160 кг/м³. Данный факт обусловлен различной кажущейся плотностью плит, расстоянием между составными волокнами ваты и содержанием воздуха в них, что в итоге ведет к более интенсивному нагреву.

² ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов измерений. – Введ. 01.01.77. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 7 с.

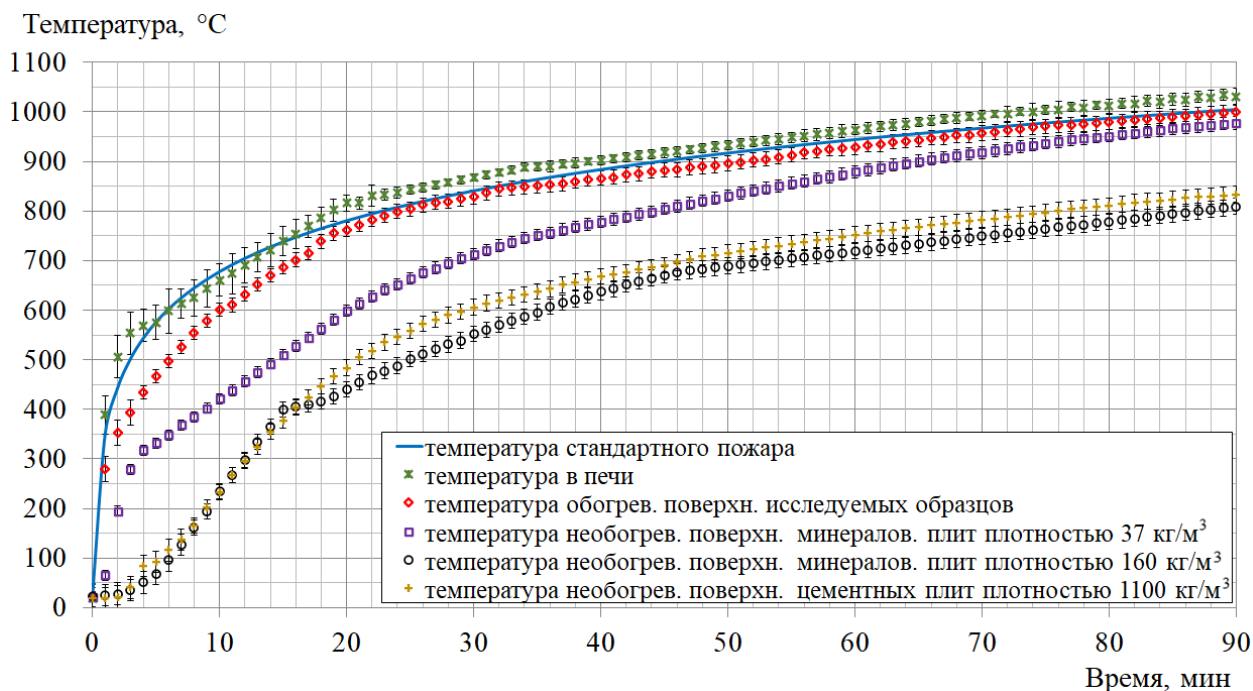


Рисунок 1. – Зависимости температуры от времени для исследуемых образцов при проведении экспериментальных исследований в нестационарных условиях нагрева

Из графика (рис. 1) следует, что динамика температуры в камерной печи соответствовала температурной зависимости стандартного пожара от времени. Зависимости температуры со стороны необогреваемой поверхности образцов характеризуются точками излома в области 300 °C для минераловатных плит плотностью 37 кг/м³ и 400 °C – для плит плотностью 160 кг/м³, что объясняется физико-химическими превращениями (выгоранием органических связующих). Отличия в зависимостях для минераловатных плит обусловлены прежде всего их плотностью, что приводит на 90-й мин к разнице в температуре на необогреваемой поверхности, равной 160 °C. Для образцов цементных плит изменение скорости роста температуры в области 100 °C свидетельствует об испарении структурно-связанной воды в материале. Дальнейшее изменение температуры цементных плит свидетельствует об отсутствии значимых превращений при повышении температуры.

Полученные экспериментальные данные по нагреву материалов в стационарных и нестационарных условиях нагрева использовались при определении эффективных ТФХ.

Для определения зависимостей эффективного коэффициента теплопроводности и эффективной объемной теплоемкости от температуры разработаны компьютерные расчетные конечно-элементные модели в программной системе ANSYS/Thermal^{3,4}, с применением метода параметрической оптимизации⁵, относительно искомых эффективных ТФХ. Описание расчетной конечно-элементной модели с указанием начальных и граничных условий, допущений подробно описаны в работе [8].

Программная система ANSYS основана на методе конечно-элементного анализа, позволяющем получить приближенное численное решение дифференциальных уравнений. 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 решения дифференциального уравнения теплопроводности методом конечных элементов используется следующий алгоритм:

³ ANSYS Mechanical APDL Theory Reference: User's Guide. – Release 2020 R1. – January 2020. – 988 p.

⁴ Thermal Analysis Guide: User's Guide. – Release 2020 R1. – January 2020. – 98 p.

⁵ ANSYS ACT Customization Guide for DesignXplorer: User's Guide. – Release 2020 R1. – January 2020. – 28 p.

1. Дискретизация рассматриваемой области (замена непрерывной среды (области) совокупностью конечных элементов заданной формы, которые соединены в узлах). Значение температуры в точках считается неизвестным и подлежит определению.

2. Аппроксимация искомой величины температуры в каждом элементе полиномом, который определяется с помощью узловых значений температуры. Для каждого конечного элемента определяется свой полином, с сохранением непрерывного температурного поля вдоль границ элемента, с последующим формированием множества кусочно-непрерывных функций формы расчетной области.

3. Построение матриц теплопроводности, теплоемкости, градиентов температур элементов и векторов узловых тепловых потоков.

4. Решение систем уравнений для конечно-элементной модели, с учетом заданных граничных условий, с последующим анализом и определением неизвестных температур.

Параметрическая оптимизация ТФХ. Суть метода параметрической оптимизации заключается в проведении серии расчетов дифференциального уравнения теплопроводности с переменным значением искомого теплофизического параметра с последующим анализом и поиском значения, удовлетворяющего заданному отклонению от известной экспериментальной температуры.

В качестве переменных состояний в модели параметризации использованы результаты экспериментальных исследований – значения температуры (в контрольных точках) исследуемого образца в заданный момент времени. Ввиду того что точные значения целевой функции методом параметрической оптимизации определить невозможно, для переменных состояния задается шаг точек по времени (в зависимости от нелинейности экспериментальных данных) и величина отклика модели, т.е. допустимые границы отклонений от расчетных значений. При параметрической оптимизации выполняется поиск искомого теплофизического параметра (для стационарного теплообмена – коэффициент теплопроводности, для нестационарного – объемная теплоемкость) из массива расчетных данных, при котором выполняется условие заданной точности поверхности отклика для расчетной и экспериментальной температуры:

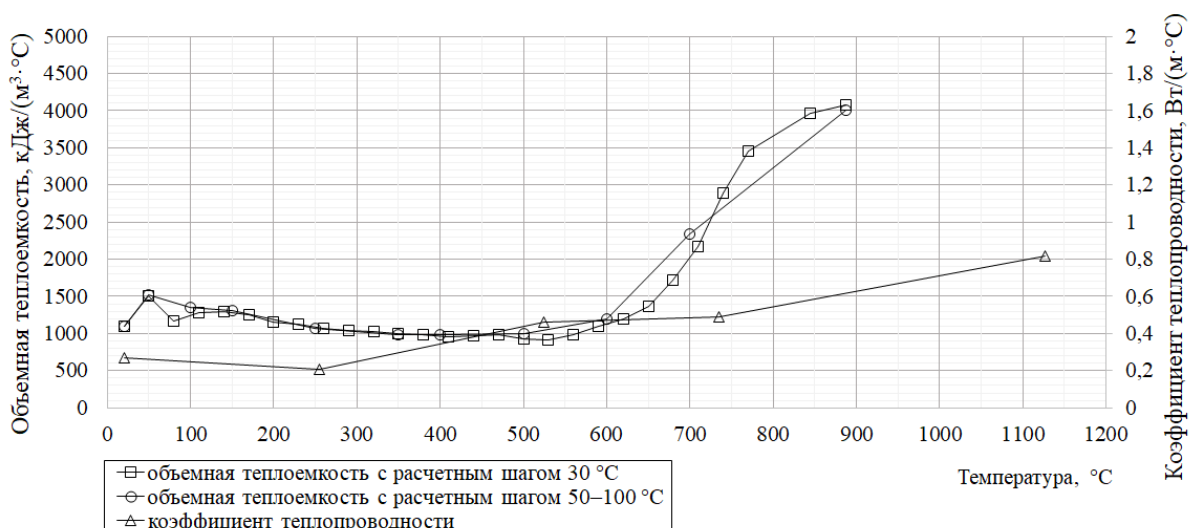
$$f_1(\tau) - f_2(\tau) \leq \varepsilon, \quad (1)$$

где f_1 и f_2 – функции изменения температуры на необогреваемой поверхности исследуемого образца, полученные в результате выполнения расчета и в ходе выполнения экспериментальных исследований;

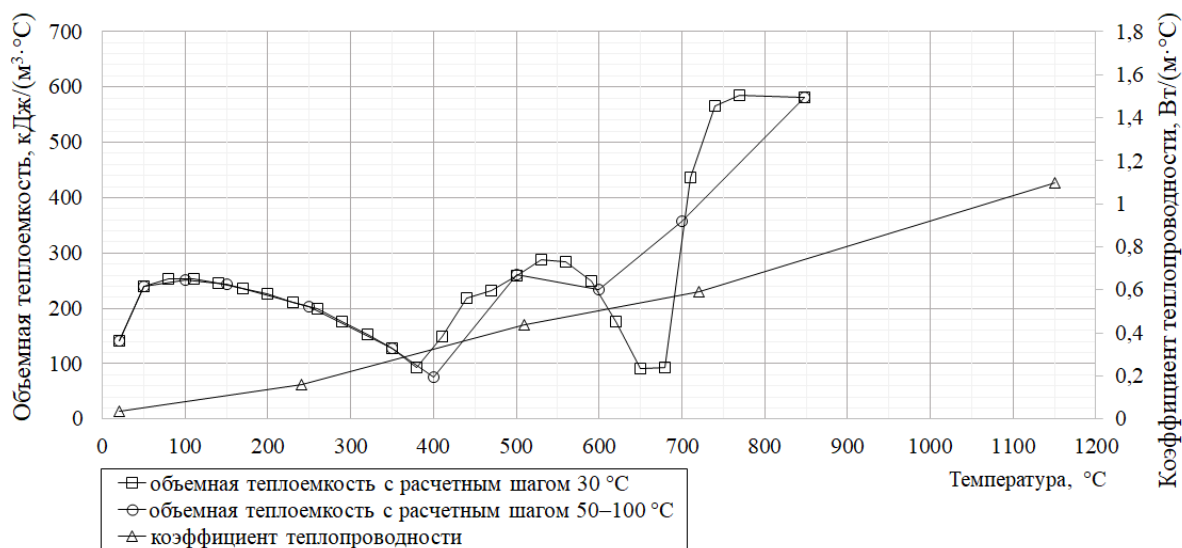
ε – значение допустимых отклонений поверхности отклика (принимали не более 3 % от расчетной температуры в заданный момент времени).

В результате применения метода параметрической оптимизации определены зависимости эффективных ТФХ от температуры цементной плиты плотностью 1100 кг/м³ и минераловатных плит плотностью 37 и 160 кг/м³ (рис. 2).

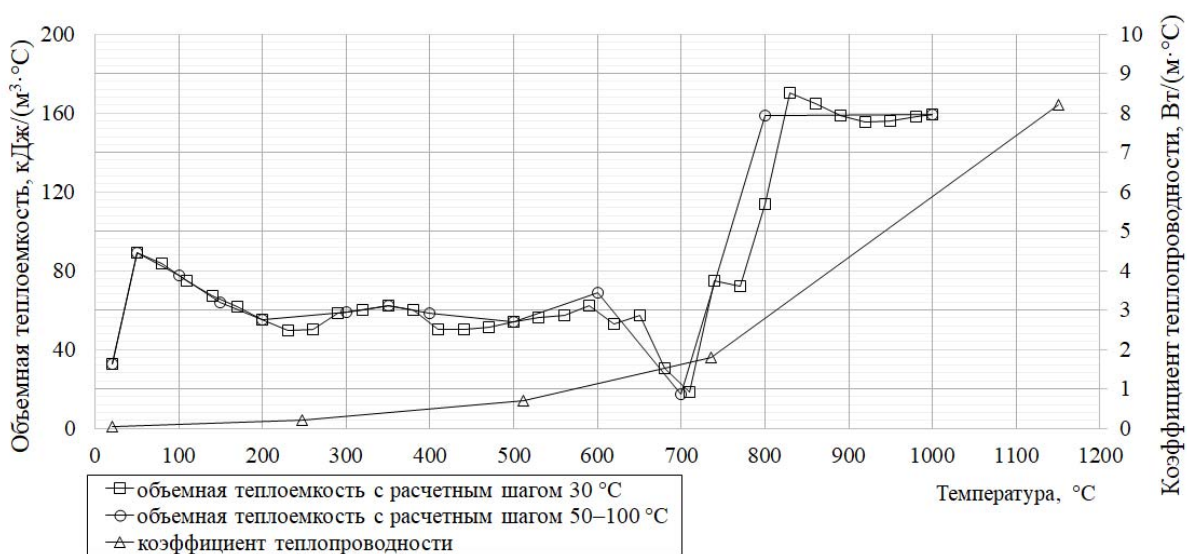
Как следует из графиков, динамика роста эффективного коэффициента теплопроводности для образца цементной плиты (рис. 2а) характеризуется участком снижения до 250 °С с последующим практически линейным ростом значения. Изменение теплопроводности для минераловатных плит плотностью 160 кг/м³ (рис. 2б) имеет практически линейный характер, для минераловатных плит плотностью 37 кг/м³ (рис. 2в) – близкий к экспоненциальному рост.



а – образец цементной плиты плотностью 1100 кг/м³ и толщиной 12,5 мм



б – образец минераловатной плиты плотностью 160 кг/м³ и толщиной 25 мм



в – образец минераловатной плиты плотностью 37 кг/м³ и толщиной 25 мм

Рисунок 2. – Зависимости эффективных ТФХ от температуры для исследуемых образцов

Разница в изменении эффективного коэффициента теплопроводности для минераловатных плит плотностью 160 кг/м^3 (от 0,037 до $1,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$) и минераловатных плит плотностью 37 кг/м^3 (от 0,036 до $8,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$) для принятого диапазона температур обусловлена кажущейся плотностью материала, расстоянием между составными волокнами ваты и содержанием воздуха. При воздействии повышенных температур в плитах с меньшей плотностью передача теплоты осуществляется преимущественно излучением, в то время как в более плотных минераловатных плитах этот эффект менее выражен, что в итоге влияет на величину эффективного коэффициента теплопроводности.

Для зависимостей эффективной объемной теплоемкости характерны скачкообразные изменения, что свидетельствует о физико-химических превращениях в материалах, некоторые видны на перегибах кривых нагрева материалов (рис. 1), а также дифференциально-термического анализа [10]. Для уточнения тепловых пиков в модели параметрической оптимизации эффективную объемную теплоемкость определяли для целевых функций с постоянным шагом величиной в 30 °C и переменным – от 50 до 100 °C в зависимости от тепловых пиков. Из графиков следует, что при уменьшении расчетного шага увеличивается количество пиков, но в целом графики характеризуются схожей интегральной кривой.

На рисунке 3 представлены результаты сравнения экспериментальных и расчетных температур цементных и минераловатных плит с учетом полученных эффективных ТФХ (с постоянным шагом величиной в 30 °C).

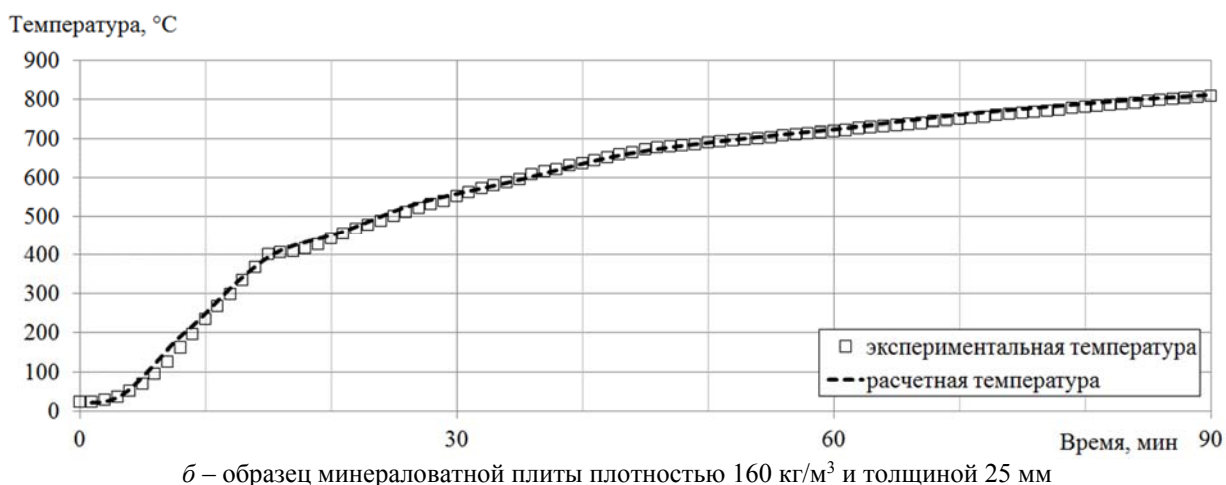
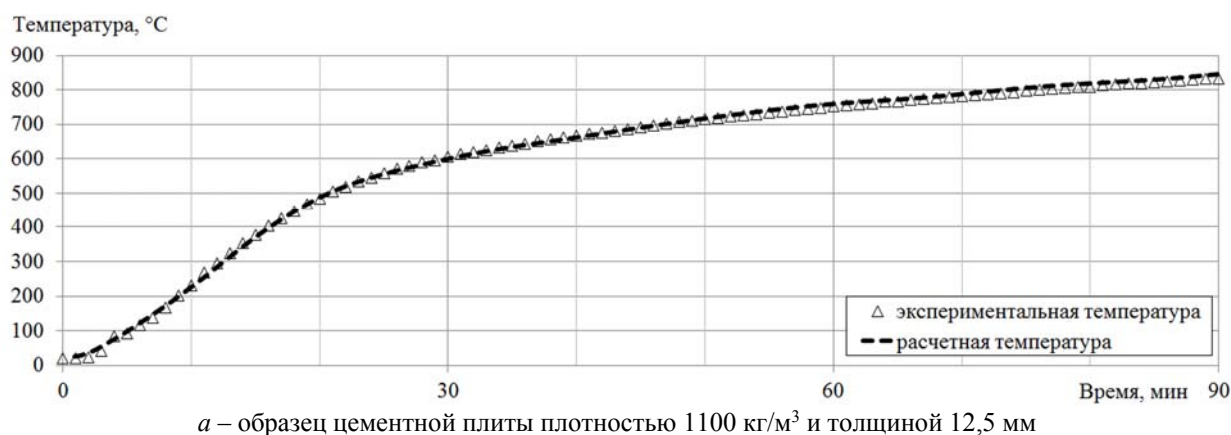
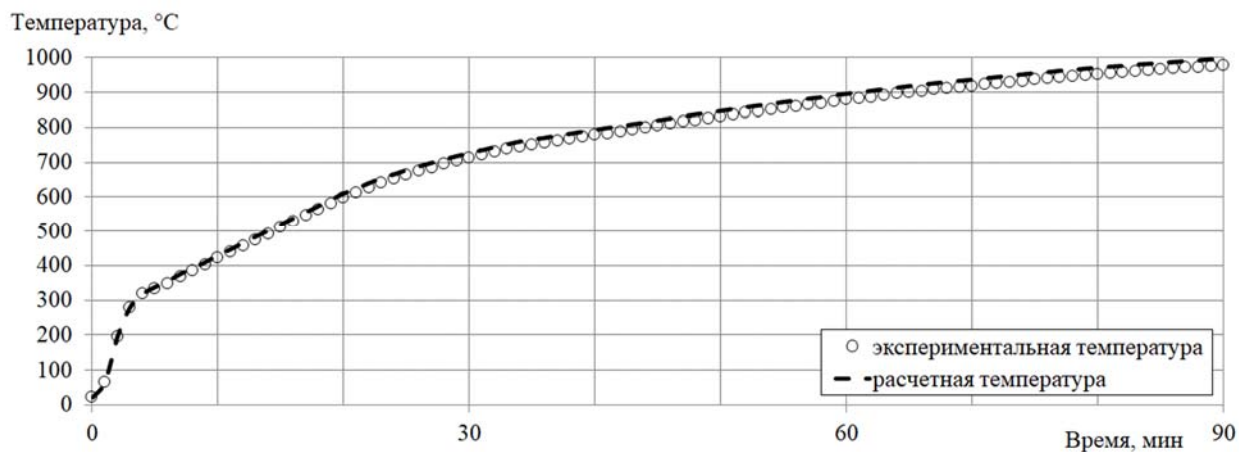


Рисунок 3. – Зависимости экспериментальной и расчетной температуры на необогреваемой стороне исследуемых образцов



в – образец минераловатной плиты плотностью 37 кг/м³ и толщиной 25 мм

Рисунок 3. – Зависимости экспериментальной и расчетной температуры на необогреваемой стороне исследуемых образцов

Как видно из графиков (рис. 3), зависимости экспериментальных и расчетных температур для образцов цементных и минераловатных плит, полученные с использованием эффективных ТФХ, удовлетворительно согласуются между собой.

Заключение

В ходе проведенного анализа экспериментальных способов оценки ТФХ установлено, что ТФХ материалов, используемые для оценки огнестойкости строительных конструкций, должны определяться при аналогичных повышенных температурах, в условиях высокотемпературного воздействия стандартного температурного режима пожара.

Проведен анализ ранее выполненных экспериментальных исследований в камерной электропечи при стационарном и нестационарном условиях нагрева образцов цементных плит, армированных стеклосеткой (плотностью 1100 кг/м³) и минераловатных плит (плотностью 37 и 160 кг/м³), с оценкой изменения температуры в контрольных точках на обогреваемой и необогреваемой поверхностях исследуемых образцов.

Разработаны расчетные конечно-элементные модели нагрева образцов в системе конечно-элементного анализа и с применением метода параметрической оптимизации и экспериментальных данных, полученных в камерной электропечи, определены зависимости эффективного коэффициента теплопроводности и эффективной объемной теплоемкости от температуры образцов цементных плит, армированных стеклосеткой (плотностью 1100 кг/м³) и минераловатных плит (плотностью 37 и 160 кг/м³) для решения задач огнестойкости. Определенные указанным способом эффективные ТФХ позволяют более точно оценить температурные поля в заданном диапазоне температур при оценке огнестойкости строительных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еналеев, Р.Ш. Инженерные методы прогнозирования огнестойкости / Р.Ш. Еналеев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 21. – С. 38–41.
2. Мкртычев, О.В. Современные подходы к определению предела огнестойкости зданий и сооружений / О.В. Мкртычев, Д.С. Сидоров // Вестник НИЦ «Строительство». – 2011. – № 3-4. – С. 96–111.
3. Крутских, А.В. Решение задачи огнестойкости строительных конструкций с применением средств автоматизированного проектирования / А.В. Крутских [и др.] // Инновации и моделирование в строительном материаловедении: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. – Тверь: Тверской гос. техн. ун-т, 2019. – С. 55–59.
4. Ботян, С.С. Теплопроводность цементных армированных плит при нестационарном тепловом режиме на основе данных экспериментальных исследований и численного моделирования /

- С.С. Ботян, В.А. Кудряшов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 139–152. DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.139.
5. Яковлев, А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А.И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
 6. Алифанов, О.М. Обратные задачи теплообмена / О.М. Алифанов. – М.: Машиностроение, 1988. – 280 с.
 7. Бек, Д. Некорректные обратные задачи теплопроводности: пер. с англ. / Д. Бек, Б. Блакуэлл, Ч. Сент-Клэр. – М.: Мир, 1989. – 312 с.
 8. Коздоба, Л.А. Методы решения обратных задач теплопереноса / Л.А. Коздоба, П.Г. Круковский. – Киев: Наукова думка, 1982. – 358 с.
 9. Ботян, С.С. Экспериментально-расчетная методика оценки теплофизических характеристик строительных материалов с использованием камерной электропечи для решения задач огнестойкости / С.С. Ботян [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 5–19. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.5.
 10. Кудряшов, В.А. Теплофизические характеристики цементных армированных плит для решения задач нестационарного высокотемпературного нагрева / В.А. Кудряшов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 327–334. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.327.

**Оценка эффективных теплофизических характеристик строительных материалов
в условиях воздействия стандартного режима пожара для решения
задач огнестойкости**

**Evaluation of the effective thermal properties of building materials under the influence
of a standard fire mode for solving fire resistance tasks**

Ботян Сергей Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты МЧС
Беларуси», кафедра пожарной безопасности,
начальник кафедры

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

Email: aseckis@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8593-4413

Sergey S. Batyan

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

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

Email: aseckis@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8593-4413

Кудряшов Вадим Александрович

кандидат технических наук, доцент

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

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

Email: vadkud@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4889-1060

Vadim A. Kudryashov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Department of Scientific and Innovation Activity,
Head of Department

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

Email: vadkud@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4889-1060

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.5>

EVALUATION OF THE EFFECTIVE THERMAL PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS UNDER THE INFLUENCE OF A STANDARD FIRE MODE FOR SOLVING FIRE RESISTANCE TASKS

Batyan S.S., Kudryashov V.A.

Purpose. On the basis of experimental data obtained in a chamber electric furnace and numerical modeling in the system of finite element analysis, to determine the dependence of thermal properties on the temperature of building materials under the influence of a standard fire mode to solve fire resistance tasks.

Methods. Experimental studies, finite element analysis method, parametric optimization method.

Findings. An analysis was made of earlier experimental studies in a chamber electric furnace of samples of cement boards reinforced with fiberglass (density 1100 kg/m³) and mineral wool boards (density 37 and 160 kg/m³) under stationary and non-stationary heating conditions. Calculated finite element models of heating samples in the system of finite element analysis have been developed. Using the parametric optimization method, the dependences of the effective thermal conductivity coefficient and the effective volumetric heat capacity of cement boards reinforced with glass mesh (density 1100 kg/m³) and mineral wool boards (density 37 and 160 kg/m³) on temperature were determined to solve fire resistance problems.

Application field of research. The obtained dependences of effective thermophysical characteristics can be used in assessing the fire resistance of building structures, as well as in developing fire-resistant solutions for structural elements of buildings.

Keywords: fire resistance; experimental studies; coefficient of thermal conductivity; volumetric heat capacity coefficient; finite element analysis method; parametric optimization.

(The date of submitting: January 5, 2022)

REFERENCES

1. Enaleev R.Sh., Tuchkova O.A., Gasilov V.S., Ananikov S.V. Inzhenernye metody prognozirovaniya ognestoykosti [Engineering methods for predicting fire resistance]. *Bulletin of the technological university*. 2012. Vol. 15, No. 21. Pp. 38–41. (rus)
2. Mkrychev O.V., Sidorov D.S. Sovremennye podkhody k opredeleniyu predela ognestoykosti zdaniy i sooruzheniy [Modern approaches to determining the fire resistance of buildings and structures]. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2011. No. 3-4. Pp. 96–111. (rus)
3. Krutskikh A.V., Brovkin A.V., Sokolov S.A., Cheremnykh S.V. Reshenie zadachi ognestoykosti stroitel'nykh konstruktsiy s primeneniem sredstv avtomatizirovannogo proektirovaniya [Solution of the problem of fire resistance of building structures using computer-aided design tools]. *Proc. IV Intern. scientific and technical conf. «Innovations and modeling in building materials science»*. Tver: Tver state technical university, 2019. Pp. 55–59. (rus)
4. Kudryashov V.A., Batyan S.S. Teploprovodnost' tsementnykh armirovannykh plit pri nestatsionarnom teplovom rezhime na osnove dannykh eksperimental'nykh issledovaniy i chislennogo modelirovaniya [Cement boards thermal conductivity based on experimental research and numerical simulation data in relation to nonstationary heat flows]. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 2. Pp. 139–152. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.139.
5. Jakovlev A.I. *Raschet ognestoykosti stroitel'nykh konstruktsiy* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow: Stroiizdat, 1988. 143 p. (rus)
6. Alifanov O.M. *Obratnye zadachi teploobmena* [Inverse problems of heat transfer]. Moscow: Mashinostroenie, 1988. 280 p. (rus)
7. Beck D., Blackwell B., St. Clair C. *Nekorrektnye obratnye zadachi teploprovodnosti*: transl. from English [Ill-posed inverse problems of heat conduction: trans. from English]. Moscow: Mir, 1989. 312 p. (rus)
8. Kozdoba L.A., Krukovskiy P.G. *Metody resheniya obratnykh zadach teploperenosa* [Methods for solving inverse problems of heat transfer]. Kiev: Naukova Dumka, 1982. 358 p. (rus)
9. Batyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Nguyen T.K. Eksperimental'no-raschetnaya metodika otsenki teplofizicheskikh kharakteristik stroitel'nykh materialov s ispol'zovaniem kamernoy elektropechi dlya resheniya zadach ognestoykosti [Experimental-computing technique of evaluating

thermophysical properties of building materials with a muffle electric furnace for solving fire resistance problems]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 1, No. 4. Pp. 5–19. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.5.

10. Batyan S.S. Teplofizicheskie kharakteristiki tsementnykh armirovannykh plit dlya resheniya zadach nestatsionarnogo vysokotemperaturnogo nagreva [Cement boards thermophysical characteristics for solving the tasks to nonstationary high-temperature heating]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 3. Pp. 327–334. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.327.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.17>

УДК 614.841.332:624.012.45

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРЕВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО МОНОЛИТНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ ПРИ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЯХ В СОСТАВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ФРАГМЕНТА КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ

Кудряшов В.А., Кураченко И.Ю.

Цель. На основе результатов ранее проведенных натуральных огневых испытаний экспериментального фрагмента каркасного здания, включающего железобетонное монолитное перекрытие и сборные центрифугированные колонны, разработать расчетную модель и оценить прогрев железобетонного перекрытия.

Методы. Численное конечно-элементное моделирование железобетонного монолитного перекрытия с использованием системы конечно-элементного анализа Ansys Workbench. Метод аналогии. Графоаналитический метод. Оценка распределения температурных полей по сечению исследуемой конструкции. Сопоставление полученных результатов прогрева с имеющимися экспериментальными данными.

Результаты. Представлен анализ повреждений железобетонного монолитного перекрытия, полученных в ходе натуральных огневых испытаний. Установлено, что со стороны обогреваемой поверхности наибольшие повреждения получили преимущественно поверхностные слои сжатого бетона в местах действия максимальных напряжений сжатия, в растянутой зоне повреждения были незначительными. Разработана расчетная модель прогрева железобетонного перекрытия, позволившая установить, что хрупкое разрушение бетона существенно повлияло на прогрев арматуры. Средняя температура нагрева рабочей продольной арматуры диаметром 10 мм с защитным слоем 20 мм при температурном режиме, зафиксированном в центральной части фрагмента перекрытия, составила 402 °С, на локальном участке с защитным слоем 13,5 мм – 486 °С. Расчетная температура верхнего продольного армирования, расположенного в приопорных участках, не превысила 20 °С, необогреваемой поверхности – не превысила 15 °С. Получены средние температуры в расчетных сечениях перекрытия, а также эпюры температур по высоте сечения перекрытия. Экспериментальная средняя температура перекрытия составила 144 °С, что на 23 % ниже расчетного значения (187 °С при толщине плиты 200 мм), т.к. в расчете не учитывалось снижение температуры на обогреваемой поверхности перекрытия к концу эксперимента. Расчетная средняя температура прогрева поперечного сечения перекрытия толщиной 193,5 мм составила 184 °С, толщиной 166,5 мм – 231 °С.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть использованы для оценки огнестойкости железобетонных конструкций. Полученные результаты планируется применить для решения статической задачи огнестойкости испытанного железобетонного монолитного перекрытия.

Ключевые слова: огнестойкость, железобетонное монолитное перекрытие, моделирование, прогрев, расчетная модель, Ansys Workbench, температурное поле, тепло-технический расчет, хрупкое разрушение бетона, локальные повреждения защитного слоя бетона.

(Поступила в редакцию 7 января 2021 г.)

Введение

Пожары являются одной из многочисленных мировых проблем, приносящих значительные людские и экономические потери. Ежегодно в мире случается более 8 млн пожаров, на которых гибнет ориентировочно 85–90 тыс. человек. Более точно установить количество пожаров, происходящих за год в странах мира в целом, а также количество пострадавших от них людей проблематично. Это обусловлено особенностями имеющихся подходов по учету пожаров в разных странах, к тому же в некоторых странах такая статистика не ведется. По данным отчета за 2018 г., подготовленного в 2020 г. Центром пожарной стати-

стики Международной ассоциации пожарно-спасательных служб (International Association Fire and Rescue Services, СТIF) [1], с 1993 по 2018 г. в 46 обследованных странах ежегодно регистрировалось 2,5–4,5 млн пожаров, на которых погибали 17–62 тыс. человек. Всего за 25 лет в этих странах жертвами 92 млн пожаров стали более 1 млн человек. Результаты анализа представленных данных показывают, что удельный вес пожаров, произошедших в зданиях, значительно превышает удельный вес пожаров, произошедших на транспорте, в лесах и иных местах, что указывает на необходимость повышенного внимания к вопросам обеспечения их пожарной безопасности.

При этом следует отметить, что сопутствующие последствия пожаров в зданиях – изменение характеристик материалов строительных конструкций, их прогибы, перемещения, потеря прочности, устойчивости и (или) обрушение. Из массива известных типов железобетонных конструкций наиболее уязвимыми к воздействию пожара, в том числе к обрушению, являются изгибаемые элементы. В изгибаемых железобетонных конструкциях рабочая арматура защищена лишь защитным слоем бетона, толщина которого при высокотемпературном воздействии может уменьшаться, что в итоге может стать причиной преждевременной потери ими несущей способности [2–4]. Совершенствование подходов к обеспечению несущей способности строительных конструкций при высокотемпературном воздействии может позволить минимизировать людские потери и снизить материальный ущерб от пожаров.

С учетом широкого применения в строительстве сборно-монолитных и монолитных конструкций изучение их огнестойкости является актуальной задачей. В сборно-монолитных зданиях часть несущих элементов в зависимости от принятой конструктивной схемы возводят монолитными, другая же часть применяется из сборных элементов. В современной литературе вопросы поведения железобетонных монолитных перекрытий при высокотемпературном воздействии представлены очень ограниченно. Для более широкого изучения представленных вопросов ранее были проведены натурные огневые испытания железобетонного монолитного перекрытия в составе экспериментального фрагмента каркасного здания, результаты которых представлены в работе [5]. Данная статья является продолжением указанных исследований и посвящена решению теплотехнической задачи по оценке огнестойкости испытанного железобетонного монолитного перекрытия.

Основная часть

Исходные данные для моделирования. *Описание испытанного железобетонного монолитного перекрытия в составе экспериментального фрагмента каркасного здания* (рис. 1). Спроектированный и возведенный испытательный фрагмент представлял собой преобразованное из многопролетной 2-этажной схемы одноэтажное каркасное здание (одноэтажную однопролетную раму) с железобетонным монолитным перекрытием размерами в плане $3,0 \times 9,0$ м, толщиной 200 мм, с пролетом между стойками рамы 6,0 м и консольными свесами с каждой стороны 1,5 м [6]. В качестве стоек применяли две сборные центрифугированные колонны. Высота фрагмента в свету составляла 2,75 м.

Бетон при конструировании перекрытия принимали класса прочности $C^{20}/_{25}$. При бетонировании железобетонной монолитной плиты применяли бетон с наибольшей крупностью заполнителя (щебня) 20 мм, маркой бетонной смеси по удобоукладываемости – ПЗ. Прочность бетона плиты перекрытия при распалубке в возрасте 17 суток с применением метода неразрушающего контроля составила в среднем не менее 29 МПа. Влажность поверхностных слоев железобетонного перекрытия, измеренная диэлькометрическим методом непосредственно перед проведением огневых испытаний, составила $7,4 \pm 1,7$ % [5]. Весовая влажность бетона образцов, полученных дроблением подготовленных на этапе бетонирования образцов-кубов, составила $3,7 \pm 0,5$ % [7].

В качестве рабочей арматуры применяли армирование с классом прочности S500: нижнее армирование – фоновая арматурная сетка из стержней диаметром 10 мм с шагом 200 мм; дополнительное армирование в середине пролета – учащение шага стержней поперек пролета до 100 мм;

верхнее армирование – фоновая арматурная сетка из стержней диаметром 10 мм с шагом 200 мм; дополнительное армирование в опорной области – учащение шага стержней вдоль и поперек пролета до 100 мм, между которыми устанавливали арматурные стержни диаметром 16 мм также с шагом 100 мм (таким образом, расстояние между осями стержней составляло 50 мм).

Толщину защитного слоя бетона для нижнего ряда арматуры применяли равной 20 мм, верхнего – 15 мм. Результаты контроля толщины защитного слоя у нижней грани магнитным методом свидетельствовали об обеспечении проектного значения (не менее $20,83 \pm 0,25$ мм). Температура окружающей среды перед проведением испытаний составляла 2 °С, влажность воздуха – 87 %, скорость ветра могла достигать 7 м/с, направление ветра было изменчивым, осадки отсутствовали.

Для создания внутреннего объема (огневой камеры) по периметру фрагмента до низа перекрытия возводили самонесущие стены из газосиликатных блоков толщиной 200 мм. Для поддержания температурного режима при проведении огневых испытаний и удаления продуктов горения устраивали дверной и оконные проемы. Пожарная нагрузка создавалась применением 2,1 т отработанного масла и 1,8 м³ древесины влажностью 10,2 %, благодаря чему был получен температурный режим, в целом соответствующий стандартному температурному режиму пожара. Для оценки температурно-временных зависимостей в объеме огневой камеры устанавливали термоэлектрические преобразователи (далее – ТП) в 27 точках (по 9 на отметках 550, 1375 и 2200 мм от уровня фундамента). Для изменения температуры прогрева монолитной железобетонной плиты перед бетонированием устанавливали по 3 ТП у нижней и верхней граней, а также 10 ТП на рабочей арматуре (нижней и верхней) как в середине пролета, так и в приопорных зонах со стороны пролета и консольных свесов. В качестве точки отсчета огневого воздействия принимали переход пожара в объемную стадию, которая характеризовалась температурой вспышки паров отработанного масла, равной 140 °С [5].



Рисунок 1. – Общий вид испытательного фрагмента каркасного здания

Подробное описание этапов конструирования и возведения экспериментального фрагмента, в том числе описание армирования и расстановки ТП, представлено в работе [6], описание и анализ созданного при огневых испытаниях температурного режима – в работе [8], непосредственно результаты испытаний – в работе [5].

Согласно данным видеосъемки нагрев поперечного сечения плиты, начиная с 6-й мин объемного пожара, сопровождался разлетом кусков (лещадок) бетона различных размеров от обогреваемой поверхности перекрытия, протекающим с характерными звуковыми эффектами (хлопками и треском), что привело к уменьшению рабочего сечения конструкции и разрушению защитного слоя бетона. Процесс хрупкого взрывообразного

разрушения защитного слоя бетона прекратился лишь к 22–25-й мин объемного пожара. В конечном итоге нестационарный прогрев перекрытия во время огневых испытаний привел к его существенным деформациям. На 69-й мин от начала объемного пожара с внезапным разрушением центрифугированных железобетонных колонн произошло разрушение фрагмента, что привело к падению железобетонного монолитного перекрытия. В ходе исследования остывшего монолитного перекрытия были зафиксированы значительные повреждения защитного слоя бетона (до 32–37 мм при толщине защитного слоя 20 мм). Картина распределения повреждений железобетонного монолитного перекрытия снизу представлена на рисунке 2 (числами показана толщина поврежденного защитного слоя бетона в миллиметрах в пределах обозначенных участков) [7]. При этом часть повреждений защитного слоя железобетонное монолитное перекрытие могло приобрести в результате падения ввиду внезапного разрушения центрифугированных колонн. В запас огнестойкости принято, что все повреждения, отраженные на рисунке 2, были получены в результате температурно-силовых воздействий. На рисунке 2 также указаны места установки ТП, а их обозначения приняты согласно [5].

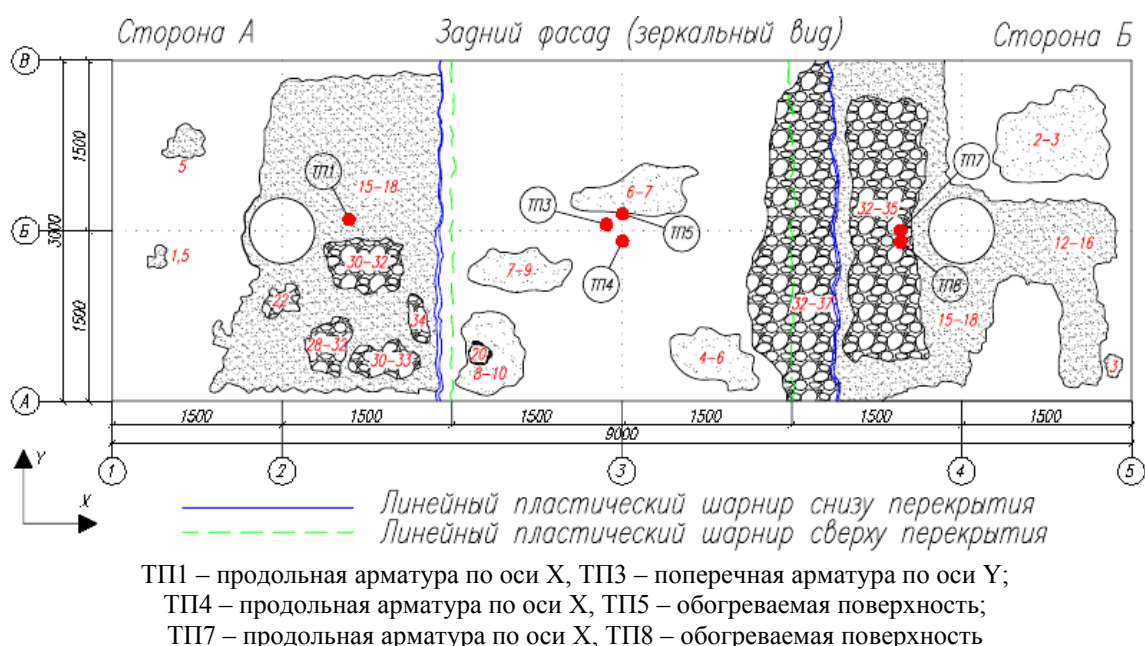


Рисунок 2. – Распределение повреждений железобетонного монолитного перекрытия снизу

Из рисунка 2 видно, что со стороны обогреваемой поверхности повреждения защитного слоя бетона носят неоднородный характер по площади и глубине испытанного железобетонного монолитного перекрытия, а часть перекрытия повреждений не получила. При этом наибольшие повреждения получили преимущественно поверхностные слои сжатого бетона в местах действия максимальных напряжений, в растянутой зоне уменьшение защитного слоя оказалось незначительным. Предел огнестойкости экспериментального фрагмента, включающего железобетонное монолитное перекрытие, опертые на две железобетонные центрифугированные колонны, с распределенной нагрузкой 675 кг/м^2 и сосредоточенной нагрузкой над колоннами 2880 кг с учетом пересчета эквивалентной продолжительности стандартного пожара составил REI 69 (либо REI 60 для стандартного ряда).

Теплофизические свойства материалов железобетонных конструкций. Для корректного решения теплотехнической части расчета огнестойкости необходимо достоверно знать изменение при нагреве теплофизических свойств материалов, основными из которых являются: плотность, удельная теплоемкость, теплопроводность.

Начальную плотность бетона при моделировании принимали равной 2350 кг/м^3 . Начальную температуру бетона и арматуры перекрытия принимали соответствующими температуре окружающей среды перед проведением испытаний, равной $2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Характер изменения начальной плотности тяжелого бетона зависит от размеров и вида заполнителя (силикатный или карбонатный), водоцементного отношения, способа твердения, влажности и др. При нагреве бетон увеличивается в объеме вследствие температурного расширения, а вследствие температурной усадки выпаривается влага. В связи с этим плотность бетона при огневом воздействии уменьшается. Изменение начальной плотности бетона $\rho(\theta)$, кг/м³, обусловленное потерей влаги, определяется следующим образом¹:

$$\begin{aligned} \rho(\theta) &= \rho(2) && \text{при } 2 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 115 \text{ }^\circ\text{C}; \\ \rho(\theta) &= \rho(2) \cdot (1 - 0,02 (\theta - 115) / 85) && \text{при } 115 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 200 \text{ }^\circ\text{C}; \\ \rho(\theta) &= \rho(2) \cdot (0,98 - 0,03 (\theta - 200) / 200) && \text{при } 200 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 400 \text{ }^\circ\text{C}; \\ \rho(\theta) &= \rho(2) \cdot (0,95 - 0,07 (\theta - 400) / 800) && \text{при } 400 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}, \end{aligned} \quad (1)$$

где θ – температура бетона, $^\circ\text{C}$.

Плотность стали может приниматься вне зависимости от ее температуры², и при расчетах допускается применять значение 7850 кг/м³.

Препятствия прогреву бетонного тела может оказывать находящаяся в конструкции при высокой относительной влажности воздуха влага. При пожаре вода из пор и капилляров конструкции испаряется и тем самым поглощает некоторое количество приходящей от прогрева теплоты [9]. Таким образом, теплоемкость бетона зависит от начальной весовой влажности, а также от вида бетона. Зависимость коэффициента удельной теплоемкости тяжелого бетона $c_b(\theta)$, Дж/(кг·К), весовой влажностью $W_c = 3 \%$ на карбонатном (в том числе силикатном) заполнителе от температуры определяется следующим образом³:

$$\begin{aligned} c_b(\theta) &= 900 && \text{при } 2 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100 \text{ }^\circ\text{C}; \\ c_b(\theta) &= 2020 && \text{при } 100 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 115 \text{ }^\circ\text{C}; \\ c_b(\theta) &= 900 + (\theta - 100) && \text{при } 115 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 200 \text{ }^\circ\text{C}; \\ c_b(\theta) &= 1000 + (\theta - 200) / 2 && \text{при } 200 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 400 \text{ }^\circ\text{C}; \\ c_b(\theta) &= 1100 && \text{при } 400 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned} \quad (2)$$

В железобетонных конструкциях в общем случае при пожаре рассматривается четыре зоны сечения, которые характеризуются различным характером процессов тепло- и влагопереноса. Непосредственно обогреваемая поверхность характеризуется сухой зоной, в которой влага испарилась и удалась в последующие зоны железобетонного сечения. Далее наблюдается зона испарения влаги, в которой температура в капиллярно-пористой структуре бетона достигла температуры испарения влаги. Это явление приводит к возникновению избыточного давления пара в данной зоне, а это, в свою очередь, к развитию процессов влагопереноса в сторону необогреваемой поверхности железобетонной конструкции. За зоной испарения влаги расположена зона повышенного влагосодержания. В данной зоне, ввиду испарения влаги из зоны испарения, влагосодержание бетона начинает превышать начальное. Непосредственно у необогреваемой поверхности находится зона начального влагосодержания, в которой процессы влагопереноса еще не наблюдаются. При этом длительность прогрева железобетонной конструкции влияет на продвижение влаги вглубь сечения ближе к необогреваемой поверхности [2; 10]. Появление влаги на необогреваемой поверхности эпизодически наблюдалось при проведении стандартных огневых испытаний железобетонных конструкций на испытательном полигоне НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси.

Выпаривание влаги из пор учитывается в диапазоне температур от 100 до 200 $^\circ\text{C}$. Начиная с предполагаемой температуры кипения влаги (100 $^\circ\text{C}$), зависимость теплоемкости

¹ Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1992-1-2-2009 (02250). – Введ. 01.01.10. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 86 с.

² Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1993-1-2-2009 (02250). – Введ. 01.01.10. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 77 с.

³ См. сноску 1.

от температуры существенно возрастает и имеет постоянное значение вплоть до 115 °С (с учетом возможного изменения температуры кипения в связи с увеличением давления пара в замкнутых порах бетона). В диапазоне от 115 до 200 °С теплоемкость постепенно снижается. Следует отметить, что известные экспериментальные и теоретические исследования не содержат подходов по учету явления влагопереноса при определении теплоемкости бетона.

Зависимость коэффициента удельной теплоемкости стали $c_s(\theta)$, Дж/(кг·К), определяется следующим образом⁴:

$$\begin{aligned} c_s(\theta) &= 425 + 7,73 \cdot 10^{-1} \cdot \theta - 1,69 \cdot 10^{-3} \cdot \theta^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 && \text{при } 2 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 600 \text{ }^\circ\text{C}; \\ c_s(\theta) &= 666 + 13002 \cdot (738 - \theta) && \text{при } 600 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 735 \text{ }^\circ\text{C}; \\ c_s(\theta) &= 545 + 17820 \cdot (\theta - 731) && \text{при } 735 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 900 \text{ }^\circ\text{C}; \\ c_s(\theta) &= 650 && \text{при } 900 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned} \quad (3)$$

В соответствии с нормами проектирования коэффициент теплопроводности бетона не зависит от вида заполнителя бетона и принимается в интервале между нижним и верхним предельными значениями⁵. Нижний предел теплопроводности, полученный по результатам измерений температуры при испытаниях на огнестойкость различных типов железобетонных конструкций, позволяет получить более реалистичное распределение температур в бетонном сечении. При этом верхний предел получен при испытаниях на огнестойкость сталежелезобетонных конструкций. В Республике Беларусь в расчетах значение коэффициента теплопроводности бетона $\lambda_b(\theta)$, Вт/(м·К), принимается по нижнему предельному значению и определяется следующим образом⁶:

$$\lambda_b(\theta) = 1,36 - 0,136 \cdot (\theta/100) + 0,0057 \cdot (\theta/100)^2 \quad \text{при } 2 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (4)$$

Коэффициент теплопроводности стали $\lambda_s(\theta)$, Вт/(м·К), определяется следующим образом⁷:

$$\begin{aligned} \lambda_s(\theta) &= 54 - 3,33 \cdot 10^{-2} \cdot \theta && \text{при } 2 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 800 \text{ }^\circ\text{C}; \\ \lambda_s(\theta) &= 27,3 && \text{при } 800 \text{ }^\circ\text{C} < \theta \leq 1200 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned} \quad (5)$$

Моделирование прогрева железобетонного монолитного перекрытия толщиной 200 мм. В настоящих исследованиях для моделирования прогрева монолитного железобетонного перекрытия применяли программную систему конечно-элементного анализа Ansys Workbench (модуль Transient Thermal). Теплофизические характеристики материалов задавали согласно функциям (1)–(5). Максимальный шаг расчета при моделировании принимали 15 с, что соответствует частоте фиксации экспериментальных данных [5; 8].

Для анализа температурно-временные зависимости были условно разделены для трех частей фрагмента: стороны А, Б и центральная часть (рис. 1). Соответственно, были подготовлены 3 расчетные модели для каждой из частей. При анализе пренебрегали флуктуацией температуры со стороны огневого воздействия, поэтому размеры модели соответствовали шагу раскладки арматуры и фактической толщине испытанного перекрытия:

для центральной части – фрагмент перекрытия размерами $X = 50$ мм, $Y = 200$ мм, $Z = 30$ мм. Нижнее и верхнее армирование представлено четырьмя стержнями диаметром 10 мм (по 2 стержня продольной и поперечной арматуры);

для сторон А и Б – фрагмент перекрытия размерами $X = 150$ мм, $Y = 200$ мм, $Z = 150$ мм. Нижнее армирование представлено двумя стержнями диаметром 10 мм (по 1 стержню продольной и поперечной арматуры). Верхнее армирование представлено арма-

⁴ См. сноску 2.

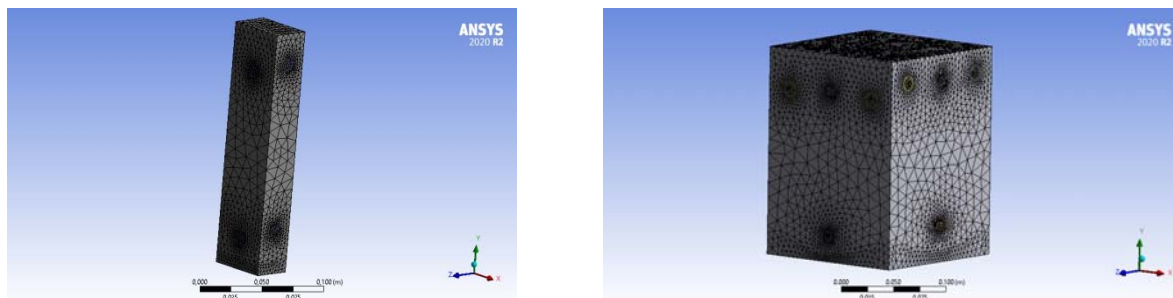
⁵ См. сноску 1.

⁶ См. сноску 1.

⁷ См. сноску 2.

турной сеткой из 2 стержней диаметром 16 мм и 1 стержня диаметром 10 мм, расстояние между центральными осями – 50 мм.

Толщина защитного слоя нижнего продольного армирования соответствовала проекту и принималась равной 20 мм. Гнутые зигзагообразные закладные детали, установленные в железобетонном монолитном перекрытии для обеспечения проектного положения верхней сетки арматурного каркаса, П-образные хомуты, обеспечивающие восприятие крутящих моментов у края перекрытия, арматурные выпуски из центрифугированных колонн, а также арматурные изделия, установленные в опорных участках перекрытия исходя из расчета на продавливание, при моделировании не учитывались. Расчетные геометрические модели железобетонного монолитного перекрытия с разбиением на конечные элементы (далее – КЭ) представлены на рисунке 3.



а – фрагмент перекрытия для центральной части

б – фрагмент перекрытия для сторон А и Б

Рисунок 3. – Расчетные геометрические модели железобетонного монолитного перекрытия с разбиением на КЭ

При моделировании принимали температурно-временные кривые, полученные для огневого воздействия на отметке 2200 мм, которые наиболее точно характеризуют температуру греющей среды в процессе огневых испытаний [8]. На первом этапе протекающие при проведении натурных огневых испытаний процессы хрупкого разрушения при моделировании не учитывались.

Зависимость температуры в любой точке железобетонного монолитного перекрытия от времени задавали дифференциальным уравнением теплопроводности Фурье для трехмерного температурного поля при нелинейных граничных условиях и сложном процессе тепло- и массопереноса:

$$c(\theta)\rho(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right), \quad (6)$$

где $c(\theta)$ – коэффициент удельной теплоемкости (тяжелого бетона, арматуры) в зависимости от температуры, Дж/(кг·К); $\rho(\theta)$ – плотность (тяжелого бетона, арматуры), кг/м³; θ – температура (тяжелого бетона, арматуры), К; τ – время, с; $\lambda(\theta)$ – коэффициент теплопроводности (тяжелого бетона, арматуры) в зависимости от температуры, Вт/(м·К).

Ввиду использования классического дифференциального уравнения теплопроводности процессы миграции влаги в порах и капиллярах не учитывались. Нагрев железобетонного монолитного перекрытия задавался граничными условиями третьего рода. Для обогреваемой поверхности перекрытия принимали теплообмен конвекцией и излучением:

$$-\lambda_b(\theta_1) \frac{\partial \theta_1}{\partial y} = \alpha_1 \cdot [\theta_2 - \theta_1] + \varepsilon_{\text{пр1}} \cdot \Phi \cdot c \cdot \frac{\theta_2^4 - \theta_1^4}{100^4}, \quad (7)$$

где $\lambda_b(\theta_1)$ – коэффициент теплопроводности бетона в зависимости от температуры, Вт/(м·К); θ_1 – температура элементарного участка бетона на обогреваемой поверхности, К; θ_2 – температура греющей среды, К; α_1 – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·К); $\varepsilon_{\text{пр1}}$ – приведенная степень черноты системы греющая среда – обогреваемая поверхность

перекрытия; Φ – угловой коэффициент облученности; c – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный $5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией^{8,9} принимали равным $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [11]. Степень черноты обогреваемой поверхности бетона¹⁰ принимали равной $0,7$, степень черноты пламени (греющей среды)¹¹ принимали равной $1,0$ [12].

Контактные взаимодействия арматуры с бетоном определялись граничными условиями четвертого рода:

$$\begin{cases} \theta_3 = \theta_4; \\ \lambda_b \frac{\partial \theta_3}{\partial x} = \lambda_s \frac{\partial \theta_4}{\partial x}, \end{cases} \quad (8)$$

где θ_3 – температура элементарного участка бетона на поверхности контакта, К; θ_4 – температура элементарного участка арматуры на поверхности контакта, К; $\lambda_s(\theta)$ – коэффициент теплопроводности арматуры в зависимости от температуры, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Для осей Y и Z контактные взаимодействия арматуры с бетоном принимались аналогичным образом, как для оси X (уравнение (8)).

Для необогреваемой поверхности перекрытия принимали теплообмен конвекцией и излучением:

$$-\lambda_b(\theta_5) \frac{\partial \theta_5}{\partial y} = \alpha_2 \cdot [\theta_5 - \theta_6] + \varepsilon_{\text{пр}2} \cdot \Phi \cdot c \cdot \frac{\theta_5^4 - \theta_6^4}{100^4}, \quad (9)$$

где θ_5 – температура элементарного участка бетона на необогреваемой поверхности, К; θ_6 – температура окружающей среды, К; α_2 – коэффициент теплоотдачи конвекцией в окружающую среду, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\varepsilon_{\text{пр}2}$ – приведенная степень черноты системы плита перекрытия – окружающая среда.

Поскольку площадь необогреваемой поверхности перекрытия во много раз меньше площади охватываемой поверхности (окружающей среды), в качестве приведенной степени черноты системы плита перекрытия – окружающая среда принимали степень черноты бетона, равную $0,7$. Коэффициент теплоотдачи конвекцией в окружающую среду¹² принимали равным $4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [11].

При определении наиболее оптимальных размеров КЭ выполняли расчеты с различными размерами ячейки. При этом со стороны огневого воздействия сетку локально измельчали (*Refinement*). Анализ показал, что для построенных моделей, исходя из затраченного на расчет времени и полученных результатов, наиболее оптимальным является значение фактора плотности сетки (*Mesh*), равное 0 (*Default*), а фактора измельчения (*Refinement*), равное 1 (таким образом, плотность сетки со стороны огневого воздействия удваивалась).

Дальнейшее измельчение сетки не вносило ощутимых погрешностей в полученные результаты. Количество узлов и элементов для построенных моделей составило:

- количество узлов – $22\,357$ (рис. 3а), $142\,951$ (рис. 3б);
- количество элементов – $83\,412$ (рис. 3а), $555\,321$ (рис. 3б).

Результаты моделирования прогрева испытанного железобетонного монолитного перекрытия в сопоставлении с экспериментальными данными приведены на рисунках 4–9.

⁸ См. сноску 1.

⁹ Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: СН 2.01.03-2019. – Введ. 01.01.10 (с отменой ТКП EN 1991-1-2-2009 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 43 с.

¹⁰ См. сноску 1.

¹¹ См. сноску 9.

¹² См. сноску 9.

На указанных рисунках и в последующем в настоящей статье приняты следующие сокращения: экспер. – экспериментальная; расч. – расчетная; з.с. – защитный слой бетона.

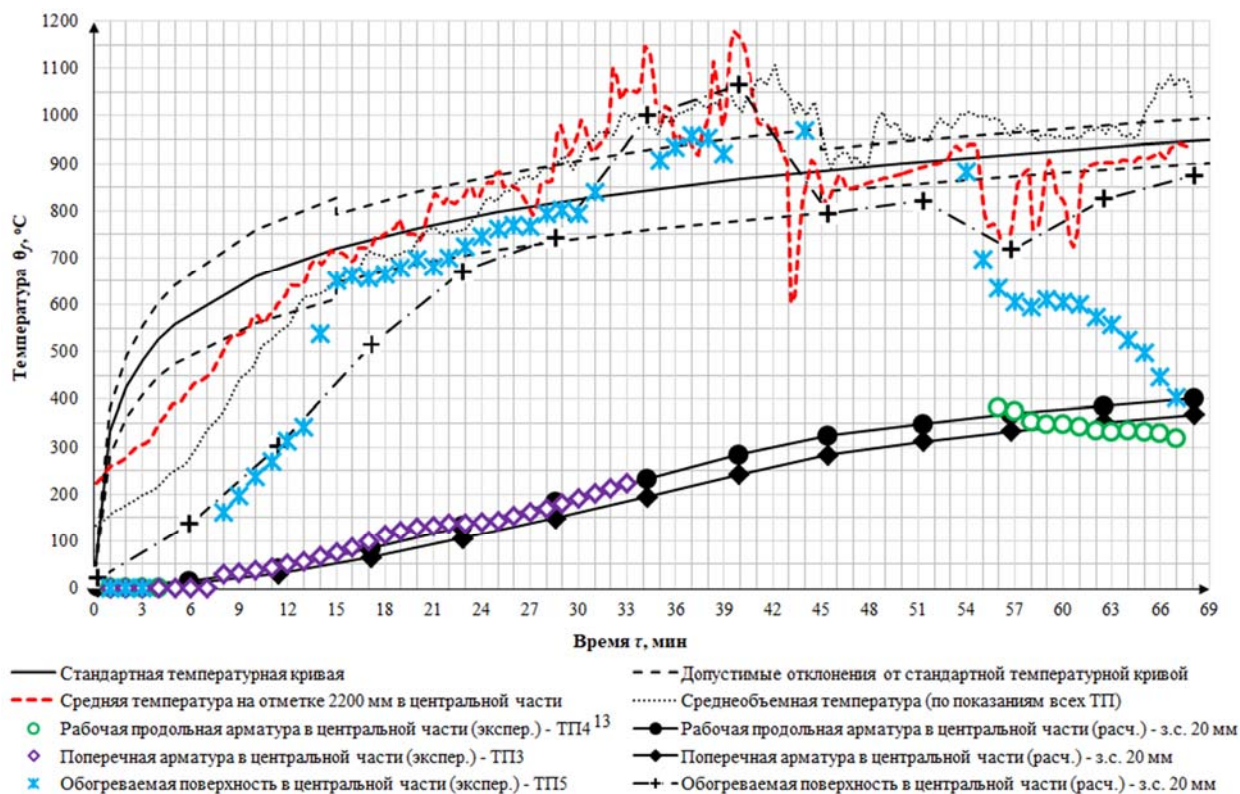


Рисунок 4. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия снизу (центральная часть)

Для рабочей продольной арматуры, а также поперечной арматуры в центральной части была получена удовлетворительная сходимость (рис. 4). Отклонение расчетных данных от экспериментальных для продольной арматуры на 67-й мин испытания составило 80 °C (+20,0 %), для поперечной арматуры на 33-й мин испытания – 41 °C (-18,1 %). Средняя температура рабочей продольной арматуры по результатам моделирования составила 402 °C, поперечной арматуры – 368 °C. Расчетная кривая изменения температуры обогреваемой поверхности для центральной части перекрытия хорошо совпадает с экспериментальными данными до 44-й мин пожара (для 44-й мин отклонение составляет 105 °C (-10,8 %)). При этом с 45-й мин и до конца испытания отмечается ее снижение, что могло быть вызвано введением в это время однократного пенного тушения с целью снижения среднеобъемной температуры в огневой камере ближе к верхнему допусжаемому пределу для стандартной температурной кривой [5].

Расчетная температура нагрева нижней продольной арматуры для приопорных участков (стороны А и Б) отличается от результатов, полученных при огневых испытаниях. При этом для стороны А (рис. 5) вплоть до 16-й мин (для стороны Б (рис. 6), судя по характеру изменения кривой, ориентировочно до 5–6-й мин) экспериментальная температура нагрева продольной арматуры хорошо согласуется с расчетной, а затем отмечается ее резкое увеличение (экспериментальной кривой). Это явление можно объяснить значительными повреждениями защитного слоя бетона в приопорных участках, вызванными протекавшими при огневых испытаниях процессами интенсивного хрупкого взрывообразного разрушения бетона железобетонного монолитного перекрытия (рис. 2). Экспериментальные данные по прогреву обогреваемой поверхности в стороне Б удовлетворительно согласуются

¹³ Часть данных, представленных в работе [5], была исключена как грубые погрешности в соответствии с ГОСТ 8.207-76.

ся со средней кривой изменения температуры на отметке 2200 мм до 44-й мин испытания, при этом к 32-й мин экспериментальная кривая близка к соответствующей расчетной кривой. Затем, начиная с 44-й мин, экспериментальная кривая изменения температуры обогреваемой поверхности постепенно снижается, а отклонения от расчетной до завершения огневого испытания находятся в пределах от -14,5 до -28,9 %, что в среднем составляет -23,8 %. Постепенное снижение температуры обогреваемой поверхности, так же как и в центральной части, могло быть вызвано введением однократного пенного тушения [5].

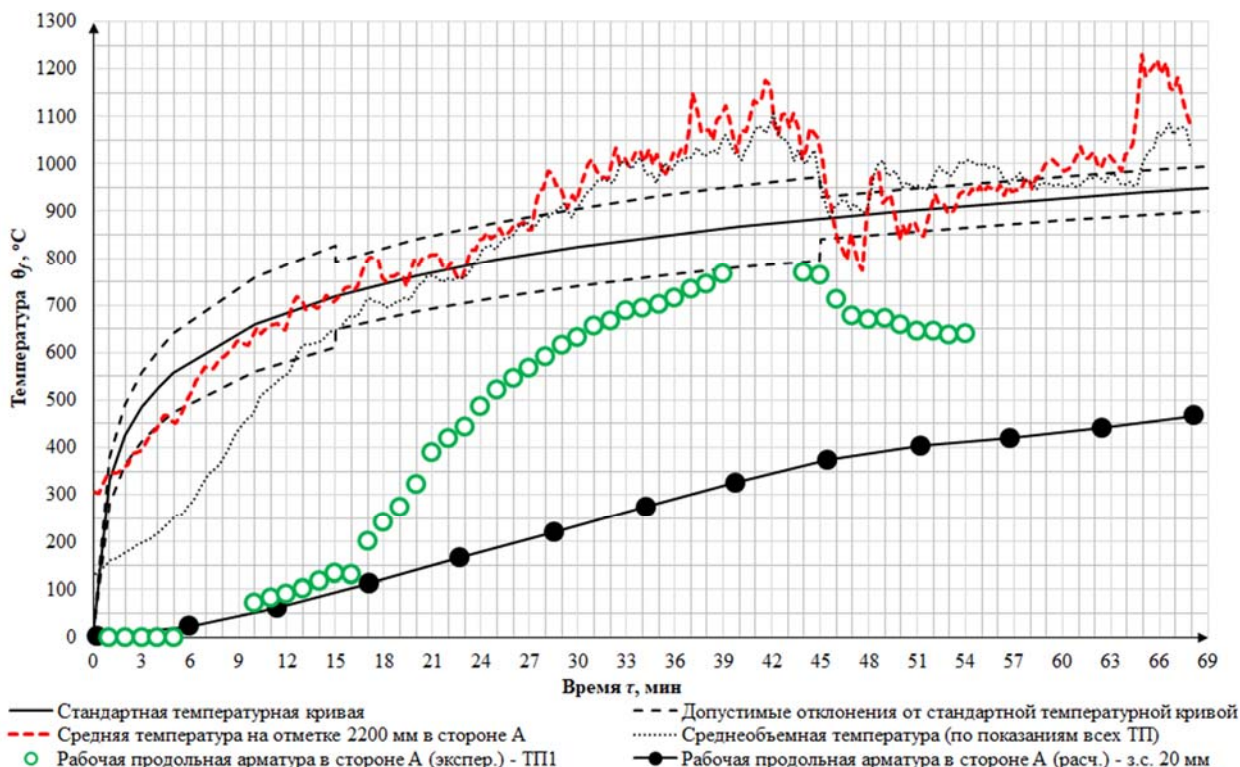


Рисунок 5. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия снизу (сторона А)

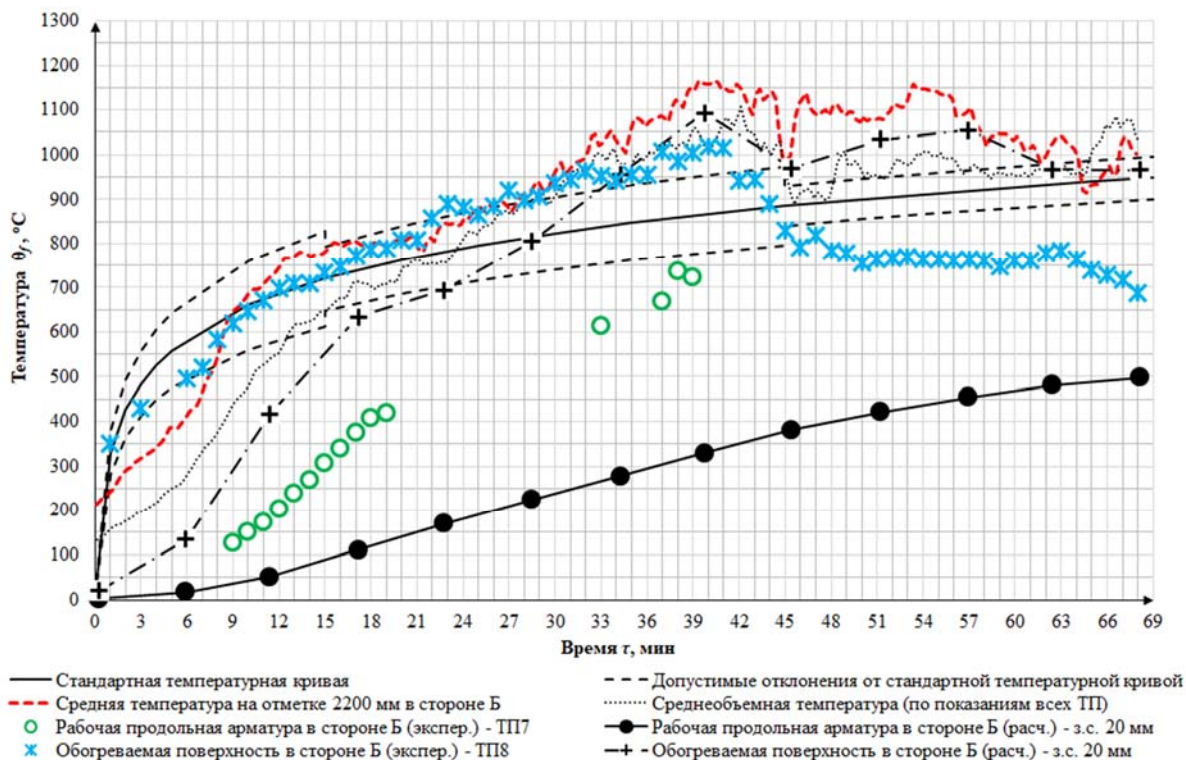


Рисунок 6. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия снизу (сторона Б)

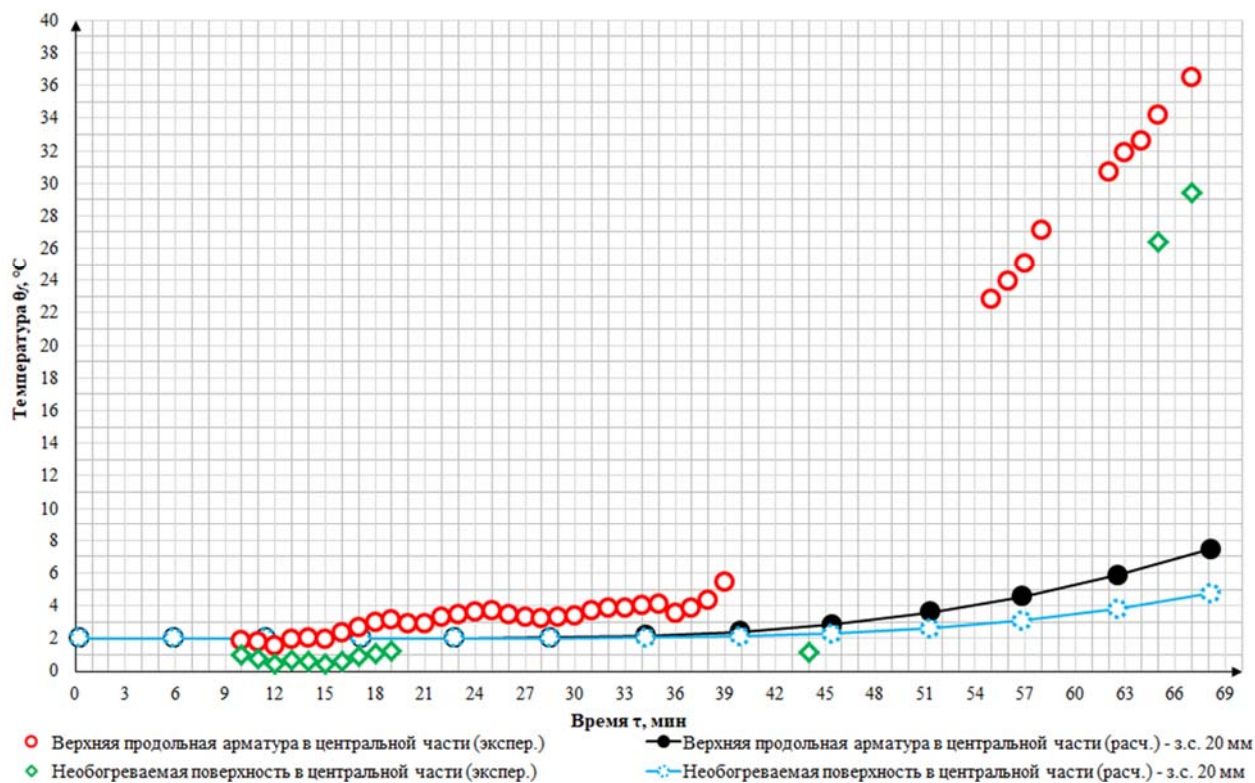


Рисунок 7. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия сверху (центральная часть)

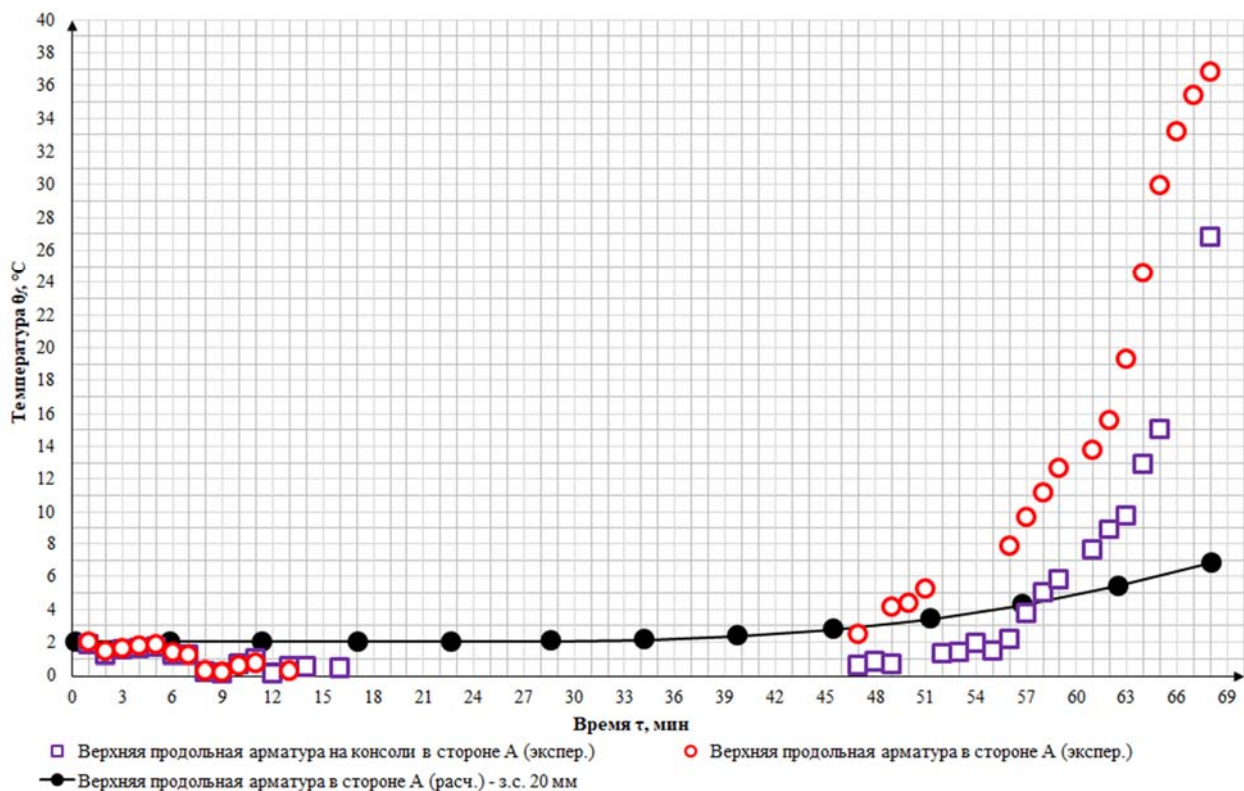


Рисунок 8. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия сверху (сторона А)

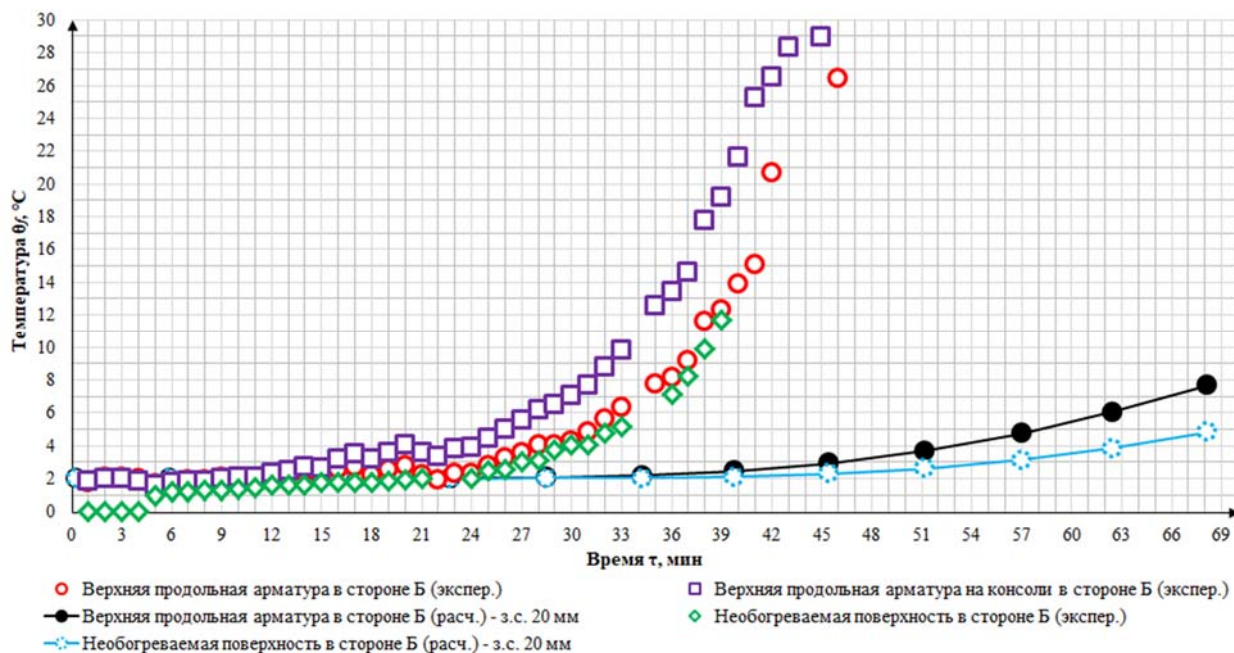


Рисунок 9. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия сверху (сторона Б)

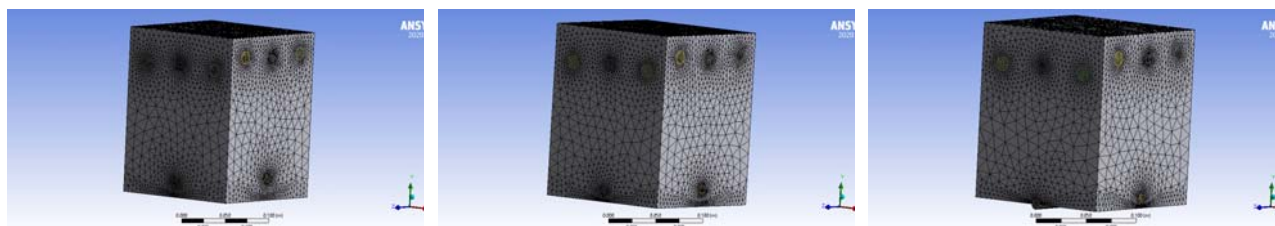
Для верхней части перекрытия характер изменения температуры верхнего продольного армирования и необогреваемой поверхности, в том числе в центральной части перекрытия, в которой в местах установки ТП не было зафиксировано хрупкого разрушения бетона, также не в полной мере совпадает с экспериментальными данными (рис. 7–9). Полученные результаты позволяют предположить, что в испытанном железобетонном монолитном перекрытии при высокотемпературном воздействии происходила миграция имеющейся в порах влаги на необогреваемую поверхность (влажперенос), явление которой было описано выше.

Моделирование прогрева железобетонного монолитного перекрытия с учетом хрупкого разрушения. Для учета влияния на прогрев перекрытия явлений хрупкого взрывообразного разрушения исходные модели (рис. 3б) для сторон А и Б были модифицированы с уменьшением защитного слоя арматуры снизу. Таким образом, для каждой из указанных сторон дополнительно были построены по три расчетные модели с толщиной защитного слоя: 10 мм, 2,5 мм, а также отсутствием защитного слоя бетона на половину диаметра нижнего продольного армирования. Начальные и граничные условия корректировали в соответствии с постановкой задачи. При этом теплообмен конвекцией и излучением для обогреваемой поверхности арматуры в расчетной модели согласно рисунку 10в задавали только для участков оголенного стержня полуцилиндрической формы. Количество узлов и элементов для этих моделей сведено в таблицу 1.

Таблица 1. – Параметры расчетных моделей

Расчетная модель (для сторон А и Б)	Количество узлов	Количество элементов
Защитный слой 10 мм (рис. 10а)	143 860	564 307
Защитный слой 2,5 мм (рис. 10б)	152 523	613 757
Без з.с. (рис. 10в)	147 639	588 443

Дополнительные расчетные геометрические модели железобетонного монолитного перекрытия с переменным защитным слоем и разбиением на КЭ представлены на рисунке 10.



a – с защитным слоем 10 мм

b – с защитным слоем 2,5 мм

v – без защитного слоя

Рисунок 10. – Расчетные геометрические модели железобетонного монолитного перекрытия с переменным защитным слоем и разбиением на КЭ

Результаты моделирования прогрева дополнительных расчетных моделей приведены на рисунках 11–14.

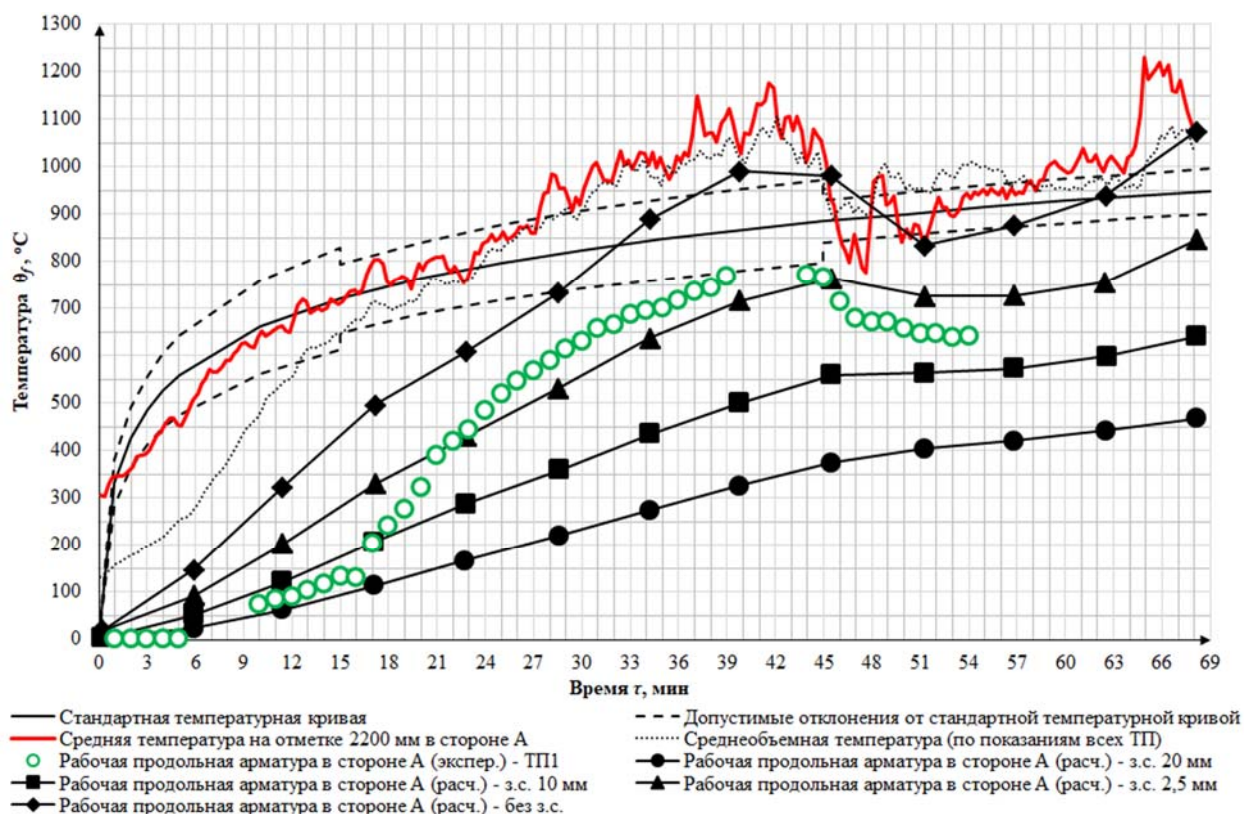


Рисунок 11. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия снизу с дополнительными расчетными моделями (сторона А)

Результаты моделирования прогрева железобетонного монолитного перекрытия (рис. 11) позволили установить, что в стороне А (в месте, где был установлен ТП1, рис. 2) с 5–6-й мин натуральных огневых испытаний началось незначительное хрупкое взрывообразное разрушение бетона на глубину примерно 4–5 мм. Далее нижняя продольная арматура с 6-й по 16-ю мин нагревалась по линейной зависимости без дальнейших повреждений защитного слоя бетона. Затем с 16-й мин началось интенсивное взрывообразное разрушение бетона, которое в течение последующих 2 мин огневого испытания привело к разрушению защитного слоя на глубину ориентировочно 8–10 мм, а в течение последующих 7 мин (до 25-й мин) на глубину примерно 18–19 мм. Полученные данные об изменении толщины защитного слоя бетона хорошо согласуются с картиной распределения повреждений, представленных на рисунке 2. Дальнейший нагрев сопровождался без проявления хрупкого разрушения вплоть до окончания огневых испытаний. Начиная с 45-й мин испытаний, отмечается снижение интенсивности прогрева нижней арматуры, что могло быть вызвано введением в это время однократного пенного тушения [5].

Пенное тушение вызвало движение охлажденных конвективных парогазовых потоков с 45-й по 50-ю мин от центральной части огневой камеры к стороне А. Следует отметить, что для расчетных моделей с 20 мм и 10 мм защитного слоя бетона пенное тушение не внесло существенных изменений в прогрев нижней продольной арматуры, а для расчетной модели с толщиной защитного слоя бетона, равной 2,5 мм, – с 45-й по 51-ю мин прогрев снизился до 6 °С/мин). В дальнейшем температура нагрева арматуры при защитном слое 2,5 мм увеличивалась примерно с той же скоростью, что и в расчетных моделях с защитным слоем 20 и 10 мм (рис. 11). Температура нагрева продольной арматуры по данным ТП1 с 45-й по 47-ю мин снизилась на 87 °С (для расчетной модели с защитным слоем 2,5 мм – на 10 °С). Затем с 47-й по 51-ю мин испытаний снижение экспериментальной кривой температуры нижней арматуры носило примерно тот же характер, что и для расчетной модели с защитным слоем 2,5 мм. При этом в последующие 3 мин испытаний скорость изменения прогрева была минимальной и составляла в среднем 3 °С/мин (рис. 11). Это дает основания предполагать о возможной стабилизации температуры нагрева нижней продольной арматуры в стороне А с 51-й по 54-ю мин. Анализ результатов проведенных огневых испытаний, а также испытаний других авторов [13–16] в части прогрева сечений железобетонных конструкций в совокупности с характером изменения среднеобъемной температуры газовой среды в стороне А, в том числе расчетной температуры обогреваемой поверхности, позволяет предположить вероятность дальнейшего изменения нагрева нижней арматуры по закономерности, близкой к кривой, описывающей температуру армирования, как в модели с защитным слоем 2,5 мм (рис. 11). С учетом полученных при высокотемпературном воздействии повреждений (рис. 2) расчетная температура нижней продольной арматуры на последней минуте испытания составит ориентировочно 818 °С.

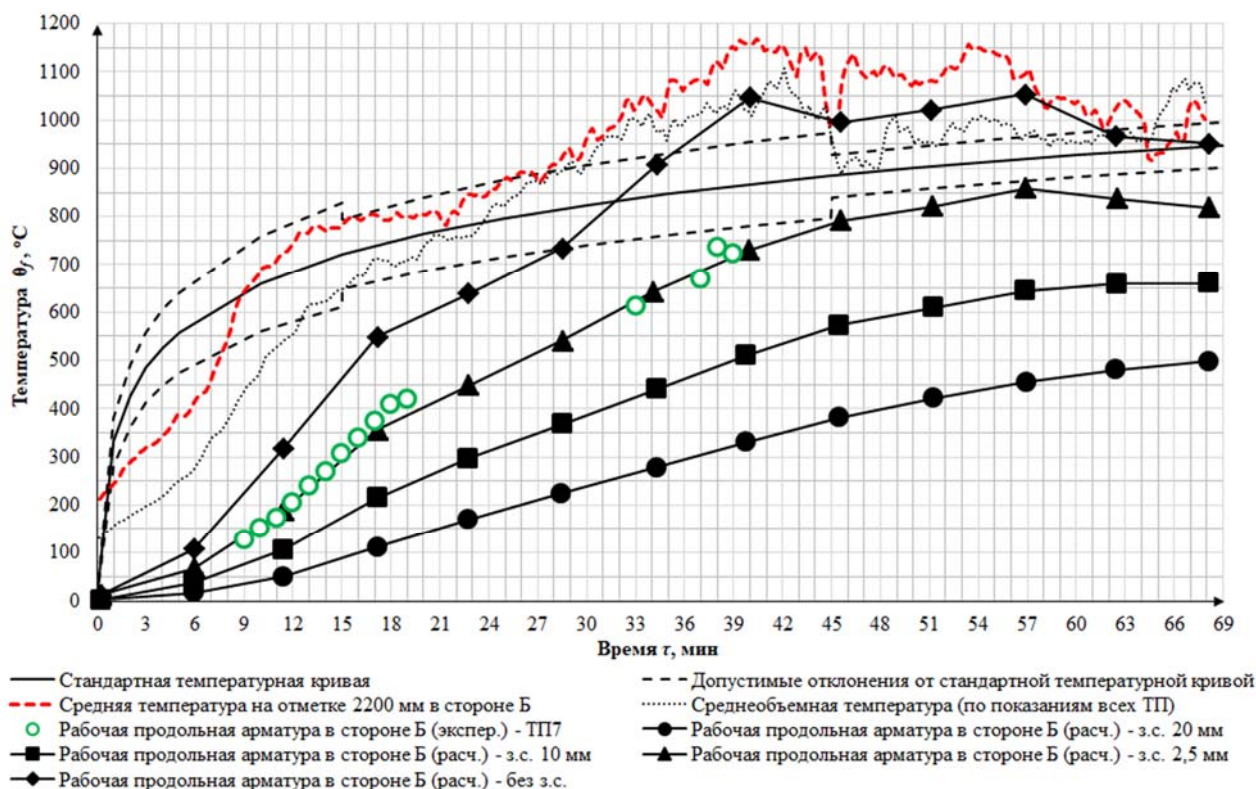


Рисунок 12. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия снизу с дополнительными расчетными моделями (сторона Б)

Результаты дополнительного моделирования прогрева фрагмента железобетонного перекрытия с толщиной защитного слоя бетона 2,5 мм для режима пожара, зафиксированного в стороне Б, в сопоставлении с экспериментальными данными нагрева нижнего продольного армирования (по ТП7, рис. 2) свидетельствуют в целом об удовлетворительной

сходимости вплоть до 39-й мин испытания (рис. 12). При этом в силу электромагнитных помех с последующим выходом из работы ТП7 достоверно определить температуру нагрева нижнего армирования в стороне Б в момент обрушения перекрытия не удалось. Таким образом, с учетом анализа температурного режима, зафиксированного в стороне Б, а также полученных повреждений в месте установки ТП7 (см. рис. 2) можно предположить, что экспериментальная температура нагрева нижней продольной арматуры находится в пределах соответствующих температур, полученных для расчетных моделей с толщиной защитного слоя бетона 2,5 мм и без защитного слоя (818 и 951 °С соответственно).

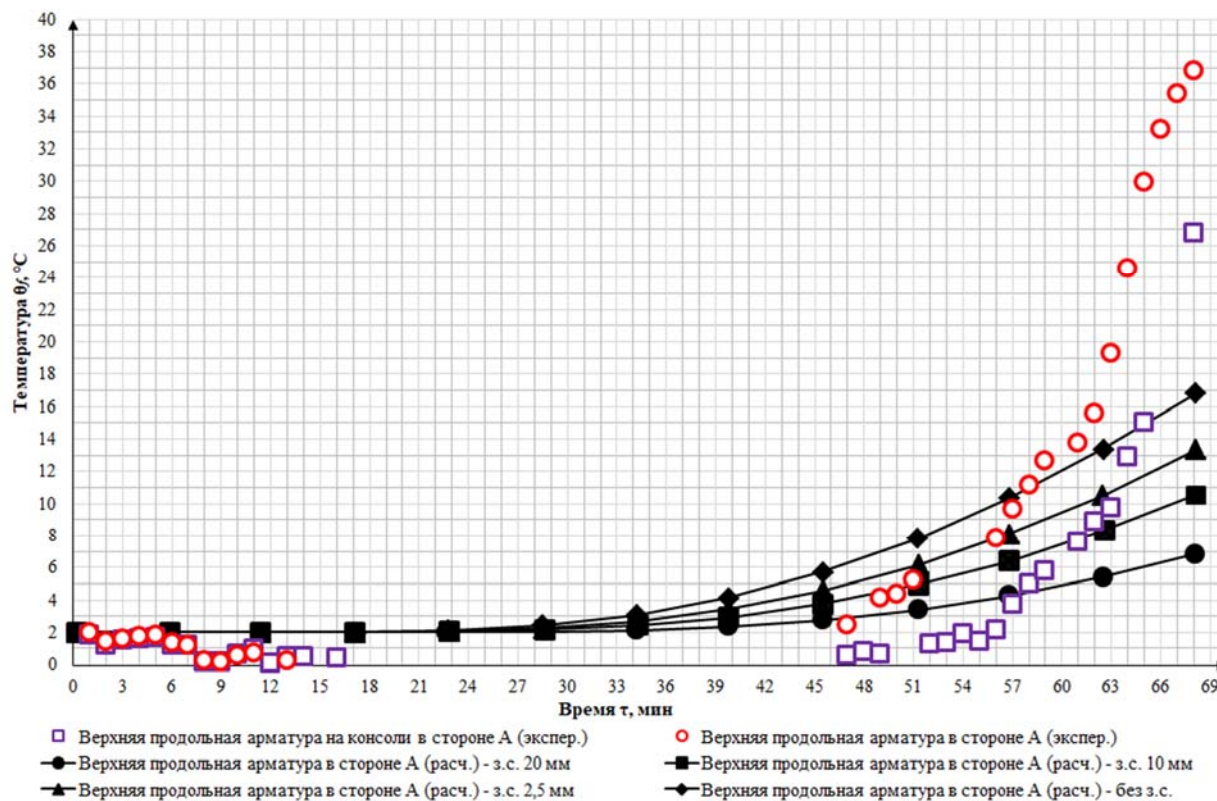


Рисунок 13. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия сверху с дополнительными расчетными моделями (сторона А)

Результаты моделирования прогрева верхней части железобетонного монолитного перекрытия с переменным защитным слоем (рис. 13, 14) показали, что процессы влагопереноса привели к более быстрому прогреву верхнего армирования (расположенного в зоне повышенного влагосодержания) и необогреваемой поверхности (зоны начального влагосодержания). В расчетной модели учесть влагоперенос возможным не представляется, дополнительное моделирование с дальнейшим уменьшением бетонного сечения является нецелесообразным. На необогреваемой стороне, в том числе на верхней арматуре, температура не превысила 40 °С в ходе всей длительности огневых испытаний. По результатам расчета температура верхнего продольного армирования, расположенного в приопорных участках, не превысила 20 °С, необогреваемой поверхности – 15 °С. Имеющиеся отклонения экспериментальных и расчетных данных незначительны с точки зрения огнестойкости.

Учитывая наличие повреждений бетона по линии действия максимального изгибающего момента (в центральной части перекрытия), а также то, что результаты моделирования прогрева будут применяться для решения статической задачи расчета огнестойкости железобетонного монолитного перекрытия, на основании ранее разработанной модели (рис. 3а) была построена расчетная модель с уменьшенным защитным слоем до 13,5 мм (в соответствии с повреждениями согласно рис. 2) с воздействием режима пожара, зафиксированного в центральной части огневой камеры. Количество узлов в модели составило

23 358, элементов – 86 029. В результате моделирования средняя температура рабочей продольной арматуры составила – 486 °С, поперечной арматуры – 445 °С.

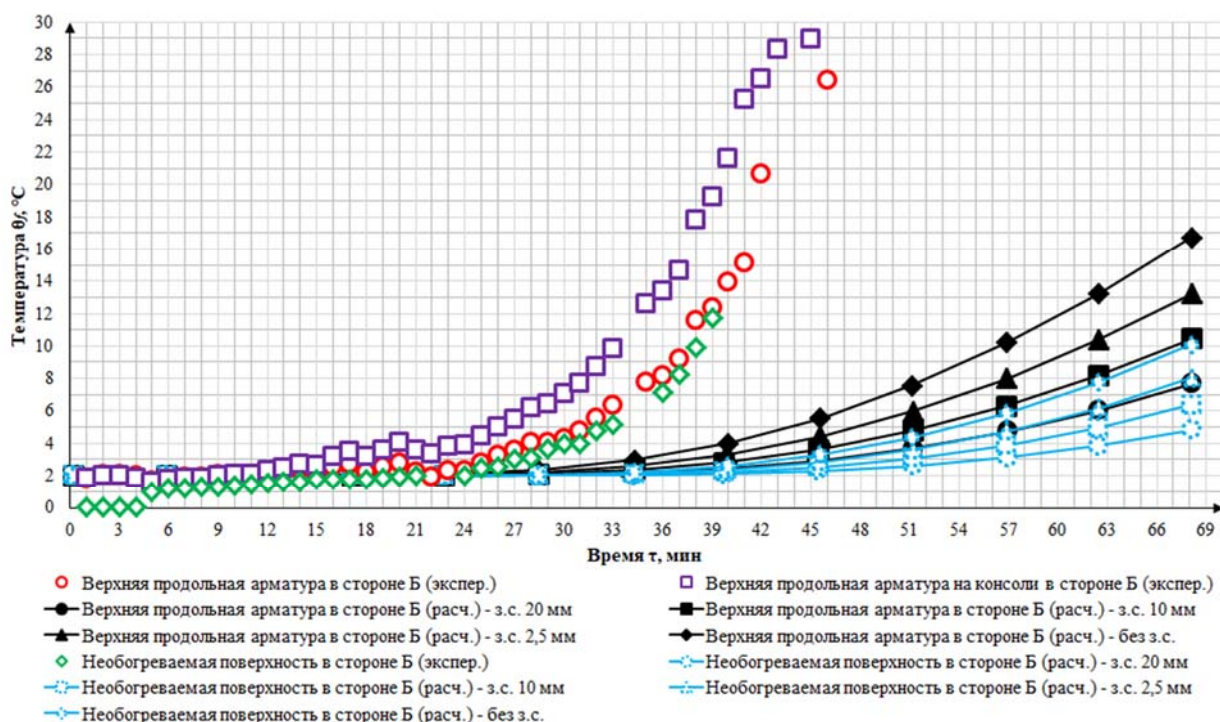


Рисунок 14. – Температура прогрева железобетонного монолитного перекрытия сверху с дополнительными расчетными моделями (сторона Б)

Полученные результаты прогрева позволили установить распределение температуры в сечениях железобетонного монолитного перекрытия, которое представлено на рисунке 15, где по оси ординат значение «0,2» соответствует необогреваемой поверхности.

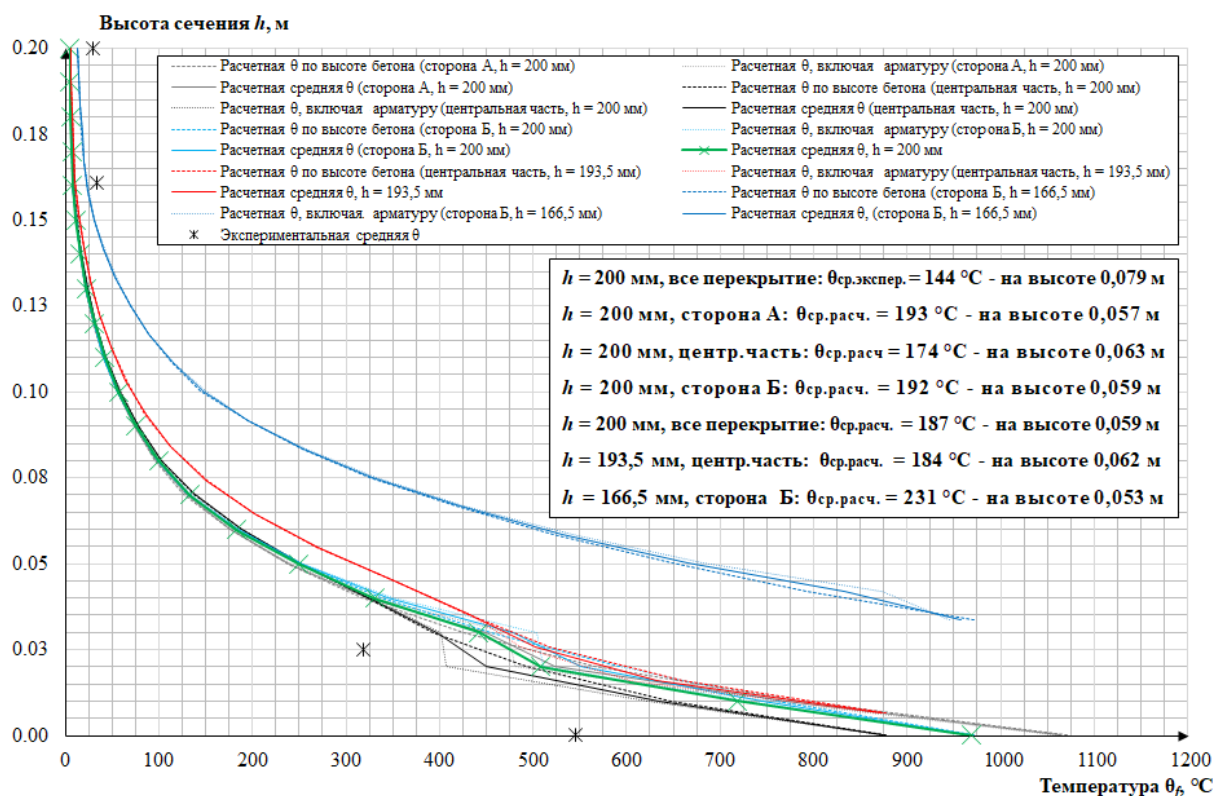


Рисунок 15. – Распределение температуры по высоте сечения железобетонного монолитного перекрытия

Представленные на рисунке 15 эпюры изменения температуры в расчетных сечениях толщиной 200 мм позволили установить, что в центральной части перекрытия средняя температура в поперечном сечении составляет 174 °С (на высоте 63 мм от обогреваемой поверхности плиты), стороне А – 193 °С (на высоте 57 мм), стороне Б – 192 °С (на высоте 59 мм). Расчетная средняя температура прогрева поперечного сечения перекрытия толщиной 200 мм составила 187 °С (на высоте 59 мм). Экспериментальная средняя температура перекрытия, определенная графоаналитическим методом, составила 144 °С (на высоте 79 мм), что на 23 % ниже расчетного значения, т.к. в расчете не учитывалось снижение температуры на обогреваемой поверхности перекрытия к концу эксперимента. Расчетная средняя температура прогрева поперечного сечения перекрытия толщиной 193,5 мм составила 184 °С (на высоте 62 мм), толщиной 166,5 мм – 231 °С (на высоте 53 мм). Указанные данные представляют интерес для определения жесткости плиты в расчетном сечении при решении статической задачи огнестойкости.

Исследования влияния локальных повреждений защитного слоя бетона на прогрев рабочей арматуры. С учетом того, что перекрытие было подвержено хрупкому взрывообразному разрушению лишь в локальных областях, была решена модельная задача прогрева арматуры по длине с частичным повреждением защитного слоя бетона. Для этого были разработаны дополнительные расчетные модели фрагментов перекрытия размерами $X = 50$ мм, $Y = 200$ мм, $Z = 1000$ мм с арматурой диаметром 10 мм и проектной толщиной защитного слоя бетона, равной 20 мм. При этом в середине фрагмента вырезали участки длиной 500, 250 и 10 мм, имитирующие локальные повреждения защитного слоя бетона. Защитный слой в пределах вырезанных участков принимали переменным: 10 мм, 2,5 мм, а также без защитного слоя бетона на половину диаметра продольного армирования с целью имитации ее оголения при высокотемпературном воздействии. В качестве температурного режима принимали изменение среднеобъемной температуры газовой среды по показаниям 9 ТП, расположенных на отметке 2200 мм от уровня фундамента [5; 8].

Расчетная модель фрагмента железобетонного монолитного перекрытия с локальным повреждением защитного слоя на половину диаметра армирования (глубиной 25 мм) длиной 500 мм показана на рисунке 16, с толщиной защитного слоя 2,5 мм (глубиной 17,5 мм) длиной 250 мм – на рисунке 17, с толщиной защитного слоя 10 мм (глубиной 10 мм) длиной 10 мм – на рисунке 18.

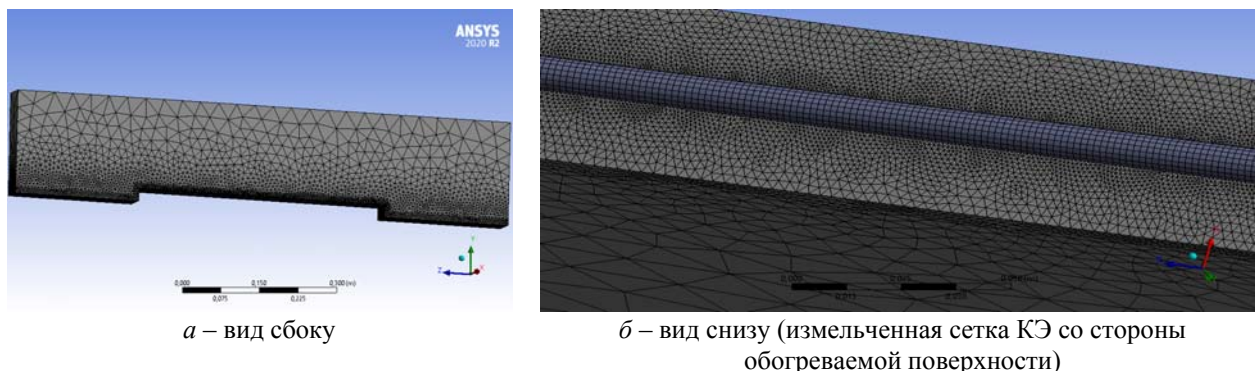


Рисунок 16. – Расчетная модель железобетонного монолитного перекрытия с локальным повреждением длиной 500 мм и глубиной 25 мм

Так же как и для ранее разработанных расчетных моделей железобетонного монолитного перекрытия, фактор плотности сетки (*Mesh*) принимали равным 0 (*Default*). Со стороны огневого воздействия снизу сетку измельчали, для чего применяли фактор измельчения (*Refinement*) со значением, равным 1. Начальные и граничные условия корректировали в соответствии с постановкой задачи. При этом теплообмен конвекцией и излучением для обогреваемой поверхности арматуры задавали только для участков оголенного

стержня полуцилиндрической формы. В разработанных расчетных моделях количество узлов варьировалось в пределах от 177 883 до 215 315, элементов – от 751 100 до 943 116.

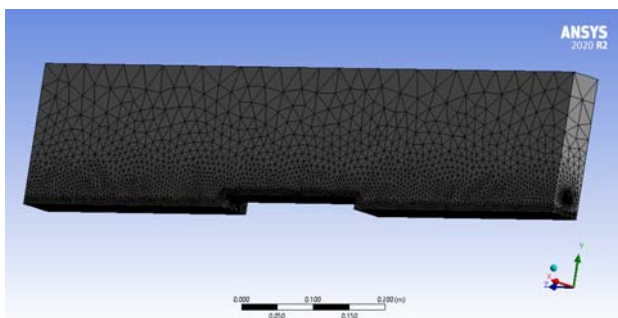


Рисунок 17. – Расчетная модель железобетонного монолитного перекрытия с локальным повреждением длиной 250 мм и глубиной 17,5 мм

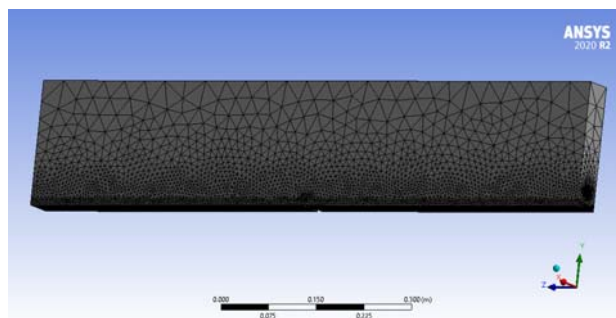


Рисунок 18. – Расчетная модель железобетонного монолитного перекрытия с локальным повреждением длиной 10 мм и глубиной 10 мм

Данные по прогреву продольного армирования с учетом локальных повреждений защитного слоя бетона в момент обрушения перекрытия представлены на рисунке 19. Графическое распределение температуры нагрева стержня арматуры на примере расчетной модели с повреждением защитного слоя бетона на глубину 25 мм (оголение арматуры на половину диаметра) и длиной 500 мм показано на рисунке 20.

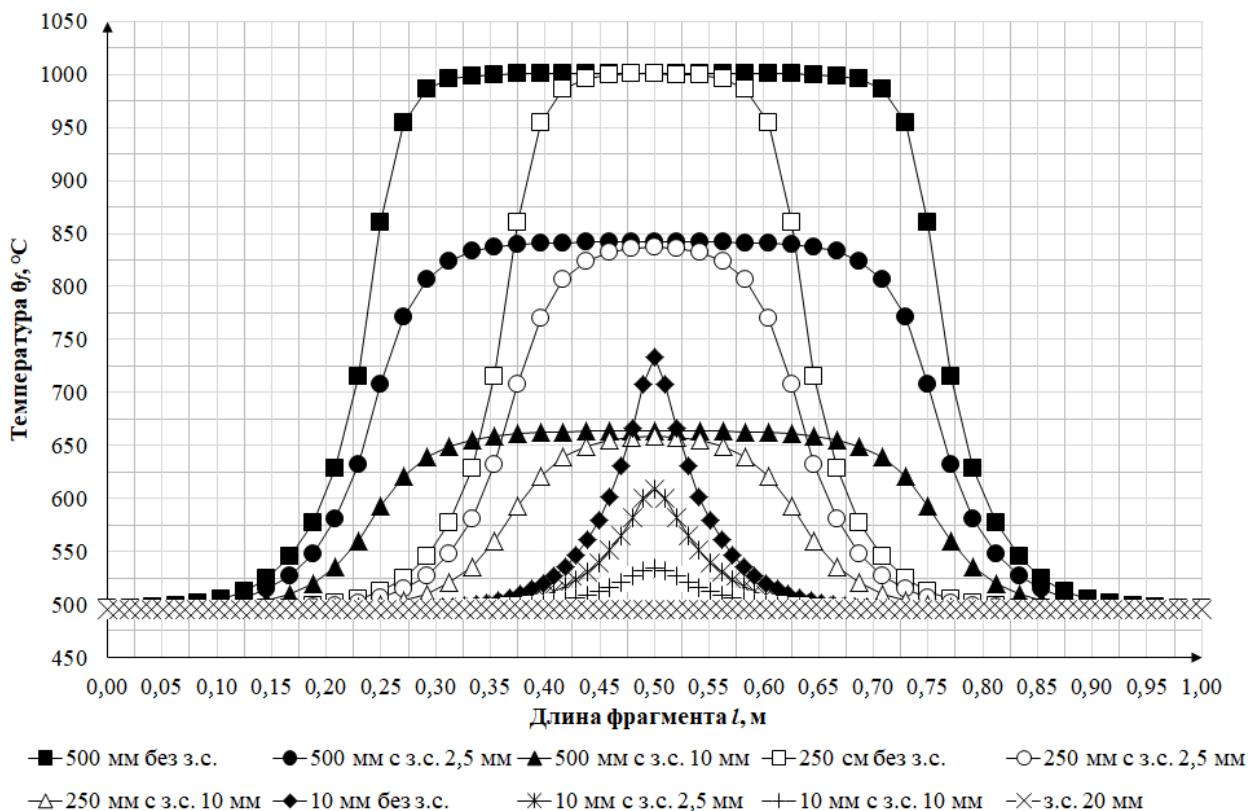


Рисунок 19. – Распределение температуры нагрева стержня арматуры с различной толщиной защитного слоя для центральной части

В результате моделирования установлено, что интенсивное снижение температуры стержней арматуры начинается еще до восстановления защитного слоя бетона. Для участков с поврежденным защитным слоем бетона на глубину 25 мм длиной 500 и 250 мм интенсивное снижение нагрева отмечено в среднем на отрезке 80–100 мм до границы восстановления проектного защитного слоя. На данном отрезке температура в среднем снижается на 12–14 %. Затем после участка с проектным защитным слоем (20 мм) температура нагрева продолжает снижаться на участке длиной 185–190 мм в среднем на 42–43 %.

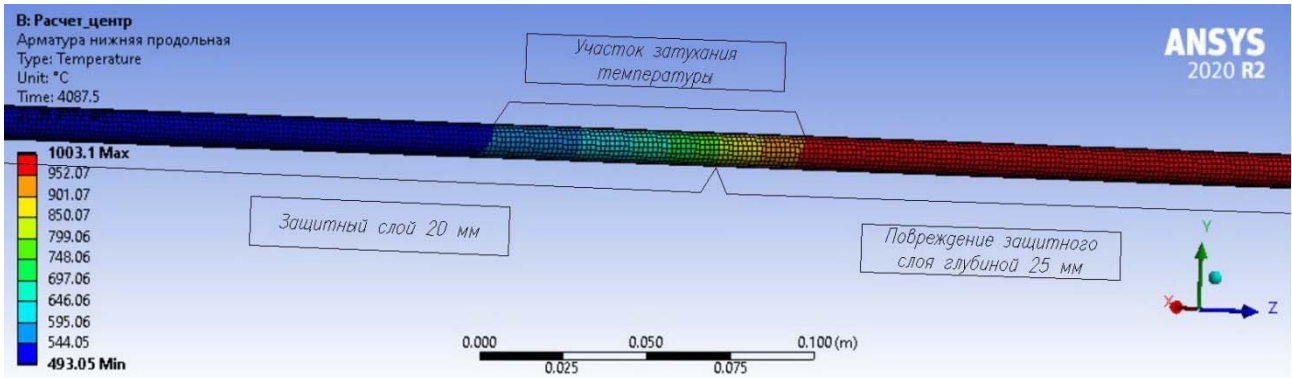


Рисунок 20. – Графическое распределение температуры нагрева стержня в расчетной модели с оголением арматуры

При глубине поврежденного защитного слоя, равной 17,5 мм, на участках длиной 500 и 250 мм интенсивное снижение нагрева наблюдается в среднем на отрезке 100–105 мм до границы восстановления проектного защитного слоя, на котором температура в среднем снижается на 15 %. После восстановления проектного защитного слоя температура нагрева арматуры снижается на участке длиной 185–190 мм еще в среднем на 30 %.

Анализ повреждений глубиной 10 мм на участках длиной 500 и 250 мм показал, что интенсивное снижение нагрева наблюдается в среднем на отрезках длиной 100–105 мм до границы восстановления проектного защитного слоя, на котором температура в среднем снижается на 10 %. Затем на участке длиной 185–190 мм происходит дополнительное снижение нагрева армирования в среднем на 16 %.

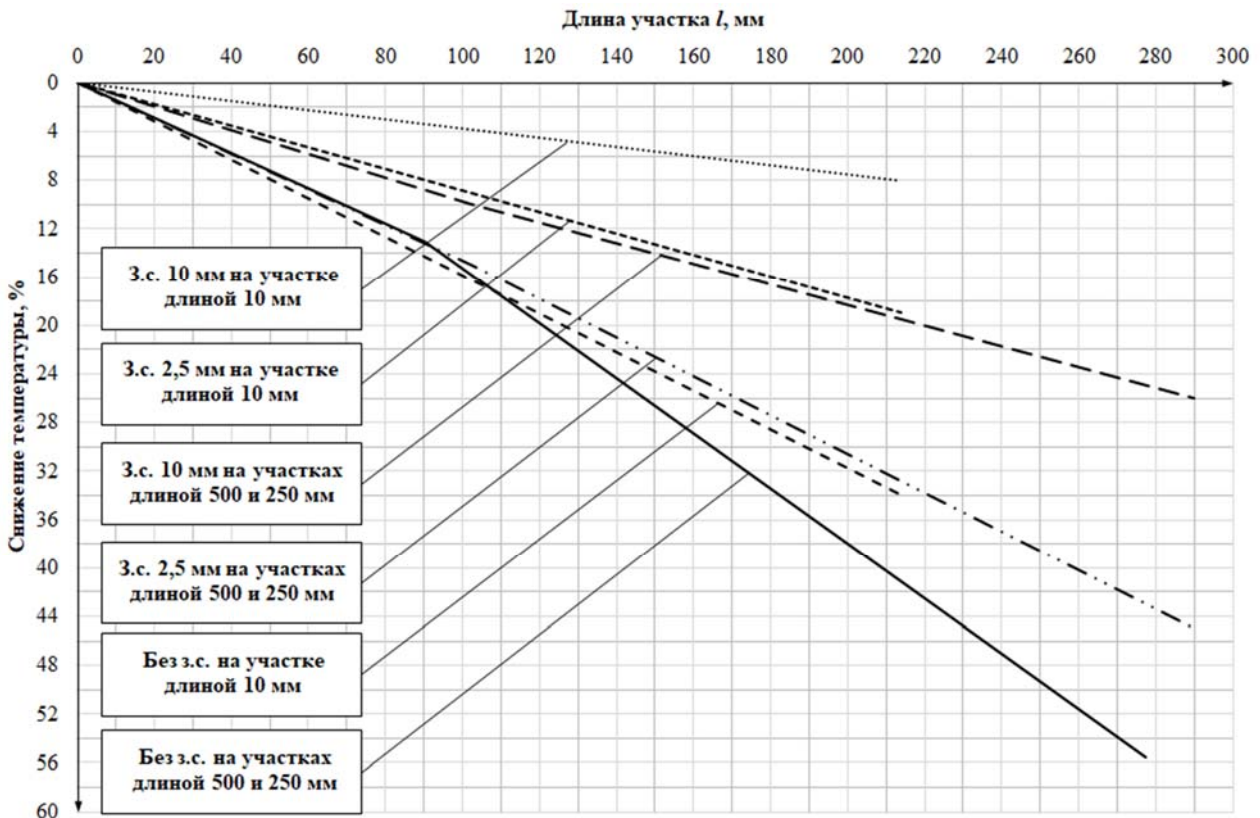


Рисунок 21. – Зависимости снижения температуры нагрева арматурных стержней от глубины повреждений защитного слоя бетона

Для локальных повреждений длиной 10 мм изменение температуры нагрева армирования от максимального значения к минимальному происходит на отрезках длиной 210–215 мм, при этом доля снижения температуры в среднем составляет: для повреждений глубиной

25 мм – 34 %; глубиной 17,5 мм – 19 %; глубиной 10 мм – 8 %. Зависимости снижения температуры нагрева арматурных стержней от глубины повреждений защитного слоя бетона представлены на рисунке 21 (за начало отсчета по оси абсцисс принято начало участка, на котором в последующем происходит снижение нагрева армирования; длина участка соответствует расстоянию, после которого снижение нагрева армирования не происходит). Схема прогрева рабочей арматуры по площади железобетонного монолитного перекрытия представлена на рисунке 22. При этом на указанной схеме с целью наглядности условно не показаны участки в пределах поврежденных слоев бетона, на которых начинается интенсивное снижение температуры нагрева продольного армирования, что описано выше. Это необходимо учитывать при пользовании рисунком 22. Рост нагрева в поперечном направлении условно не показан.

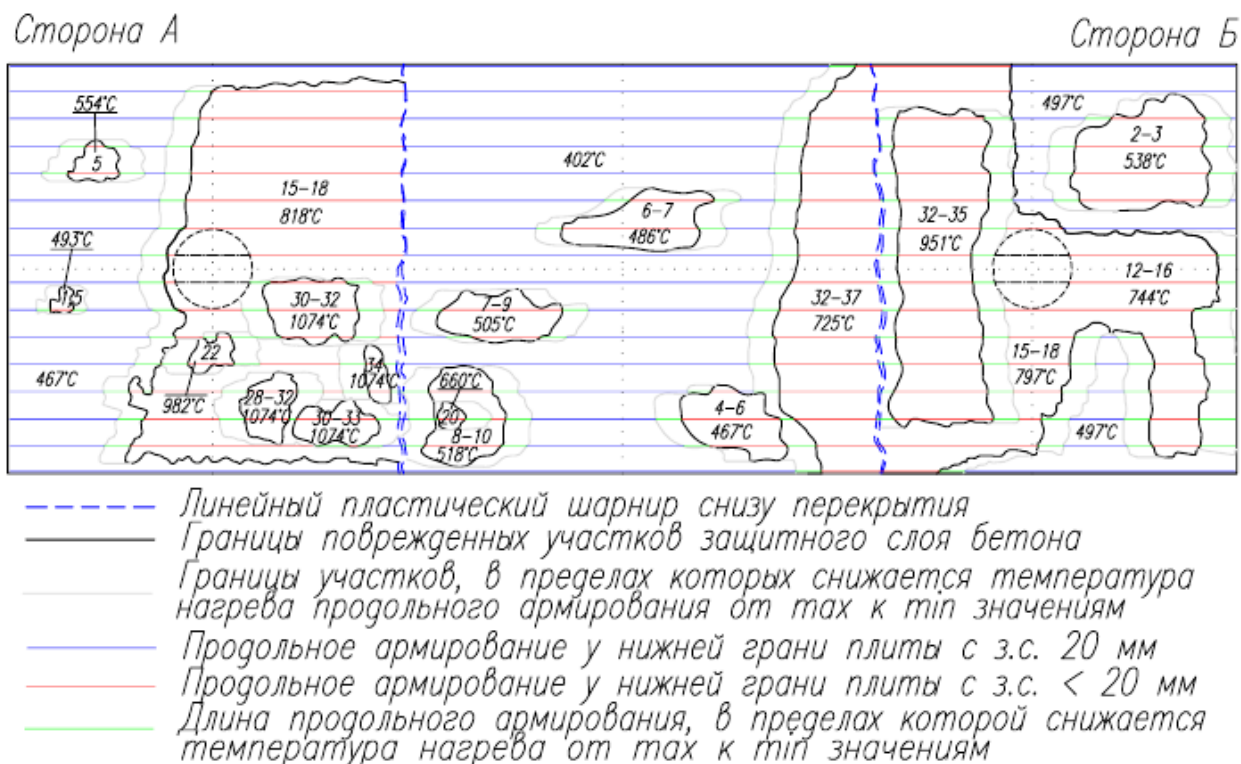


Рисунок 22. – Схема прогрева рабочей арматуры по площади железобетонного монолитного перекрытия

Заключение

Анализ распределения повреждений железобетонного монолитного перекрытия, полученных при ранее проведенных натуральных огневых испытаниях, позволил установить, что наибольшие повреждения получили преимущественно поверхностные слои сжатого бетона в местах действия максимальных напряжений, в растянутой зоне повреждения были незначительными. С применением программной системы конечно-элементного анализа Ansys Workbench (модуль Transient Thermal) и теплофизических характеристик бетона и арматуры согласно ТКП EN 1992-1-2-2009 и ТКП EN 1993-1-2-2009, на основе результатов проведенных натуральных огневых испытаний экспериментального фрагмента каркасного здания, включающего железобетонное монолитное перекрытие и сборные центрифугированные колонны, разработаны расчетные модели испытанного железобетонного перекрытия, позволившие оценить распределение температурных полей по сечению исследуемой конструкции.

В результате моделирования установлено, что хрупкое разрушение бетона существенно повлияло на прогрев сжатой зоны бетона, в том числе нижнего продольного арми-

рования. Средняя температура нагрева рабочей продольной арматуры диаметром 10 мм с защитным слоем 20 мм при температурном режиме, зафиксированном в центральной части фрагмента перекрытия, составила 402 °С, на локальном участке с защитным слоем 13,5 мм – 486 °С. Расчетная температура верхнего продольного армирования, расположенного в приопорных участках, не превысила 20 °С, необогреваемой поверхности – не превысила 15 °С. Выявленные различия экспериментальных и теоретических данных по прогреву верхней части перекрытия свидетельствуют о том, что при проведении натурных огневых испытаний происходила миграция имеющейся в порах влаги на необогреваемую поверхность (влагоперенос). Появление влаги на необогреваемой поверхности ранее наблюдалось при проведении стандартных огневых испытаний сборных железобетонных конструкций.

Получены средние температуры в расчетных сечениях перекрытия, а также эпюры температур по высоте сечения перекрытия. Расчетная средняя температура прогрева поперечного сечения перекрытия толщиной 200 мм составила 187 °С (на высоте 59 мм). Экспериментальная средняя температура перекрытия, определенная графоаналитическим методом, составила 144 °С (на высоте 79 мм), что на 23 % ниже расчетного значения, т.к. в расчете не учитывалось снижение температуры на обогреваемой поверхности перекрытия к концу эксперимента. Расчетная средняя температура прогрева поперечного сечения перекрытия толщиной 193,5 мм составила 184 °С (на высоте 62 мм), толщиной 166,5 мм – 231 °С (на высоте 53 мм). Указанные данные представляют интерес для определения жесткости плиты в расчетном сечении при решении статической задачи огнестойкости.

С целью определения закономерностей прогрева армирования по его длине при моделировании также разработаны расчетные модели с локальными повреждениями защитного слоя бетона длиной 500, 250 и 10 мм, в результате чего установлено, что интенсивное снижение нагрева начинается еще до восстановления защитного слоя. Для участков с повреждениями защитного слоя бетона длиной 500 и 250 мм интенсивное снижение нагрева отмечено в среднем на отрезке 80–105 мм до границы восстановления проектного защитного слоя бетона. Затем на участке 185–190 мм с защитным слоем 20 мм температура продолжает снижаться, а далее равняется температуре, соответствующей нагреву арматуры с указанным защитным слоем. Для локальных повреждений длиной 10 мм изменение температуры нагрева армирования от максимального значения к минимальному происходит на отрезках длиной 210–215 мм. Таким образом, можно сделать вывод, что локальные повреждения не оказывают особого влияния на увеличение прогрева арматурного стержня в местах с проектным значением защитного слоя бетона по отношению к прогреву этой же арматуры без локальных повреждений защитного слоя.

Результаты настоящих исследований планируется применить для решения статической задачи огнестойкости испытанного железобетонного монолитного перекрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Fire Statistics = Мировая пожарная статистика = DieFeuerwehrstatistik der Welt: Report [Electronic resource] / Center of Fire Statistics of CTIF; N.N. Brushlinsky et al. – 2020. – № 25. – 67 p. – Mode of access: http://ctif.org/sites/default/files/2020-06/CTIF_Report25.pdf. – Date of access: 25.05.2021.
2. Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – М.: Пожнаука, 2001. – 382 с.
3. Ройтман, В.М. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник / В.М. Ройтман [и др.]; под ред. В.М. Ройтмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – 364 с.
4. Теличенко, В.И. Комплексная безопасность в строительстве: учеб. пособие / В.И. Теличенко, В.М. Ройтман, А.А. Бенуж; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. – М.: НИУ МГСУ, 2015. – 144 с.
5. Кудряшов, В.А. Результаты натурных огневых испытаний железобетонного монолитного перекрытия в составе экспериментального фрагмента каркасного здания / В.А. Кудряшов [и др.] //

- Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 49–66. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49.
6. Кудряшов, В.А. Конструирование железобетонного монолитного перекрытия в составе фрагмента каркасного здания для исследований огнестойкости в рамках натуральных огневых испытаний / В.А. Кудряшов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 33–48. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.33.
 7. Кудряшов, В.А. Исследование огнестойкости железобетонного монолитного перекрытия в составе фрагмента каркасного здания в рамках натуральных огневых испытаний / В.А. Кудряшов, И.Ю. Кураченко // Актуальные проблемы пожарной безопасности: XXXIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки и технологий, Москва, 12–15 мая 2021 г.: тез. докл. / ВНИИПО; ред.: Е.Ю. Сушкина [и др.]. – М., 2021. – С. 554–564.
 8. Нехань, Д.С. Исследования температуры газовой среды при проведении натуральных огневых испытаний строительных конструкций / Д.С. Нехань [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 130–141. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.130.
 9. Бушев, В.П. Огнестойкость зданий / В.П. Бушев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1970. – 261 с.
 10. Серков, Б.Б. Здания и сооружения: учебник / Б.Б. Серков, Т.Ф. Фирсова. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2018. – 168 с.
 11. Schleifer, V. Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall: dissertation ETH Nr. 18156 / Vanessa Schleifer. – Zürich, 2009. – 147 s.
 12. Гейдон, А.Г. Пламя, его структура, излучение и температура / А.Г. Гейдон, Х.Г. Вольфгард. – М.: Metallurgizdat, 1959. – 333 с.
 13. Яковлев, А.И. Основы расчета огнестойкости железобетонных конструкций: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / А.И. Яковлев. – М., 1966. – 515 л.
 14. Ройтман, В.М. Оценка огнестойкости строительных конструкций на основе кинетических представлений о поведении материалов в условиях пожара: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.01 / В.М. Ройтман. – Москва, 1985. – 412 л.
 15. Полевода, И.И. Огнестойкость изгибаемых железобетонных конструкций из высокопрочного бетона: дис. канд. техн. наук: 05.23.01 / И.И. Полевода. – Минск, 2004. – 122 л.
 16. Кудряшов, В.А. Огнестойкость железобетонных сборно-монолитных перекрытий каркасных зданий с применением многослойных плит: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / В.А. Кудряшов. – Минск, 2009. – 121 л.

Моделирование прогрева железобетонного монолитного перекрытия при огневых испытаниях в составе экспериментального фрагмента каркасного здания

Modeling of the reinforced cast-in-place concrete slab heating at fire test as a part of the experimental frame building unit

Кудряшов Вадим Александрович

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», отдел научной и инновационной деятельности, начальник отдела

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

Email: vatkud@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4889-1060

Vadim A. Kudryashov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Department of Scientific and Innovation Activity, Head of the Department

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

Email: vatkud@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4889-1060

Кураченко Игорь Юрьевич

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, консультационный центр в области обеспечения пожарной безопасности, главный специалист

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

Email: i.kurachenko@yandex.by

ORCID: 0000-0002-2898-1811

Igor' Yu. Kurachenko

Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Fire Safety Advisory Center, Chief Specialist

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

Email: i.kurachenko@yandex.by

ORCID: 0000-0002-2898-1811

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.17>

MODELING OF THE REINFORCED CAST-IN-PLACE CONCRETE SLAB HEATING AT FIRE TEST AS A PART OF THE EXPERIMENTAL FRAME BUILDING UNIT

Kudryashov V.A., Kurachenko I.Yu.

Purpose. Based on the results of previously conducted full-scale fire tests of an experimental frame building unit including reinforced cast-in-place concrete slab and reinforced precast centrifugal concrete tube columns to develop a calculation model and assess the temperatures during the slab heating at fire.

Methods. Numerical method for reinforced cast-in-place concrete slab heating using Ansys Workbench finite element analysis system. The analogy technique. The graphical method analysis. Assessment of temperature field distribution over the examined structure cross section. The heating results comparison analysis with the available experimental data.

Findings. An analysis of the damage to a reinforced concrete monolithic floor, obtained during full-scale fire tests, is presented. It has been established that on the side of the heated surface, the greatest damage was observed mainly on the surface layers of compressed concrete in the places of maximum compressive stresses, in the stretched zone the damage was insignificant. A computational model for the heating of a reinforced concrete floor has been developed, which made it possible to establish that the brittle fracture of concrete significantly affected the heating of the reinforcement. The average heating temperature of the working longitudinal reinforcement with a diameter of 10 mm with a protective layer of 20 mm at a temperature regime fixed in the central part of the floor fragment was 402 °C, in a local area with a protective layer of 13.5 mm – 486 °C. The design temperature of the upper longitudinal reinforcement located in the support areas did not exceed 20 °C, and that of the unheated surface did not exceed 15 °C. The average temperatures in the calculated sections of the floor, as well as temperature diagrams along the height of the floor section, are obtained. The experimental average overlap temperature was 144 °C, which is 23 % lower than the calculated value (187 °C with a slab thickness of 200 mm), because the calculation did not take into account the decrease in temperature on the heated floor surface by the end of the experiment. The calculated average temperature of heating the cross-section of the floor with a thickness of 193.5 mm was 184 °C, with a thickness of 166.5 mm – 231 °C.

Application field of research. The results of the research can be used for fire resistance estimation of the reinforced concrete structures. It is planned to apply the obtained results to determine the load-bearing fire resistance function of the tested reinforced cast-in-place concrete slab.

Keywords: fire resistance, reinforced concrete monolithic slab, modeling, heating, calculation model, Ansys Workbench, temperature field, heat engineering calculation, brittle fracture of concrete, local damage to the protective layer of concrete.

(The date of submitting: January 7, 2022)

REFERENCES

1. Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P. *World Fire Statistics = Mirovaya pozharnaya statistika = Die Feuerwehrstatistik der Welt*: Report № 25. Center of Fire Statistics of CTIF. Available at: http://ctif.org/sites/default/files/2020-06/CTIF_Report25.pdf (accessed: May 29, 2021).
2. Roytman V.M. *Inzhenernye resheniya po otsenke ognestoykosti proektiruemykh i rekonstruiруemykh zdaniy [Engineering solutions for assessing the fire resistance of designed and reconstructed buildings]*. Moscow: Pozhnauka, 2001. 382 p. (rus)
3. Roytman V.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B., Shevkunenko Yu.G., Barinova E.L., Pristupyuk D.N. *Zdaniya, sooruzheniya i ikh ustoychivost' pri pozhare [Buildings, structures and their stability in case of fire]*. Moscow: Academy of the State Fire Service EMERCOM of Russia, 2013, 364 p. (rus)
4. Telichenko V.I., Roytman V.M., Benuzh A.A. *Kompleksnaya bezopasnost' v stroitel'stve [Comprehensive safety in construction]*: tutorial. Moscow: National Research Moscow State University of construction, 2015, 144 p. (rus)
5. Kudryashov V.A., Zhamoydik S.M., Kurachenko I.Yu., Nguen T.K. Rezul'taty naturnykh ognevykh ispytaniy zhelezobetonnoho monolitnogo perekrytiya v sostave eksperimental'nogo fragmenta karasnogo zdaniya [Results of full-scale fire tests of the monolithic reinforced concrete slab as part of a fragment of a frame building]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 1. Pp. 49–66. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49.

6. Kudryashov V.A., Zhamoydik S.M., Kurachenko I.Yu., Mordich M.M. Konstruirovaniye zhelezobetonnogo monolitnogo perekrytiya v sostave fragmenta karkasnogo zdaniya dlya issledovaniy ognestoykosti v ramkakh naturnykh ognevykh ispytaniy [Cast-in-place reinforced concrete plate construction as a part of a frame experimental building for fire resistance research]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 1. Pp. 33–48. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.33.
7. Kudryashov V.A., Kurachenko I.Yu. Issledovanie ognestoykosti zhelezobetonnogo monolitnogo perekrytiya v sostave fragmenta karkasnogo zdaniya v ramkakh naturnykh ognevykh ispytaniy [Research on the fire resistance of a reinforced concrete cast-in-place slab as part of a frame building fragment in full-scale fire testing]. *Proc. XXXIII Intern. scientific-practical conf., dedicated to the year of science and technology «Aktual'nye problemy pozharnoy bezopasnosti»*, Moscow, May 12–15, 2021. Moscow: All-Russian Research Institute for Fire Protection EMERCOM of Russia. 2021. Pp. 554–564. (rus).
8. Nekhan' D.S., Kurachenko I.Yu., Olesiyuk N.M., Kreer L.A. Issledovaniya temperatury gazovoy sredy pri provedenii naturnykh ognevykh ispytaniy stroitel'nykh konstruksiy [Temperature studies of the gaseous medium during full-scale fire tests of building constructions]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 2. Pp. 130–141. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.130.
9. Bushev V.P., Pchelintsev V.A., Fedorenko V.S., Yakovlev A.I. Ognestoykost' zdaniy [Fire resistance of building]. Moscow: Stroyizdat, 1970. 261 p. (rus)
10. Serkov B.B., Firsova T.F. Zdaniya i sooruzheniya [Buildings and structures]: textbook. Moscow: RC «INFRA-M», 2018. 168 p. (rus)
11. Schleifer V. Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall [About the behaviour of room-closing multi-layer wood components in case of fire]: Dissertation ETH Nr. 18156. Zürich, 2009. 147 s. (deu).
12. Geydon A.G., Vol'fgard Kh.G. Plamya, ego struktura, izluchenie i temperatura [Flame, its structure, radiation and temperature]. Moscow: Metallurgizdat, 1959. 333 p. (rus).
13. Yakovlev A.I. Osnovy rascheta ognestoykosti zhelezobetonnnykh konstruksiy [Basics for calculation of fire resistance of reinforced concrete structures]. Grand PhD techn. sci. diss: 05.26.03. Moscow, 1966. 515 p. (rus).
14. Roytman V.M. Otsenka ognestoykosti stroitel'nykh konstruksiy na osnove kineticheskikh predstavleniy o povedenii materialov v usloviyakh pozhara [Fire resistance Assessment of building structures based on kinetic concepts of the behavior of materials in fire]. Grand PhD techn. sci. diss: 05.26.01. Moscow, 1985. 412 p. (rus)
15. Polevoda I.I. Ognestoykost' izgibaemykh zhelezobetonnnykh konstruksiy iz vysokoprochnogo betona [Fire resistance of bent reinforced concrete structures made of high-strength concrete]. PhD techn. sci. diss: 05.23.01. Minsk, 2004. 122 p. (rus)
16. Kudryashov V.A. Ognestoykost' zhelezobetonnnykh sborno-monolitnykh perekrytiy karkasnykh zdaniy s primeneniem mnogopustotnykh plit [Fire resistance of cast-in-place reinforced concrete slabs in frame buildings with multi-core slabs]. PhD techn. sci. diss: 05.23.01. Minsk, 2009. 121 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.42>

УДК 614.841.332:624.012.45

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ANSYS

Полева И.И.

Цель. Разработать методику определения пределов огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона, основанную на компьютерном моделировании их прогрева при пожаре, а также моделировании с учетом изменяющихся свойств бетона и арматуры.

Методы. Для решения поставленных задач применены теоретические и экспериментальные методы исследования. Методом конечных элементов выполнена оценка огнестойкости по потере несущей способности. Теоретический метод основан на решении теплофизической и статической задач. Для оценки огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона необходимо знать схемы их разрушения при нестационарном нагреве, а также температурные распределения по сечению конструкции. Для получения этих данных проведены как лабораторные, так и натурные испытания.

Результаты. Разработана методика определения пределов огнестойкости по потере несущей способности (R) современных строительных конструкций из железобетона. Методика реализована в программно-вычислительном комплексе ANSYS. Численное конечно-элементное моделирование позволило определить предел огнестойкости по потере несущей способности и разработать методы повышения огнестойкости. Результаты численного моделирования сопоставлены с экспериментальными данными.

Область применения исследований. Полученные результаты могут применяться при разработке норм проектирования и конструирования железобетонных конструкций, а разработанная методика может быть использована для решения задач по оценке огнестойкости строительных конструкций и элементов при проектировании и строительстве зданий и сооружений, в том числе в рамках действующих норм.

Ключевые слова: предел огнестойкости, железобетонные конструкции, стандартный температурный режим, температурные поля, моделирование, метод конечных элементов.

(Поступила в редакцию 14 января 2021 г.)

Введение

В зданиях и сооружениях, возводимых на территории Республики Беларусь, нашли широкое применение современные строительные конструкции, такие как центрифугированные (тонкостенные) железобетонные колонны, изгибаемые железобетонные предварительно напряженные плиты без сцепления арматуры с бетоном, конструкции из высокопрочного и модифицированного бетона. При этом они должны соответствовать противопожарным требованиям в части пределов огнестойкости и классов пожарной опасности, которые и определяют область использования строительных конструкций^{1, 2}. Поскольку железобетонные конструкции вследствие негорючести бетона и арматуры относят к классу пожарной опасности КО³, то основным показателем, определяющим их область применения, является характеристика «предел огнестойкости», а именно потеря несущей способно-

¹ ТР 2009/013/ВУ. Технический регламент Республики Беларусь. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность. – Введ. 31.12.09. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2015. – 28 с.

² СН 2.02.05-2020 Пожарная безопасность зданий и сооружений: СН 2.02.05-2020: введ. 04.04.21 (взамен СН 2.02.01-2019, с отменой ТКП 45-2.02-315-2018 (33020)). – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 70 с.

³ Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть: ГОСТ 30244-94. – Введ. 01.01.96. – М.: Стандартинформ, 2008. – 19 с.

сти вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций (предел огнестойкости R)⁴.

Использование существующих методик расчета пределов огнестойкости по потере несущей способности для современных центрифугированных конструкций, конструкций железобетонных предварительно напряженных без сцепления арматуры с бетоном, а также выполненных из высокопрочного и модифицированного бетона является некорректным и неурегулированным в области нормирования, поскольку они не учитывают конструктивные и структурные особенности.

Основная часть

В основе метода оценки огнестойкости – классическая методика. Сущность расчета пределов огнестойкости по предельному состоянию R заключается в определении длительности пожара, при которой остаточное расчетное предельное усилие $R_{d,fi}$, которое способна воспринимать конструкция при пожаре в предельном состоянии, становится равным расчетному значению нагрузки $E_{d,fi}$. Данный расчет состоит из двух последовательных частей: теплотехнической и статической (рис. 1).

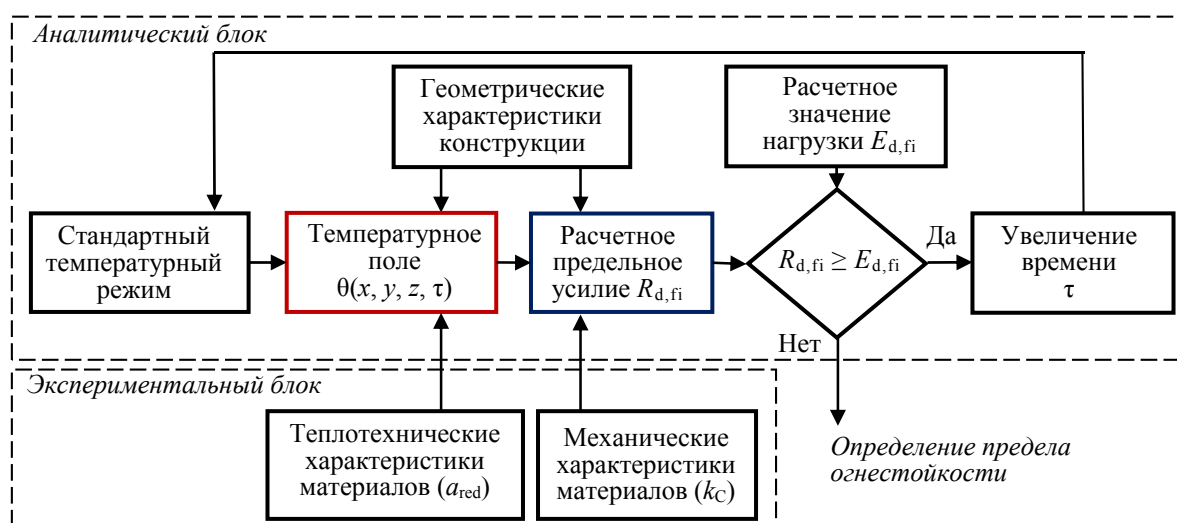


Рисунок 1. – Блок-схема расчета пределов огнестойкости железобетонных конструкций

Теплотехническая часть проводится для определения распределения температур по сечению конструкций при пожаре. Статическая часть предназначена для оценки прочности и устойчивости конструкций с использованием условия безопасности по огнестойкости.

Для получения расчетных данных и определения механизмов разрушения разработаны и испытаны три типа железобетонных конструкций: железобетонные балки из высокопрочного бетона, железобетонные предварительно напряженные плиты без сцепления арматуры с бетоном, центрифугированные железобетонные колонны [1–3]. Железобетонные балки и плиты подвергались стандартному огневому испытанию в лабораторных условиях, колонны – как часть фрагмента здания при натурных испытаниях. На основании экспериментальных и теоретических исследований стандартная методика определения предела огнестойкости адаптирована для каждого типа железобетонных конструкций. Например, для железобетонных предварительно напряженных конструкций без сцепления арматуры с бетоном характерно сильное хрупкое разрушение защитного слоя бетона, что существенно влияет на огнестойкость конструкции. Поэтому, помимо механических и теплотехнических характеристик бетона и арматуры, в методику заложен блок «Изменение расчетных геометрических характеристик конструкции с учетом возможного хрупкого разрушения защитного слоя». Методика расчета предела огнестойкости железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном представлена на рисунке 2.

⁴ Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости: ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). – Введ. 01.01.09 (с отменой на территории Респ. Беларусь П1-02 к СНБ 2.02.01-98). – Минск: Мин-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2008. – 135 с.

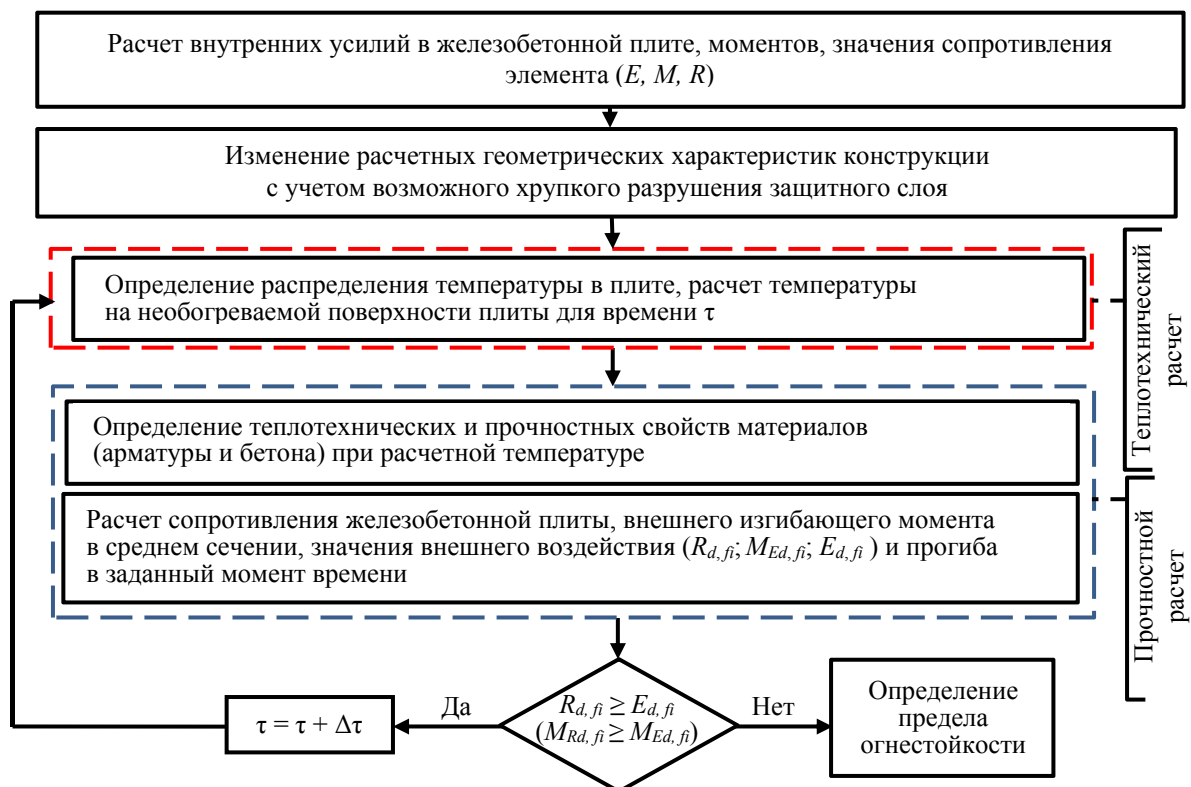


Рисунок 2. – Методика расчета предела огнестойкости железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном⁵

При разработке методики для железобетонных центрифугированных колонн следовало учесть ряд особенностей, которые способствуют более скорому прогреву и определяют поведение под нагрузкой, таких как:

наличие воздушной полости в конструкции (отсутствие бетонного ядра), что позволяет практически всему количеству теплоты, получаемой конструкцией при пожаре, аккумулироваться в ее сплошной части;

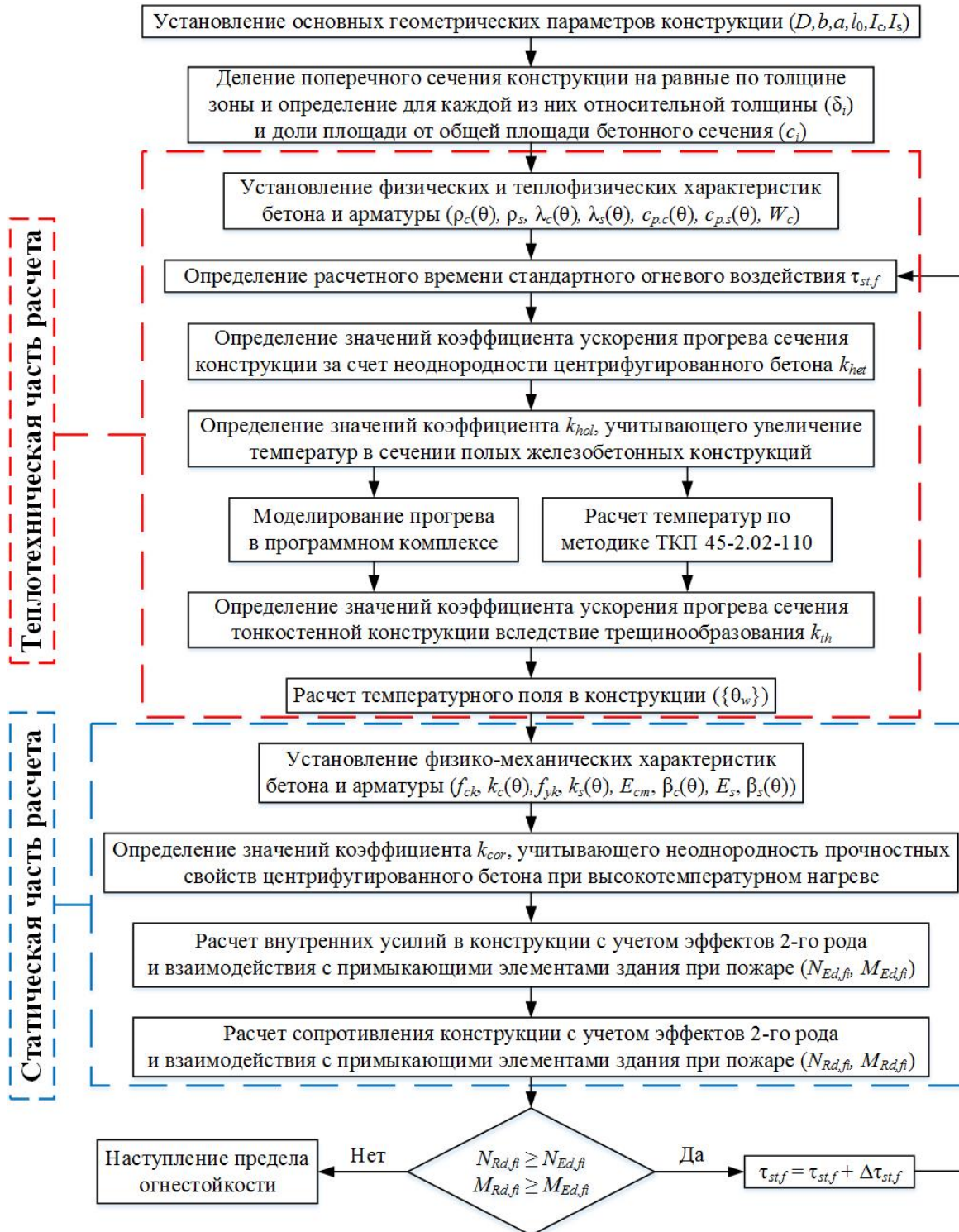
неоднородность характеристик центрифугированного бетона в поперечном сечении конструкции, которая способствует более скорому прогреву сечения и снижению механических показателей бетона;

тонкостенность конструкции, приводящая к более раннему трещинообразованию в конструкции и вследствие этого усиливающемуся прогреву [4].

Для учета данных особенностей в теплотехнической части расчета заложены блоки «Определение значений коэффициента ускорения прогрева сечения конструкции за счет неоднородности центрифугированного бетона k_{het} », «Определение значений коэффициента k_{hol} , учитывающего увеличение температур в сечении полых железобетонных конструкций» и «Определение значений коэффициента ускорения прогрева сечения тонкостенной конструкции вследствие трещинообразования, k_{th} », а в статистической части расчета «Определение значений коэффициента k_{cor} , учитывающего неоднородность прочностных свойств центрифугированного бетона при высокотемпературном нагреве». Полученные значения k_{cor} учитываются при определении приведенного значения коэффициента условий работы центрифугированного бетона при огневом воздействии.

Методика расчета пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн представлена на рисунке 3.

⁵ Зайнудинова, Н.В. Огнестойкость изгибаемых железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Н.В. Зайнудинова; Ун-т гражданской защиты МЧС Беларуси. – Минск, 2020. – 24 с.



D – наружный диаметр колонны; b и a – толщины конструкции и защитного слоя бетона; l_0 – расчетная длина колонны; I_c – момент инерции сечения бетона относительно центра тяжести сечения колонны; I_s – момент инерции площади сечения арматуры относительно центра тяжести сечения колонны; θ – температура; $\rho_c(\theta)$ – кажущаяся плотность бетона; ρ_s – плотность стали; $\lambda_c(\theta)$ и $\lambda_s(\theta)$ – коэффициенты теплопроводности бетона и стали; $c_{p.c}(\theta)$ и $c_{p.s}(\theta)$ – коэффициенты удельной изобарной теплоемкости бетона и стали; W_c – весовая влажность бетона; f_{ck} – нормативное (характеристическое) сопротивление бетона сжатию; f_{yk} – нормативное (характеристическое) сопротивление арматуры; $k_c(\theta)$ и $k_s(\theta)$ – коэффициенты условий работы бетона и арматуры при пожаре; E_{cm} – средний модуль упругости бетона; E_s – модуль упругости арматуры; $\beta_c(\theta)$ и $\beta_s(\theta)$ – коэффициенты изменения E_{cm} и E_s при нагреве; $N_{Ed,fi}$ и $M_{Ed,fi}$ – расчетные продольное усилие и изгибающий момент в сечении при пожаре; $N_{Rd,fi}$ и $M_{Rd,fi}$ – сопротивления сечения продольному усилию и изгибающему моменту при пожаре;

$\Delta\tau_{st.f}$ – увеличение времени огневого воздействия стандартного пожара

Рисунок 3. – Методика расчета пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн [4]

Теплотехнический расчет. Проведение теплотехнической части расчета по разработанным методикам реализовано с применением метода конечных элементов в программном комплексе ANSYS Workbench. Для этого построены геометрические модели экспериментальных конструкций, заданы материалы и их свойства. Параметры теплообмена между огневой средой и конструкцией при назначении граничных условий заданы в соответствии с СН 2.01.03⁶, для колонн – по результатам натуральных испытаний.

Начальные условия: температура в расчетном сечении конструкции одинакова и равна температуре окружающей среды. Граничные условия:

– балки, плиты: изменение температуры газовой среды происходит согласно кривой стандартного пожара; колонны – согласно значениям среднеобъемных температур, полученных во время натуральных огневых испытаний;

– в месте примыкания арматуры к бетону принят идеальный тепловой контакт;

– степень черноты поверхности бетона принимали равной 0,7, степень черноты пожара – 1,0, приведенная степень черноты для системы внутренняя поверхность колонны – газовая среда в полости не превышала 0,4;

– балки, плиты: теплоотдача с необогреваемой поверхности определяется как сумма теплового потока за счет конвективного теплообмена и теплового потока за счет излучения; колонны – коэффициент теплоотдачи конвекцией α между внешней поверхностью центрифугированной колонны и огневой средой принят равным 25 Вт/(м²·°С), между внутренней поверхностью и газовой средой в полости – 3,0...3,8 Вт/(м²·°С).

В ходе выполнения теплотехнического расчета огнестойкости железобетонных балок получены температурные поля, которые возможно импортировать в прочностной модуль, позволяющие производить расчет напряженно-деформированного состояния за весь временной интервал нагрева элементов железобетонных конструкций (рис. 4). В таблице 1 приведены результаты расчета температуры в сечении балки по СТО 36554501-006-2006⁷ и в ANSYS Workbench.

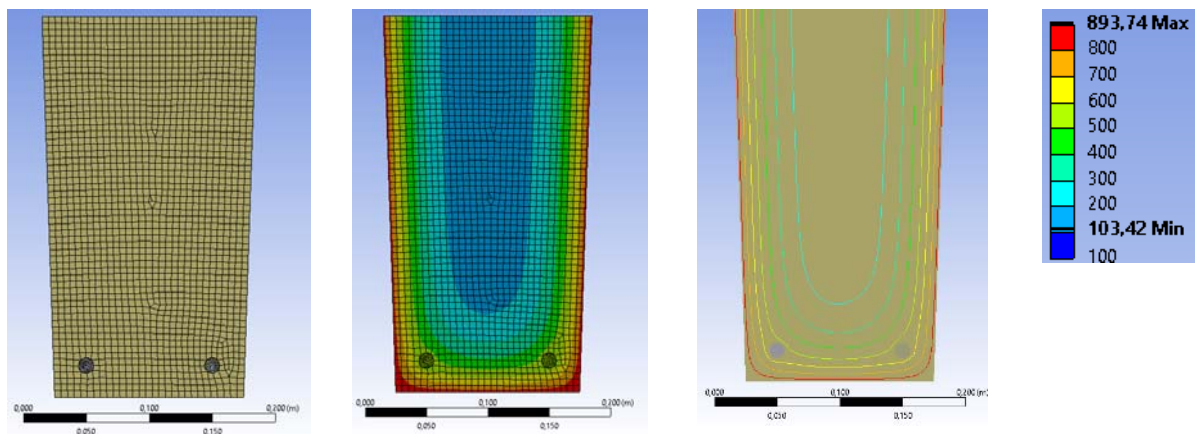


Рисунок 4. – Расчетная схема нагрева железобетонной балки сечением 150 × 300 мм, расстояние до оси арматуры 25 мм

Таблица 1. – Температура бетона в исследуемой зоне

Параметр зоны	Номер зоны (i)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура (упрощенный метод), °С	802	663	535	418	315	227	154	97	56	30
Температура (ANSYS), °С	759	597	479	379	306	245	199	164	136	58
Доля зоны	0,123	0,118	0,113	0,108	0,103	0,098	0,093	0,088	0,083	0,073

⁶ СН 2.01.03-2019. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости. – Введ. 08.09.20. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 43 с.

⁷ Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций: СТО 36554501-006-2006. – Введ. 01.11.06. – М.: ФГУП НИЦ Стр-во, 2006. – 75 с.

В ANSYS Workbench получена зависимость температуры арматуры железобетонной балки сечением 150×300 мм и расстоянием до оси арматуры 25 мм от времени (рис. 5).

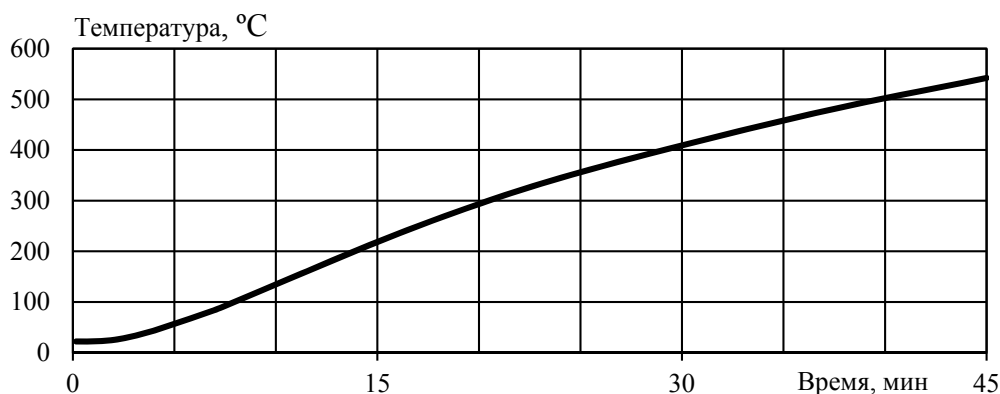
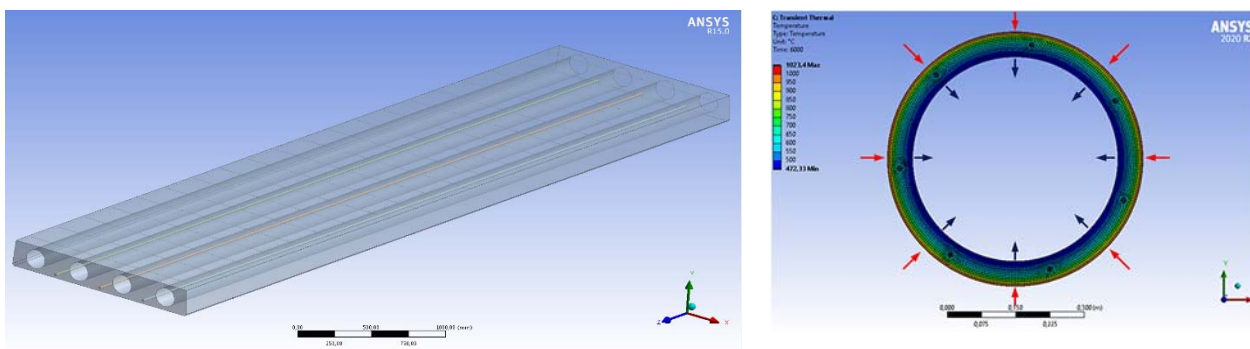


Рисунок 5. – График зависимости температуры арматуры балки от времени при моделировании

Модели железобетонной плиты без сцепления арматуры с бетоном и железобетонной центрифугированной колонны представлены на рисунке 6.



а – модель железобетонной предварительно напряженной плиты без сцепления арматуры с бетоном

б – модель центрифугированной колонны

Рисунок 6. – Геометрические модели экспериментальных конструкций

В ходе решения теплотехнической задачи для железобетонной плиты без сцепления арматуры с бетоном получена температура на необогреваемой поверхности, которая позволяет давать оценку огнестойкости плиты по критерию потери теплоизолирующей способности (рис. 7).

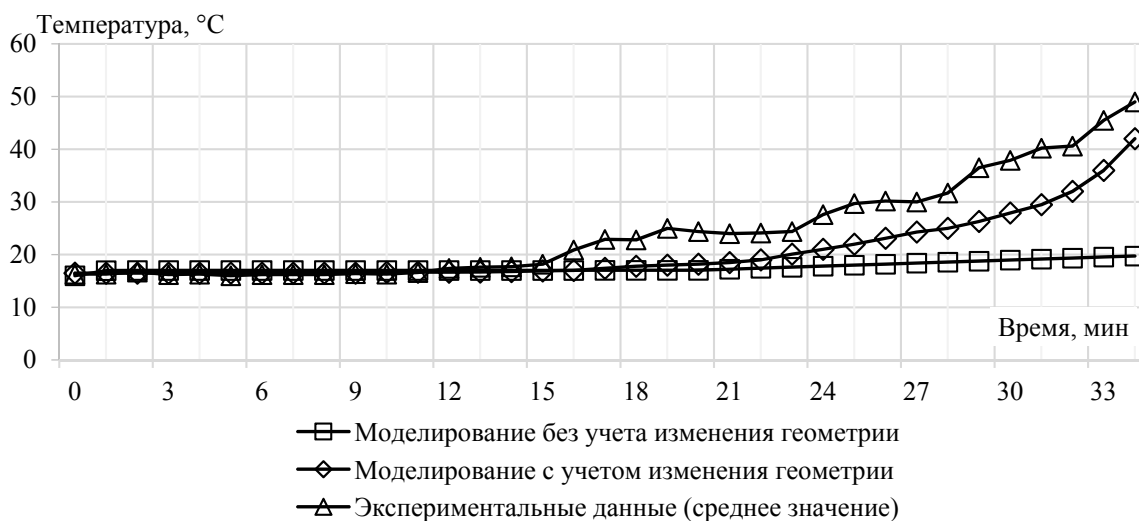


Рисунок 7. – График зависимости температуры на необогреваемой поверхности плиты от времени при моделировании и эксперименте [2]

Предел огнестойкости по потере теплоизолирующей способности при огневых испытаниях на момент разрушения конструкции не достигнут. При огневых испытаниях средняя температура на необогреваемой поверхности составила 49 °С, максимальная 90 °С. При моделировании на 33-й мин температура на поверхности конструкции составляет 19,7 °С. Получены зависимости температуры арматуры от времени стандартного огневого испытания (рис. 8).

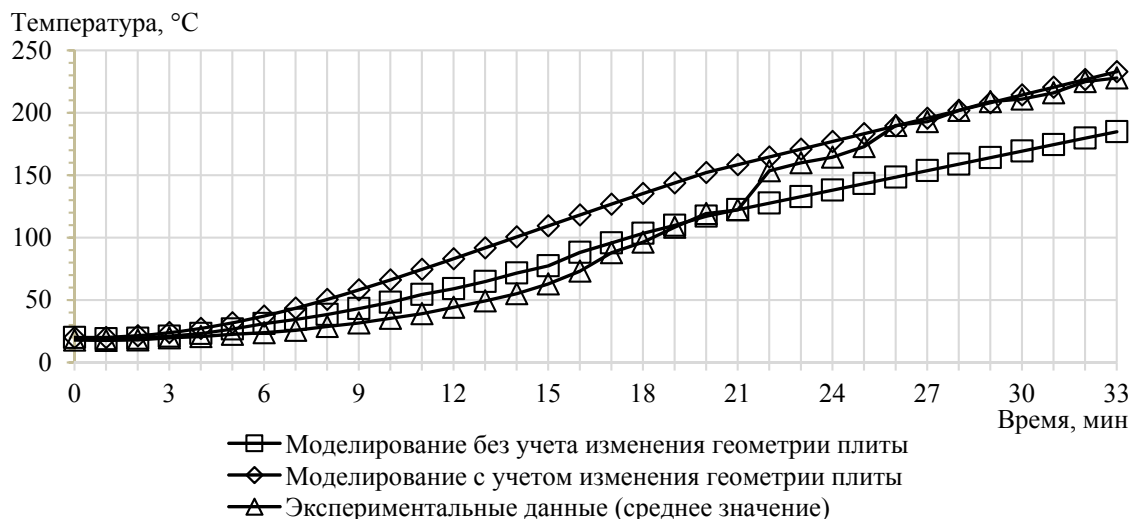


Рисунок 8. – График зависимости температуры арматуры от времени при моделировании и эксперименте [2]

Критическая температура для канатов, применяемых в конструкциях без сцепления арматуры, определена расчетным и экспериментальным методом и составила 230 °С.

На рисунке 9 приведено сопоставление результатов моделирования и расчета с экспериментальными данными для испытанных колонн.

Как видно из рисунка 9, результаты моделирования согласуются с экспериментальными данными. Значения температуры арматуры, полученные в результате моделирования с учетом поправочных коэффициентов k_{het} и k_{th} , находятся в пределах границ доверительного интервала экспериментальных значений (при уровне доверительной вероятности 95 %).

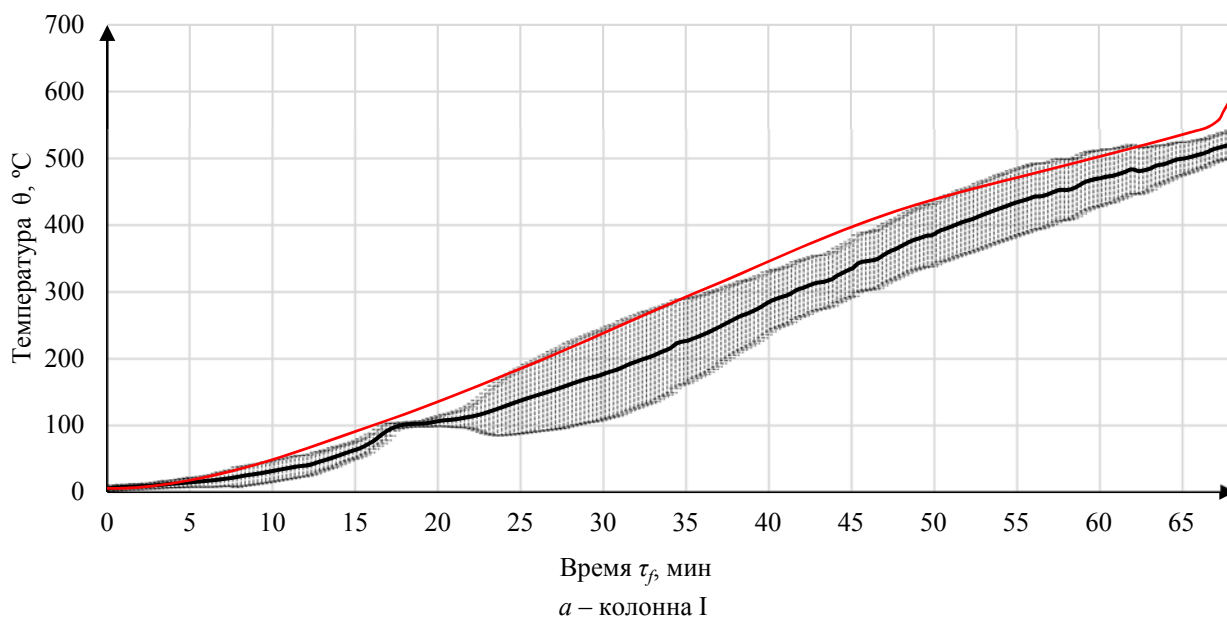


Рисунок 9. – График зависимости температуры арматуры от времени при моделировании и эксперименте [5]

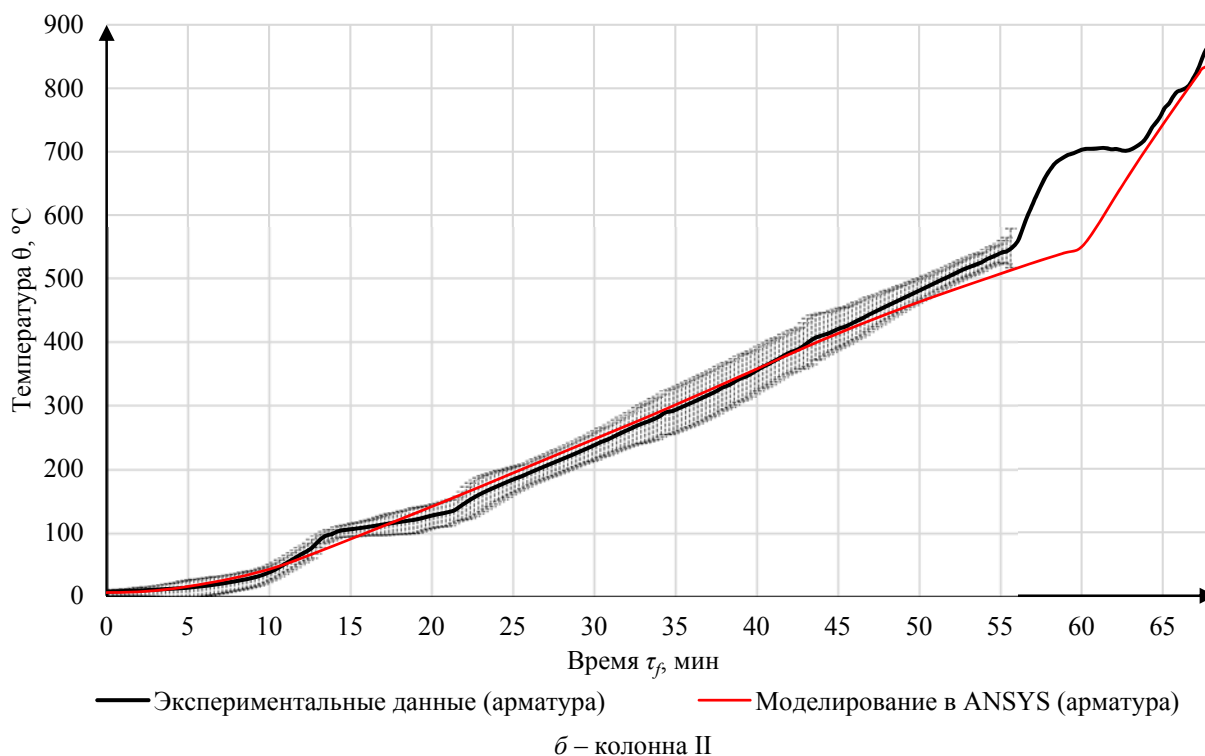


Рисунок 9. – График зависимости температуры арматуры от времени при моделировании и эксперименте [5]

Статическая часть расчета. При проведении статического расчета балок из высокопрочного бетона применялся зонный подход [6]. Наиболее полно реализовать преимущества зонного метода позволяет коэффициент k_{CM} , показывающий долю сечения бетона, которая способна выполнять свои функции при пожаре, и позволяющий учесть влияние состава бетонной смеси. Величина коэффициента k_{CM} , с учетом вариации температуры в каждой зоне определена по формуле (1):

$$k_{CM} = \left(1 - \frac{0,2}{m}\right) \cdot \sum_{i=1}^m c_i \cdot k_C(\theta_i), \quad (1)$$

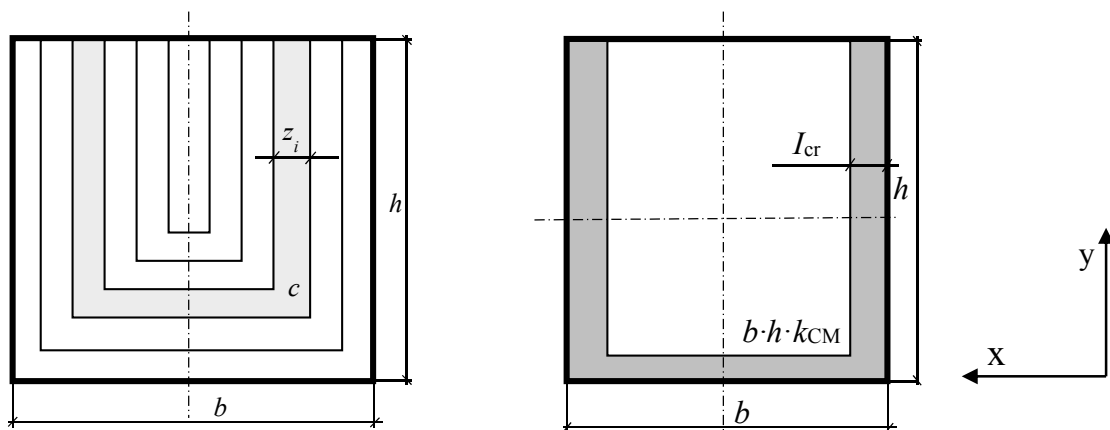
где m – количество зон; $c_i = A_{ci} / A_c$ – доля площади i -й зоны A_{ci} от общей площади поперечного сечения бетона A_c ; $k_C(\theta_i)$ – коэффициент условий работы бетона при пожаре; θ_i – температура i -й зоны.

Для конструкций прямоугольной формы c_i определено с использованием формулы 2 [6]:

$$c_i = \frac{z \cdot (2h + b - z \cdot [4i - 2])}{b \cdot h}, \quad (2)$$

где z – ширина зоны, принимается наиболее близкой диаметру арматуры, м; b, h – длина и ширина поперечного сечения конструкции, м; i – номер рассматриваемой зоны.

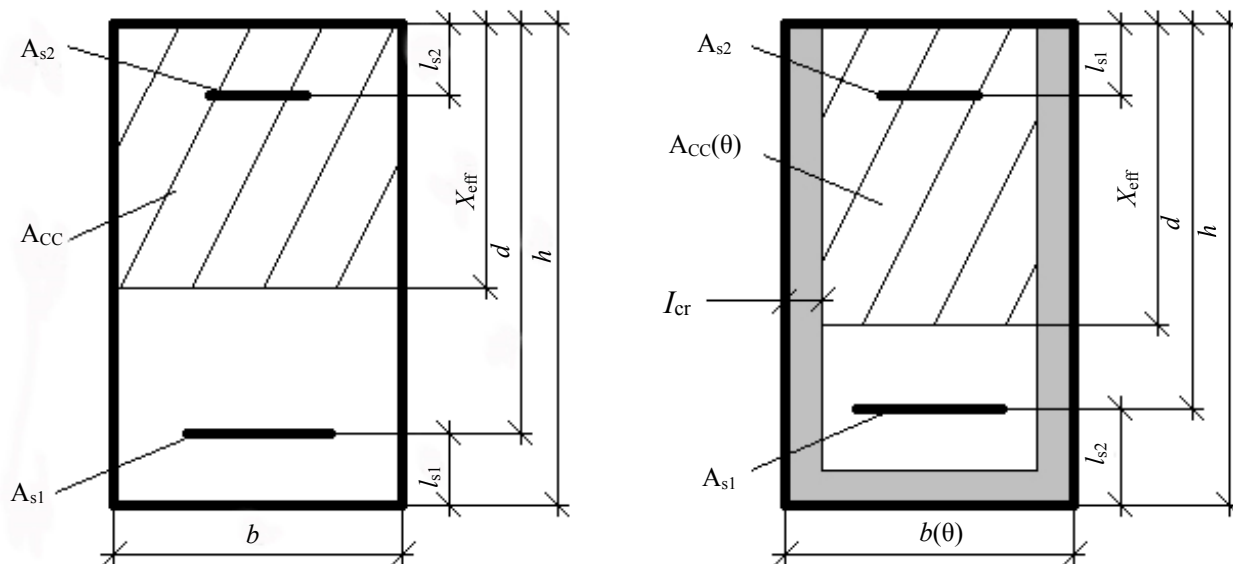
Таким образом, сечение балок было разделено на 10 зон, доля площади каждой из них уменьшалась от 0,165 до 0,063 (рис. 10).



c – площадь зоны; z_i – ширина i -й зоны, I_{cr} – толщина слоя бетона, прогреваемого до критической температуры

Рисунок 10. – Применение зонного метода и эффективная область сечения бетонной конструкции

Расчетная схема для изгибаемой конструкции при нормальных условиях и при пожаре представлена на рисунке 11.



A_{cc} – площадь сечения бетона в сжатой зоне; A_{s1} и A_{s2} – площади растянутой и сжатой арматур;

X_{eff} – высота сжатой зоны бетона; l_{s1} и l_{s2} – расстояния до осей растянутой и сжатой арматур

Рисунок 11. – Расчетная схема для изгибаемой конструкции при нормальных условиях и при пожаре

Расчет пределов огнестойкости железобетонных балок выполнен в безразмерных величинах, т.е. определен остаточный уровень предельного усилия $\eta_{fi}(\theta)$ (формула (3)), который способна воспринимать железобетонная конструкция с учетом изменения механических свойств бетона и арматуры при нагреве, с определением времени (τ), при котором данная величина становится равной уровню приложенной нагрузки η_{fi} [6].

$$\eta_{fi}(\theta) = 1,1 \cdot k_{SM1} \cdot \frac{d_x - \Delta}{d_x} = 1,1 \cdot k_{SM1} \cdot k_{XT}, \quad (3)$$

где d_x – расстояние между осью растянутой арматуры и центром тяжести сжатой зоны бетона, м; Δ – величина, показывающая изменение расстояния между осью растянутой арматуры и центром тяжести сжатой зоны бетона при пожаре, м; k_{SM1} – приведенный коэффициент работы растянутой арматуры при пожаре.

В таблице 2 приведены результаты расчетов пределов огнестойкости балок экспериментальной конструкции, проведенных с использованием формулы (3). Полученные

в результате расчетов и эксперимента результаты не отличаются более чем на 16 %, при этом значение расчетных данных для всех составов ниже экспериментальных.

Таблица 2. – Результаты расчета предела огнестойкости балок [1; 6–7]

Номер состава	Время, ч	k_{RM}^*	k_{CX}	k_{SM}^*	Δ , м	k_{XT}	$\eta_{п}(\theta)$	Предел огнестойкости, ч		ε , %
								расчет ⁸	эксперимент	
1	0,50	8,3	0,744	0,66	0,000	0,999	0,726	0,91	1,01	9,9
	0,75	8,3	0,627	0,19	0,004	0,986	0,202			
	1,00	8,3	0,530	0,06	0,005	0,982	0,065			
	1,25	8,3	0,452	0,00	0,006	0,979	0,000			
2	0,50	10,7	0,777	0,68	0,000	0,999	0,747	0,86	1,03	16,5
	0,75	10,7	0,668	0,15	0,005	0,979	0,162			
	1,00	10,7	0,578	0,05	0,006	0,976	0,054			
	1,25	10,7	0,498	0,00	0,007	0,972	0,000			
3	0,50	11,6	0,739	0,68	0,000	1,000	0,748	0,88	1,00	12,0
	0,75	11,6	0,621	0,16	0,006	0,979	0,172			
	1,00	11,6	0,524	0,06	0,007	0,975	0,064			
	1,25	11,6	0,446	0,00	0,008	0,970	0,000			

Примечание. k_{RM} – коэффициент, учитывающий отношение расчетных сопротивлений арматуры и бетона; k_{SM} – приведенный коэффициент работы арматуры при пожаре.

Статический расчет железобетонных плит без сцепления арматуры с бетоном выполнен в программном комплексе ANSYS Workbench. Начальные условия: нагрузка распределена равномерно по необогреваемой поверхности конструкции, учитывается вес конструкции; граничные условия: шарнирное опирание плиты по концам (шарнирная неподвижная опора и шарнирная подвижная опора).

В результате моделирования получены зависимости прогиба плиты от времени огневого воздействия. В начальный момент времени к плите прикладывается рабочая нагрузка, а затем последовательно температурные поля. В результате увеличения температурных деформаций увеличивается прогиб плиты. График зависимости максимального прогиба плиты от времени нагрева в сопоставлении с экспериментальными данными приведен на рисунке 11.

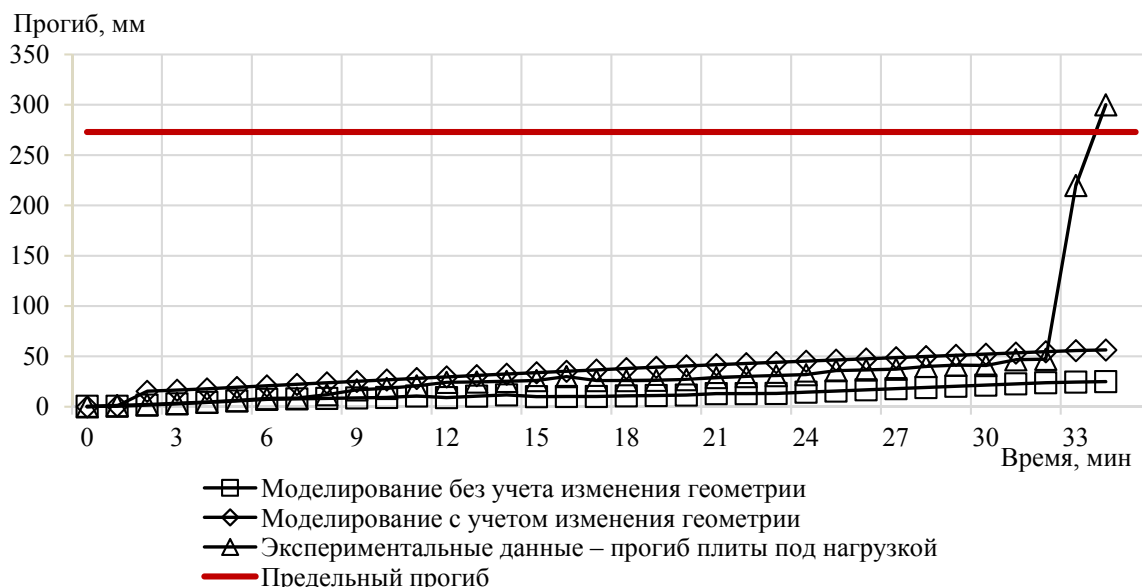


Рисунок 11. – График зависимости прогиба плит от времени при моделировании и эксперименте [8]

Предел огнестойкости по общей методике составил R60, по разработанной – R30, при экспериментальных исследованиях – R33.

⁸ См. сноску 7.

Для железобетонных центрифугированных колонн статическая часть расчета выполнена в ПК ЛИРА-САПР с учетом температурных полей, полученных при теплотехническом расчете в программном комплексе ANSYS [9]. Колонны в модели задавались стержнями длиной 2350 и 400 мм (участок со шпонкой). Учитывался собственный вес конструкций и фактическое размещение статической нагрузки на плите в процессе испытаний (рис. 12).

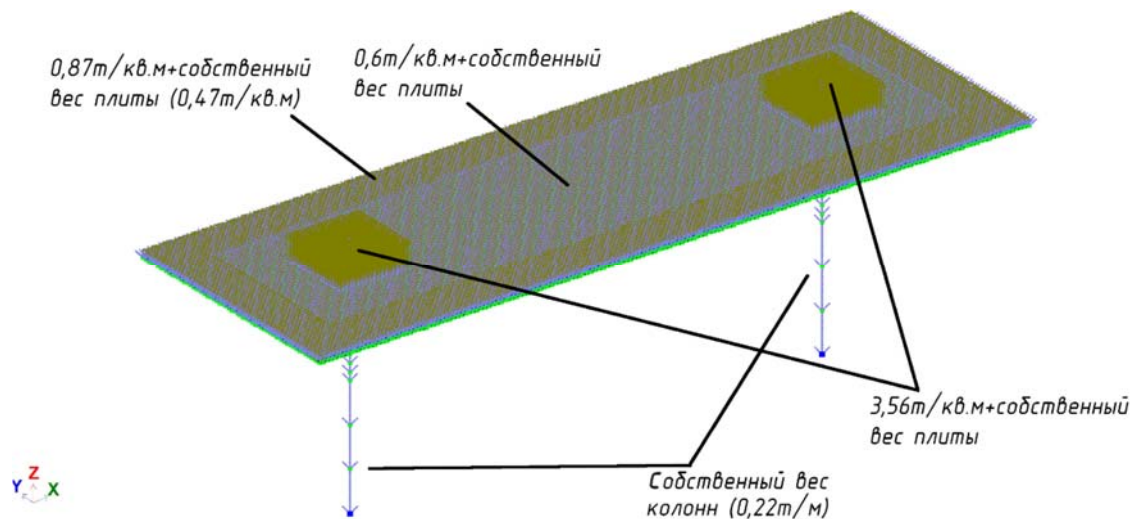


Рисунок 12. – Модель рамы для статического расчета

Несущая способность испытанных колонн в заданные моменты времени и соответствующие им статические воздействия представлены на рисунке 13.

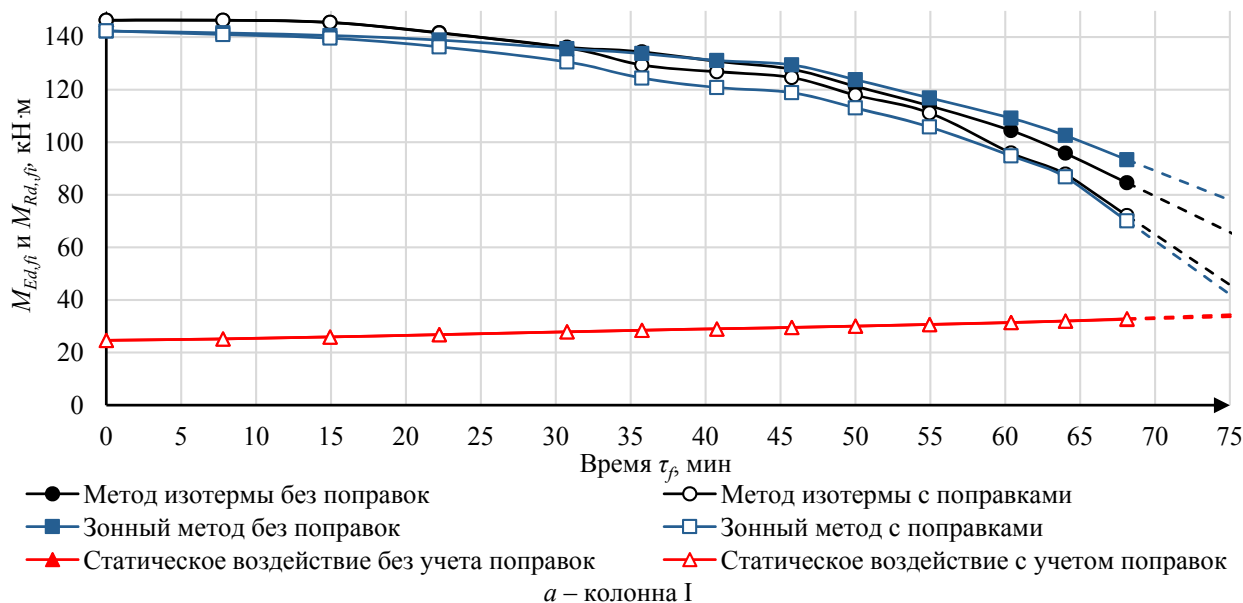


Рисунок 13. – Сопротивление центрифугированных железобетонных колонн и действующие изгибающие моменты на них во время огневых испытаний [9]

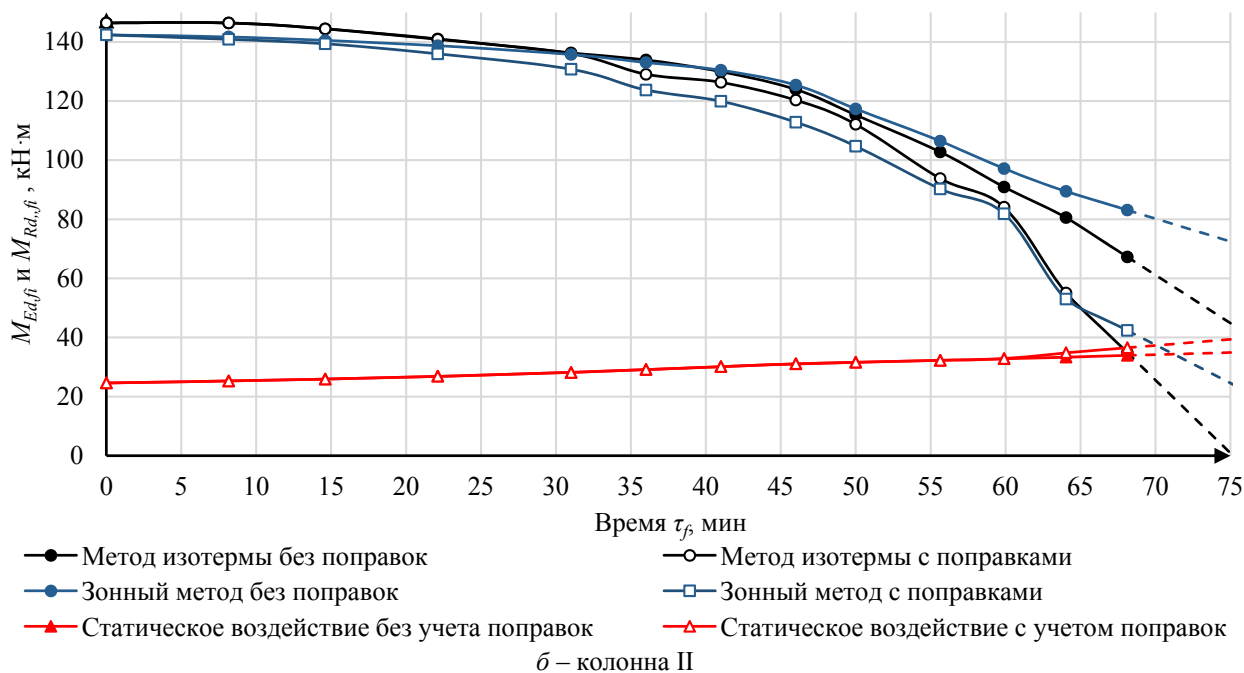


Рисунок 13. – Сопротивление центрифугированных железобетонных колонн и действующие изгибающие моменты на них во время огневых испытаний [9]

Результаты расчетов предела огнестойкости испытанных центрифугированных железобетонных колонн зонным методом и методом изотермы по разработанной методике представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты расчетов предела огнестойкости колонн

Метод расчета (ТНПА, из которого берутся величины, характеризующие изменение механических показателей арматуры и бетона)	Предел огнестойкости, мин		Отклонение результатов расчета от эксперимента, %
	Расчет	Эксперимент	
Зонный метод (ТКП 45-2.02-110)	69,7	75,5	-7,7
Зонный метод (EN 1992-1-2-2009)	78,8		4,4
Метод изотермы (ТКП 45-2.02-110)	66,0		-12,6
Метод изотермы (EN 1992-1-2-2009)	65,7		-13,0

Примечание: знак «-» показывает отклонение в меньшую сторону от эквивалентного экспериментального значения, отсутствие знака – в большую.

Таким образом, зонный метод и метод изотермы 500 °С, в которых учитываются особенности рассматриваемых конструкций, допустимо применять при оценке их огнестойкости.

Заключение

Разработана методика определения пределов огнестойкости железобетонных конструкций, основанная на компьютерном моделировании их прогрева при пожаре, а также моделировании их деформации с учетом изменяющихся свойств бетона и арматуры, что позволило разрабатывать методы повышения огнестойкости современных железобетонных конструкций. Результаты численного моделирования по разработанной методике сопоставлены с экспериментальными данными. Полученные данные рекомендуется использовать для решения задач по оценке огнестойкости строительных конструкций и элементов при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полевод, И.И. Огнестойкость изгибаемых железобетонных конструкций из высокопрочного бетона / И.И. Полевод // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2004. – № 5. – С. 65–78.

2. Полевода, И.И. Результаты испытания на огнестойкость железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном / И.И. Полевода, Н.В. Зайнудинова, Н.И. Чайчиц // Вестн. Командн.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 37–44.
3. Полевода, И.И. Результаты натуральных огневых испытаний центрифугированных железобетонных колонн кольцевого сечения / И.И. Полевода, Д.С. Нехань // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 142–159. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142.
4. Нехань, Д.С. Инженерная методика расчета пределов огнестойкости сжато-изгибаемых центрифугированных железобетонных конструкций / Д.С. Нехань // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2021. – № 1 (49). – С. 43–55.
5. Полевода, И.И. Решение теплотехнической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн / И.И. Полевода, Д.С. Нехань // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30, № 2. – С. 49–70. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.49-70.
6. Касперов, Г.И. Расчетно-экспериментальная методика оценки огнестойкости строительных конструкций из высокопрочного бетона / Г.И. Касперов, И.И. Полевода // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2003. – № 4 (14). – С. 24–32.
7. Касперов, Г.И. Оценка возможности хрупкого разрушения высокопрочного бетона при пожаре / Г.И. Касперов, И.И. Полевода // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та. – 2004. – № 1 (25). – С. 132–134.
8. Полевода, И.И. Моделирование поведения железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном в программном комплексе ANSYS / И.И. Полевода, Н.В. Зайнудинова // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 4. – С. 385–391. DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-4.385.
9. Нехань Д.С. Решение статической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн / Д.С. Нехань, И. И. Полевода // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 8. – С. 94–106.
10. Кудряшов, В.А. Результаты натуральных огневых испытаний железобетонного монолитного перекрытия в составе экспериментального фрагмента каркасного здания / В.А. Кудряшов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 49–66. DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49.

**Определение пределов огнестойкости современных строительных конструкций
из железобетона с применением компьютерного моделирования в ANSYS**
**Determination of fire resistance limits for modern reinforced concrete building structures
using computer simulation in ANSYS**

Полевода Иван Иванович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»,
начальник университета

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

Email: ip@ucp.by

ORCID: 0000-0003-2469-3553

Ivan I. Palevoda

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

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

Email: ip@ucp.by

ORCID: 0000-0003-2469-3553

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.42>

DETERMINATION OF FIRE RESISTANCE LIMITS FOR MODERN REINFORCED CONCRETE BUILDING STRUCTURES USING COMPUTER SIMULATION IN ANSYS

Palevoda I.I.

Purpose. To develop a method for determining the fire resistance limits of modern building structures made of reinforced concrete, based on computer simulation of their heating during a fire, as well as on modeling taking into account the changing properties of concrete and reinforcement.

Methods. Theoretical and experimental research methods were applied to solve the set tasks. The finite element method was used to evaluate the fire resistance by the loss of bearing capacity. The theoretical method is based on solving thermophysical and static problems. To assess the fire resistance of modern building structures made of reinforced concrete, it is necessary to know the patterns of their destruction during non-stationary heating, as well as the temperature distributions over the cross section of the structure. To obtain these data, both laboratory and field tests have been carried out.

Findings. The method for determining the fire resistance limits of load bearing function (R) of modern building structures made of reinforced concrete has been developed. This method was realized in software-computer complex ANSYS. Numerical finite element modeling made it possible to determine the fire resistance limit by the loss of bearing capacity and develop methods for improving fire resistance. The results of numerical simulation are compared with experimental data.

Application field of the research. The obtained results can be used in the development of standards for the design and construction of reinforced concrete structures, and the developed methodology can be used to solve problems of assessing the fire resistance of building structures and the elements in the process of the design and construction of buildings and structures, including the framework of existing standards.

Keywords: fire resistance limits, reinforced concrete structures, standard temperature regime, temperature fields, modeling, finite element method.

(The date of submitting: January 14, 2022)

REFERENCES

1. Palevoda I.I. Ognestoykost' izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruksiy iz vysokoprochnogo betona [Fire resistance of bent reinforced concrete structures made of high-strength concrete]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2004. No. 5. Pp. 65–78. (rus)
2. Palevoda I.I., Zainudzinava N.V., Chaychits N.I. Rezul'taty ispytaniya na ognestoykost' zhelezobetonnykh predvaritel'no napryazhennykh plit bez stsepleniya armatury s betonom [The results of the fire test concrete slabs with unbonded reinforcement of the fire resistance]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 1 (23). Pp. 37–44.
3. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. Rezul'taty naturnykh ognevykh ispytaniy tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn kol'tseвого secheniya [Results of full-scale fire test of spun reinforced concrete columns of annular section]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 2. Pp. 142–159. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.142.
4. Nekhan' D.S. Inzhenernaya metodika rascheta predelov ognestoykosti szhato-izgibaemykh tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh konstruksiy [Engineering method of the fire resistance calculation of compressed - bended spun reinforced concrete structures] *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*. 2021. – No. 1 (49). Pp. 43–55. (rus)
5. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. Resheniye teplotekhnicheskoy zadachi ognestoykosti tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn [A solution to the thermal problem of the resistance of spun reinforced concrete columns]. *Fire and Explosion Safety*, 2021. Vol. 30. No. 2. Pp. 49–70. (rus). DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.49-70.
6. Kasperov G.I., Palevoda I.I. Raschetno-eksperimental'naya metodika otsenki ognestoykosti stroitel'nykh konstruksiy iz vysokoprochnogo betona [Calculation and experimental method for assessing the fire resistance of building structures made of high-strength concrete]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*. 2003. No. 4 (14). Pp. 4–32. (rus)
7. Kasperov G.I., Palevoda I.I. Otsenka vozmozhnosti khrupkogo razrusheniya vysokoprochnogo betona pri pozhare [Assessment of the possibility of brittle fracture of high-strength concrete in the fire].

- Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2004. No. 1 (25). Pp. 132–134. (rus)
8. Palevoda I.I., Zainudzinava N.V. Modelirovanie povedeniya zhelezobetonnykh predvaritel'no napryazhennykh plit bez stsepleniya armatury s betonom v programmnom komplekse ANSYS [Modelling of the behavior of concrete slabs with unbonded reinforcement in the ANSYS program complex]. *Journal of Civil Protection*. 2017. Vol.1. No. 4. Pp. 385–391. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-4.385.
 9. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. Reshenie staticheskoy zadachi ognestoykosti tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn [The static analysis problem of fire resistance of spun reinforced concrete columns]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*. 2021. No. 8. Pp. 94–106. (rus)
 10. Kudryashov V.A., Zhamoydik S.M., Kurachenko I.Y., Nguen T.K. Rezul'taty naturnykh ognevykh ispytaniy zhelezobetonnoy monolitnoy perekrytiya v sostave eksperimental'nogo fragmenta karkasnoy zdaniya [Results of full-scale fire tests of the monolithic reinforced concrete slab as part of a fragment of a frame building]. *Journal of Civil Protection*. 2021. Vol. 5, No. 1. Pp. 49–66. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-1.49.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.58>

УДК 614.841.33:624.014.2

ТАБЛИЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ СТАЛЬНЫХ БАЛОК БЕЗ ОГНЕЗАЩИТЫ

Жамойдик С.М., Шкараденко К.В., Лященко С.Ф.

Цель. Разработка табличных данных для оценки огнестойкости изгибаемых стальных балок.

Методы. Аналитическое решение теплотехнической и статической задач огнестойкости изгибаемых стальных конструкций.

Результаты. Для сортамента стальных двутавровых балок – двутавр нормальный (Б) и широкополочный двутавр (Ш) по СТО АСЧМ 20-93 из сталей марок С245, С255, С285, С345 – определены (в зависимости от пролета, класса сечения и условий работы конструкции) предельные значения нагрузки, при которых балка может быть применена в здании без нанесения огнезащиты, обеспечивая огнестойкость 15 и 30 мин. На основании проведенных расчетов разработаны табличные данные для оценки огнестойкости стальных балок без огнезащиты.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть использованы для решения задач огнестойкости изгибаемых стальных балок с учетом нагрузки при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

Ключевые слова: незащищенные стальные балки, предельная нагрузка, предел текучести, изгиб, сдвиг.

(Поступила в редакцию 6 января 2022 г.)

Введение

Базовая характеристика всей системы противопожарной защиты зданий – огнестойкость, обеспечение которой является неотъемлемой частью проектирования и строительства зданий¹ [1; 2].

В настоящей статье принята терминология по СН 2.01.03-2020², согласно которому огнестойкость (предел огнестойкости) – способность конструктивной системы, ее части или отдельной конструкции выполнять требуемые функции (несущую и (или) ограждающую) в течение установленной продолжительности регламентируемого пожара при заданном уровне нагрузки. Классификация методов расчета огнестойкости принята по ТКП EN 1993-1-2-2009³, согласно которому методы расчета подразделяются на общие, упрощенные и методы, применяющие табличные данные.

Упрощенные методы расчета и методы, применяющие табличные данные, в основном используются для определения огнестойкости отдельных элементов конструкций с простыми граничными условиями, в то время как общий метод расчета огнестойкости используется для анализа части конструктивной схемы и всей конструкции. Наименее трудоемкими методами определения огнестойкости являются методы, применяющие табличные данные. Используемые в них таблицы получены путем множества расчетов параметров огнестойкости типовых конструкций упрощенным и общим методом, результаты которых обобщены и представлены в табличном виде и в большинстве случаев не требуют дополнительных вычислений.

¹ Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность: ТР 2009/013/ВУ: принят 02.07.2013; вступ. в силу 01.08.2010 / постановление Совета Министров Респ. Беларусь. – Минск: Госстандарт, 2015. – 25 с.

² Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: СН 2.01.03-2019; введ. 08.09.20. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 43 с.

³ Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1993-1-1-2009 (02250); введ. 01.01.10. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 93 с.

В современной практике строительства стальные конструкции находят широкое применение. Поэтому изучение проблем их огнестойкости, направленное на снижение гибели людей и материальных потерь от пожаров, является важной и актуальной задачей.

Согласно требованиям п. 5.3.5 СН 2.02.05-2020⁴ в зданиях II–IV степени огнестойкости стальные конструкции могут быть применены незащищенными (без обеспечения фактического предела огнестойкости R (E, RE, REI) 15), если требуемый предел огнестойкости конструкции не превышает R (E, RE, REI) 15.

Огнестойкость стальных конструкций в общем случае зависит от коэффициента сечения (приведенной толщины металла), класса сечения по ТКП EN 1993-1-1-2009⁵, уровня нагружения и условий работы конструкции. Таким образом, в зависимости от комбинации этих характеристик, также будет меняться и огнестойкость конструкции.

При использовании упрощенных методов расчета (без решения статической задачи) критическую температуру стальных конструкций 1–3-го класса сечения по ТКП EN 1993-1-1-2009 в общем случае допускается принимать 500 °С, для стальных конструкций 4-го класса сечения – 350 °С по ТКП EN 1993-1-2-2009⁶.

Согласно ТКП 45-2.02-110-2008⁷ огнестойкость стальных конструкций R15 в общем случае обеспечивается при приведенной толщине металла от 8 мм – для 1–3-го класса сечения и от 15 мм – для 4-го класса сечения. Все конструкции, имеющие приведенную толщину металла менее указанной, в общем случае обладают фактической огнестойкостью ниже 15 мин, и в случае пожара произойдет их преждевременное обрушение, что противоречит требованиям норм проектирования. Следовательно, такие конструкции не должны применяться в зданиях II–IV степени огнестойкости без огнезащиты.

Наступление предельного состояния R (потеря несущей способности) стальных конструкций, вызванное нагревом конструкции при пожаре, происходит по двум причинам: потеря прочности из-за снижения предела текучести стали и потеря устойчивости из-за деформации вследствие снижения модуля упругости стали. Исходя из этого проектирование стальных конструкций должно основываться на расчетных методах, учитывающих специфику работы стальных элементов при пожаре.

Для оценки огнестойкости стальных конструкций применяются упрощенные и общие методы расчета, в то время как для железобетонных и каменных конструкций на основании проведенных расчетов разработаны и представлены в ТКП 45-2.02-110-2008⁸, ТКП EN 1992-1-2-2009⁹ и ТКП EN 1996-1-2-2009¹⁰ методы оценки огнестойкости, применяющие табличные данные, на основании которых инженер-конструктор способен оценить огнестойкость конструкций при минимальных трудозатратах.

Аналогичный метод оценки огнестойкости стальных конструкций без огнезащиты частично представлен в ТКП 45-2.02-110-2008¹¹ в виде номограммы для определения их нагрева при стандартном температурном режиме, которая отражает решение только теплотехнической задачи. Табличные методы разрабатывают для стальных конструкций с огнезащитой. В таблицах приводится информация для определения времени их нагрева

⁴ СН 2.02.05-2020. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – Взамен СН 2.02.01-2019, ТКП 45-2.02-315-2018 (33020). – Введ. 04.04.21. – Минск: РУП «Стройтехнорм». 2021. – 70 с.

⁵ См. сноску 3.

⁶ Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1993-1-2-2009 (02250); введ. 01.01.20. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 77 с.

⁷ ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости. – Взамен П1-02 к СНБ 2.02.01-98. – Введ. 12.06.08. – Минск: РУП «Стройтехнорм». 2008. – 126 с.

⁸ См. сноску 7.

⁹ Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1992-1-2 (02250); введ. 10.12.09. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 86 с.

¹⁰ Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1996-1-2-2009 (02250); введ. 10.12.09. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 112 с.

¹¹ См. сноску 7.

до критической температуры в зависимости от коэффициента сечения (приведенной толщины металла), вида сортамента и толщины огнезащиты^{12, 13} [2–7], но для оценки огнестойкости в последующем необходимо решить статическую задачу.

В целях снижения трудоемкости подбора параметров стальных балок, соответствующих заданному пределу огнестойкости, для оценки их огнестойкости необходимо подготовить табличные данные, учитывающие статическую и теплотехническую задачи.

Основная часть

Подтверждение огнестойкости строительных конструкций осуществляется сравнением фактических параметров с требуемыми. Согласно СН 2.01.03-2019¹⁴ используются:

временные

$$t_{f_i, d} \geq t_{f_i, requ} \tag{1}$$

прочностные

$$R_{f_i, d, t} \geq E_{f_i, d, t} \tag{2}$$

и температурные параметры

$$\theta_d < \theta_{cr, d} \tag{3}$$

где $t_{f_i, d}$ – расчетный предел огнестойкости, мин;

$t_{f_i, requ}$ – требуемый предел огнестойкости, мин;

$R_{f_i, d, t}$ – расчетное сопротивление элемента при пожаре в момент времени t ;

$E_{f_i, d, t}$ – расчетный результат воздействия при пожаре в момент времени t ;

θ_d – расчетная температура материала, °С;

$\theta_{cr, d}$ – расчетная критическая температура материала, °С.

Определение указанных параметров является трудоемким и сложным процессом и включает множество отдельных взаимосвязанных алгоритмов по решению статических и теплотехнических задач.

Все параметры, входящие неравенства (1)–(3), функционально взаимосвязаны между собой и нагрузкой, действующей на несущую конструкцию при пожаре. В качестве альтернативы проверки обеспечения огнестойкости строительных конструкций предлагается проверка условия по предельной нагрузке на конструкцию:

$$q_{f_i, t, Rd} \geq q_{f_i, t, Ed} \tag{4}$$

где $q_{f_i, t, Rd}$ – предельная нагрузка на метр погонный конструкции при пожаре в момент времени t , кН/м; $q_{f_i, t, Ed}$ – расчетная нагрузка на метр погонный конструкции при пожаре в момент времени t , кН/м.

¹² Инструкция по определению необходимой толщины огнезащитной системы «ЕТ Металл», выполненной из плит минераловатных теплоизоляционных огнезащитных EURO-ЛИТ плотностью 150 кг/м³ ТУ 5762-011-08621635-2009 с изм. 1 и огнезащитного состава «Плазас» ТУ 5765-013-70794668-2006 в зависимости от приведенной толщины металла, критической температуры стальной строительной конструкции и требуемого предела огнестойкости: утв. нач. ФГБОУ ВПО Уральский ин-т ГПС МЧС России 26.09.2014. – Екатеринбург: ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России, 2014. – 31 с.

¹³ Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с огнезащитными облицовками, выполненными из плит КНАУФ-Файерборд ТУ 5742-006-01250242-2009 по стальному каркасу из тонколистовых оцинкованных профилей ТУ 1121-012-04001508-2011: утв. зам. нач. ФГБУ ВНИИПО МЧС России 19.03.2012. – Москва: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012. – 40 с.

¹⁴ См. сноску 2.

Как правило, расчетная нагрузка для сочетания воздействий в случаях особых расчетных ситуаций (при пожаре) E_d по СН 2.01.01-2019¹⁵ вычисляется на предпроектной стадии по формуле:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ или } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}, \quad (5)$$

где $G_{k,j}$ – характеристическое значение постоянного воздействия j ;

P – определяющее репрезентативное значение усилия предварительного напряжения;

A_d – расчетное значение особого воздействия;

$Q_{k,1}$ – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия 1;

$Q_{k,i}$ – характеристическое значение сопутствующего переменного воздействия i ;

$\psi_{1,i}$ – коэффициент, учитывающий частоту повторения временного воздействия;

$\psi_{2,i}$ – коэффициент, учитывающий практически постоянное значение временного воздействия.

Затем значение, полученное по формуле (5), в зависимости от грузовой площади балки пересчитывается на метр погонный ее длины. Поэтому для использования неравенства (4) необходимо установить предельную нагрузку, в случае превышения которой произойдет потеря несущей способности стальных балок.

Настоящая статья посвящена разработке табличных данных для оценки огнестойкости стальных балок, защищенных от потери устойчивости, несущая способность которых определяется только по критерию прочности. Рассматриваемые табличные данные распространяются на раскрепленные балки: двутавр нормальный (Б) и широкополочный двутавр (Ш) по СТО АСЧМ 20-93¹⁶ для сталей марок: С245, С255, С285, С345 с равномерно распределенной нагрузкой по длине при равномерном распределении температуры по сечению балки.

Для получения табличных данных по оценке огнестойкости стальных балок без огнезащиты были решены следующие задачи:

1. Для указанного сортамента прокатных профилей определен нагрев расчетного сечения стальной балки на 15 и 30 мин стандартного огневого воздействия.

Прирост температуры стальной балки без огнезащиты $\Delta\theta_{a,t}$ при равномерном ее нагреве за промежуток времени Δt определен из соотношения

$$\frac{\Delta\theta_{a,t}}{\Delta t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m}{V_m c_a \rho_a} \cdot h_{net}, \quad (6)$$

где k_{sh} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние теневого эффекта;

A_m – площадь поверхности конструкций на единицу длины, м²/м;

V_m – объем конструкций на единицу длины, м³/м;

c_a – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг×К);

h_{net} – расчетное значение результирующего теплового потока на единицу площади, Вт/м²;

ρ_a – плотность стали, принимаемая 7850 кг/м³;

Δt – промежуток времени, при этом $\Delta t \leq 5$ с.

Результаты проведенных расчетов изменения температуры для части стальных балок для двутавров нормальных (Б) по СТО АСЧМ 20-93 во времени приведены на рисунке 1.

¹⁵ СН 2.01.01-2019 Основы проектирования строительных конструкций. – Взамен ТКП EN 1990-2011 (02250). – Введ. 08.09.20. – Минск: РУП «Стройтехнорм». 2021. – 90 с.

¹⁶ СТО АСЧМ 20-93. Стандарт ассоциации предприятий и организаций по стандартизации продукции черной металлургии. Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия. – Введ. 01.01.94. – Ассоциация «Черметстандарт», 2008. – 12 с.

2. На основании расчета изменения температуры сечения стальной балки определен коэффициент снижения предела текучести $k_{y,\theta}$ по таблице 3.1 ТКП EN 1993-1-2-2009¹⁷.

3. Согласно ТКП EN 1993-1-2-2009 и с учетом ТКП EN 1993-1-1-2009¹⁸ определены расчетные сопротивления изгибающему моменту $M_{fi,t,Rd}$ (Н·м) и сдвигу $V_{fi,t,Rd}$ (Н).

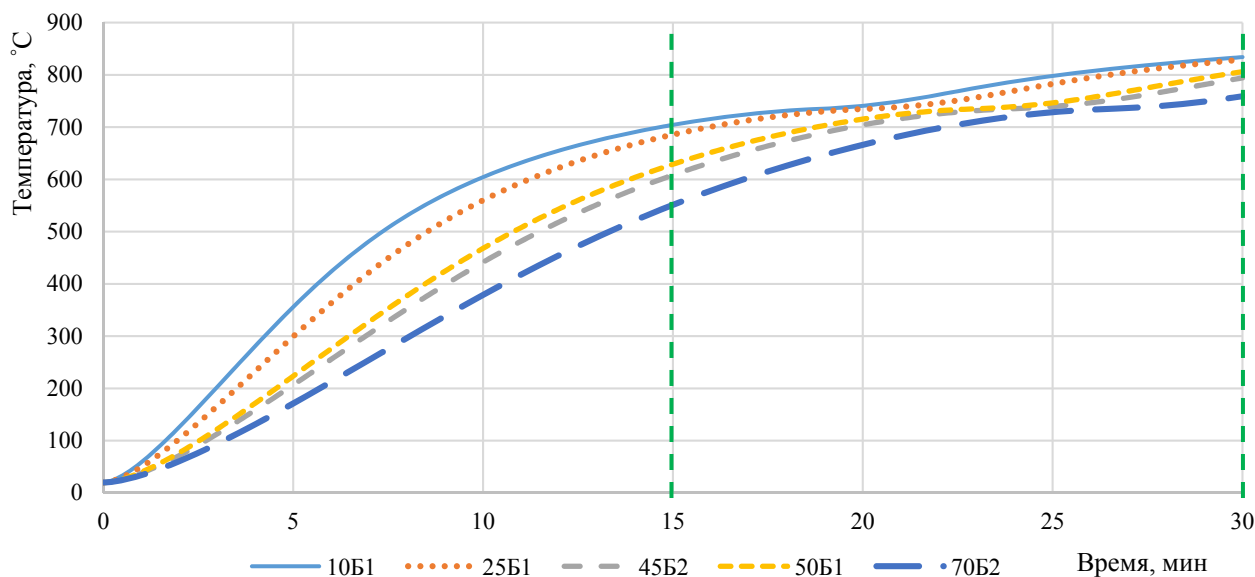


Рисунок 1. – График изменения температуры стали во времени для двутавров нормальных по СТО АСЧМ 20-93

Потеря несущей способности стальных балок при пожаре в момент времени t под действием равномерно распределенной нагрузки, как правило, наступает вследствие снижения расчетного сопротивления поперечного сечения изгибающему моменту до значения действующего изгибающего момента. Исключение составляют стальные балки короткого пролета, у которых при пожаре в момент времени t происходит потеря несущей способности вследствие превышения расчетного усилия сдвига в поперечном сечении, вызванного действием равномерно распределенной нагрузки, расчетного сопротивления сдвигу стальной балки. Таким образом, предельную нагрузку на метр погонный стальной балки при пожаре в момент времени t определяли по двум критериям: изгибающему моменту и усилию сдвига в расчетных сечениях.

При проведении расчета поперечное сечение каждого несущего элемента каркаса должно быть классифицировано в зависимости от уровня нормальных напряжений, геометрических размеров сечения и физико-механических характеристик стали. Классификация поперечных сечений зависит от отношения ширины к толщине частей сечения, расположенных в его сжатой зоне. Сжатые зоны включают все части поперечного сечения, которые полностью или частично сжаты под действием рассматриваемого сочетания нагрузок. Различные сжатые части поперечного сечения (такие как стенка или полка) могут относиться к различным классам. Поперечное сечение классифицируется по наивысшему (наименее благоприятному) классу его сжатых частей и определяется в соответствии с ТКП EN 1993-1-1-2009.

Расчетное сопротивление изгибающему моменту $M_{fi,t,Rd}$ поперечных сечений 1–3-го класса в момент времени t обычно определяется в предположении равномерного распределения температуры $\theta_{a,t}$ по площади поперечного сечения путем корректировки расчетного сопротивления при нормальной температуре по ТКП EN 1993-1-1-2009 с учетом изменения механических свойств стали при повышенных температурах

¹⁷ См. сноску 6.

¹⁸ См. сноску 3.

$$M_{f_i, t, Rd} = \frac{W_{pl(elt)} f_y k_{y, \theta}}{\gamma_{M, fi}}, \quad (7)$$

где $k_{y, \theta}$ – коэффициент снижения предела текучести стали при температуре θ_a ;

W_{pl} и W_{el} – моменты сопротивления сечения в пластической (для сечений 1-го и 2-го класса) и упругой (для сечений 3-го класса) стадиях, м³;

f_y – предел текучести при 20 °С (определяемый с учетом требований таблицы НП.1 ТКП EN 1993-1-1-2009), Па;

$\gamma_{M, fi}$ – частный коэффициент безопасности для соответствующей характеристики материала при пожаре, равен 1.

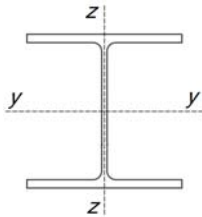


Рисунок 2. – Поперечное сечение стальной балки

Расчетное сопротивление сдвигу $V_{fi, t, Rd}$ определяется по формуле:

$$V_{fi, t, Rd} = \frac{A_v f_y k_{y, \theta}}{\sqrt{3} \gamma_{M, fi}}, \quad (8)$$

где A_v – площадь сдвига, м².

В формулах (7)–(8) рассматривалось приложение нагрузки к верхней полке стального двутавра (рис. 2).

Принимаем, что огнестойкость стальных балок при 4- и 3-стороннем огневом воздействии составляет 15 и 30 мин. Тогда в силу (1)–(3) расчетное значение действующего изгибающего момента $M_{fi, t, Ed}$ будет равно расчетному сопротивлению поперечного сечения изгибающему моменту при равномерном распределении температуры $\theta_{a, t}$, а расчетное усилие сдвига в поперечном сечении $V_{fi, t, Ed}$ будет равно расчетному сопротивлению балки на сдвиг:

$$M_{fi, t, Ed} = M_{fi, t, Rd}, \quad (9)$$

$$V_{fi, t, Ed} = V_{fi, t, Rd}. \quad (10)$$

4. Определены предельные значения нагрузки на метр погонный балки по изгибающему моменту q_M и усилию сдвига q_V (кН/м), при которых огнестойкость балки составляет 15 и 30 мин.

Значение действующего изгибающего момента при нормальных условиях для шарнирно опертой балки при равномерно распределенной нагрузке определяется по правилам строительной механики по формуле:

$$M_{fi, t, Ed} = \frac{1}{8} q_M l^2, \quad (11)$$

где q_M – нагрузка, кН/м; l – длина пролета, м.

Расчетное усилие сдвига поперечного сечения определяется по формуле:

$$V_{fi, t, Ed} = \frac{q_V l}{2}. \quad (12)$$

В силу (9), подставив в формулу (11) значение расчетного сопротивления балки на изгиб и задав длину пролета, легко получить предельное значение нагрузки на метр погонный балки по изгибающему моменту q_M (кН/м), при котором ее огнестойкость будет составлять 15 и 30 мин:

$$q_M = 8M_{fi, t, Ed} / l^2. \quad (13)$$

Аналогично в силу (10) из (12) определяется предельное значение нагрузки на метр погонный балки по усилию сдвига q_V (кН/м), при котором ее огнестойкость будет составлять 15 и 30 мин:

$$q_V = 2V_{fi,t,Rd} / l. \quad (14)$$

Блок-схема алгоритма определения предельного значения нагрузки в результате действия изгибающего момента и усилия сдвига представлена на рисунке 3.

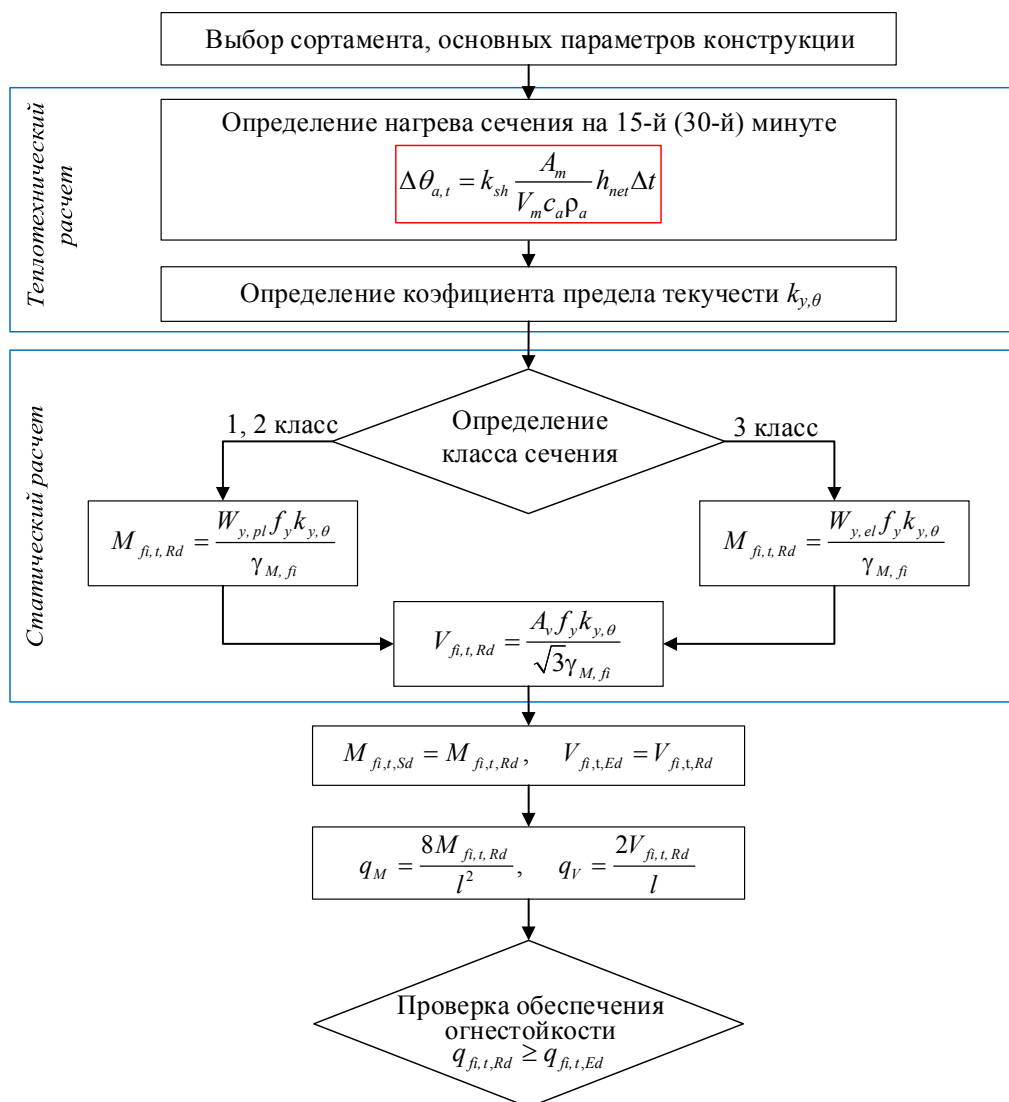


Рисунок 2. – Структурная схема алгоритма определения предельных значений нагрузки для 1–3-го класса сечений, при которых наступит потеря несущей способности стальных балок

Значения результата воздействий при пожаре в момент времени 15 и 30 мин для шарнирно опертой балки с учетом коэффициента расчетного уровня нагрузки двутавров нормальных (Б) и широкополочных двутавров (Ш) по СТО АСЧМ 20-93¹⁹ рассчитаны для сталей марок С245, С255, С285, С345. Результаты расчетов представлены в таблице.

Таким образом, для рассматриваемого сортамента разработаны табличные данные с предельными значениями нагрузки на метр погонный балки по изгибающему моменту q_M и усилию сдвига q_V . Представленные табличные данные позволяют использовать неравенство (4) для подтверждения огнестойкости стальных балок без огнезащиты.

¹⁹ См. сноску 16.

Правила использования таблицы

1. Сравнить расчетную нагрузку на погонный метр выбранного профиля, имеющего длину пролета l , с предельной нагрузкой, указанной в соответствующей ячейке времени огневого воздействия таблицы. В случае если расчетная нагрузка превышает указанные в таблице значения, то для данного стального профиля с длиной пролета l необходимо применять огнезащиту с целью повышения предела огнестойкости.

2. Значения величины нагрузки на погонный метр балки для промежуточной длины пролета определяются линейной интерполяцией.

Таблица 2. – Предельные значения нагрузки изгибающему моменту q_M и сдвигу q_V на погонный метр стальной балки сортамента двутавров нормальных (Б) и широкополочных (Ш) по СТО АСЧМ 20-93, при которых огнестойкость балки при 4-стороннем огневым воздействии составляет 15 и 30 мин

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, т, мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
Сталь С245/255										
Нормальные двутавры										
10Б1	60,1 / 64,4	24,9 / 26,4	1,6 / 10,7	0,6 / 4,4	0,4	0,1	0,1	0,08	0,1	0,04
12Б1	75,2 / 67,1	32 / 28,1	2,0 / 11,1	0,8 / 4,6	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,06
12Б2	95,0 / 81,7	39,0 / 33,2	2,6 / 13,6	1,0 / 5,5	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	0,07
14Б1	110,0 / 78,1	46,0 / 32,3	3,0 / 13,0	1,2 / 5,3	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1	0,08
14Б2	142,4 / 103,5	56,9 / 40,2	3,9 / 17,2	1,5 / 6,7	0,9	0,4	0,4	0,1	0,2	0,1
16Б1	154,8 / 99,6	64 / 41,1	4,3 / 16,6	1,7 / 6,8	1,0	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1
16Б2	205,4 / 137,8	80,9 / 51,4	5,7 / 22,9	2,2 / 8,5	1,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,1
18Б1	216,6 / 120,4	88,6 / 48,4	6,0 / 20,0	2,4 / 8,0	1,5	0,6	0,6	0,2	0,3	0,1
18Б2	284,4 / 168,9	110,0 / 60,5	7,9 / 28,1	3,0 / 10,0	1,9	0,7	0,8	0,3	0,4	0,1
20Б1	361,2 / 204,3	138,8 / 71,8	10,0 / 34,0	3,8 / 11,9	2,5	0,9	1,1	0,4	0,6	0,2
25Б1	552,3 / 225,8	214,7 / 81,5	15,3 / 37,6	5,9 / 13,5	3,8	1,4	1,7	0,6	0,9	0,3
25Б2	671,0 / 300,4	248,9 / 98,1	18,6 / 50,0	6,9 / 16,3	4,6	1,7	2,0	0,7	1,1	0,4
30Б1	837,7 / 225,4	319,0 / 78,7	23,2 / 37,5	8,8 / 13,1	5,8	2,2	2,5	0,9	1,4	0,5
30Б2	1009,9 / 385,8	369,2 / 126,0	28,0 / 64,3	10,2 / 21,0	7,0	2,5	3,1	1,1	1,7	0,6
35Б1	1332,4 / 413,6	492,8 / 134,1	37,0 / 68,9	13,6 / 22,3	9,2	3,4	4,1	1,5	2,3	0,8
35Б2	1785,9 / 441,0	625,6 / 126,3	49,6 / 73,5	17,3 / 21,0	12,4	4,3	5,5	1,9	3,1	1,0
40Б1	2338,5 / 505,3	816,6 / 143,5	64,9 / 84,2	22,6 / 23,9	16,2	5,6	7,2	2,5	4,0	1,4
40Б2	3921,6 / 887,9	1022,0 / 230,4	108,9 / 147,9	28,3 / 38,4	27,2	7,1	12,1	3,1	6,8	1,7
45Б1	3945,2 / 923,9	1069,4 / 248,7	109,5 / 153,9	29,7 / 41,4	27,4	7,4	12,1	3,3	6,8	1,8
45Б2	5222,0 / 1196,9	1317,1 / 293,2	145,0 / 199,4	36,5 / 48,8	36,2	9,1	16,1	4,0	9,0	2,2
50Б1	4696,9 / 1140,8	1256,3 / 303,0	130,4 / 190,1	34,9 / 50,5	32,6	8,7	14,5	3,8	8,1	2,1
50Б2	5811,2 / 1274,9	1482,5 / 326,1	161,4 / 212,4	41,1 / 54,3	40,3	10,3	17,9	4,5	10,0	2,5
50Б3	7442,8 / 1659,1	1785,6 / 432,1	206,7 / 276,5	49,6 / 72,0	51,6	12,4	22,9	5,5	12,9	3,1
55Б1	7203,5 / 1566,3	1816,9 / 405,5	200,1 / 261,0	50,4 / 67,5	50,0	12,6	22,2	5,6	12,5	3,1
55Б2	8063,6 / 1860,0	2033,9 / 482,6	223,9 / 310,0	56,5 / 80,4	56,0	14,1	24,8	6,2	14	3,5
60Б1	8280,6 / 1786,2	2061,1 / 464,1	230,0 / 297,7	57,2 / 77,3	57,5	14,3	25,5	6,3	14,3	3,5
60Б2	10 367,6 / 2244,5	2455,0 / 579,3	287,9 / 374,0	68,2 / 96,5	72,0	17,0	32,0	7,5	18	4,2
70Б0	13 021,7 / 2685,1	3100,4 / 694,7	361,7 / 447,5	86,1 / 115,7	90,4	21,5	40,1	9,5	22,6	5,3
70Б1	15 088,0 / 2879,4	3514,8 / 746,3	419,1 / 479,9	97,6 / 124,3	104,7	24,4	46,5	10,8	26,1	6,1
70Б2	19 301,1 / 3464,1	4300,1 / 882,7	536,1 / 577,3	119,4 / 147,1	134,0	29,8	59,5	13,2	33,5	7,4
Широкополочные двутавры										
20Ш1	659,5 / 282,8	235,5 / 84,3	18,3 / 47,1	6,5 / 14,0	4,5	1,6	2,0	0,7	1,1	0,4
25Ш1	1243,2 / 499,1	420,8 / 133,5	34,5 / 83,1	11,6 / 22,2	8,6	2,9	3,8	1,3	2,1	0,7
30Ш1	2032,0 / 740,9	677,4 / 184,8	56,4 / 123,4	18,8 / 30,8	14,1	4,7	6,2	2,0	3,5	1,1
30Ш2	2830,0 / 1052,0	920,9 / 272,1	78,6 / 175,3	25,5 / 45,3	19,6	6,4	8,7	2,8	4,9	1,6

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, т, мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
35Ш1	2927,6 / 589,9	976,0 / 151,2	81,3 / 98,3	27,1 / 25,2	20,3	6,7	9,0	3,0	5,0	1,6
35Ш2	3779,2 / 845,2	1229,7 / 219,1	104,9 / 140,8	34,1 / 36,5	26,2	8,5	11,6	3,8	6,5	2,1
40Ш1	5068,4 / 957,7	1657,2 / 248,2	140,7 / 159,6	46,0 / 41,3	35,2	11,5	15,6	5,1	8,8	2,8
40Ш2	6468,8 / 1281,6	2052,4 / 324,4	179,6 / 213,6	57,0 / 54,0	44,9	14,2	19,9	6,3	11,2	3,5
45Ш1	8772,1 / 2379,1	2737,6 / 577,8	243,6 / 396,5	76,0 / 96,3	60,9	19,0	27,0	8,4	15,2	4,7
50Ш1	7836,1 / 1609,1	2513,9 / 412,3	217,6 / 268,1	69,8 / 68,7	54,4	17,4	24,1	7,7	13,6	4,3
50Ш2	10 551,3 / 3487,7	3216,3 / 841,3	293,0 / 581,2	89,3 / 140,2	73,2	22,3	32,5	9,9	18,3	5,5
50Ш3	12 523,8 / 3991,5	3614,7 / 911,3	347,8 / 665,2	100,4 / 151,8	86,9	25,1	38,6	11,1	21,7	6,2
50Ш4	15 048,3 / 4602,5	4164,1 / 1011,3	418,0 / 767,0	115,6 / 168,6	104,5	28,9	46,4	12,8	26,1	7,2
60Ш1	11 539,8 / 3061,4	3680,6 / 776,0	320,5 / 510,2	102,2 / 129,3	80,1	25,5	35,6	11,3	20,0	6,3
60Ш2	15 564,8 / 4769,1	4576,0 / 1103,3	432,3 / 794,8	127,1 / 183,8	108,0	31,7	48,0	14,1	27,0	7,9
60Ш3	19 996,1 / 5952,1	5518,7 / 1308,5	555,4 / 992,0	153,3 / 218,0	138,8	38,3	61,7	17,0	34,7	9,5
60Ш4	24 633,9 / 7190,3	6635,5 / 1589,5	684,2 / 1198,3	184,3 / 264,9	171,0	46,0	76,0	20,4	42,7	11,5
70Ш1	25 396,8 / 4187,0	5352,9 / 1031,8	705,4 / 697,8	148,6 / 171,9	176,3	37,1	78,3	16,5	44,0	9,2
70Ш2	31 440,0 / 5253,5	6082,5 / 1214,8	873,3 / 875,5	168,9 / 202,4	218,3	42,2	97,0	18,7	54,5	10,5
70Ш3	42 815,3 / 7055,5	7474,8 / 1546,0	1189,3 / 1175,9	207,6 / 257,6	297,3	51,9	132,1	23,0	74,3	12,9
70Ш4	53 187,5 / 8687,2	8970,5 / 1930,4	1477,4 / 1447,8	249,1 / 321,7	369,3 / 723,9	62,3 / 160,8	164,1	27,6	92,3	15,5
80Ш1	24 388,4 / 4252,0	5396,8 / 1083,3	677,4 / 708,6	149,9/180,5	169,3	37,4	75,2	16,6	42,3	9,3
80Ш2	32 706,5 / 5086,6	6695,3 / 1226,8	908,5 / 847,7	185,9 / 204,4	227,1 / 423,8	46,5 / 102,2	100,9	20,6	56,7	11,6
90Ш1	32 858,8 / 5625,2	7030,0 / 1402,1	912,7 / 937,5	195,2 / 233,6	228,1	48,8	101,4	21,7	57,0	12,2
90Ш2	36 823,6 / 6147,6	7878,4 / 1463,7	1022,8 / 1024,6	218,8 / 243,9	255,7	54,7	113,6	24,3	63,9	13,6
100Ш1	46 145,9 / 7079,4	9418,8 / 1705,5	1281,8 / 1179,9	261,6 / 284,2	320,4	65,4	142,4	29,0	80,1	16,3
100Ш2	58 441,6 / 8341,2	11 050,2 / 1911,5	1623,3 / 1390,2	306,9 / 318,5	405,8	76,7	180,3	34,1	101,4	19,1
100Ш3	71 260,4 / 9500,6	12 740,8 / 2096,7	1979,4 / 1583,4	353,9 / 349,4	494,8 / 791,7	88,4 / 147,7	219,9	39,3	123,7	22,1
100Ш4	84 760,6 / 11 001,4	14 499,8 / 2409,1	2354,4 / 1833,5	402,7 / 401,5	588,6 / 916,7	100,6 / 200,7	261,6	44,7	147,1	25,1
Сталь С285										
Нормальные двутавры										
10Б1	67,5 / 72,3	27,8 / 29,7	1,8 / 12,0	0,7 / 4,9	0,4	0,1	0,2	0,09	0,1	0,05
12Б1	84,4 / 75,3	35,8 / 31,6	2,3 / 12,5	1,0 / 5,2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,06
12Б2	106,8 / 91,8	43,8 / 37,2	2,9 / 15,3	1,2 / 6,2	0,7	0,3	0,3	0,1	0,1	0,08
14Б1	123,5 / 87,6	51,8 / 36,3	3,4 / 14,6	1,4 / 6,0	0,8	0,3	0,3	0,1	0,2	0,09
14Б2	160,0 / 116,1	64,0 / 45,2	4,4 / 19,3	1,7 / 7,5	1,1	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1
16Б1	173,7 / 111,8	72,0 / 46,1	4,8 / 18,6	2,0 / 7,6	1,2	0,5	0,5	0,2	0,3	0,1
16Б2	230,4 / 154,7	90,8 / 57,7	6,4 / 25,7	2,5 / 9,6	1,6	0,6	0,7	0,2	0,4	0,1
18Б1	243,2 / 135,1	99,2 / 54,3	6,76 / 22,5	2,7 / 9,0	1,6	0,6	0,7	0,3	0,4	0,1

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, t , мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
18Б2	319,3 / 189,6	123,5 / 67,9	8,8 / 31,6	3,4 / 11,3	2,2	0,8	0,9	0,3	0,5	0,2
20Б1	405,7 / 229,3	155,8 / 80,7	11,2 / 38,2	4,3 / 13,4	2,8	1,0	1,2	0,4	0,7	0,2
25Б1	620,1 / 253,5	240,9 / 91,5	17,2 / 42,2	6,6 / 15,2	4,3	1,6	1,9	0,7	1,0	0,4
25Б2	753,2 / 337,2	279,6 / 110,1	20,9 / 56,2	7,7 / 18,3	5,2	1,9	2,3	0,8	1,3	0,4
30Б1	940,4 / 253,0	358,4 / 88,3	26,1 / 42,1	9,9 / 14,7	6,5	2,4	2,9	1,1	1,6	0,6
30Б2	1133,4 / 433,1	414,4 / 141,4	31,4 / 72,1	11,5 / 23,5	7,8	2,8	3,5	1,2	1,9	0,7
35Б1	1495,3 / 464,2	552,9 / 150,6	41,5 / 77,3	15,3 / 25,1	10,3	3,8	4,6	1,7	2,6	0,9
35Б2	1931,5 / 477,0	676,8 / 136,6	53,6 / 79,5	18,8 / 22,7	13,4	4,7	5,9	2,0	3,3	1,1
40Б1	2529,2 / 546,5	883,2 / 155,2	70,2 / 91,0	24,5 / 25,8	17,5	6,1	7,8	2,7	4,3	1,5
40Б2	4241,6 / 960,3	1105,6 / 249,2	117,8 / 160,0	30,7 / 41,5	29,4	7,6	13,0	3,4	7,3	1,9
45Б1	4267,2 / 999,3	1156,8 / 269,0	118,5 / 166,5	32,1 / 44,8	29,6	8,0	13,1	3,5	7,4	2,0
45Б2	5648,3 / 1294,6	1424,6 / 317,1	156,9 / 215,7	39,5 / 52,8	39,2	9,8	17,4	4,4	9,8	2,4
50Б1	5080,6 / 1234,0	1359,0 / 327,8	141,1 / 205,6	37,7 / 54,3	35,2	9,4	15,6	4,1	8,8	2,3
50Б2	6285,4 / 1378,9	1603,5 / 352,7	174,6 / 229,8	44,5 / 58,7	43,6	11,1	19,4	4,9	10,9	2,7
50Б3	8050,5 / 1794,6	1931,5 / 467,3	223,6 / 299,1	53,6 / 77,8	55,9	13,4	24,8	5,9	13,9	3,3
55Б1	7791,3 / 1694,2	1965,1 / 438,6	216,4 / 282,3	54,5 / 73,1	54,1	13,6	24,0	6,0	13,5	3,4
55Б2	8721,9 / 2011,8	2200,0 / 522,0	242,2 / 355,3	61,11 / 87,0	60,5	15,2	26,9	6,7	15,1	3,8
60Б1	8956,4 / 1932,0	2229,4 / 502,0	248,7 / 322,0	61,9 / 83,6	62,2	15,4	27,6	6,8	15,5	3,8
60Б2	11 214,0 / 2421,7	2655,3 / 626,6	311,5 / 404,6	73,7 / 104,4	77,8	18,4	34,6	8,2	19,4	4,6
70Б0	14 084,8 / 2904,3	3353,6 / 751,5	391,2 / 484,0	93,1 / 125,2	97,8	23,2	43,4	10,3	24,4	5,8
70Б1	16 319,6 / 3114,5	3801,9 / 807,2	453,3 / 519,0	105,6 / 134,5	113,3	26,4	50,3	11,7	28,3	6,6
70Б2	20 876,8 / 3746,8	4651,2 / 954,8	579,9 / 624,4	129,2 / 159,1	144,9	32,3	64,4	14,3	36,2	8,0
Широкополочные двутавр										
20Ш1	740,4 / 317,4	264,3 / 94,6	20,5 / 52,9	7,3 / 15,7	5,1	1,8	2,2	0,8	1,2	0,4
25Ш1	1344,6 / 539,9	455,3 / 144,4	37,3 / 89,9	12,6 / 24,0	9,3	3,1	4,1	1,4	2,3	0,7
30Ш1	2198,0 / 801,4	732,8 / 199,9	61,0 / 133,5	20,3 / 33,3	15,2	5,0	6,7	2,2	3,8	1,2
30Ш2	3060,8 / 1137,9	996,1 / 294,3	85,0 / 189,6	27,6 / 49,0	21,2	6,9	9,4	3,0	5,3	1,7
35Ш1	3166,7 / 638,0	1055,6 / 163,6	87,9 / 106,3	29,3 / 27,2	21,9	7,3	9,7	3,2	5,5	1,8
35Ш2	4087,6 / 914,2	1330,2 / 237,0	113,5 / 152,3	36,9 / 39,5	28,3	9,2	12,6	4,1	7,1	2,3
40Ш1	5482,2 / 1035,9	1792,6 / 268,5	152,2 / 172,6	49,8 / 44,7	38,0	12,4	16,9	5,5	9,5	3,1
40Ш2	6996,8 / 1386,3	2220,1 / 350,9	194,3 / 231,0	61,6 / 58,4	48,5	15,4	21,6	6,8	12,1	3,8
45Ш1	9488,0 / 2573,4	2960,9 / 624,9	263,5 / 428,9	82,2 / 104,1	65,8	20,5	29,2	9,1	16,4	5,1
50Ш1	8475,8 / 1740,4	2719,0 / 446,0	235,4 / 290,0	75,5 / 74,3	58,8	18,8	26,1	8,3	14,7	4,7
50Ш2	11 412,8 / 3772,4	3478,7 / 910,0	317,0 / 628,7	96,6 / 151,6	79,2	24,1	35,2	10,7	19,8	6,0
50Ш3	14 122,8 / 4501,1	4076,1 / 1027,7	392,3 / 750,1	113,2 / 171,2	98,0	28,3	43,5	12,5	24,5	7,0
50Ш4	16 969,2 / 5190,1	4695,6 / 1140,8	471,3 / 865,0	130,4 / 190,1	117,8	32,6	52,3	14,4	29,4	8,1
60Ш1	12 481,9 / 3311,3	3981,1 / 839,4	346,7 / 551,8	110,5 / 139,9	86,6	27,6	38,5	12,2	21,6	6,9
60Ш2	17 552,0 / 5377,9	5160,3 / 1244,1	487,5 / 896,3	143,3 / 207,3	121,8	35,8	54,1	15,9	30,4	8,9

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, т, мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
60Ш3	22 548,8 / 6711,9	6223,3 / 1475,5	626,3 / 1118,6	172,8 / 245,9	156,5	43,2	69,6	19,2	39,1	10,8
60Ш4	27 778,5 / 8108,2	7482,5 / 1792,4	771,6 / 1351,3	207,8 / 298,7	192,9	51,9	85,7	23,0	48,2	12,9
70Ш1	27 470,0 / 4528,8	5789,7 / 1116,0	763,0 / 754,8	160,8 / 186,0	190,7	40,2	84,7	17,8	47,6	10,0
70Ш2	35 453,7 / 5924,2	6858,8 / 1369,9	984,8 / 987,3	190,5 / 228,3	246,2	47,6	109,4	21,1	61,5	11,9
70Ш3	48 280,9 / 7956,2	8429,1 / 1743,4	1341,1 / 1326,0	234,1 / 290,5	335,2	58,5	149,0	26,0	83,8	14,6
70Ш4	59 977,2 / 9796,2	10 115,8 / 2176,9	1666,0 / 1623,7	281 / 362,8	416,5	70,2	185,1	31,2	104,1	17,5
80Ш1	26 379,5 / 4599,1	5837,4 / 1171,7	732,7 / 766,5	162,1 / 195,2	183,1	40,5	81,4	18,0	45,8	10,1
80Ш2	36 881,9 / 5735,9	7550,0 / 1383,4	1024,5 / 955,9	209,7 / 230,5	256,1	52,4	113,8	23,3	64,0	13,1
90Ш1	35 541,1 / 6084,4	7603,8 / 1516,6	987,2 / 1014,0	211,2 / 252,7	246,8	52,8	109,6	23,4	61,7	13,2
90Ш2	41 524,4 / 6932,4	8883,8 / 1650,5	1153,4 / 1155,4	246,7 / 275,0	288,3	61,6	128,1	27,4	72,0	15,4
100Ш1	52 036,8 / 7983,2	10 621,4 / 1923,2	1445,4 / 1330,5	295,0 / 320,5	361,3	73,7	160,6	32,7	90,3	18,4
100Ш2	65 902,4 / 9406,0	12 460,8 / 2155,5	1830,6 / 1567,6	346,1 / 359,2	457,6	86,5	203,4	38,4	114,4	21,6
100Ш3	80 357,4 / 10 713,5	14 367,3 / 2364,3	2232,1 / 1785,5	399,0 / 394,0	558,0	99,7	248,0	44,3	139,5	24,9
100Ш4	95 581,1 / 12 405,8	16 350,7 / 2716,7	2655,0 / 2067,6	454,1 / 452,7	663,7	113,5	295,0	50,4	165,9	28,3
Сталь С345										
Нормальные двутавры										
10Б1	79,6 / 85,5	32,9 / 35,1	2,2 / 14,2	0,9 / 5,8	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,06
12Б1	99,8 / 89,0	42,2 / 37,3	2,7 / 14,8	1,1 / 6,2	0,6	0,2	0,3	0,1	0,1	0,07
12Б2	126,0 / 108,5	51,8 / 44,0	3,5 / 18,0	1,4 / 7,3	0,8	0,3	0,3	0,1	0,2	0,09
14Б1	146,2 / 103,6	61,1 / 42,9	4,0 / 17,2	1,7 / 7,1	1,0	0,4	0,4	0,1	0,2	0,1
14Б2	188,8 / 137,3	75,5 / 53,4	5,2 / 22,8	2,1 / 8,	1,3	0,5	0,5	0,2	0,3	0,1
16Б1	205,4 / 132,2	84,8 / 54,5	5,7 / 22,0	2,3 / 9,0	1,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,1
16Б2	272,3 / 182,8	107,5 / 68,2	7,5 / 30,4	2,9 / 11,3	1,8	0,7	0,8	0,3	0,4	0,1
18Б1	287,3 / 159,7	117,4 / 64,2	7,9 / 26,6	3,2 / 10,7	2	0,8	0,8	0,3	0,5	0,2
18Б2	377,2 / 224,1	145,9 / 80,3	10,4 / 37,3	4,0 / 13,3	2,6	1,0	1,1	0,4	0,6	0,2
20Б1	479,3 / 271,0	184,0 / 95,3	13,3 / 45,1	5,1 / 15,8	3,3	1,2	1,4	0,5	0,8	0,3
25Б1	732,8 / 299,6	284,8 / 108,2	20,3 / 49,9	7,9 / 18,0	5,0	1,9	2,2	0,8	1,2	0,4
25Б2	890,2 / 398,5	330,5 / 130,1	24,7 / 66,4	9,1 / 21,6	6,1	2,3	2,7	1,0	1,5	0,5
30Б1	1244,8 / 299,0	474,2 / 104,4	34,5 / 49,8	13,1 / 17,4	8,6	3,2	3,8	1,4	2,1	0,8
30Б2	1339,5 / 511,8	489,9 / 167,2	37,2 / 85,3	13,6 / 27,8	9,3	3,4	4,1	1,5	2,3	0,8
35Б1	1973,7 / 548,6	729,9 / 177,9	54,8 / 91,4	20,2 / 29,6	13,7	5,0	6,0	2,2	3,4	1,2
35Б2	2368,9 / 585,0	830,0 / 167,6	65,8 / 97,5	23,0 / 27,9	16,4	5,7	7,3	2,5	4,1	1,4
40Б1	3460,8 / 670,3	1208,3 / 190,4	96,1 / 111,7	33,5 / 31,7	24,0	8,3	10,6	3,7	6,0	2,1
40Б2	5201,9 / 1177,8	1355,8 / 305,6	144,5 / 196,3	37,6 / 50,9	36,1	9,4	16,0	4,1	9,0	2,3
45Б1	5233,6 / 1225,5	1418,8 / 329,9	145,3 / 204,2	39,4 / 54,9	36,3	9,8	16,1	4,3	9,0	2,4
45Б2	6927,3 / 1587,7	1747,2 / 388,9	192,4 / 264,3	48,5 / 64,8	48,1	12,1	21,3	5,3	12,0	3,0
50Б1	6230,7 / 1513,4	1666,8 / 402,0	173,0 / 252,2	46,3 / 67	43,2	11,5	19,2	5,1	10,8	2,8
50Б2	7708,4 / 1691,2	1966,7 / 432,6	214,1 / 281,8	54,6 / 72,1	53,5	13,6	23,7	6,0	13,3	3,4
50Б3	9873,2 / 2200,9	2368,6 / 573,2	274,2 / 366,8	65,8 / 95,5	68,5	16,4	30,4	7,3	17,1	4,1
55Б1	9555,5 / 2077,8	2410,2 / 538,0	265,4 / 346,3	66,9 / 89,6	66,3	16,7	29,4	7,4	16,5	4,1

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, т, мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
55Б2	10 696,6 / 2467,4	2697,9 / 640,2	297,1 / 411,2	74,9 / 106,7	74,2	18,7	33,0	8,3	18,5	4,6
60Б1	10 984,3 / 2369,5	2734,0 / 615,6	305,1 / 394,9	75,9 / 102,6	76,2	18,9	33,	8,4	19,0	4,7
60Б2	13 753,2 / 2977,4	3256,6 / 768,5	382,0 / 496,2	90,4 / 128,0	95,5	22,6	42,4	10,0	23,8	5,6
70Б0	17 273,6 / 3561,9	4112,6 / 921,6	479,8 / 593,6	114,2 / 153,6	119,9	28,5	53,3	12,6	29,9	7,1
70 Б1	20 014,7 / 3819,6	4662,4 / 990,0	555,9 / 636,6	129,5 / 165,0	138,9	32,3	61,7	14,3	34,7	8,0
70 Б2	25 603,8 / 4595,2	5704,3 / 1171,0	711,2 / 765,8	158,4 / 195,1	177,8	39,6	79,0	17,6	44,4	9,9
Широкополочные двутавры										
20Ш1	874,8 / 375,1	312,3 / 111,8	24,3 / 62,5	8,6 / 18,6	6,0	2,1	2,7	0,9	1,5	0,5
25Ш1	1648,9 / 662,1	558,4 / 177,1	45,8 / 110,3	15,5 / 29,5	11,4	3,8	5,0	1,7	2,8	0,9
30Ш1	2695,6 / 982,8	898,5 / 245,1	74,8 / 163,8	24,9 / 40,8	18,7	6,2	8,3	2,7	4,6	1,5
30Ш2	3753,9 / 1395,6	1221,7 / 360,9	104,2 / 232,0	33,9 / 60,1	26,0	8,4	11,5	3,7	6,5	2,1
35Ш1	3883,5 / 782,5	1294,4 / 200,6	107,8 / 130,4	35,9 / 33,4	26,9	8,9	11,9	4	6,7	2,2
35Ш2	5013,1 / 1121,2	1631,3 / 290,6	139,2 / 186,8	45,3 / 48,4	34,8	11,3	15,4	5,0	8,7	2,8
40Ш1	6723,5 / 1270,4	2198,4 / 329,3	186,7 / 211,7	61,0 / 54,8	46,6	15,2	20,7	6,7	11,6	3,8
40Ш2	9466,2 / 1700,2	3003,8 / 430,3	262,9 / 283,3	83,4 / 71,7	65,7	20,8	29,2	9,2	16,4	5,2
45Ш1	11 636,4 / 3156,0	3631,3 / 766,4	323,2 / 526,0	100,8 / 127,7	80,8	25,2	35,9	11,2	20,2	6,3
50Ш1	11 583,0 / 2134,5	3715,8 / 547,0	321,7 / 355,7	103,2 / 91,1	80,4	25,8	35,7	11,4	20,1	6,4
50Ш2	13 996,8 / 4626,5	4266,5 / 1116,1	388,8 / 771,0	118,5 / 186,0	97,2	29,6	43,2	13,1	24,3	7,4
50Ш3	16 254,4 / 5180,5	4691,2 / 1182,8	451,5 / 863,4	130,3 / 197,1	112,8	32,5	50,1	14,4	28,2	8,1
50Ш4	19 530,8 / 5973,5	5404,4 / 1313,0	542,5 / 995,5	150,1 / 218,8	135,6	37,5	60,2	16,6	33,9	9,3
60Ш1	15 308,1 / 4061,1	4882,5 / 1029,4	425,2 / 676,8	135,6 / 171,5	106,3	33,9	47,2	15,0	26,5	8,4
60Ш2	20 201,2 / 6189,7	5939,2 / 1431,9	561,1 / 1031,6	164,9 / 238,6	140,2	41,2	62,3	18,3	35,0	10,3
60Ш3	25 952,6 / 7725,1	7162,5 / 1698,3	720,9 / 1287,5	198,9 / 283,0	180,2	49,7	80,1	22,1	45,0	12,4
60Ш4	31 971,5 / 9332,1	8612,1 / 2062,9	888,1 / 1555,3	239,2 / 343,8	222,0	59,8	98,6	26,5	55,5	14,9
70Ш1	33 689,9 / 5554,1	7100,8 / 1368,7	935,8 / 925,6	197,2 / 228,1	233,9	49,3	103,9	21,9	58,4	12,3
70Ш2	40 805,1 / 6818,4	7894,0 / 1576,7	1133,4 / 1136,4	219,2 / 262,7	283,3	54,8	125,9	24,3	70,8	13,7
70Ш3	55 568,6 / 9157,1	9701,4 / 2006,6	1543,5 / 1526,1	269,4 / 334,4	385,8	67,3	171,5	29,9	96,4	16,8
70Ш4	69 030,7 / 11274,	11 642,8 / 2505,5	1917,5 / 1879,1	323,4 / 417,5	479,3	80,8	213,0	35,9	119,8	20,2
80Ш1	32 352,0 / 5640,4	7159,0 / 1437,0	898,6 / 940,0	198,8 / 239,5	224,6	49,7	99,8	22,1	56,1	12,4
80Ш2	42 448,9 / 6601,7	8689,9 / 1592,2	1179,1 / 1100,2	241,3 / 265,3	294,7	60,3	131,0	26,8	73,7	15,0
90Ш1	43 588,1 / 7462,09	9325,4 / 1860,0	1210,7 / 1243,6	259,0 / 310,0	302,7	64,7	134,5	28,7	75,6	16,1
90Ш2	47 792,3 /	10 224,9 /	1327,5 /	284,0 / 316,6	331,8	71,0	147,5	31,5	82,9	17,7

Балка	Предельная нагрузка на метр погонный q_M / q_V , кН/м*									
	Длина пролета l , м									
	0,5		3		6		9		12	
	Время огневого воздействия, t , мин									
	15	30	15	30	15	30	15	30	15	30
	7978,8	1899,7	1329,8							
100Ш1	59 891,5 / 9188,2	12 224,6 / 2213,5	1663,6 / 1531,3	339,5 / 368,9	415,9	84,8	184,8	37,7	103,9	21,2
100Ш2	75 849,9 / 10 825,8	14 341,7 / 2480,9	2106,9 / 1804,3	398,3 / 413,4	526,7	99,6	234,1	44,2	131,6	24,9
100Ш3	92 487,0 / 12 330,6	16 536,0 / 2721,2	2569,0 / 2055,1	459,3 / 453,5	642,2	114,8	285,4	51,0	160,5	28,7
100Ш4	110 008,3 / 14 278,4	18 818,8 / 3126,7	1936,6 / 2379,7	442,0 / 521,1	484,1	110,5	215,1	49,1	121,0	27,6

Примечание. * В ячейках таблицы, где указано только одно значение, приведена предельная нагрузка на погонный метр стальной балки при пожаре в момент времени t , рассчитанная исходя из условия обеспечения огнестойкости при действии изгибающего момента.

В некоторых ячейках значения предельной нагрузки менее собственного веса балки, их следует применять только для интерполяции.

Заключение

Предложен критерий подтверждения огнестойкости стальных балок без огнезащиты, заключающийся в сравнении расчетной нагрузки с критическим значением предельной нагрузки (на погонный метр балки при пожаре в момент времени t).

Для определения предельной нагрузки на метр погонный балки при пожаре в момент времени t были решены следующие задачи:

1) для сортамента прокатных профилей – двутавр нормальный (Б) и широкополочный двутавр (Ш) по СТО АСЧМ 20-93 из сталей марок С245, С255, С285, С345 – определен нагрев расчетного сечения стальных балок на 15-й и 30-й минуте стандартного огневого воздействия;

2) на основании полученных температур определен коэффициент снижения предела текучести стали;

3) получено расчетное сопротивление поперечного сечения изгибающему моменту и усилию сдвига при равномерном распределении температуры стальных балок;

4) для шарнирно опертых стальных балок определены предельные значения нагрузки на метр погонный балки, при которых ее огнестойкость будет составлять 15 и 30 мин при стандартном огневом воздействии.

Результаты расчетов представлены в виде таблицы и позволяют оценить огнестойкость защищенных от потери устойчивости стальных балок, несущая способность которых определяется только по критерию прочности. Представленные табличные данные распространяются на раскрепленные балки: двутавр нормальный (Б) и широкополочный двутавр (Ш) по СТО АСЧМ 20-93 из сталей марок С245, С255, С285, С345 с равномерно распределенной по длине нагрузкой при равномерном распределении температуры по сечению балки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ройтман, В.М. Физический смысл и оценка коэффициента условий работы и критической температуры прогрева материалов конструкций в условиях пожара / В.М. Ройтман // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 5. – С. 14–21.
2. Жамойдик, С.М. Методология оценки огнестойкости стальных колонн с конструктивной огнезащитой, расположенных по периметру помещения / С.М. Жамойдик // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 2 (24). – С. 39–51.
3. Ватихова, Л. Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2015 / Л. Ватихова, К. Калафат. – Киев: Украинский центр стального строительства, 2015. – 121 с.

4. Звездов, А.И. Пособие по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, параметров пожарной опасности материалов. Порядок проектирования огнезащиты / А.И. Звездов [и др.] – Москва: ОАО «НИЦ «Строительство», 2013. – 45 с. (Справочный материал) <https://docs.cntd.ru/document/1200114463>.
5. Бессонов, Н.М. Расчетный метод определения пределов огнестойкости металлоконструкций, покрытых огнезащитным вспучивающимся составом / Н.М. Бессонов [и др.] // *Пожарная безопасность*. – 2007. – № 1. – С. 89–96.
6. Ботян, С.С. Прогрев стержневых стальных конструкций с частичной и полной огнезащитой наружной поверхности при огневом воздействии / С.С. Ботян [и др.] // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 20–31. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.20.
7. Басакович, И.А. Огнезащитная эффективность гипсовых плит KNAUF FIREBOARD для вертикальных стальных профилей различного сортамента / И.А. Басакович [и др.] // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 268–282. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.268.

**Табличные данные для оценки огнестойкости
изгибаемых стальных балок без огнезащиты**
**Tabular data for estimating the fire resistance of bendable steel beams
without fire protection**

Жамойдик Сергей Михайлович

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: zhamoidik.kii@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0407-5176

Sergey M. Zhamoydik

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: zhamoidik.kii@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0407-5176

Шкараденюк Кристина Васильевна

Борисовский горрайотдел по чрезвычайным
ситуациям учреждения «Минское областное
управление МЧС», сектор надзора
и профилактики, главный специалист

Адрес: ул. Гагарина, 113,
222511, г. Борисов, Беларусь,
Email: oops_kristinka@mail.ru

Kristina V. Shkaradenok

Minsk Regional Department of the Ministry
of Emergency Situations of Republic of Belarus,
Borisov City Department of Emergency Situations,
Supervision and Prevention Sector,
Chief Specialist

Address: Gagarina str., 113,
222511, Borisov, Belarus
Email: oops_kristinka@mail.ru

Лященко Сергей Фидельевич

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: lyashchenkosergei51@gmail.com

Sergey F. Lyashchenko

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Technosphere Safety Faculty, cadet

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: lyashchenkosergei51@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.58>

TABULAR DATA FOR ESTIMATING THE FIRE RESISTANCE OF BENDABLE STEEL BEAMS WITHOUT FIRE PROTECTION

Zhamoydik S.M., Shkaradenok K.V., Lyashchenko S.F.

Purpose. The development of tabular data for estimating the fire resistance of bendable steel beams, taking into account the given level of loading.

Methods. The analytical solution of thermal and static problems of fire resistance of bendable steel structures.

Findings. For the range of steel W shaped I-beams (normal and wide flange according to STO ASCHM 20-93) from steel grades S245, S255, S285, S345 load limits are determined (depending on the span, section class and working conditions of the structure) at which the beam can be used in a building without fire protection, providing fire resistance of 15 and 30 minutes. Based on the calculations, tabular data were developed to assess the fire resistance of steel beams without fire protection.

Application field of research. The results obtained can be used to solve the problems of fire resistance of bendable steel beams, taking into account the load while designing and constructing buildings and structures.

Keywords: unprotected steel structures, limit load, yield strength, load.

(The date of submitting: January 6, 2022)

REFERENCES

1. Roytman V.M. Fizicheskiy smysl i otsenka koeffitsienta usloviy raboty i kriticheskoy temperatury progreva materialov konstruksiy v usloviyakh pozhara [The physical meaning and evaluation of the coefficient of working conditions and the critical temperature of heating of structural materials in fire conditions]. *Fire and Explosion Safety*, 2011. Vol. 20, No. 5. Pp. 14–21. (rus)
2. Zhamoydik S.M. Metodologiya otsenki ognestoykosti stal'nykh kolonn s konstruktivnoy ognезashchitoy, raspolozhennykh po perimetru pomeshcheniya [Methodology of fire resistance evaluation of steel columns with fire structural protection, located on the perimeter of the premises]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 2 (24). Pp. 39–51. (rus)
3. Vatikhova L., Kalafat K. *Katalog sredstv ognезashchity stal'nykh konstruksiy 2015* [Catalog of means of fire protection of steel structures 2015]. Kiev: Ukrainian Steel Construction Center, 2015. 117 p. (rus)
4. Zvezdov A.I., et al. *Posobie po opredeleniyu predelov ognestoykosti stroitel'nykh konstruksiy, parametrov pozharной opasnosti materialov. Poryadok proektirovaniya ognезashchity* [Manual for determining the fire resistance limits of building structures, parameters of fire hazard of materials. Design procedure for fire protection]. Moscow: Research Center Construction, 2013. 45 p. (rus)
5. Bessonov N.M., Eremina T.Yu., Dmitrieva Yu.N., Krashennikova M.V. Raschetnyy metod opredeleniya predelov ognestoykosti metallokonstruksiy, pokrytykh ognезashchitnym vspuchivayushchimsya sostavom [Calculation method for determining the limits of fire resistance of metal structures coated with a flame retardant swelling compound]. *Fire Safety*, 2007. No. 1. Pp. 89–96. (rus)
6. Botyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Olesiyuk N.M. Progreв sterzhnevyykh stal'nykh konstruksiy s chastichnoy i polnoy ognезashchitoy naruzhnoy poverkhnosti pri ognevom vozdeystvii [Heating of rod steel structures with partial and full fire-protected external surface under fire exposure]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 1. Pp. 20–31. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.20.
7. Basakovich I.A., Batyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Osyayev V.A., Polevoda I.I. Ognезashchitnaya effektivnost' gipsovykh plit KNAUF FIREBOARD dlya vertikal'nykh stal'nykh profily razlichnogo sortamenta [Knauf Fireboard fire protection efficiency for vertical steel profiles of various cross section shapes]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol 3, No. 3. Pp. 268–282. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.268.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.74>

УДК 614.843.2

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

Навроцкий О.Д., Михалев Р.Н., Грачулин А.В., Рябцев В.Н., Красавин В.Е.

Цель. Определение фактических значений гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов на основе экспериментальных исследований для использования при расчете насосно-рукавных систем.

Методы. Для достижения поставленной цели применен экспериментальный метод, основанный на определении потери напора (давления) в рукавной линии путем установления разницы давления в начале и конце рукавной линии с последующим расчетом удельного сопротивления погонного метра пожарного рукава, а затем умножением сопротивления погонного метра пожарного рукава на его длину.

Результаты. Выполнен сравнительный анализ значений гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов диаметром 77, 66, 51 мм. Установлено, что применяемые в настоящее время значения могут значительно отличаться в зависимости от источника информации. Разработана методика выполнения измерений при проведении исследований потерь давления в насосно-рукавных системах. Проведены экспериментальные исследования и определено гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов диаметром 77, 66, 51 мм.

Область применения исследований. Пожарная тактика, расчет насосно-рукавных систем.

Ключевые слова: пожарная тактика, напорные рукава, насосно-рукавные системы.

(Поступила в редакцию 10 января 2022 г.)

Введение

Пожарный рукав – это гибкий трубопровод, оборудованный рукавными соединительными головками и предназначенный для транспортирования огнетушащих веществ от водоисточника к месту пожара. Пожарные напорные рукава являются самым распространенным средством доставки огнетушащего вещества непосредственно к очагу возгорания¹. Одним из основных параметров рукавов является их внутренний диаметр. В соответствии с СТБ 11.13.17-2010² напорные пожарные рукава могут быть диаметром 25, 38, 51, 66, 77, 89, 150 мм. В настоящее время на вооружении в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям республики находятся напорные пожарные рукава различного диаметра, основные: 38, 51, 66, 77, 89, 150 мм.

Рукава подразделяются:

- на всасывающие рукава – предназначены для забора воды из водоисточника с помощью пожарного насоса и ее транспортирования;
- напорно-всасывающие рукава – предназначены для забора воды из водоисточника или из системы противопожарного водоснабжения и ее транспортирования;
- напорные рукава – предназначены для транспортирования огнетушащих веществ от водоисточника к месту пожара под избыточным давлением.

Производят напорные пожарные рукава из льняных и синтетических нитей в виде тканого круглого чехла с герметизацией его полимерными материалами или резиной. В от-

¹ Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника. Термины и определения: ГОСТ 12.2.047-86. – Введ. 30.06.86. – Гос. комитет СССР по стандартам: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. – 24 с.

² Система стандартов пожарной безопасности. Рукава пожарные напорные. Общие технические условия: СТБ 11.13.17-2010. – Введ. 12.03.10. – Госстандарт Республики Беларусь: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. – 18 с.

личие от жестких трубопроводов в мягких рукавах при подаче воды может происходить изменение длины и площади поперечного сечения. Тонкая резиновая или латексная прокладка под напором воды вдавливаются в ткань рукава, вследствие чего шероховатость внутренней поверхности может увеличиваться. Кроме того, прямая рукавная линия при удлинении рукавов принимает волнистую форму. Таким образом, с одной стороны, имеет место уменьшение потерь напора вследствие увеличения диаметра и, с другой стороны, возрастание потерь напора из-за удлинения рукавной линии и увеличения шероховатости. Проведенные исследования показали, что эти изменения в потерях напора уравниваются между собой, и поэтому их отдельно на практике не учитывают.

Подача воды во время тушения осуществляется насосно-рукавными системами, вид которых определяется характером развития пожара и требованиями обеспечения быстрого и надежного его тушения. Эффективность использования техники на пожаре во многом зависит от взаимного соответствия характеристик применяемого оборудования, и в первую очередь насосов, рукавов, стволов. Пропускная способность рукавов (подача количества огнетушащего вещества в единицу времени) зависит от гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов и их длины. Пропускная способность рукавов также зависит от способа прокладки рукавных линий, а также от потерь напора, которые могут быть допущены для обеспечения нормальной работы насосов и стволов. Следовательно, для рукавов одного диаметра с известной величиной гидравлического сопротивления пропускная способность будет обусловлена допустимой величиной потерь напора и длиной рукавной линии.

Основными расчетами, связанными с эксплуатацией напорных пожарных рукавов, являются расчеты объема количества огнетушащего вещества и максимального расстояния его подачи, основанного на значении гидравлического сопротивления рукава соответствующего диаметра. Такие расчеты часто проводятся при проектировании систем противопожарного водоснабжения, а также при расчете насосно-рукавных систем подачи огнетушащих веществ от основной пожарной аварийно-спасательной техники.

На пожарах, особенно крупных, личному составу часто приходится иметь дело с достаточно большим количеством напорных пожарных рукавов разного диаметра, соответственно, и порядок расчета их гидравлических характеристик зависит от выбранной схемы соединения. Важно отметить, что проведение расчетов насосно-рукавных систем является важной частью тактической подготовки руководящего состава пожарно-спасательных подразделений и входит в перечень его компетенций [1].

Основная часть

Под гидравлическими потерями или гидравлическим сопротивлением понимаются безвозвратные потери удельной энергии (переход ее в теплоту) на участках гидравлических систем, обусловленные наличием вязкого трения [2; 3]. В большинстве случаев величина гидравлических потерь в пожарных напорных рукавах зависит от таких факторов, как:

- материал и технология изготовления пожарных рукавов, от которых зависит шероховатость внутренней поверхности рукава и, соответственно, гидравлическое сопротивление;
- давление и температура, при которых применяются пожарные рукава, могут привести к расширению или сужению рукава, и это отразится на величине потерь;
- огнетушащие вещества (вода, водные растворы пенообразователей, смачивателей, полимеров), подаваемые по рукаву к очагу пожара, отличаются по свойствам, и поэтому перемещаются с различной скоростью.

Гидравлические потери в насосно-рукавных системах также возникают из-за сопротивления в соединительных и крепежных элементах, арматуре. Основная причина – это стремительное расширение или сужение потока, его разделение или перемена основного направления. Величина таких потерь может быть достаточно большой.

Во многих случаях гидравлические потери приблизительно пропорциональны скорости течения жидкости во второй степени, поэтому в гидравлике принят следующий общий способ выражения гидравлических потерь напора (давления) в линейных единицах в рукавных линиях [2; 3]:

$$h_{\text{р.л.}} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot l \quad (\text{м}), \quad (1)$$

где λ – коэффициент сопротивления трению, зависящий от материала рукавов и шероховатости их внутренней поверхности; d – диаметр рукава, м; v – средняя скорость воды в рукавной линии, м/с; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²; l – длина рукавной линии, м.

В практических расчетах потери напора определяются не по скорости движения, а по расходу воды [4]. Выразив в формуле (1) скорость v через расход воды Q (м³/с) и диаметр d , получим:

$$h_{\text{р.л.}} = K \cdot \frac{Q^2}{d^5} \cdot l \quad (\text{м}), \quad (2)$$

где K – коэффициент, зависящий от материала рукавов и шероховатости их внутренней поверхности, с²·м⁻¹.

Обозначив $K/d^5 = A_h$, для рукавов определенного диаметра получим формулу:

$$h_{\text{р.л.}} = A_h \cdot Q^2 \cdot l \quad (\text{м}), \quad (3)$$

где A_h – коэффициент удельного сопротивления одного погонного метра рукава, с²·м⁻⁶.

Для упрощения расчетов рукавных систем экспериментально устанавливают величину гидравлического сопротивления одного пожарного рукава длиной 20 м при рабочих напорах, применяемых в практике пожаротушения.

Если гидравлическое сопротивление одного рукава длиной 20 м обозначить S_h (с²·м⁻⁵), тогда потери напора в рукавных линиях можно определить по формуле:

$$h_{\text{р.л.}} = n \cdot S_h \cdot Q^2 \quad (\text{м}), \quad (4)$$

где n – количество рукавов, шт.

В единицах давления формулу (3) можно выразить следующим образом:

$$P_{\text{р.л.}} = A_p \cdot Q^2 \cdot l \quad (\text{Па}), \quad (5)$$

$$A_p = A_h \cdot \rho \cdot g, \quad (6)$$

где A_p – коэффициент удельного сопротивления в единицах давления одного погонного метра рукава, Па·с²·м⁻⁷; ρ – плотность воды, кг·м⁻³.

Тогда потери напора в рукавных линиях можно определить по формуле:

$$P_{\text{р.л.}} = n \cdot S_p \cdot Q^2 \quad (\text{Па}), \quad (7)$$

где S_p – гидравлическое сопротивление в единицах давления одного пожарного рукава длиной 20 м в зависимости от типа и диаметра, Па·с²·м⁻⁶.

В справочных материалах значения гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов могут существенно различаться (табл. 1). Это связано в первую очередь с тем, что рукава изготавливаются с использованием разных технологий и материалов.

В Беларуси пожарные напорные рукава производит ОАО «Могилевхимволокно». Данные рукава выпускаются из синтетического материала с односторонним внутренним покрытием, в качестве которого используется полимерный материал (полиуретан). Сведения о гидравлическом сопротивлении данных рукавов в открытых источниках не обнару-

жены. На основании изложенного представляется необходимым проведение исследований для определения значений гидравлических сопротивлений пожарных рукавов разного диаметра производства ОАО «Могилевхимволокно» и других производителей.

Таблица 1. – Сведения о гидравлическом сопротивлении в единицах давления рукавов по данным литературных источников

Диаметр рукава, мм	Гидравлическое сопротивление в единицах давления пожарного рукава длиной 20 м, S_p (кПа·с ² ·(дм ³) ⁻²)			
	[5]	[6]	[7]	Инструкция о порядке эксплуатации пожарных рукавов в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям ³
51	1,5	1,3	1,3	1,2
66	0,35	0,34	0,34	0,23
77	0,15	0,15	0,15	0,117
89	0,04	0,035	0,039	0,046
150	0,0046	0,0046	–	0,0046

Технические нормативные правовые акты не определяют четких требований к гидравлическому сопротивлению напорных пожарных рукавов, также значения сопротивления не указывают производители. Пропускная способность напорных пожарных рукавов может значительно отличаться от справочной, что может существенно повлиять на выбор оптимальных и рациональных схем боевого развертывания и прокладки рукавных линий, а также повлиять на успех тушения пожара.

Для определения фактических значений гидравлического сопротивления была разработана методика выполнения измерений, которая устанавливает порядок проведения исследований в насосно-рукавных системах с целью определения сопротивления одного пожарного рукава с учетом его действительной длины. Сущность метода заключается в определении потери давления в рукавной линии путем установления разницы давления в начале и конце рукавной линии с последующим расчетом удельного сопротивления пожарного рукава, а затем умножением удельного сопротивления на длину 20 м. Исследования показали, что получаемые посредством применения приведенной методики данные достоверны и коррелируют с данными, представленными в литературе.

Для проведения измерений использовалось оборудование и средства измерений, перечисленные в таблице 2.

Таблица 2. – Испытательное оборудование и средства измерения

Наименование средств измерения, оборудования	Наименования измеряемых физических величин	Класс точности, погрешность
Пожарная автоцистерна	расход воды не менее 40 л/с при давлении 0,6 МПа	
Рукав напорный Ø 51, 66, 77 мм	длина 20 м	
Манометр МП	(0–1) МПа	0,6
Лазерный дальномер Leica DISTO D510 расстояние, м угол наклона, °	0,05–200 м 0–360	$\pm 2 \cdot (1,0 + 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot D)^*$ $\pm (0,3 + 0,01 \cdot \alpha)^*$
Электромагнитный расходомер «Взлет ЭМ»	1,25–217,3 м ³ /ч	$\pm 0,01\%$
Рукавная вставка с головками муфтовыми для подключения рукавов	Ø 70 мм длина 250 мм	± 50 мм

Примечание. * D – измеряемое расстояние, мм; α – измеряемый угол, °.

Измерительная установка собиралась в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.

³ Инструкция о порядке эксплуатации пожарных рукавов в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям: утв. приказом Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 7 окт. 2019 г., № 300.

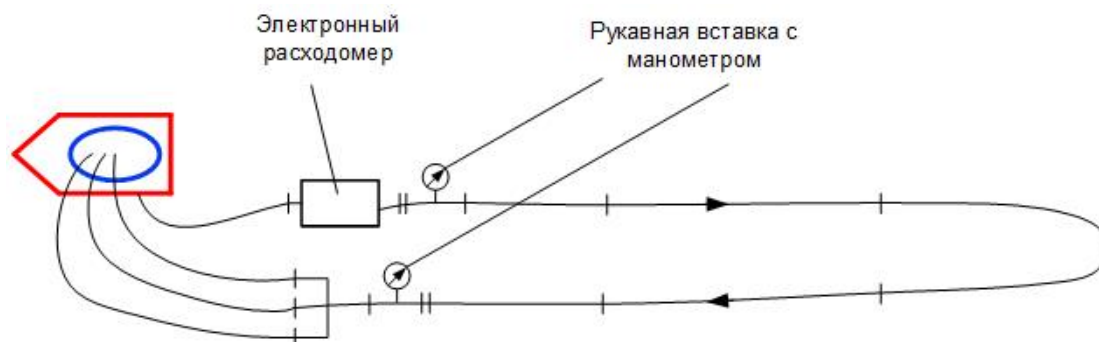


Рисунок 1. – Схема размещения средств измерения и оборудования при определении гидравлического сопротивления рукавов пожарных напорных с рециркуляцией воды

Измерения проводились в следующем порядке:

1. Измеряли длину исследуемой рукавной линии между манометрами.
2. Включали насос пожарного автомобиля и выводили его на рабочий режим.
3. Подавали воду при рабочем давлении 600 ± 100 кПа на насосе пожарного автомобиля.
4. Фиксировали показания давления в рукавной линии, используя манометры, установленные в начале и конце исследуемой рукавной линии.
5. С помощью электромагнитного расходомера определяли расход воды.
6. Потери давления по длине рукавной линии вычисляли по формуле:

$$P_{р.л.} = P_1 - P_2 \quad (\text{кПа}), \quad (8)$$

где P_1 и P_2 – давление на входе и выходе из рукавной линии, кПа.

7. Коэффициент удельного сопротивления пожарного рукава рассчитывали по формуле:

$$A_p = \frac{P_{р.л.}}{Q^2 \cdot l} \quad (\text{кПа} \cdot \text{с}^2 \cdot (\text{дм}^3)^{-2} \cdot \text{м}^{-1}). \quad (9)$$

8. Гидравлическое сопротивление в единицах давления одного пожарного рукава длины 20 м рассчитывали по формуле:

$$S_P = 20A \quad (\text{кПа} \cdot \text{с}^2 \cdot (\text{дм}^3)^{-2}). \quad (10)$$

В соответствии с разработанной методикой проведены исследования в насосно-рукавных системах с применением напорных пожарных рукавов диаметром 51, 66, 77 мм. Определение гидравлических потерь в насосно-рукавной системе проводилось с использованием питьевой воды из городского водопровода.

Результаты экспериментально полученных гидравлических сопротивлений пожарных рукавов приведены в таблице 3. Как видно из таблицы, латексированные рукава диаметром 77 мм № 1 (новые, производство ОАО «Могилевхимволокно»), № 2 (б/у, производство ОАО «Могилевхимволокно») и № 3 (новые, производство ПО «Берег») по гидравлическому сопротивлению отличаются незначительно. Прорезиненные рукава диаметром 77 мм № 1 и № 2 по гидравлическому сопротивлению, с учетом погрешности измерений, не отличаются. В то же время результаты, представленные в таблице, свидетельствуют, что гидравлическое сопротивление у прорезиненных рукавов примерно на 20 % меньше, чем у латексированных. Это может быть связано с большей шероховатостью внутренней поверхности латексированных рукавов.

Также были проведены исследования гидравлического сопротивления латексированных рукавов диаметром 77 мм, имеющих значительный срок службы (третьей категории), неоднократно подвергшихся ремонту, и при подаче воды в рукавную линию были об-

наружены свищи, которые пережимались тремя рукавными зажимами. Результаты измерений представлены в таблице 4.

Таблица 3. – Гидравлические сопротивления в единицах давления напорных пожарных рукавов

Вид рукава	Гидравлическое сопротивление в единицах давления пожарного рукава длиной 20 м, S_p (кПа·с ² ·(дм ³) ⁻²)	Происхождение рукава
Ø 77 мм, латексированные, № 1	0,221 ± 0,011	новые (производство ОАО «Могилевхимволокно»)
Ø 77 мм, латексированные, № 2	0,200 ± 0,006	находящиеся в боевом расчете (производство ОАО «Могилевхимволокно»)
Ø 77 мм, латексированные, № 3	0,204 ± 0,013	новые (производство ПО «Берег», Россия)
Ø 77 мм, прорезиненные, № 1	0,173 ± 0,016	находящиеся в боевом расчете
Ø 77 мм, прорезиненные, № 2	0,175 ± 0,008	– // –
Ø 66 мм, латексированные	0,315 ± 0,009	– // –
Ø 51 мм, латексированные	1,75 ± 0,10	– // –

Таблица 4. – Гидравлические показатели рукавов третьей категории

Вид рукава (длина рукавной линии – 90,35 м)	Гидравлическое сопротивление в единицах давления пожарного рукава длиной 20 м, S_p (кПа·с ² ·(дм ³) ⁻²)
Ø 77 мм, латексированные, третьей категории	0,206 ± 0,014
Ø 77 мм, латексированные, третьей категории с 3 зажимами	0,357 ± 0,019

Как видно из таблицы 4, использование рукавных зажимов для устранения свищей значительно увеличивает гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов.

Также были проведены исследования по изменению гидравлического сопротивления и потере давления при наличии нескольких изгибов (приблизительно на 90° каждый) рукавных линий. Результаты измерений представлены в таблице 5.

Таблица 5. – Гидравлические показатели насосно-рукавной системы при наличии изгибов

Вид рукава	Гидравлическое сопротивление в единицах давления пожарного рукава длиной 20 м, S_p (кПа·с ² ·(дм ³) ⁻²)
Ø 77 мм, латексированные, № 3, без изгибов	0,204 ± 0,013
Ø 77 мм, латексированные, № 3, с 2 изгибами	0,387 ± 0,013
Ø 77 мм, прорезиненные, № 2, без изгибов	0,175 ± 0,008
Ø 77 мм, прорезиненные, с 3 изгибами	0,255 ± 0,007

Сравнивая значения гидравлического сопротивления рукава без изгибов и с наличием изгибов, определено значение гидравлического сопротивления одного изгиба. Среднее значение сопротивления одного изгиба латексированного пожарного рукава составляет $0,09 \pm 0,02$ кПа·с²·(дм³)⁻², одного изгиба прорезиненного пожарного рукава $0,03 \pm 0,01$ кПа·с²·(дм³)⁻². Таким образом, наличие изгибов рукавных линий повышает сопротивление напорных пожарных рукавов, причем это более выражено для латексированных рукавов.

Заключение

Установлено, что гидравлическое сопротивление новых латексированных пожарных напорных рукавов диаметром 77 мм производства ОАО «Могилевхимволокно» составляет $0,221 \pm 0,011$ кПа·с²·(дм³)⁻². По величине гидравлического сопротивления данные рукава незначительно отличаются от рукавов производства ПО «Берег», у которых гидравлическое сопротивление составляет $0,204 \pm 0,013$ кПа·с²·(дм³)⁻². Гидравлическое сопротивление исследованных прорезиненных напорных рукавов диаметром 77 мм составляет $0,175 \pm 0,008$ кПа·с²·(дм³)⁻².

Гидравлическое сопротивление латексированных пожарных напорных рукавов диаметром 66 мм составляет $0,315 \pm 0,009 \text{ кПа} \cdot \text{с}^2 \cdot (\text{дм}^3)^{-2}$, рукавов диаметром 51 мм – $1,75 \pm 0,10 \text{ кПа} \cdot \text{с}^2 \cdot (\text{дм}^3)^{-2}$.

Использование рукавных зажимов для устранения свищей значительно увеличивает гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов. Наличие изгибов рукавных линий также повышает сопротивление напорных пожарных рукавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малютин, О.С. Проблема гидравлического расчета насосно-рукавных систем в пожарной тактике / О.С. Малютин, С.А. Васильев // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2018. – № 4 (11). – С. 67–72.
2. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта [и др.]. – 4-е изд., – М.: Альянс, 2010. – 423 с.
4. Тарасов-Агалаков, Н.А. Практическая гидравлика в пожарном деле / Н.А. Тарасов-Агалаков. – М.: Министерство коммунального хозяйства РСФСР, 1959. – 264 с.
5. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
6. Тербнев, В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений / В.В. Тербнев. – М.: Пожкнига, 2004. – 256 с.
7. Ходаков, В.Ф. Гидравлика в пожарном деле / В.Ф. Ходаков – М.: Высшая школа МООП РСФСР, 1965. – 204 с.

Гидравлическое сопротивление напорных пожарных рукавов
Hydraulic resistance of pressure fire hoses

Навроцкий Олег Дмитриевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра автоматиче-
ских систем безопасности, доцент
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4137-2519

Oleg D. Navrotskiy

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic System Security,
Associate Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4137-2519

Михалев Руслан Николаевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
техносферной безопасности, заместитель
начальника факультета
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: 21mrn12@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3719-2646

Ruslan N. Mikhalev

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Technosphere Safety Faculty,
Deputy Head of the Faculty
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: 21mrn12@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3719-2646

Грачулин Александр Владимирович

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

Aleksandr V. Grachulin

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic Safety Systems,
Senior Lecturer
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: Grachulin_a@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3832-8258

Рябцев Виталий Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
автоматических систем безопасности,
начальник кафедры
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: v.reabtsev@ucp.by
ORCID: 0000-0002-2830-591X

Vitaly N. Ryabtsev

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic Safety Systems,
Head of the Chair
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: v.reabtsev@ucp.by
ORCID: 0000-0002-2830-591X

Красавин Василий Ефимович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
предупреждения и ликвидации
чрезвычайных ситуаций, курсант

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

Email: vasya.vi@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9860-0167

Vasiliy E. Krasavin

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Faculty of Emergency Prevention and Elimination,
cadet

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

Email: vasya.vi@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9860-0167

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.74>

HYDRAULIC RESISTANCE OF PRESSURE FIRE HOSES

Navrotsky O.D., Mikhailov R.N., Grachulin A.V., Ryabtsev V.N., Krasavin V.E.

Purpose. Determination of the actual values of the hydraulic resistance of pressure fire hoses based on experimental and theoretical studies for use in the calculation of pump-hose systems.

Methods. To achieve this goal, an experimental method was used, based on determining the pressure loss (pressure) in the hose line by establishing the pressure difference at the beginning and end of the hose line, followed by calculating the resistivity of a fire hose running meter, and then multiplying the resistance of a fire hose running meter sleeves to its length.

Findings. A comparative analysis of the hydraulic resistance values of pressure fire hoses with a diameter of 77, 66, 51 mm was performed. It has been found that currently used values may differ significantly depending on the source of information. A technique for performing measurements in the course of research on pressure losses in pump-hose systems has been developed. Experimental studies have been carried out and the main indicators of the hydraulic resistance of pressure fire hoses with a diameter of 77, 66, 51 mm have been determined.

Application field of research. Fire tactics, calculation of pumping and hose systems.

Keywords: fire tactics, pressure hoses, pump and hose systems.

(The date of submitting: January 5, 2022)

REFERENCES

1. Malyutin O.S., Vasil'ev S.A. Problema gidravlicheskogo rascheta nasosno-rukavnykh sistem v pozharной taktike [Pump-hose systems hydraulic calculations problem in fire tactics]. *Sibirskiy pozharно-spatatel'nyy vestnik*, 2018. No. 4 (11). Pp. 67–72. (rus)
2. Idel'chik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Handbook of hydraulic Resistances]*. Moscow: Mashinostroenie, 1992. 672 p. (rus)
3. Bashta T.M., Rudnev S.S., Nekrasov B.B., Baybakov O.V., Kirillovskiy Yu.L. *Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives]*: textbook for engineering universities. Moscow: Al'yans, 2010. 423 p. (rus)
4. Tarasov-Agalakov N.A. *Prakticheskaya gidravlika v pozharном dele [Practical hydraulics in fire fighting]*. Moscow: Ministry of Municipal Economy of the RSFSR, 1959. 264 p. (rus)
5. Ivannikov V.P., Klyus P.P. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara [Handbook of the fire extinguishing manager]*. Moscow: Stroyizdat, 1987. 288 p. (rus)
6. Terebnev V.V. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. Takticheskie vozmozhnosti pozharных подразделений [Handbook of the fire extinguishing manager. Tactical capabilities of fire departments]*. Moscow: Pozhkniga, 2004. 256 p. (rus)
7. Khodakov V.F. *Gidravlika v pozharном dele [Hydraulics in the fire business]*. Moscow: Vysshaya shkola MOOP RSFSR, 1965. 204 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.84>

УДК 614.843.8

ОЦЕНКА ДИАМЕТРА ПУЗЫРЬКОВ И СКОРОСТИ ПОТОКА ПЕНООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ ДЛЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ НА СЕТКЕ ПЕНОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Чан Д.Х., Камлюк А.Н., Лихоманов А.О.,
Грачулин А.В., Платонов А.С., Титовец А.Ф.

Цель. Теоретически исследовать процесс образования пузырьков воздушно-механической пены на ячеистой сетке пеногенерирующих устройств. Проанализировать влияние размеров ячейки сетки, скорости пенообразующей смеси, а также физических свойств данной смеси на диаметр пузырьков воздушно-механической пены.

Методы. В процессе исследований применялись теоретические методы анализа, а также аналитический метод Феррари и формула Кардано для решения алгебраического уравнения четвертой и третьей степеней соответственно.

Результаты. Показано, что на диаметр пузырьков воздушно-механической пены влияют размеры ячейки сетки, физические свойства пенообразователя, а также скорость пенообразующей смеси. Предложен теоретический метод определения диаметра пузырька пены, образующегося на ячеистой сетке пеногенерирующего устройства. Рассчитан диаметр пенных пузырьков, образующихся на затопленном и незатопленном отверстиях сетки с размерами ячейки в диапазоне от $0,5 \times 0,5$ до $5,0 \times 5,0$ мм.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть применены для теоретического обоснования и разработки пеногенерирующих устройств с ячеистыми сетками.

Ключевые слова: пена, сетка, пенный пузырек, скорость для выдувания пузырьков, диаметр пенного пузырька.

(Поступила в редакцию 10 января 2022 г.)

Введение

Пена представляет собой дисперсную систему, состоящую из пузырьков газа, разделенных пленками жидкости или твердого вещества [1]. В настоящей работе рассмотрена пена именно с жидкой дисперсной средой, т.к. она представляет наибольший интерес с позиции пожаротушения.

Процесс пенообразования весьма сложен по причине совместного воздействия многочисленных физико-химических, физико-механических и других факторов. Вид закономерностей изменения параметров, характеризующих образование пены, может существенно меняться в зависимости от условий конкретного технологического процесса или эксперимента. При этом множество переменных факторов (рис. 1), влияние которых не всегда поддается учету, практически исключает возможность строгого математического описания процессов пенообразования [2].

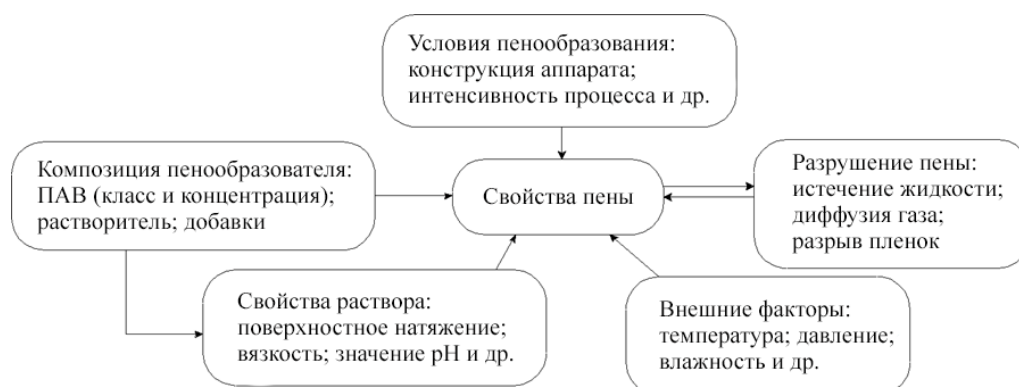


Рисунок 1. – Факторы, влияющие на свойства пены

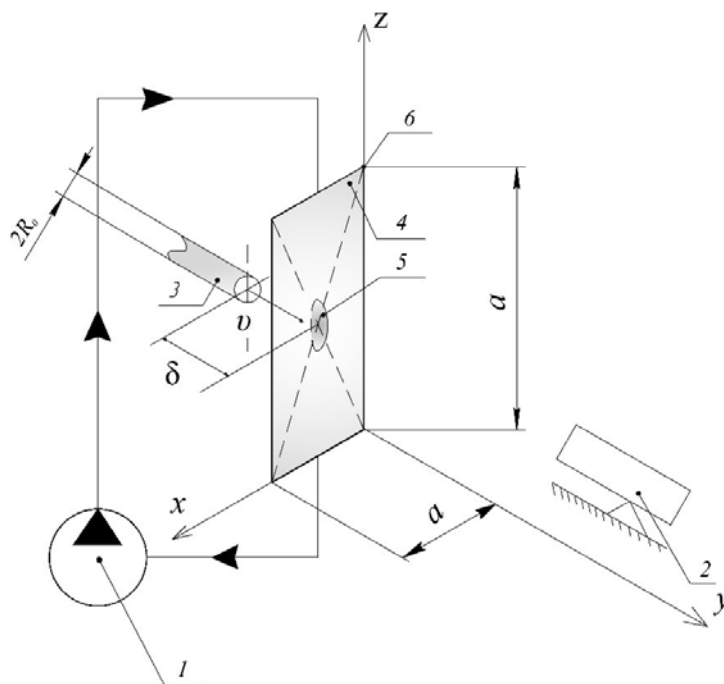
Как оказалось, процесс образования даже одного пенного пузырька является нетривиальной задачей [3]. Поэтому подходы к решению вопросов пенообразования должны быть пошаговыми с учетом ввода дополнительных упрощений и приближений.

В основу данной работы положена оценка скорости пенообразующей смеси, состоящей из пенообразователя, воды и воздуха, увлекаемого потоком жидкой фазы, при которой на сетке пеногенерирующего устройства образуются пузырьки пены (далее – скорость для выдувания пузырьков), а также определение диаметра данных пузырьков. В работе приняты следующие упрощения:

- 1) каждый отдельно взятый пузырек образуется независимо от других пузырьков;
- 2) пузырьки образуются в результате воздействия воздуха, увлекаемого потоком жидкой фазы – пенообразующим раствором (смесь пенообразователя и воды), на пленки данного раствора, которые формируются на ячейках сетки пеногенерирующего устройства. При этом скорость потока воздуха равна скорости жидкой фазы;
- 3) ячейки сетки пеногенерирующего устройства имеют квадратную форму, однако при расчетах рассматриваются как окружности с диаметром, равным длине ребра ячейки.

Основная часть

Оценка скорости для выдувания пузырьков пены. Французские физики из университета Ранна при изучении процесса выдувания мыльных пузырьков [3] установили, что основными параметрами, влияющими на диаметр пузырьков, являются скорость и диаметр поперечного сечения потока воздуха, а также размеры ячейки, на которой формируется мыльная пленка. Ими была разработана лабораторная установка (рис. 2) для выдувания пузырьков из мыльного раствора с динамической вязкостью $\mu = 0,05$ Па·с и поверхностным натяжением $\sigma = 0,024$ Н/м. Для выдувания пузырьков использовалась квадратная рамка 4 с длиной ребра $a = 0,007–0,075$ м. Воздух подавался на мыльную пленку по нормали по отношению к ней через сопло 3 диаметром $2R_0 = 10^{-1}–10^{-4}$ м со скоростью v . Для изменения диаметра поперечного сечения потока воздуха помимо изменения R_0 сопло отодвигали от рамки на расстояние δ . Для поддержания постоянной толщины мыльной пленки стекающий под действием силы тяжести раствор с помощью насоса 1 перекачивался с нижнего ребра рамки на верхнее, как это показано на рисунке 2.



1 – насос; 2 – камера; 3 – сопло; 4 – мыльная пленка; 5 – выдуваемый пузырек; 6 – рамка.

Рисунок 2. – Лабораторная установка согласно работе [3]

В работе [3] авторами была определена минимальная скорость для выдувания пузырьков v_{\min} , а также установлено, что на диаметр пузырьков оказывает влияние диаметр поперечного сечения потока воздуха: чем он больше, тем крупнее пенные пузырьки. Вместе с тем каждому диаметру поперечного сечения потока воздуха соответствует определенная минимальная скорость для выдувания пузырьков v_{\min} , при этом чем больше данный диаметр, тем ниже значение v_{\min} . Кроме того, если диаметр поперечного сечения потока воздуха гораздо больше, чем длина ребра рамки для мыльной пленки, то диаметр пузырька определяется размерами рамки.

Следует отметить, что данный случай выдувания пузырька аналогичен генерированию воздушно-механической пены на сетке пеногенерирующих устройств, применяемых для целей пожаротушения, когда диаметр поперечного сечения потока пенообразующей смеси гораздо больше, чем размеры ячейки сетки. Согласно работе [3] для такого случая минимальную скорость для выдувания пузырьков v_{\min} можно определить по формуле:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{8\sigma}{\rho R_0}} \sqrt{\frac{2R_0}{a}} = \sqrt{\frac{16\sigma}{\rho a}}, \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; R_0 – радиус сопла, м; a – длина ребра квадратной ячейки сетки, м.

Теоретическая зависимость для определения v_{\min} также сформулирована авторами работы [4], где ими рассматривалось пенообразование на сетках пеногенерирующих устройств для целей пожаротушения. Согласно работе [4] для получения пузырьков пены необходимо перед ячейками сетки создать давление, превышающее капиллярное давление в пузырьке. При равенстве данных давлений справедливо соотношение:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{8\sigma}{\rho a}}. \quad (2)$$

Значение v_{\min} , определенное по формуле (1), численно в $\sqrt{2}$ раз больше значения, определенного по формуле (2). Очевидно, что авторы работы [3] для получения уравнения (1) воспользовались ранее полученным теоретическим соотношением (2) из работы [4], включив в него дополнительные переменные на основе результатов собственных экспериментов. Однако справедливость применения как выражения (1), полученного для случая выдувания одного пузырька, так и зависимости (2), сформулированной теоретически для случая генерирования пены на сетке, не подтверждена экспериментально.

В экспериментальной работе [3] также показано, что при скоростях, больших v_{\min} , процесс образования пузырьков становится автоматическим. Согласно работе [4] при дальнейшем увеличении скорости потока воздуха сначала идет нормальный процесс пенообразования, при котором пена от сетки идет сплошным потоком без разрывов. Затем при некоторой скорости наступает такой момент, когда поток пены разрывается и от сетки идет отдельными хлопьями. При дальнейшем увеличении скорости хлопья уменьшаются и при определенной скорости пенообразование полностью прекращается. Капли раствора срываются с сетки и за нею идет поток аэрозоля. Максимальная скорость для выдувания пузырьков v_{\max} , при которой прекращается образование пенных пузырьков на сетке, зависит от концентрации пенообразователя в пенообразующей смеси и его свойств, а также от размеров ячейки сетки [4].

Существование максимальной скорости для выдувания пузырьков можно объяснить теорией устойчивости пены [4]. Устойчивая пена получается, если на поверхности раздела «воздух – жидкость» образуются адсорбционные слои, придающие жидкостным пленкам структурно-механическую прочность. Адсорбционные слои образуются в результате диффузии молекул поверхностно-активного вещества (ПАВ) к поверхности раздела фаз. Пено-

образование на сетках протекает при деформации капель пенообразующего раствора, во время которой поверхность раздела непрерывно увеличивается. При относительно медленной деформации капля раствора на поверхности пузырьков успевает образоваться адсорбционный слой, придающий стенкам пузырьков достаточную прочность. При быстрой деформации концентрация ПАВ на поверхности пузырьков понижается и не успевает восстановиться путем диффузии. Вследствие этого прочность пленок понижается. При увеличении скорости для выдувания пузырьков в потоке пенообразующей смеси возрастает интенсивность возмущений, которые деформируют капли. Понижение прочности пленок и увеличение возмущений приводит при определенных значениях скорости для выдувания к разрушению оболочек пузырьков, т.е. к прекращению процесса пенообразования. Очевидно, максимальное значение скорости для выдувания пузырьков тесно связано с параметрами, определяющими устойчивость пены, т.е. оно зависит от свойств пенообразователя, точнее, от структурно-механических свойств адсорбционных слоев, образующихся на поверхности раствора этого пенообразователя [4].

Таким образом, основываясь на данных, полученных в работах [3] и [4], можно сделать вывод, что выдувание пузырьков возможно потоком пенообразующей смеси, скорость которого находится между двумя пороговыми значениями – минимальной и максимальной скоростями для выдувания пузырьков для данного конкретного случая. Для определения зависимостей, которые можно использовать для расчета пороговых значений скорости для выдувания пузырьков, необходимо проводить экспериментальные исследования.

Как было сказано ранее, скорость потока пенообразующей смеси оказывает влияние на диаметр образующегося на сетке пузырька. Теоретически оценить диаметр пузырька можно по аналогии с работой [5], где авторы рассматривали процесс флотационного разделения полимерных отходов, а диаметр определяли из баланса сил в момент отрыва пузырька при его росте на затопленном отверстии в покоящейся жидкости. Затопленное отверстие далее будет рассматриваться как аналог ячейки сетки пеногенерирующего устройства, через которую происходит выдувание пузырька.

Оценка диаметра пенного пузырька, образующегося на затопленном отверстии.

Для определения диаметра пузырька во время отрыва воспользуемся условием равновесия сил (рис. 3) [5]. Принято, что сетка расположена горизонтально, т.е. поверхность затопленного отверстия расположена перпендикулярно действию подъемной силы $F_{дв}$, которая обусловлена разностью плотностей жидкости и газа. При росте пузырька сила прилипания $F_{пр}$ совместно с силой сопротивления F_c компенсирует подъемную силу $F_{дв}$:

$$F_{дв} = F_{пр} + F_c. \quad (3)$$

С увеличением объема пузырька наступает момент отрыва, когда сила прилипания принимает максимальное значение и не способна компенсировать подъемную силу. Однако отрыв пузырька не происходит мгновенно, существует стадия отрыва. Время отрыва, как правило, определяется эмпирическим путем. При этом следует отметить, что влияние стадии отрыва пузырька на его итоговый диаметр незначительно и согласно данным из работы [6] разница между экспериментальными и расчетными (без учета стадии отрыва) значениями составляет не более 10 % в широких интервалах изменяемых параметров. По этой причине стадию отрыва пузырька в расчетах принято не учитывать.

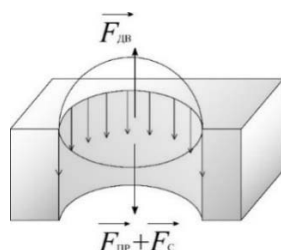


Рисунок 3. – Баланс сил при росте пузырька на затопленном отверстии

Для расчетов также принято, что длина ребра ячейки сетки a соответствует диаметру окружности, вписанной внутрь ячейки. Подъемная сила $F_{дв}$, обусловленная разностью плотностей дисперсных фаз, рассчитывается по формуле:

$$F_{дв} = \frac{\pi d_n^3 g (\rho_1 - \rho)}{6}, \quad (4)$$

где d_n – диаметр пузырька, м; ρ_1 – плотность пенообразователя, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Сила прилипания $F_{пр}$ пузырька к материалу отверстия, на котором он образуется, рассчитывается по формуле:

$$F_{пр} = \pi a \sigma \sin \theta, \quad (5)$$

где θ – краевой угол смачивания (как правило, при расчете силы прилипания пузырька принимается равным 90°), градус.

Сила гидравлического сопротивления среды F_c перемещению границы раздела фаз в росте пузырька на отверстие рассчитывается по закону Стокса:

$$F_c = 3\pi \mu d_n v_{отн}, \quad (6)$$

где $v_{отн}$ – относительная скорость перемещения границы раздела фаз относительно жидкости, м/с.

Динамическая вязкость, в свою очередь, рассчитывается по формуле:

$$\mu = \rho_1 \nu, \quad (7)$$

где ν – кинематическая вязкость, м²/с.

При слабой конвекции жидкости относительная скорость перемещения границы раздела фаз может быть записана так:

$$v_{отн} = \frac{dr_n}{dt}, \quad (8)$$

где $r_n = d_n/2$ – радиус пузырька, м.

Из уравнения сплошности течения газа получаем равенство его объемного расхода приращению объема пузырька:

$$\pi \left(\frac{a}{2}\right)^2 v dt = 4\pi \left(\frac{d_n}{2}\right)^2 dr_n, \quad (9)$$

где v – скорость жидкости для выдувания пузырьков, м/с.

Из последнего равенства выражается скорость перемещения границы раздела фаз относительно жидкости:

$$\frac{dr_n}{dt} = \frac{va^2}{4d_n^2}. \quad (10)$$

Силами инерции, возникающими при росте пузырька, можно пренебречь, тогда уравнение баланса сил (3) в момент отрыва пузырька с учетом формул (4)–(6) и (10) переписывается в виде

$$\frac{\pi d_n^3 g (\rho_1 - \rho)}{6} = \pi a \sigma + \frac{3\pi \mu v a^2}{4d_n}. \quad (11)$$

Путем несложных преобразований перейдем к уравнению

$$d_n^4 - \frac{6a\sigma d_n}{g(\rho_1 - \rho)} - \frac{9\mu\nu a^2}{2g(\rho_1 - \rho)} = 0. \quad (12)$$

Введем обозначения

$$C = \frac{3a\sigma}{g(\rho_1 - \rho)}, \quad D = \frac{3a^2\mu\nu}{g(\rho_1 - \rho)}. \quad (13)$$

Тогда (12) примет вид

$$d_n^4 - 2Cd_n - 3D/2 = 0. \quad (14)$$

Применим метод Феррари [7] для решения уравнения четвертой степени (14). Его резольвента имеет вид

$$y^3 + 6Dy - 4C^2 = 0. \quad (15)$$

С помощью подстановки $y = z - 2D/z$ от (15) перейдем к уравнению

$$z^6 - 4C^2z^3 - 8D^3 = 0,$$

которое, очевидно, приводит нас к уравнениям

$$z^3 = 2C^2 \pm 2\sqrt{C^4 + 2D^3}. \quad (16)$$

Если z_1, z_2, z_3 являются корнями (16), то резольвента (15) имеет решения

$$y_i = z_i - 2D/z_i, \quad i = \overline{1,3}.$$

Таким образом, согласно методу Феррари корни уравнения четвертой степени (14) находятся как корни двух уравнений

$$d_n^2 + \frac{y_1}{2} = \pm \sqrt{y_1 d_n^2 + 2Cd_n + \frac{y_1^2}{4} + \frac{3D}{2}}, \quad (17)$$

где подкоренное выражение в правой части является полным квадратом, а y_1 – произвольный корень резольвенты (15). В качестве y_1 можно выбрать

$$y_1 = z_1 - 2D/z_1, \quad \text{где} \quad z_1 = \sqrt[3]{2C^2 + 2\sqrt{C^4 + 2D^3}}. \quad (18)$$

Отметим, что при решении уравнений (17) из четырех возможных корней действительными оказывались только два, при этом один из них всегда был отрицательным.

Оценка диаметра пенного пузырька, образующегося на незатопленном отверстии. Выше был рассмотрен случай, когда пузырек пены образуется на затопленном отверстии, соответственно, в качестве $F_{дв}$ принималась выталкивающая сила согласно закону Архимеда. Далее рассмотрим случай, когда генерирование пены на сетке происходит в воздухе, т.е. на незатопленном отверстии. В данном варианте за $F_{дв}$ принимается сила удара воздуха о пенную пленку, образующуюся на сетке:

$$F_{дв} = \frac{\pi d_n^2 \rho v^2}{8}. \quad (19)$$

Тогда уравнение (3) принимает вид

$$\frac{\pi d_n^2 \rho v^2}{8} = \pi a \sigma + \frac{3\pi \mu \nu a^2}{4d_n}. \quad (20)$$

Откуда перейдем к уравнению

$$d_n^3 - \frac{8a\sigma}{\rho v^2} d_n - \frac{6a^2\mu}{v} = 0. \quad (21)$$

Введем обозначения

$$C_1 = -\frac{8a\sigma}{\rho v^2}, \quad D_1 = -\frac{6a^2\mu}{v}.$$

Тогда (21) переписывается в виде

$$d_n^3 + C_1 d_n + D_1 = 0. \quad (22)$$

Для решения уравнения воспользуемся формулой Кардано. В таком случае корни уравнения (22) в канонической форме равны

$$d_{n1} = A + B, \quad d_{n2,3} = -\frac{A+B}{2} \pm i \frac{A-B}{2} \sqrt{3},$$

где

$$A = \sqrt[3]{-\frac{D_1}{2} + \sqrt{Q}}, \quad B = \sqrt[3]{-\frac{D_1}{2} - \sqrt{Q}}, \quad Q = \left(\frac{C_1}{3}\right)^3 + \left(\frac{D_1}{2}\right)^2.$$

Отметим, что в рассматриваемых условиях уравнение (22) имеет только один положительный корень – два оставшихся либо отрицательные, либо комплексные.

При расчетах использовались следующие значения физических величин: $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, $\sigma = 0,024 \text{ Н/м}$, $v = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\rho_1 = 1040 \text{ кг/м}^3$ (значения σ , v , ρ_1 соответствуют показателям водного раствора одного из наиболее широко используемого на территории Республики Беларусь пенообразователя Синтек-6НС (6 %)). Результаты решения уравнений (12) и (21) для сеток с размером ячеек от $0,5 \times 0,5$ до $5,0 \times 5,0$ мм и минимальных скоростей для выдувания пузырьков, рассчитанных по формуле (2), приведены в таблице.

Таблица. – Результаты расчета диаметра пузырька для сеток с различным размером ячеек

Размеры ячейки сетки, мм	0,5 × 0,5	0,7 × 0,7	1,0 × 1,0	2,0 × 2,0	3,2 × 3,2	4,0 × 4,0	5,0 × 5,0
Минимальная скорость для выдувания пузырьков v_{\min} , м/с	17,5	14,8	12,4	8,7	6,9	6,2	5,5
Диаметр пузырька d_n , мм:							
– на затопленном отверстии	2,0	2,2	2,5	3,2	3,8	4,1	4,4
– на незатопленном отверстии	0,6	0,9	1,2	2,3	3,6	4,5	5,6

Для проверки адекватности принятых в работе моделей образования пузырьков требуется проведение экспериментов по генерированию пены и измерению среднего диаметра пузырьков при различных скоростях для их выдувания.

Заключение

Рассмотрены известные способы оценки скорости пенообразующей смеси для выдувания пузырьков пены. Показано, что на диаметр пузырьков воздушно-механической пены влияют размеры ячейки сетки пеногенерирующего устройства, физические свойства пенообразователя, а также скорость пенообразующей смеси. Отмечено, что справедливость применения сформулированных различными авторами выражений для определения минимальной скорости для выдувания пузырьков пены не подтверждена экспериментально. Кроме того, основываясь на данных, полученных в работах [3] и [4], можно сделать вывод, что выдувание пузырьков для конкретного случая возможно потоком пенообразующей

смеси, скорость которого находится между двумя пороговыми значениями – минимальной и максимальной скоростями для выдувания пузырьков. Для определения зависимостей, которые можно использовать для расчета пороговых значений скорости для выдувания пузырьков, необходимо проводить экспериментальные исследования.

Предложен теоретический метод определения диаметра пузырька пены, образующегося на ячеистой сетке пеногенерирующего устройства, основанный на балансе сил в момент отрыва пузырька при его росте на затопленном отверстии в условно покоящейся жидкости, а также на незатопленном отверстии. Рассчитан диаметр пенных пузырьков, образующихся на сетке с размерами ячейки в диапазоне от $0,5 \times 0,5$ до $5,0 \times 5,0$ мм. Предложенный метод также требует экспериментального подтверждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров, В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения / В.К. Тихомиров. – М.: Химия, 1975. – 263 с.
2. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 223 с.
3. Salkin, L. Generation Soap Bubbles by Blowing on Soap films / L. Salkin [et. al.] // Physical Review Letters, 2016. – Vol. 116, Iss. 7. – Article 077801. DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.077801.
4. Казаков, М.В. Средства и способы тушения пламени горючих жидкостей / М.В. Казаков, И.И. Петров, В.Ч. Реутт. – М.: Стройиздат, 1977. – 113 с.
5. Левданский, А.Э. Флотационное разделение смеси измельченных полимерных отходов / А.Э. Левданский [и др.]. – Шымкент: Элем, 2020. – 152 с.
6. Рубинштейн, Ю.И. Пенная сепарация и колонная флотация / Ю.И. Рубинштейн [и др.]. – М.: Недра, 1989. – 303 с.
7. Еремин, М.А. Уравнения высших степеней / М.А. Еремин. – М.: Арзамас, 2003. – 304 с.

**Оценка диаметра пузырьков и скорости потока пенообразующей смеси
для их образования на сетке пеногенерирующих устройств**
**Evaluation of the bubbles diameter and the blowing speed of the air-mechanical foam
forming bubbles on the screen of the foam generators**

Чан Дык Хоан

кандидат технических наук

Университет пожарной безопасности
и профилактики, факультет технических
средств пожарно-спасательных служб,
заместитель начальника факультета

Адрес: р-н Тхань Суан,
ул. Хуат Дуй Тиен, 243,
123000, г. Ханой, Вьетнам

Email: duchoant34@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8558-8979

Hoan Duc Tran

PhD in Technical Sciences

University of Fire Prevention and Fighting,
Faculty of Automation and Technical
Equipment of Fire Fighting and Rescue,
Deputy Head of the Faculty

Address: Thanh Xuan District,
Khuat Duy Tien str., 243,
123000, Hanoi, Vietnam

Email: duchoant34@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8558-8979

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

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

Email: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

Andrey N. Kamlyuk

PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Deputy Chief of the University
on Scientific and Innovative Activity

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

Email: kan@ucp.by

ORCID: 0000-0002-9347-0778

Грачулин Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент

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

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

Email: Grachulin_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

Aleksandr V. Grachulin

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

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

Email: Grachulin_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

Лихоманов Алексей Олегович

кандидат технических наук

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

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

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

Aleksey O. Likhomanov

PhD in Technical Sciences

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

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

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

Платонов Александр Сергеевич

кандидат физико-математических наук,
доцент

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», отдел науки
и инновационного развития, ведущий
научный сотрудник

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

Email: alexpltn@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5463-6029

Aleksandr S. Platonov

PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor

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

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

Email: alexpltn@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5463-6029

Титовец Артем Федорович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
предупреждения и ликвидации
чрезвычайных ситуаций, курсант

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

Email: artemlucky619@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-9952-6525

Artem F. Titovets

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Faculty of Emergency Prevention and Elimination,
cadet

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

Email: artemlucky619@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-9952-6525

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.84>

EVALUATION OF THE BUBBLES DIAMETER AND THE BLOWING SPEED OF THE AIR-MECHANICAL FOAM FORMING BUBBLES ON THE SCREEN OF THE FOAM GENERATORS

Tran D.H., Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V., Platonov A.S., Titovets A.F.

Purpose. To study the formation process of bubbles of air-mechanical foam on the cellular screen of foam generators. To analyze the influence of the foam screen cell dimensions, the speed of the foaming mixture (the foam bubble blowing speed), as well as the physical properties of this mixture on the diameter of the bubbles of the air-mechanical foam.

Methods. In the process of the research theoretical methods of analysis were used, as well as the analytical Ferrari method and Cardano's formula for solving an algebraic equation of the fourth degree and cubic equation, respectively.

Findings. It is shown that the diameter of the air-mechanical foam bubbles is affected by the size of the foam screen cell, the physical properties of the foaming agent, and the speed of the foaming mixture (the foam bubble blowing speed). A theoretical method is proposed for determining the diameter of the foam bubble formed on a cellular screen of the foam generator. The diameter of foam bubbles formed at the flooded and unflooded holes of the foam screen with cell size in the range from 0.5×0.5 to 5.0×5.0 mm was calculated.

Application field of research. The results can be used for theoretical substantiation and development of foam generators with cellular screen.

Keywords: foam, foam screen, foam bubble, foam bubble blowing speed, foam bubble diameter.

(The date of submitting: January 10, 2022)

REFERENCES

1. Tikhomirov V.K. *Peny. Teoriya i praktika ikh polucheniya i razrusheniya* [Foam. Theory and practice of their production and destruction]. Moscow: Khimiya, 1975. 263 p. (rus)
2. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. *Kompressionnaya pena dlya nuzhd pozharnykh podrazdeleniy: monografiya* [Compressed air foam for the needs of fire departments]: monograph. Minsk: University of Civil Protection of the Republic of Belarus, 2019. 223 p. (rus)
3. Salkin L., Schmit A., Panizza P., Courbin L. Generating Soap Bubbles by Blowing on Soap Films. *Physical Review Letters*, 2016. Vol. 116, Iss. 7. Article 077801. DOI: 10.1103/PhysRevLett.116.077801.
4. Kazakov M.V., Petrov I.I., Reutt V.Ch. *Sredstva i sposoby tusheniya plameni goryuchikh zhidkostey* [Means and methods of extinguishing the flame of combustible liquids]. Moscow: Stroyizdat, 1977. 113 p. (rus)
5. Levanskiy A.E., Olimakh E.V., Volnenko A.A., Korganbaev B.N., Zhumadullaev D.K. *Flotatsionnoe razdelenie smesi izmel'chennykh polimernykh otkhodov* [Flotation separation of a mixture of crushed polymeric waste]. Shymkent: Alem, 2020. 152 p. (rus)
6. Rubinshteyn Yu.I., Melik-Gaykazyan V.I., Matveenkov N.V., Leonov S.B. *Pennaya separatsiya i kolonnaya flotatsiya* [Foam separation and column flotation]. Moscow: Nedra, 1989. 303 p. (rus)
7. Eremin M.A. *Uravneniya vysshikh stepeney* [Equations of the highest powers]. Moscow: Arzamas, 2003. 304 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.95>

УДК: 614.8:355.58/364

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ И ДРУГИХ НЕОТЛОЖНЫХ РАБОТ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ ПОЖАРНОЙ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ СЛУЖБой ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

Хроколов В.А., Еремин А.П.

Цель. Определение видов аварийно-спасательных и других неотложных работ (далее – АСДНР), выполняемых пожарной аварийно-спасательной службой гражданской обороны Республики Беларусь (далее – ПАСС ГО) при ликвидации ЧС в военное время.

Методы. Общенаучные методы исследования: анализ и синтез, сравнение и обобщение.

Результаты. Определены виды АСДНР, выполняемые ПАСС ГО при ликвидации ЧС в военное время.

Область применения исследований. Результаты работы могут быть использованы при планировании мероприятий гражданской обороны.

Ключевые слова: военно-политическая обстановка, гражданская оборона, пожарная аварийно-спасательная служба, аварийно-спасательные и другие неотложные работы, обычные средства поражения.

(Поступила в редакцию 3 января 2022 г.)

Введение

Оценка военно-политической обстановки вокруг Республики Беларусь показывает, что на современном этапе ее состояние характеризуется постоянным возрастанием интенсивности и динамичности происходящих процессов. Наблюдается обострение борьбы, прежде всего, за контроль над рынками и управление движением сырьевых ресурсов, а также за лидирующие позиции отдельных государств либо коалиций государств в мире. В результате возникают очаги напряженности и усиливаются межгосударственные противоречия, при этом наблюдается применение отдельными государствами военной силы в обход действующего международного законодательства, что дестабилизирует международную обстановку. Кроме того, стремление государств либо их коалиций, а также ряда негосударственных субъектов к приобретению экономических и ресурсных преимуществ в продвижении своих интересов приводит к провоцированию внутригосударственных противоречий. В результате вмешательства во внутренние дела отдельных государств, в том числе европейских, спровоцирован ряд внутренних вооруженных конфликтов с масштабным комплексным применением военной силы как в традиционных формах и традиционными способами, так и с использованием диверсионных и террористических методов ведения боевых действий¹.

Не трудно заметить, что сегодня основные геополитические притязания Запада направлены на Россию, а с учетом того, что Беларусь является членом Союзного государства, а также членом ОДКБ, несомненно, в таких условиях Беларусь будет рассматриваться Западом как вероятный противник [1]. И это не скрывается.

Исследование военных конфликтов последних лет показывает, что, по взглядам военных специалистов НАТО, главным способом достижения целей становится бесконтактное воздействие на противника за счет применения высокоточного оружия (далее – ВТО)

¹ Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2016 г., № 412-3 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь pravo.by. – Минск, 2020. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H11600412> – Дата доступа: 04.12.2021.

и дальнобойных средств поражения с воздуха, моря и из космоса. При этом, вероятнее всего, в современных военных конфликтах первоначальные усилия будут сосредоточены на поражении инфраструктуры управления (политического, военного, экономического), систем связи и радиоэлектронной борьбы, оборонного потенциала противника, а лишь затем на поражение или нанесение существенного ущерба наземной группировке войск.

При таком подходе вероятными целями поражения, скорее всего, наряду с объектами управления, будут и промышленные объекты, причем потенциально опасные (далее – ПОО), которые находятся как в непосредственной близости от населенных пунктов, так и непосредственно на их территории. Нанесение ударов по данным объектам способно привести не только к разрушению либо повреждению самого объекта, но и к возникновению различных ЧС, опасные факторы которых могут распространяться далеко за пределы объекта поражения, что, в свою очередь, создает угрозу жизни и здоровью большого количества гражданского населения.

Как следствие, в результате применения обычных средств поражения (далее – ОСП), в том числе высокоточных, на территории Республики Беларусь или в отдельной ее местности может сложиться сложная обстановка, связанная с нарушением управления силами и средствами, нарушением грузопотоков на отдельных участках железнодорожной и автомобильной сети, разрушением трубопроводных систем и временным прекращением поставок газа и нефти, нарушением экономических связей, потерями промышленного производства, дезорганизацией межсистемных связей энергосистем и прекращением снабжения потребителей, а также многократным увеличением ЧС. Все это потребует не только восстановления управления отдельными отраслями или регионами, но и проведения большого объема АСДНР.

В этих условиях защита населения, материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при ведении или в результате ведения военных действий, является одной из важнейших задач государства, которая возложена на гражданскую оборону Республики Беларусь.

Основная часть

Изучение военных конфликтов конца XX – начала XXI в. показывает, что с каждым новым конфликтом увеличивался спектр задач, решаемых с помощью высокоточного оружия, а также возрастала интенсивность его применения по мере выявления преимуществ перед другими видами вооружения. Так, если в ходе проведения операции «Буря в пустыне» (1991) в течение 43 суток было нанесено 282 удара крылатыми ракетами по объектам на территории Ирака, то за 73 часа проведения операции «Лис пустыни» (1998) Вооруженные силы США и Великобритании нанесли уже 415 ударов, а в операции «Свобода Ирака» (2003) за первые 15 суток применено около 700 крылатых ракет [2; 3].

Военные действия НАТО против Югославии (1999) начались с 2 массированных ракетно-авиационных ударов, затем последовали выборочные одиночные и групповые удары с интенсивностью 50–70 самолетовылетов в сутки. Для нанесения ударов по объектам югославской экономики НАТО применили 1200–1500 высокоточных крылатых ракет морского и воздушного базирования. В результате было разрушено только объектов экономики более 500 (табл.). Кроме того, были поражены объекты транспортной инфраструктуры (мосты, аэропорты, дорожные развязки и др.), объекты соцкультбыта. В общей сложности более 700 объектов. Как следствие, полностью разрушена нефтяная промышленность Югославии, 50 % индустрии боеприпасов, 40 % танковой и автомобильной промышленности, 40 % нефтехранилищ, 100 % стратегических мостов через Дунай [4]. Количество погибших по данным различных источников составило от 1,2 до 2 тыс. человек, раненых около 10 тыс. человек.

В случае возникновения вооруженного конфликта и нанесения ударов вероятным противником по территории нашей страны наряду с органами управления, объектами Во-

оруженных Сил Республики Беларусь вероятными целями поражения будут и объекты экономики, в том числе ПОО.

Таблица. – Объекты экономики, пораженные ударами НАТО на территории Югославии

№ п/п	Наименование объектов	Количество уничтоженных гражданских объектов в Югославии
1	Нефтеочистительные заводы	2
2	Нефтехимические заводы	3
3	Азотные заводы	1
4	Нефтехранилища	60
5	Газовые узлы и хранилища	15
6	Крупные критические промышленные предприятия	14
7	Крупные критические узлы электроэнергетики	8
8	Критические заводы и фабрики промышленности	89
9	Объекты связи, телевидения и радиовещания	118
10	Объекты энергетики	120
15	Дамбы, гидросооружения	15
16	Объекты водоснабжения	60

Отметим, что поражение объектов экономики, наиболее вероятно, будет осуществляться нанесением точечных ударов по критически важным элементам объекта, а не сплошным «накрытием» их площадей, что позволит вывести объект из строя, используя минимальное количество ресурса. Следует подчеркнуть, что нанесение ударов по объектам химической промышленности, энергетики, иным ПОО может привести к возникновению не только первичных, но и вторичных поражающих факторов, которые по своим последствиям могут быть гораздо более масштабны, чем непосредственное воздействие средств поражения на объект.

Так, нанесение ударов по химически опасным объектам, вероятнее всего, приведет к возникновению очагов химического заражения местности, при этом их площадь будет зависеть от количества, вида и агрегатного состояния химического вещества на объекте; по пожаровзрывоопасным объектам спровоцирует возникновение пожаров и взрывов; по объектам энергетики приведет к нарушению работы систем энергоснабжения и жизнеобеспечения, возникновению пожаров и взрывов. Поскольку большинство объектов экономики находятся в населенных пунктах либо вблизи них, очевидно, что нанесение по ним ударов и, прежде всего, по ПОО может привести к разрушению не только самого объекта поражения, но и других объектов различного назначения, а также к возникновению ЧС как на самих объектах, так и в селитебной зоне. Очевидно, что это может привести не только к возникновению различных чрезвычайных ситуаций, но и к увеличению пострадавшего населения.

В связи с этим не вызывает сомнений тот факт, что для спасения пострадавшего населения и минимизации воздействия на него опасных факторов, возникающих в результате ведения боевых действий или вследствие их, потребуется проведение АСДНР в очагах поражения, причем в гораздо больших объемах, чем в мирное время.

Изучение положений нормативных правовых актов^{2, 3, 4, 5, 6} показывает, что проведение АСДНР в военное время будет осуществляться силами ГО, в состав которых входят:

² О гражданской обороне [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 27 ноября 2006 г., № 183-З // Онлайн-сервис готовых правовых решений ilex. – Минск, 2021. – Режим доступа: <https://ilex-private.ilex.by> – Дата доступа: 05.12.2021

³ Об утверждении положения о порядке создания и деятельности гражданских формирований гражданской обороны [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 19 марта 2008 г., № 413 // Онлайн-сервис готовых правовых решений ilex. – Минск, 2021. – Режим доступа: <https://ilex-private.ilex.by> – Дата доступа: 04.12.2021

службы ГО, гражданские формирования ГО (далее – ГФ ГО), сеть наблюдения и лабораторного контроля. При этом основу сил для проведения АСДНР будут составлять службы ГО и ГФ ГО.

Состав сил ГО, привлекаемых для проведения АСДНР, должен не только обеспечивать возможность их быстрого приведения в готовность и осуществления АСДНР в самых сложных условиях и обстановке, но и их максимальную эффективность. А это возможно только при условии обеспечения рационального состава сил ГО, привлекаемых к ведению АСДНР.

Анализ существующего научно-методического аппарата^{7, 8, 9, 10} показал, что разработанные в настоящее время теоретические положения и практические рекомендации создают необходимую, но вместе с тем недостаточную основу для определения рационального состава сил ГО, привлекаемых для проведения АСДНР в военное время, поскольку не учитывают ряд факторов, в частности: определение видов АСДНР, выполняемых каждой из служб ГО; распределение их объемов между силами ГО.

Так, существующие в Республике Беларусь методики позволяют определить вероятную обстановку, которая может сложиться на отдельном объекте или территории в результате применения противником ОСП, общий объем АСДНР, а также общее количество сил ГО, необходимых для их проведения. Вместе с тем полученные результаты при применении существующих методик не позволяют обосновать рациональный состав этих сил ГО.

Таким образом, очевидно, что в настоящее время требуется совершенствование научно-методического аппарата в части, касающейся определения рационального состава сил ГО, привлекаемых для ликвидации ЧС в военное время, что представляет собой актуальную научную задачу.

По мнению авторов, для решения данной задачи необходимо:

– на основе анализа задач, возложенных на каждую из служб ГО, имеющихся у нее сил и средств определить АСДНР, выполнение которых будет возложено на конкретную службу и которые она в состоянии будет выполнить (*для ГФ ГО выполняемые АСДНР определены*¹¹);

– с учетом существующего научно-методического аппарата определить прогнозируемый объем по каждому виду АСДНР;

– распределить прогнозируемый объем АСДНР по каждому виду работ между конкретными исполнителями;

– на основе оценки возможностей служб и ГФ ГО определить рациональный состав сил ГО, участвующих в ликвидации ЧС.

⁴ Об утверждении Положения о республиканской пожарной аварийно-спасательной службе гражданской обороны: приказ Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 20 марта 2018 г., № 103.

⁵ Методические рекомендации по порядку функционирования служб гражданской обороны: утв. Министром по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 29 дек. 2014 г. – Минск: Мин-во по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 2014. – 20 с.

⁶ Методические рекомендации по созданию и применению гражданских формирований гражданской обороны: утв. Министром по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 27 июня 2019 г. – Минск: Мин-во по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 2019. – 44 с.

⁷ См. сноску 3.

⁸ Пожарная безопасность зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования = Пажарная бяспека будынкаў і збудаванняў. Будаўнічыя нормы праектавання: ТКП 45-2.02-315-2018 (33020) – Введ. 14.02.18. – Минск: Мин-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2018. – 51 с.

⁹ Противопожарное водоснабжение. Строительные нормы. = Супрацьпажарнае водазабеспячэнне. Будаўнічыя нормы: СН 2.02.02-2019. – Минск: Мин-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2020. – 28 с.

¹⁰ Порядок определения необходимого количества сил и средств подразделений по чрезвычайным ситуациям для тушения пожаров: НПБ 64-2017 – Введ. 27.09.17. – Минск: Мин-во по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 2017. – 27 с.

¹¹ См. сноску 3.

Изучение нормативных правовых актов, регламентирующих деятельность ПАСС ГО, показало, что на нее возлагается выполнение следующих задач:

- организация и проведение мероприятий по ликвидации чрезвычайных ситуаций во взаимодействии с республиканскими службами ГО;
- организация и проведение мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности населенных пунктов и организаций¹².

Там же определены основные функции ПАСС ГО при ликвидации ЧС:

- оказание первой помощи пострадавшим в зоне чрезвычайной ситуации;
- десантирование спасателей и грузов;
- проведение работ по укреплению или обрушению поврежденных и грозящих обвалом конструкций зданий, сооружений;
- проведение радиационного, химического контроля личного состава, участвующего в аварийно-спасательных работах, аварийно-спасательных средств;
- ликвидация (локализация) гидродинамических аварий (прорыв плотин, дамб, шлюзов) и катастрофических затоплений;
- проведение работ по разборке завалов, расчистке маршрутов и устройства проездов в завалах;
- проведение поисково-спасательных работ;
- проведение работ по дезактивации, дегазации, дезинфекции, демеркуризации;
- проведение аварийных подводно-технических (водолазных) работ;
- проведение взрывных, взрывотехнических работ для ликвидации (локализации) чрезвычайной ситуации;
- спасение людей и имущества, тушение пожаров и ликвидация иных чрезвычайных ситуаций.

В то же время в методических рекомендациях¹³ определено, что на ПАСС ГО в ходе проведения АСДНР возлагается проведение поисково-спасательных работ, локализация и тушение пожаров в зонах ЧС, очагах поражений. На службу гражданской обороны защиты сельскохозяйственных животных и растений возлагается проведение дезинфекционных мероприятий в очагах поражения. На инженерно-техническую службу – выполнение задач по прокладке маршрутов (проездов) в завалах для движения аварийно-спасательной техники, путей к защитным сооружениям. На коммунально-техническую службу – подготовка специальной техники, коммунально-бытовых предприятий и сооружений, предназначенных для проведения дегазации, дезактивации и дезинфекции транспортных средств, санитарной обработки людей, обеззараживания одежды, территорий и сооружений.

Анализ изученных НПА показал противоречивость в определении видов АСДНР, выполняемых службами ГО при ликвидации ЧС в военное время.

Изучение организационно-штатной структуры подразделений, входящих в состав ПАСС ГО, показало, что служба обладает:

- кадровым ресурсом, подготовленным для проведения АСДНР, в том числе в непригодной для дыхания среде, в условиях химического и радиационного загрязнения;
- пожарной аварийно-спасательной техникой и оборудованием, предназначенным для проведения аварийно-спасательных работ. На вооружении службы состоят: пожарные автомобили (пожарные автоцистерны, автомобили воздушно-пенного тушения, газодымного тушения и др.), специальные пожарные аварийно-спасательные автомобили (автолестницы, коленчатые подъемники, автомобили рукавные, связи и оповещения и др.), инженерная техника (краны, бульдозеры, экскаваторы, большие артиллерийские тягачи, инженерные машины разграждения и др.), воздушные суда (самолеты, вертолеты), плавательные средства (катера, лодки), а также вспомогательные технические средства (автобусы, грузовые автомобили, тракторы и т.д.). Кроме того, подразделения службы укомплектованы

¹² См. сноску 4.

¹³ См. сноску 5.

аварийно-спасательным оборудованием и инструментом, приборами радиационной и химической разведки, средствами защиты органов дыхания и т.д.^{14, 15}

Проведенный анализ сил и средств ПАСС ГО позволяет утверждать, что служба в состоянии выполнять широкий спектр АСДНР. Однако учитывая задачи службы и ее возможности, по мнению авторов, на нее целесообразно возложить выполнение в военное время следующих АСДНР:

- проведение разведки (инженерной, химической, радиационной и пожарной);
- поиск пострадавших в завалах разрушенных зданий и сооружений;
- разборка завалов разрушенных зданий и сооружений для извлечения пострадавших и оказание им первой помощи;
- устройство проездов в завалах разрушенных зданий и сооружений, расчистка маршрутов для ввода сил ГО в очаги поражения;
- локализация и тушение пожаров;
- укрепление либо обрушение поврежденных или грозящих обвалом конструкций зданий и сооружений;
- эвакуация пострадавшего населения из очагов поражения;
- оказание первой помощи пострадавшим в очагах поражения;
- проведение взрывотехнических работ для ликвидации ЧС;
- проведение водолазных работ.

Заключение

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- 1) в действующих НПА:
 - сформулированы только общие задачи и функции службы;
 - существуют определенные противоречия, не позволяющие однозначно определить, какие виды АСДНР должна выполнять ПАСС ГО;
- 2) определение видов АСДНР, выполняемых ПАСС ГО, является необходимым условием, выполнение которого позволит, с одной стороны, определить рациональный состав сил и средств службы, а с другой – место службы в ходе проведения АСДНР в военное время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хроколов, В.А. Военно-политическая обстановка в Балтийском регионе как один из факторов, влияющих на подготовку и ведение гражданской обороны / В.А. Хроколов, И.К. Мурзич, Н.Е. Бузин / Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 220–228. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.220.
2. Малышев, В.П. Анализ военных угроз национальной безопасности России и их влияние на планирование мероприятий гражданской обороны [Электронный ресурс] / В.П. Малышев, Э.Я. Богатырев / Стратегии гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – С. 283–302. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-voennyh-ugroz-natsionalnoy-bezopasnosti-rossii-i-ih-vliyanie-na-planirovanie-meropriyatij-grazhdanskoj-oborony>. – Дата доступа: 23.06.2020.
3. Кутищев, В. Операция «Лис пустыни» (1998) [Электронный ресурс] / В. Кутищев / Современная армия: оружие, тактика, боевой опыт. – Режим доступа: <http://www.modernarmy.ru/article/277/operaciya-lis-pustiny>. – Дата доступа: 12.12.2021.
4. Печуров, С.Л. Война в Югославии 1991–1995, 1998–1999 гг. – межэтническая война в Югославии и агрессия НАТО против союзной Республики Югославия [Электронный ресурс] / С.Л. Печуров / Межрегиональный общественный фонд содействия стратегической безопасности. – Режим доступа: <http://www.fssb.su/monitor-wars/814-voyna-v-yugoslavii-1991-1995-1998-1999-gg-mezhetnicheskaya-voyna-v-yugoslavii-i-agressiya-nato-protiv-soyuznoy-respubliki-yugoslaviya.html>. – Дата доступа: 08.12.2021.

¹⁴ Об обеспечении вспомогательными и инженерными техническими средствами: приказ Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 5 нояб. 2018 г., № 336.

¹⁵ Об утверждении норм обеспечения пожарной, аварийно-спасательной техникой, пожарно-техническим, аварийно-спасательным оборудованием и снаряжением, имуществом: приказ Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 6 дек. 2016 г., № 289.

Определение аварийно-спасательных и других неотложных работ, выполняемых пожарной аварийно-спасательной службой гражданской обороны**Determining the types of rescue and other urgent work performed by the fire rescue service of civil defense*****Хроколов Виталий Александрович***

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра управления защитой от чрезвычайных ситуаций, старший преподаватель

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

Email: xrvavit2604@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6577-4061

Vitaliy A. Khrokolov

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

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

Email: xrvavit2604@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6577-4061

Еремин Алексей Петрович

кандидат технических наук, доцент

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

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

Email: 58eremin@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6283-6629

Aleksey P. Eremin

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

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

Email: 58eremin@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6283-6629

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.95>

**DETERMINING THE TYPES OF RESCUE AND OTHER URGENT WORK
PERFORMED BY THE FIRE RESCUE SERVICE OF CIVIL DEFENSE**

Khrokolov V.A., Eremin A.P.

Purpose. Determination of the types of rescue and other urgent work performed by the fire rescue service of civil defense of the Republic of Belarus during the elimination of emergencies in wartime.

Methods. General scientific research methods: analysis and synthesis, comparison and generalization.

Findings. Clarified the types of rescue and other urgent work performed by the fire rescue service of civil defense of the Republic of Belarus during the elimination of emergencies in wartime.

Application field of research. The results can be used in planning civil defense activities.

Keywords: military-political situation, emergencies, civil defense, fire rescue service, rescue and other urgent work, conventional means of destruction.

(The date of submitting: January 3, 2022)

REFERENCES

1. Khrokolov V.A., Murzich I.K., Buzin N.E. Voенно-politicheskaya obstanovka v Baltijskom regione kak odin iz faktorov, vliyayushchikh na podgotovku i vedenie grazhdanskoy oborony [Military-political situation in the Baltic region, as one of the factors influencing the preparation and management of civil defense]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 1, No 2. Pp. 220–228. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-2.220.
2. Malyshev V.P., Bogatyrev E.Ya. Analiz voennykh ugroz natsional'noy bezopasnosti Rossii i ikh vliyanie na planirovanie meropriyatiy grazhdanskoy oborony [Analysis of military threats to Russia's national security and their impact on the planning of civil defense measures]. *Strategii grazhdanskoy zashchity: problemy i issledovaniya*, 2014. Pp. 283–302, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-voennykh-ugroz-natsionalnoy-bezopasnosti-rossii-i-ih-vliyanie-na-planirovanie-meropriyatiy-grazhdanskoy-oborony> (accessed: June 23, 2020). (rus)
3. Kutishchev V. Operatsiya «Lis pustyni» [Operation Desert Fox] (1998). *Sovremennaya armiya: oruzhie, taktika, boevoy opyt*, available at: <http://www.modernarmy.ru/article/277/operaciya-lis-pustyni> (accessed: December 12, 2021). (rus)
4. Pechurov S.L. Voyna v Yugoslavii 1991–1995, 1998–1999 gg. – mezhetnicheskaya voyna v Yugoslavii i agressiya NATO protiv soyuznoy Respubliki Yugoslaviya [War in Yugoslavia 1991–1995, 1998–1999 – interethnic war in Yugoslavia and NATO aggression against the Federal Republic of Yugoslavia]. *Mezhregional'nyy obshchestvennyy fond sodeystviya strategicheskoy bezopasnosti* available at: <http://www.fssb.su/monitor-wars/814-voyna-v-yugoslavii-1991-1995-1998-1999-gg-mezhetnicheskaya-voyna-v-yugoslavii-i-agressiya-nato-protiv-soyuznoy-respubliki-yugoslaviya.html>. (accessed: December 8, 2021). (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.103>

УДК 351.861

ЗАКОНЫ ВООРУЖЕННОЙ БОРЬБЫ КАК НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗАЦИЙ, ПОДЛЕЖАЩИХ ПЕРЕВОДУ НА РАБОТУ В УСЛОВИЯХ ВОЕННОГО ВРЕМЕНИ

Булва А.Д.

Цель. Доказать наличие диалектической связи законов вооруженной борьбы и мероприятий гражданской обороны, включая комплексную защиту организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени.

Методы. В работе применены общенаучные методы исследования: индукции и дедукции, анализа и синтеза, сравнения и обобщения, аналогии.

Результаты. Выявлены и обоснованы диалектические связи законов вооруженной борьбы, мероприятий гражданской обороны и комплексной защиты организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени.

Область применения исследований. Результаты исследования являются вкладом в развитие теории гражданской обороны, прежде всего представлений о комплексной защите организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени. Могут быть использованы при переработке требований технических нормативных правовых актов в части уточнения принципов и целесообразности осуществления защитных мероприятий.

Ключевые слова: гражданская оборона, законы вооруженной борьбы, инженерно-технические мероприятия, комплексная защита, организация, устойчивость функционирования.

(Поступила в редакцию 7 января 2022 г.)

Введение

Решение задачи, посвященной разработке научно-методических основ комплексной защиты организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени [1], невозможно осуществлять без определения ее научно-теоретических основ – ключевых положений, базовых законов, допущений и т.п., составляющих основание предмета исследования.

В качестве основного допущения принимается, что понятие и система комплексной защиты должны основываться на единой научно-теоретической основе теории гражданской обороны (далее – ГО). В одном из предыдущих авторских исследований [2] рассмотрено научно-историческое состояние и развитие системы ГО, которое, безусловно, является содержательной основой разрабатываемых и планируемых защитных мероприятий в настоящее время. В то же время исторические аспекты, демонстрируя историческую обусловленность и целесообразность планирования и осуществления вопросов защиты населения и территории, в полной мере не позволяют объяснить и увязать причинно-следственные связи в характере, причинах и объемах мероприятий по подготовке к ведению ГО в настоящее время. Поэтому, ориентируясь только на предыдущий опыт, мы готовимся к войнам прошлого, упуская из виду вызовы и угрозы настоящего и будущего. И ошибки, допускаемые в нормативных правовых и технических нормативных правовых актах, указанных ранее, являются тому подтверждением.

Принимая во внимание, что вопросы комплексной защиты рассматриваются в исследовании с позиции военной науки, а также учитывая единство оборонных мероприятий (их взаимосвязь и целенаправленность), следует, что содержание и необходимость мероприятий ГО необходимо рассматривать через осмысление содержания законов ведения войны и вооруженной борьбы, т.к. последние составляют предмет исследования военной науки в целом и ее отдельных разделов [3].

Основная часть

Из анализа, выполненного в ходе литературного обзора, следует, что рассматриваемый вопрос внимания в научной литературе практически не находит, а нормативные требования в сфере ГО формулируются интуитивно, во многом из соображений, основанных на историческом опыте, без опоры на соответствующие научно-теоретические положения.

Так, основной закон вооруженной борьбы – закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий (поражение противника при максимальном сохранении своих сил) [4, с. 86], который диалектически связан с всеобщим законом природной и общественно-исторической действительности – законом единства и борьбы противоположностей, синтезирует мероприятия ГО как факторы, определяющие содержание и объем конструктивных процессов, которые напрямую и косвенно влияют на исход вооруженной борьбы.

Смысл закона следует из сущности вооруженной борьбы. В ходе боевых действий в той или иной степени происходят процессы разрушения, распада, обусловленные применением средств поражения и приводящие к людским, финансовым, материальным потерям [5]. Этим процессам противостоят меры по укреплению своих сил: защита, восполнение потерь, сохранение организованности, боевого порядка (оперативного построения), поддержание морального духа личного состава и т.п.

Кроме того, значительные усилия направлены на минимизацию последствий деструктивных процессов для общества и государства, включая сохранение и восстановление объектов инженерной инфраструктуры, обеспечивающих жизнедеятельность людей; устойчивое функционирование в интересах обороны государства организаций, осуществляющих выпуск продукции оборонного и мобилизационного значения; проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ; инженерно-технические, эвакуационные мероприятия и др. Решение указанных задач – процесс конструктивный. Смысл действия рассматриваемого закона вооруженной борьбы – превзойти противника в борьбе деструктивных и конструктивных процессов. Мероприятия комплексной защиты в составе оборонных мероприятий в рассматриваемом аспекте выступают в качестве конструктивных усилий.

И деструктивные, и конструктивные процессы объективны, однако инспирируются субъектами борьбы. Закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий является исходным и побуждает действия других связанных законов. Задача боевых действий – разрушение и уничтожение элементов, объектов инфраструктуры противника. Поэтому следующим, связанным с основным законом вооруженной борьбы, является закон соответствия военных целей имеющимся силам и средствам.

Очевидно, что современный характер вооруженной борьбы изменился и будет меняться в будущем. В современных войнах поражаются важнейшие объекты экономики, система управления, склады, базы оружия, разрушается инфраструктура объектов жизнеобеспечения населения. Война ведется в основном с использованием высокоточного оружия, путем нанесения массированных ударов по объектам противника, составляющим материальную базу ведения войны. Осмысление закона соответствия военных целей имеющимся силам и средствам приводит к необходимости планирования мероприятий ГО с учетом детальной проработки приоритетов объектов, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени.

Таким образом, очевидна связь и с основным законом вооруженной борьбы, т.к. конструктивные процессы в рамках мероприятий ГО не только соответствуют вероятным деструктивным последствиям, но и определяются через военные цели, а последние – через планируемые к применению силы и средства, т.е. через вероятный сценарий вооруженного конфликта. Как следует из анализа требований СН 2.02.04-2020 «Инженерно-технические

мероприятия гражданской обороны»¹, рассматриваемый закон вооруженной борьбы учтен не в полной мере.

Действие закона определяет не только необходимость дифференцировать объекты тыла по степени значимости, но и разделять перечень, объем защитных мероприятий в зависимости от этой важности. В действующей редакции норм этот момент практически не учтен, а категории и группы по ГО применяются лишь номинально [6]. Здесь же следует и решение обратной задачи. Если мы умеем и знаем, как эффективно определять и дифференцировать по степени важности цели на территории своей страны в интересах осуществления защитных мероприятий, то, используя этот же механизм, можно определять цели и у вероятного противника для причинения ему наибольшего ущерба и тем самым получить преимущество в условиях военной агрессии.

Из основного закона вооруженной борьбы следуют еще три напрямую связанных с ним: закон неравномерности распределения сил и средств в боевых порядках, закон устойчивости связи и управления войсками и оружием, закон пополнения сил в ходе ведения войны. Приведенные законы связаны со способами уничтожения противника и сохранением своих сил.

Закон неравномерности распределения сил и средств в боевых порядках указывает на то, что противником силы и средства в боевых операциях концентрируются на решающем направлении, где будет нанесен неприемлемый ущерб, в результате чего государство потеряет способность продолжать войну, а также лишится политических и экономических мотивов ее дальнейшего ведения.

Величина неприемлемого ущерба определяется уровнем (степенью) поражения вооруженных сил, военно-промышленных объектов, систем государственного и военного управления, катастрофическими последствиями (нарушение функционирования) в результате разрушения критически важных объектов инфраструктуры, включая объекты энергетики, химические и другие опасные производства, элементов систем жизнеобеспечения населения и др.

В Республике Беларусь Военная доктрина² государства имеет сугубо оборонительный характер. Поэтому действие закона неравномерности распределения сил и средств указывает на направление концентрации усилий в осуществлении обороны в государстве, в том числе направление концентрации усилий в осуществлении мероприятий ГО. Кроме того, следствием является также необходимость зонирования территорий по степени опасности.

Характер и масштабы распространения поражающих факторов в вероятных очагах поражения, соответственно, определяют перечень и объем защитных мероприятий для населения и работников организаций. Другими словами, данный закон, как и закон соответствия военных целей имеющимся силам и средствам, также указывает на необходимость дифференцированного подхода в планировании и осуществлении мероприятий ГО.

Кроме того, снижение вероятности нанесения неприемлемого ущерба для потенциального агрессора является ориентиром, сдерживающим его от нападения даже при наличии факторов, обеспечивающих военный успех. Другими словами, мероприятия ГО, являясь частью оборонных мероприятий, оказывают синергетический эффект в условиях вероятной войны, т.е. проявляется еще и действие одного из законов управления – закона эмерджентности [5].

Например, концентрация опасных производств и объектов у границ Беларуси может служить сдерживающим фактором от их поражения в вероятной войне, т.к. последствия

¹ Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны = Інжынерна-тэхнічныя мерапрыемствы грамадзянскай абароны: СН 2.02.04-2020. – Введ. 12.11.20. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 24 с.

² Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2016 г., № 412-3 // Нац. правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 26.07.2016, 2/2410 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=3961&p0=H11600412>. – Дата доступа: 20.01.2019.

в случае разрушения этих объектов могут стать причиной возникновения трансграничных чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС), от которых пострадает и сам агрессор.

Закон устойчивости связи и управления войсками и оружием можно сформулировать еще так: войска не являются побежденными, пока они сохраняют организованность и устойчивый боевой порядок (оперативное построение). Этот закон имеет наибольшее значение для обороны, когда удерживается полоса или район. С другой стороны, наступление ведется успешно лишь тогда, когда боевой порядок (оперативное построение) войск не нарушается. Действие закона распространяется и на управление мероприятиями ГО, организацию и проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ, эффективность которых также зависит от устойчивой связи и живучести системы управления. Поэтому в интересах ГО следует планировать и разрабатывать мероприятия, направленные на обеспечение и повышение готовности систем связи и управления, пунктов управления, связи и оповещения, автоматизированных систем сбора и обработки информации, комплексов средств автоматизации.

Закон пополнения сил в ходе ведения войны устанавливает связь между возможностью армии противостоять деструктивным процессам в зависимости от того, как и чем ее обеспечивает государство. Эффективное обеспечение невозможно без реализации комплекса мер, направленных на обеспечение устойчивого функционирования организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени. Маневренный характер современных военных действий по-новому ставит вопрос их обеспечения: возрастают объемы, интенсивность и «плечи» подачи материально-технических средств. Лишение источников снабжения боеприпасами, продовольствием, горючим и другими материальными средствами служит одним из главных условий победы над противником [7].

Мероприятия ГО, включая комплексную защиту, реализуют обеспечивающую функцию для войск и воинских формирований. Так, опыт Великой Отечественной войны убедительно продемонстрировал, что от успешного решения задач по организации ГО в значительной степени зависела не только бесперебойная работа промышленности и транспорта, обеспечивающих военные нужды, но и высокое морально-политическое состояние войск [8, с. 17]. В свою очередь, положения закона определяют и требования к планированию и строительству организаций на территории страны с учетом маневренности вооруженных сил и концентрации их усилий на решающих направлениях обороны.

Следствием закона является также то, что особый приоритет в осуществлении защитных мероприятий, исходя из содержания закона, приобретают организации оборонного сектора экономики, которые прежде всего работают в интересах вооруженной защиты государства, обеспечивая пополнение войск и воинских формирований необходимыми материально-техническими средствами.

Оставшиеся законы вооруженной борьбы некоторые исследователи называют вторым кругом законов [3; 5]. К ним относятся: взаимодействие имеющихся сил и средств, координация усилий в их применении; взаимодействие сил и средств, а также военных действий по уровням военных действий (политические – стратегические – оперативные – тактические); единство информации и дезинформации; внезапности и скрытности боевых действий; упреждение противника в действиях; единство боевых действий в пространстве и времени.

Законом, определяющим связь субординации, является закон взаимодействия сил и средств, а также военных действий по уровням военных действий. Другим словами, это закон подчинения целей и характера военных действий меньшего масштаба действиям на высшем уровне. Например, в исследовании [9] отмечается, что в Республике Беларусь работа по формированию системы управления ГО, планированию защитных мероприятий на военное время в целом осуществляется без должного участия органов военного управления. Указанные обстоятельства приводят к разбалансировке связей между организационной структурой управления мероприятиями ГО, их содержанием, объемом и порядком реа-

лизации с другими оборонными вопросами, прежде всего мероприятиями территориальной обороны. По мнению автора, причина в том, что рассматриваемый закон не в полной мере учтен, как не учтены положения закона, определяющего взаимодействие имеющихся сил и средств, координацию усилий в их применении. Другими словами, чем выше уровень согласованности применения войск и воинских формирований на всех ступенях войсковой иерархии, тем более успешным будет общий итог. В части планирования и осуществления мероприятий ГО вопросы взаимодействия с органами военного управления касаются прежде всего следующих направлений:

- организация эвакуационных мероприятий, определение маршрутов и способов эвакуации, безопасных районов;
- размещение и строительство защитных сооружений, включая быстровозводимые;
- размещение и строительство иных объектов ГО;
- определение приоритетов охраны и маскировки организаций и инженерной инфраструктуры;
- планирование и проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- установление зон вероятной опасности;
- оповещение о степенях боевой готовности в интересах осуществления первоочередных мероприятий ГО и мероприятий общей готовности и др.

Содержание данного закона предопределяет согласованность планирующих документов, как между собой, так и на всех уровнях управления, включая планы территориальной обороны, планы ГО, мобилизационные планы и т.д. Например, содержание закона требует согласованности степеней боевой готовности Вооруженных Сил и степеней готовности ГО.

Из закона единства информации и дезинформации следует, что, с одной стороны, для эффективного ведения боевых действий с противником либо ослабления последствий этих действий необходимо иметь точные сведения о замысле агрессора. Например, криптоанализ немецкой шифровальной машины «Энигма» во время Второй мировой войны, осуществленный силами польских и британских спецслужб, позволил выполнить расшифровку сообщений и внести заметный вклад в поражение нацистской Германии [8, с. 143–160]. С другой стороны, для исключения удара и минимизации вероятных последствий необходимо скрыть замысел своих действий, т.е. дезинформировать агрессора. Мероприятия ГО не являются исключением. Для их эффективного планирования и осуществления необходимо представлять характер вероятных действий противника; возможный полигонный наряд средств поражения, его распределение по целям; выбор критических элементов для поражения объектов; характер действий собственных вооруженных сил, войск и воинских формирований и др. Кроме того, в интересах защиты населения и территории от последствий применения средств поражения не только противник, но и население должны представлять местонахождение объектов ГО, находящихся под защитой норм международного права и обозначаемых соответствующим образом. Например, информация о расположении убежищ для укрытия населения во время вооруженного конфликта на востоке Украины открыто размещалась в сети Интернет³, что позволяло населению более эффективно укрываться в период вооруженного конфликта.

Действие закона единства информации и дезинформации может быть проиллюстрировано еще на одном примере. Так, финансирование и реализация в последние годы целого ряда программ Евросоюзом в сфере гражданской защиты во многом может быть завуалирована благими намерениями и направлена прежде всего на получение информации об уязвимости страны, ее отдельных объектов и населения техногенным и природным опасностям. Сведения, представляемые государствами во многом в добровольном порядке,

³ Список бомбоубежищ [Электронный ресурс] // Донбасс SOS. – Режим доступа: http://www.donbasssos.org/bombshelters_ru/. – Дата доступа: 21.01.2022.

находятся в открытом доступе и могут быть использованы военными специалистами для уточнения вероятных военных целей. Следует вспомнить, что в рамках программы PPRD East 1 был разработан региональный атлас рисков ERRA⁴, который содержит достаточно подробные сведения об опасностях на территориях государств – участников «Восточного партнерства».

Дезинформирование, сокрытие и распространение ложной информации о состоянии ГО призвано ввести в заблуждение вероятного агрессора о месте расположения объектов, представляющих важное оборонное и экономическое значение, пунктах управления, проводимых мероприятиях ГО, масштабах проводимых мероприятий, эффективности систем защиты. Формируя «информационную иллюзию» у вероятного агрессора о высокой эффективности системы защитных мер, возможно повлиять на противника в принятии некоторых решений. Например, дезинформируя о многоуровневой системе защитных мер на объектах, где она таковой не является или значительно ослаблена, создаются критерии для переориентации противника на иные цели, где система защиты свою функцию обеспечить способна. Дезинформируя о ложной значимости тех либо иных организаций в интересах обороны, происходит переориентация усилий вероятного агрессора на менее значимые объекты, что вызывает распыление его ресурсов, сил и средств, а значит, создаются дополнительные условия для обеспечения победы в условиях вероятного военного конфликта.

Как следствие закона, особое значение приобретают мероприятия по информационной защите населения (противодействие дезинформированию вероятным противником, с одной стороны, а также непрерывная и целенаправленная пропаганда государственными органами – с другой), маскировке, призванные снизить эффективность средств поражения. Например, использование светомаскировки во время налетов авиации в периоды Первой и Второй мировых войн наглядно это подтверждает. Кроме того, развитие средств и способов поражения предопределяет, соответственно, развитие средств и способов маскировки, чему в настоящее время в национальном законодательстве уделяется, по мнению автора, недостаточно внимания [10].

Таким образом, с учетом единства защитных мероприятий, осуществляемых в мирное и военное время, способов защиты населения и территории, системы управления на единых принципах, заблаговременности подготовки и т.д., а также приведенных выше обстоятельств возникает необходимость в уточнении принципа гласности и открытости в законодательстве в области защиты от ЧС.

Закон внезапности и скрытности связывает успех боевых действий с осуществлением мероприятий, имеющих эффект неожиданности для противника. Такими мероприятиями являются:

- сохранение в тайне своих планов и замыслов;
- введение в заблуждение противника относительно целей и намерений;
- скрытность расположения и состояния своих вооруженных сил;
- выбор неожиданных для противника направлений сосредоточения основных усилий; быстрота маневрирования на поле боя и стремительность действий;
- упреждение в нанесении ударов;
- неожиданное задействование новых боевых средств, вооружения и техники;
- использование неизвестных противнику способов боевых действий;
- использование географических особенностей местности, погоды, времени года и суток.

Мероприятия ГО также реализуются исходя из содержания данного закона. В некоторых работах, например [11], отмечается, что начало активного выполнения защитных

⁴ Второй этап программы PPRD East, PPRD East 2, заканчивается 30 мая 2019 г., после 4,5 лет плодотворного сотрудничества [Электронный ресурс] // <http://pprdeast2.eu/en/>. – Режим доступа: http://pprdeast2.eu/wp-content/uploads/2019/05/FinalBrochure-2019.EN_.pdf. – Дата доступа: 21.01.2021.

мероприятий (строительство защитных сооружений, проведение эвакуационных мероприятий и учений в интересах ГО) может свидетельствовать о подготовке государства к войне, а в некоторых случаях даже спровоцировать ее начало. Поэтому вопрос скрытности проведения мероприятий ГО является, несомненно, актуальным, а содержание планирующих документов должно иметь в обязательном порядке ограничительный гриф.

Кроме того, открытое наращивание мероприятий, направленных на повышение устойчивости функционирования отдельных организаций, объектов жизнеобеспечения может указывать на то, что именно эти организации и объекты представляют особый интерес для обороны государства. А это может косвенно повлиять на выбор целей вероятным противником. Указанные обстоятельства являются одной из причин реализации трудо- и финансово затратных оборонных мероприятий заблаговременно, в мирное время.

В одном ряду с указанным выше законом находится закон упреждения противника в действиях, который связывает успех действий с захватом и удержанием инициативы. Реализация закона предполагает активные и решительные действия войск и воинских формирований. Связь закона и мероприятий ГО определяется прежде всего периодом их реализации. Кроме того, действие закона предопределяет связь успеха и оперативного проведения защитных мероприятий (оповещение, эвакуация, укрытие в защитных сооружениях, применение средств индивидуальной защиты), а также проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ после применения средств поражения.

Завершает «второй круг» законов закон единства боевых действий в пространстве и времени, который выражает существенные связи, возникающие в процессе военных действий на суше, на море и в воздухе [12]. Закон учитывает также связь и единство всего объема решаемых задач вооруженной защиты государства, мероприятий территориальной и гражданской обороны.

Основные задачи, осуществляемые силами ГО в интересах защиты населения и территории в зонах поражения, требующие согласованности с другими оборонными задачами государства:

- проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ;
- временное отселение населения, укрытие в защитных сооружениях, предоставление средств индивидуальной защиты;
- эвакуация материальных и историко-культурных ценностей;
- оповещение населения, государственных органов и иных организаций об опасностях, возникающих (возникших) при ведении военных действий;
- обнаружение и обозначение районов, подвергшихся радиоактивному, химическому, биологическому (бактериологическому) и иному заражению;
- санитарная обработка населения, обеззараживание территорий, техники, зданий и других объектов, подвергшихся радиоактивному, химическому, биологическому (бактериологическому) и иному заражению;
- поддержание общественного порядка в районах, пострадавших от опасностей, возникших при ведении военных действий.

Эффективное осуществление защитных мероприятий в интересах решения указанных задач силами ГО планируется с учетом расположения войск и воинских формирований, характера и времени вооруженного конфликта, местности и целого ряда иных факторов. Развивая мысль о связи основных оборонных мероприятий, порядке их реализации с содержанием законов вооруженной борьбы, целесообразно основные направления деятельности по подготовке к ведению ГО, реализацию мероприятий комплексной защиты организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени, рассмотреть через призму этих законов (табл.).

Заключение

Важный аспект, определяющий объем защитных мероприятий, включая содержание и порядок реализации мероприятий комплексной защиты, – условия обеспечения военной безопасности государства, а также перечень и содержание военных угроз, характер вероятного военного конфликта, на основании чего формулируются принципы подготовки и ведения ГО, определяются объемы соответствующих оборонных мероприятий.

Законы войны и вооруженной борьбы в этом отношении имеют ограничения, т.к. не содержат качественно-количественных связей, а лишь определяют вектор оборонных мероприятий, выступают критерием целесообразности и обоснованности их планирования и реализации. Как отмечает доктор философских наук, профессор, академик РАЕН Степан Андреевич Тюшкевич, законы войны и вооруженной борьбы – «одновременно и условия для деятельности людей, и ее результаты. Эта деятельность обусловлена определенными социально-политическими и экономическими отношениями, соотношением материальных и духовных сил противоборствующих сторон, политикой, политическим и военным руководством. Поэтому не следует отделять законы друг от друга. Законы <...> возникают и действуют в пределах войны как системы в самом процессе ее возникновения, развертывания и окончания» [12]. Другими словами, рассматриваемым законам подчинена деятельность и Вооруженных Сил или, как показано в статье, системы ГО, включая комплексную защиту организаций, и в целом – государства, общества и даже отдельной личности.

В исследовании [9] отмечалось, что ключевые условия, определяющие содержание и объем оборонных мероприятий, сформулированы в положениях Военной доктрины, что делает ее, как и законы войны и вооруженной борьбы, соответствующей научно-теоретической основой совершенствования ГО в целом. В то же время Военная доктрина уточняет и развивает отдельные положения Концепции национальной безопасности, содержащей более широкий круг аспектов защищенности личности, общества и государства, которые являются направлениями деятельности государственных органов и организаций в сфере безопасности (экологической, экономической, научно-технологической и пр.), укрепляющие и развивающие, по сути, потенциалы, определяющие зарождение, ход и исход войны.

Очевидно, что такие программные нормативные правовые акты, как Концепция и Военная доктрина, так же как и общие законы войны и вооруженной борьбы, составляют научно-теоретическую основу как комплексной защиты организаций, так гражданской обороны в целом; являются, по сути, источником нормативных и технических требований, закономерностей, определяющих содержание соответствующих защитных мероприятий.

Таблица. – Анализ основных направлений деятельности, осуществляемых в период подготовки государства к ведению ГО, через содержание законов вооруженной борьбы

Направление деятельности в сфере ГО	Законы вооруженной борьбы, предопределяющие направление деятельности	Установленная диалектическая связь с законами вооруженной борьбы
Отнесение территорий и организаций к группам и категориям по ГО	Закон соответствия военных целей имеющимся силам и средствам Закон неравномерности распределения сил и средств	Усилия противника направлены на максимально возможное причинение ущерба государству минимальным составом сил и средств. Категории и группы по ГО отражают степень оборонного и экономического значения тех либо иных объектов и территорий (соответственно, приоритет вероятных целей со стороны противника), а также их потенциальную опасность для населения при ведении военных действий. Чем выше категория и группа по ГО, тем выше вероятность того, что в условиях вероятной войны (вооруженной борьбы) эти объекты либо территории будут поражены. Указанные обстоятельства, в свою очередь, предопределяют рациональное распределение ресурсов, направляемых на оборонные нужды

Продолжение таблицы

Направление деятельности в сфере ГО	Законы вооруженной борьбы, предопределяющие направление деятельности	Установленная диалектическая связь с законами вооруженной борьбы
Зонирование территорий по степени опасности	<p>Закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий</p> <p>Закон неравномерности распределения сил и средств</p>	Выбор целей противником обуславливается максимальными деструктивными последствиями, поэтому наиболее вероятно поражение критически важных объектов инфраструктуры, где вероятны катастрофические последствия. Цель зонирования – определение вероятных границ зон поражения и масштабов защитных мероприятий. Кроме того, масштабы последствий и зоны опасности обусловлены тактико-техническими характеристиками средств поражения, полигонным нарядом средств поражения.
Планирование ГО, в том числе реализация основных принципов планирования	Закон взаимодействия сил и средств	Планирование ГО обуславливается необходимостью в согласовании соответствующих мероприятий с планами мобилизационного развертывания экономики, планами органов военного управления, планами вышестоящих органов управления ГО
	Закон упреждения	Мероприятия ГО (прежде всего, инженерно-технические) требуют значительных ресурсов, средств и временных затрат. Поэтому возникает необходимость их дифференцированного осуществления во времени. Мероприятия, не требующие значительных временных затрат, осуществляются в период нарастания военной угрозы. И наоборот, мероприятия, требующие значительного временного ресурса, следует осуществлять заблаговременно в мирное время
	Закон внезапности и скрытности	Наращивание мероприятий ГО должно осуществляться скрыто, в интересах наращивания оборонных возможностей государства. Кроме того, скрытность не позволяет противнику узнать о подготовке страны к обороне и развязать военные действия в момент, когда страна не достаточно готова к отражению военной агрессии
Разработка и осуществление мер, направленных на сохранение объектов, необходимых для устойчивого функционирования экономики и выживания населения в военное время	Закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий	Меры, направленные на сохранение объектов, необходимых для устойчивого функционирования экономики и выживания населения, являются конструктивными усилиями государства по обеспечению вооруженной защиты конституционного строя, суверенитета, независимости и территориальной целостности Республики Беларусь. Повышение устойчивости (живучести) организаций имеет цель превзойти вероятного противника в конструктивных усилиях, в том числе создать необходимые условия для жизнеобеспечения населения
	Закон пополнения сил и средств в ходе ведения войны	Организации, необходимые для устойчивого функционирования экономики и выживания населения, кроме того, обеспечивают войска и воинские формирования вооружением, техникой, имуществом, питанием и т.д. Прежде всего это относится к объектам, имеющим государственный оборонный заказ. Задача реализуемых мер комплексной защиты – обеспечить их защиту от средств поражения, а также создать условия для максимального сохранения производственных связей между организациями (принятие мер по восстановлению транспортных и инженерных коммуникаций). Для сохранения производственных связей необходима реализация специальных инженерно-технических мероприятий, прежде всего в градостроительных проектах и проектной документации на строительство. Кроме того, закон предопределяет и требования к размещению организаций на территории страны

Продолжение таблицы

Направление деятельности в сфере ГО	Законы вооруженной борьбы, предопределяющие направление деятельности	Установленная диалектическая связь с законами вооруженной борьбы
Создание и поддержание в готовности системы оповещения и информирования населения об угрозе нападения противника, об опасностях и угрозах ЧС	Закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий	Оповещение населения, как составная часть оборонных мероприятий, – процесс конструктивный и упреждающий, т.к. позволяет сократить не только общие потери населения, но и обеспечить своевременное принятие населением защитных мер по недопущению катастрофических последствий (например, перевод технологического процесса на безопасный режим работы, маскировочные мероприятия, отключение оборудования, укрытие и эвакуация населения и пр.). Кроме того, закон предопределяет необходимость поддержания системы оповещения в постоянной готовности к применению
	Закон упреждения	
	Закон взаимодействия сил и средств	Своевременное оповещение достигается через эффективное взаимодействие органов управления ГО и Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь. Кроме того, как следствие, система оповещения и информирования должна позволять эффективно передавать и принимать информацию между взаимодействующими органами управления
Накопление фонда защитных сооружений ГО и поддержание его в готовности к приему укрываемых	Закон единства информации и дезинформации	В оповещении закон единства информации и дезинформации проявляется в необходимости информировать органы управления, должностных лиц, население об угрозе применения средств поражения, необходимых способах и методах защиты. В свою очередь, это предопределяет необходимость наличия эффективной, надежной и, что важно, централизованной системы оповещения, доступных, однозначных и единообразных сигналов оповещения о ЧС и сигналов ГО, инструкций о порядке действий должностных лиц и населения при получении соответствующих сигналов
	Закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий	Накопление фонда защитных сооружений – процесс конструктивный, т.к. повышает защищенность населения при возникновении ЧС на потенциально опасных объектах, позволяет сократить общие потери среди рабочих и служащих в результате применения средств поражения, тем самым сохранить производственную деятельность организаций в условиях военного времени
	Закон неравномерности распределения сил и средств	Неравномерность распределения сил и средств в военных конфликтах диктует необходимость не только в дифференциации мероприятий инженерной защиты в зависимости от степени оборонного и экономического потенциала объектов и территорий, но и в зависимости от потенциальной угрозы для населения
	Закон упреждения	Закон упреждения предопределяет необходимость заблаговременного проведения мероприятий, т.к. требуются значительные финансовые и материальные ресурсы для реализации мероприятий, временные затраты. Кроме того, необходимы критерии для разграничения сроков реализации инженерно-технических мероприятий. Например, на объектах, имеющих более высокие категории по ГО, целесообразно соответствующие мероприятия не только реализовывать заблаговременно, но и обеспечивать более надежный уровень защищенности работников. Закон упреждения также определяет необходимость нормировать сроки приведения защитных сооружений в готовность

Продолжение таблицы

Направление деятельности в сфере ГО	Законы вооруженной борьбы, предопределяющие направление деятельности	Установленная диалектическая связь с законами вооруженной борьбы
Накопление запасов средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ), материально-технических, продовольственных, медицинских и иных средств	Закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий	Создание запасов СИЗ, материально-технических, продовольственных, медицинских и иных средств – процесс конструктивный, т.к. повышает защищенность населения при возникновении ЧС на потенциально опасных объектах, позволяет сократить общие потери среди работников и служащих в результате применения обычных средств поражения, сохранить и оперативно восстановить производственную деятельность организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени. Накопление продовольствия обеспечивает экономический потенциал обороны, в том числе пополнение вооруженных сил необходимым продовольствием
	Закон упреждения	Закон упреждения предопределяет создание запасов средств в мирное время, а выдачу – заблаговременно. Кроме того, действие закона указывает на необходимость оперативной реализации мер, включая определение пунктов выдачи СИЗ, установление временных нормативов выдачи, организацию их работы, проведение учений и тренировок по порядку выдачи СИЗ. Кроме того, средства необходимы для подготовки формирований ГО, планируемых для участия в проведении аварийно-спасательных работ
	Закон неравномерности распределения сил и средств	Закон неравномерности распределения сил и средств указывает на необходимость дифференцированного оснащения СИЗ населения, рабочих и служащих, применительно к зонам химического, биологического, радиоактивного заражения
Подготовка к временному отселению населения, эвакуации материальных и историко-культурных ценностей в безопасные районы, развертывание лечебных и других учреждений для жизнеобеспечения пострадавшего населения	Закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий	Эвакуационные мероприятия повышают уровень защищенности населения, следовательно, являются содержательной частью конструктивных процессов. Важное значение имеет сохранение национального достояния Республики Беларусь – ее историко-культурного наследия, материальных ценностей. Их защита, своевременная эвакуация, также является процессом конструктивным
	Закон взаимодействия сил и средств	Эффективность планирования и осуществления эвакуационных мероприятий обуславливает необходимость увязывать их с мероприятиями органов военного управления по таким вопросам, как определение населенных пунктов, подлежащих эвакуации, выбор маршрутов эвакуации, способов эвакуации, безопасных районов
	Закон упреждения	Эвакуационные мероприятия, развертывание лечебных и других учреждений, необходимых для жизнеобеспечения пострадавшего населения, следует осуществлять заблаговременно, с целью уменьшения вероятных потерь. Очевидно, что окончание проведения мероприятий должно быть завершено до начала военных действий
	Закон внезапности и скрытности	Широкомасштабное осуществление эвакуационных мероприятий может указывать на подготовку государства к войне и тем самым обуславливать скорейшее ее начало. Поэтому эвакуационные мероприятия следует осуществлять скрыто, например под видом учений

Продолжение таблицы

Направление деятельности в сфере ГО	Законы вооруженной борьбы, определяющие направление деятельности	Установленная диалектическая связь с законами вооруженной борьбы
Развертывание сил, обеспечивающих выполнение задач по предназначению в период ведения ГО, обеспечение их готовности	Закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий	Силы, обеспечивающие выполнение задач по предназначению в период ведения ГО, осуществляют конструктивные процессы (восстановление объектов жизнеобеспечения; работы организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени; проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ)
	Закон упреждения	Заблаговременная подготовка сил ГО, оснащение, комплектование, бронирование граждан на период военного времени в состав органов управления и сил ГО, разработка оперативно-служебной документации по применению сил ГО повышает эффективность проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, что, соответственно, позволяет уменьшить ущерб от ожидаемых действий противника
Развертывание сил, обеспечивающих выполнение задач по предназначению в период ведения ГО, обеспечение их готовности	Закон взаимодействия сил и средств	Для укомплектования сил и органов управления ГО осуществляется постановка работников организаций на специальный воинский учет (взаимодействие с военными комиссариатами). Порядок применения сил ГО согласовывается с органами военного управления, ГО и т.д.
	Закон неравномерности распределения сил и средств	Состав сил и средств планируется исходя из возможной обстановки на территории города (района) или организации, объема возможных задач и сроков их реализации
	Закон пополнения сил и средств в ходе ведения войны (закон «питания» войск материальными и духовными силами)	Для непрерывного выполнения задач силы ГО требуют не только постоянного пополнения личным составом, но и соответствующего обеспечения материально-техническими средствами. С этой целью республиканскими органами государственного управления создаются соответствующие службы ГО, формируется резерв личного состава для укомплектования сил ГО, планируется и проводится идеологическая работа
Организация и проведение обучения населения способам защиты от опасностей, возникающих при применении противником современных средств поражения и ЧС природного и техногенного характера, а также подготовка руководящего состава органов управления и сил ГО	Закон противоборства деструктивных и конструктивных усилий	Обучение – процесс конструктивный. Благодаря обучению достигаются эффективные действия населения и органов управления в условиях вероятной военной угрозы
	Закон упреждения	Обучение целесообразно осуществлять заблаговременно, в мирное время с учетом совершенствования средств и способов вооруженной борьбы
Развитие научных исследований в области ГО, разработка и совершенствование технических средств, технологии и тактики проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ	Закон зависимости хода и исхода войны от соотношения научно-технических потенциалов	ГО – составная часть оборонных мероприятий. Их эффективное осуществление возможно при условии совершенствования средств защиты населения, исходя из существующих и разрабатываемых средств вооруженной борьбы. Необходимость в развитии теории ГО следует из положений Военной доктрины, согласно которой «развитие военной науки и гражданских отраслей науки, прямо или косвенно связанных с проработкой оборонной тематики и разработкой военных технологий, укрепление научного потенциала военной организации государства» является мерой по обеспечению военной безопасности государства

ЛИТЕРАТУРА

1. Булва, А.Д. Комплексная защита организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени / А.Д. Булва, Е.А. Безносик, А.В. Лебедкин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 59–73. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.59.
2. Булва, А.Д. Концептуальные подходы к зонированию территорий по степени опасности / А.Д. Булва, Н.В. Карпилена, А.В. Лебедкин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 4. – С. 420–437. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-4.420.
3. Рыбкин, Е.И. Законы вооруженной борьбы и их математическое представление / Е.И. Рыбкин, В.В. Круглов. – М.: Изд. ВА им. Ф.Э. Дзержинского, 1992. – 72 с.
4. Проблемы военной безопасности России в XXI веке (социально-гуманитарный анализ) (навстречу 200-летию академии и 95-летию кафедры гуманитарных дисциплин): монография / под общ. ред. В.П. Беркута, В.С. Пусько. – Балашиха: ВА РВСН имени Петра Великого, 2018. – 255 с.
5. Новиков, Д.А. Законы, закономерности и принципы управления / Д.А. Новиков // Инновации в менеджменте. – 2016. – № 7. – С. 44–53.
6. Ласута, Г.Ф. Методика ранжирования организаций в интересах гражданской обороны с использованием метода анализа иерархий / Г.Ф. Ласута, Н.В. Карпилена, А.Д. Булва // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 301–313. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.301.
7. Рыбкин, Е.И. К вопросу о системе законов вооруженной борьбы / Е.И. Рыбкин, В.В. Круглов // Военная мысль. – 1993. – № 2. – С. 48–52.
8. Федоренко, В.Н. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие. Выпуск 1. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: задачи и состав войск и сил РСЧС и ГО // под общ. ред. В.Н. Федоренко. – Омск: СибГУФК, 2003. – 100 с.
9. Карпилена, Н.В. Военная доктрина как научно-теоретическая основа совершенствования гражданской обороны / Н.В. Карпилена, А.Д. Булва // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 2 – С. 178–194. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.178.
10. Булва, А.Д. Концептуальные предпосылки проектирования и разработки инженерно-технических мероприятий гражданской обороны / А.Д. Булва // Национальная стратегия по снижению рисков ЧС в Республике Беларусь на 2019–2030 годы: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27 сент. 2018 г. / УГЗ. – Минск, 2018. – С.7–10.
11. Garrison, D. Why Civil Defense Never Worked / D. Garrison // Oxford University Press. – 2006. – 241 p.
12. Тюшкевич, С.А. О законах войны (вопросы военной теории и методологии). – 2-е изд., перераб. и доп. / С.А. Тюшкевич. – М.: Проспект, 2017. – 352 с.

Законы вооруженной борьбы как научно-теоретическая основа комплексной защиты организаций, подлежащих переводу на работу в условиях военного времени
Laws of armed combat as a scientific and theoretical basis for comprehensive protection of organizations to be transferred to work in wartime conditions

Булва Александр Дмитриевич

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: bulva@list.ru
ORCID: 0000-0001-9887-8759

Aleksandr D. Bulva

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: bulva@list.ru
ORCID: 0000-0001-9887-8759

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.103>

LAWS OF ARMED COMBAT AS A SCIENTIFIC AND THEORETICAL BASIS FOR COMPREHENSIVE PROTECTION OF ORGANIZATIONS TO BE TRANSFERRED TO WORK IN WARTIME CONDITIONS

Bulva A.D.

Purpose. To prove the existence of a dialectical connection between the laws of armed struggle and civil defense measures, including the comprehensive protection of organizations subject to transfer to work in wartime conditions.

Methods. The article used general scientific research methods: induction and deduction, analysis and synthesis, comparison and generalization, analogy.

Findings. The dialectical connections of the laws of armed struggle of civil defense measures and the complex protection of organizations subject to transfer to work in wartime conditions are identified and substantiated.

Application field of research. The results of the study are a contribution to the development of the theory of civil defense, primarily ideas about the comprehensive protection of organizations to be transferred to work in wartime conditions. They can be used when revising the requirements of technical regulatory legal acts in terms of clarifying the principles and expediency of implementing protective measures.

Keywords: civil defense, laws of armed struggle, engineering and technical measures, complex protection, organization, stability of functioning.

(The date of submitting: January 7, 2022)

REFERENCES

1. Bulva A.D., Beznosik E.A., Lebedkin A.V. *Kompleksnaya zashchita organizatsiy, podlezhashchikh perevodu na rabotu v usloviyakh voennogo vremeni* [Integrated protection of organizations which have to be transferred for working under war conditions]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 1. Pp. 59–73. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.59.
2. Bulva A.D., Karpilenya N.V., Lebedkin A.V. *Kontseptual'nye podkhody k zonirovaniyu territoriy po stepeni opasnosti* [Conceptual approaches to zoning of territories by the degree of danger]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 4. Pp. 420–437. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-4.420.
3. Rybkin E.I., Kruglov V.V. *Zakony vooruzhennoy bor'by i ikh matematicheskoe predstavlenie* [The laws of armed struggle and their mathematical representation]. Moscow: Izd. VA im. F.E. Dzerzhinskogo, 1992. 78 p. (rus).
4. *Problemy voennoy bezopasnosti Rossii v KhKhI veke (sotsial'no-gumanitarnyy analiz) (navstrechu 200-letiyu akademii i 95-letiyu kafedry gumanitarnykh distsiplin)* [Problems of Russia's Military Security in the 21st Century (Social and Humanitarian Analysis) (Towards the 200th Anniversary of the Academy and the 95th Anniversary of the Department of Humanitarian Disciplines)]: monograph. Ed. by Berkut V.P., Pus'ko V.S. Balashikha: Strategic Missile Forces named after Peter the Great, 2018. 255 p. (rus).
5. Novikov D.A. *Zakony, zonomernosti i printsipy upravleniya* [Laws, patterns and principles of management]. *Innovations in management*, 2016. No. 7. Pp. 44–53. (rus)
6. Lasuta G.F., Karpilenya N.V., Bulva A.D. Ranking methodology of organizations for benefit of civil defense using the method of hierarchies. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 3. Pp. 301–313. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.301.
7. Rybkin E.I., Kruglov V.V. *K voprosu o sisteme zakonov vooruzhennoy bor'by* [On the question of the system of laws of armed struggle]. *Military thought*, 1993. No. 2. Pp. 48–52. (rus)
8. Fedorenko, V. N. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: uchebnoe posobie*. Vypusk 1. *Zashchita naseleniya i territoriy v chrezvychaynykh situatsiyakh: zadachi i sostav voysk i sil RSChS i GO* [Life safety: textbook. Issue 1. Protection of the population and territories in emergency situations: tasks and composition of the troops and forces of the RSChS and civil defense]. Omsk: Pub. Siberian State University of Physical Culture and Sports, 2003. 100 p. (rus)
9. Karpilenya N.V., Bulva A.D. *Voennaya doktrina kak nauchno-teoreticheskaya osnova sovershenstvovaniya grazhdanskoj oborony* [Military doctrine as a scientific and theoretical basis for the improve-

- ment of civil defense]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 2. Pp. 178–194. (rus) DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.178.
10. Bulva A.D. Konceptual'nye predposylki proektirovaniya i razrabotki inzhenerno-tehnicheskikh meropriyatij grazhdanskoj oborony [Conceptual background of the design and development of civil defense engineering activities]. *Proc. Intern. scientific-practical conf. «National Strategy for Emergency Risk Reduction in the Republic of Belarus for 2019-2030»*, Minsk, September 27, 2018. University of Civil Protection. Minsk, 2018. Pp. 7–10. (rus)
 11. Garrison D. *Why Civil Defense Never Worked*. Oxford University Press, 2006. 241 p.
 12. Tyushkevich S.A. *O zakonakh voyny (voprosy voennoy teorii i metodologii)* [On the laws of war (questions of military theory and methodology)]. Moscow: Prospect, 2017. 352 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.119>

УДК 004.946

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

**Полевода И.И., Иваницкий А.Г., Миканович А.С., Пастухов С.М., Грачулин А.В.,
Рябцев В.Н., Навроцкий О.Д., Лихоманов А.О., Винярский Г.В., Гусаров И.С.**

Цель. Выполнить сбор и анализ научно-технической информации в области использования технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности в образовательном процессе, в частности при подготовке спасателей-пожарных.

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

Результаты. Проведен сбор и анализ научно-технической информации в области использования виртуальных технологий в образовательном процессе. Рассмотрены общие сведения о VR/AR-технологиях, в частности история их создания, основные области применения, а также технические элементы и устройства, используемые для реализации данных технологий в различных сферах деятельности человека. Рассмотрены направления и способы использования виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе, приведены примеры применяемых за рубежом учебно-программно-аппаратных комплексов, тренажеров и платформ для различных направлений образования, а также проанализированы исследования эффективности применения данных технологий в сфере образования в целом. Рассмотрены и проанализированы виртуальные технологии, применяемые для обучения спасателей-пожарных как на территории Беларуси, так и за рубежом.

Область применения исследований. Результаты обзора и анализа сведений о применении технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе могут быть в дальнейшем использованы при разработке VR/AR-тренажеров для подготовки спасателей-пожарных.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, тренажер, имитация физических воздействий, аварийно-спасательные работы, спасатель, пожарный.

(Поступила в редакцию 10 января 2022 г.)

Введение

Актуальность рассматриваемого направления обусловлена быстрым развитием технологий виртуальной и дополненной реальности и их активным применением в образовании и во всех областях инженерии и технологии.

Виртуальная реальность (VR, от англ. Virtual Reality) – это искусственный мир, созданный техническими средствами, взаимодействующий с человеком через его органы чувств. Использование виртуальной реальности охватывает собой целый ряд задач при создании реалистичных тренажеров для подготовки специалистов в областях, где тренировки на реальных объектах связаны с неоправданно большими рисками либо требуют значительных финансовых затрат. Так, технологии виртуальной реальности незаменимы при подготовке спасателей, пилотов, инженеров, архитекторов и других узконаправленных специалистов.

Дополненной реальностью (AR, от англ. Augmented Reality) можно назвать неполное погружение человека в виртуальный мир, когда на реальную картину мира накладывается дополнительная информация в виде виртуальных объектов. В современном мире дополненная реальность может стать хорошим помощником как в повседневной жизни, так и в профессиональной деятельности.

В последние годы технологии виртуальной и дополненной реальности переживают второе рождение. Стремительно расширяющийся рынок устройств виртуальной и допол-

ненной реальности, а также специализированного программного обеспечения открывает новые возможности в том числе в образовательной сфере. По этой причине насущной задачей является адаптация технологий виртуальной и дополненной реальности под конкретные направления деятельности, в частности для использования в образовательном процессе при подготовке специалистов аварийно-спасательных служб.

Основная часть

Общие сведения о технологиях виртуальной и дополненной реальности

Модель смешанной (гибридной) реальности, или виртуального континуума (рис. 1), впервые описана в 1994 г. [1]. Смешанная реальность определена как система, в которой объекты реального и виртуального миров сосуществуют и взаимодействуют в реальном времени, в рамках виртуального континуума. Промежуточными звеньями в этой модели являются дополненная реальность и дополненная виртуальность. Дополненная реальность ближе к реальному миру, а дополненная виртуальность – ближе к виртуальному.

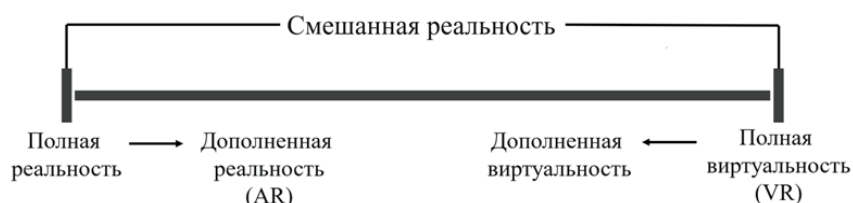


Рисунок 1. – Упрощенное представление виртуального континуума [1]

Авторы выделили основные элементы модели [1]:

- 1) полная реальность – привычный мир, который нас окружает;
- 2) виртуальная реальность – цифровой мир, полностью созданный с помощью современных компьютерных технологий;
- 3) дополненная реальность – реальный мир, который дополняется виртуальными элементами и сенсорными данными;
- 4) дополненная виртуальность – виртуальный мир, который дополняется физическими элементами реального мира.

В настоящем исследовании рассматриваются, прежде всего, дополненная реальность и виртуальная реальность. Принципиальное различие между ними состоит в том, что виртуальная реальность конструирует цифровой мир, полностью ограничивая доступ пользователя к реальному миру, а дополненная реальность лишь добавляет элементы цифрового мира в реальный, видоизменяя пространство вокруг пользователя [2].

В виртуальной реальности среда создается посредством комплексного воздействия на его восприятие с использованием шлемов виртуальной реальности или иных технических средств, которые динамически обновляют видимое пользователем пространство [2].

В человеческом мозге нейроны реагируют на виртуальные элементы так же, как и на элементы реального мира. Поэтому человек воспринимает виртуальную среду и реагирует на происходящие внутри виртуального мира события точно так же, как на имеющие место в реальности [3].

Принято считать, что развитие виртуальной реальности началось в 50-е годы прошлого века. В 1961 г. компания Philco Corporation разработала первые шлемы виртуальной реальности Headsight (рис. 2) для военных целей, и это стало первым применением технологии в реальной жизни. В шлеме использовались небольшие экраны с катодной трубкой, по одному для каждого глаза, и магнитные датчики для определения положения головы. Целью проекта было наблюдение за условиями в другой комнате с помощью перемещения удаленно расположенной камеры и передвижения головой. Опираясь на сегодняшнюю классификацию, систему Headsight все же следует отнести к AR-технологиям.

Отцом виртуальной реальности по праву считается М. Хейлиг. В 1962 г. он запатентовал первый в мире виртуальный симулятор под названием Sensorama¹ (рис. 3). Аппарат представлял собой громоздкое устройство, способное осуществлять погружение в виртуальную реальность с помощью трехмерной пленки, визуальных стимулов, вибраций, звуков, ветра и даже запахов.

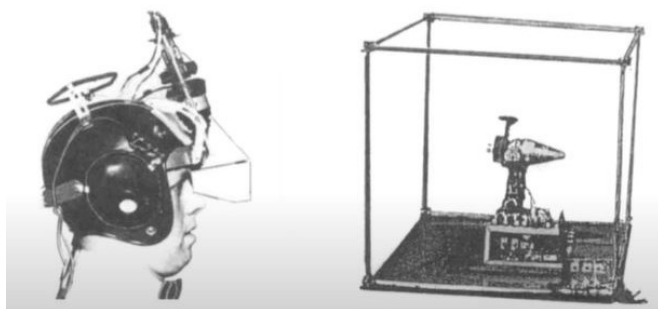


Рисунок 2. – Первый шлем виртуальной реальности Headsight (1961)²



Рисунок 3. – Первый виртуальный симулятор Sensorama (1962)³

Через несколько лет после М. Хейлига похожее устройство представили А. Сазерленд и Б. Спраулл. Это была первая система виртуальной реальности на основе головного дисплея под названием The Sword of Damocles (рис. 4). Очки крепились к потолку и через ЭВМ транслировалась картинка. Несмотря на столь громоздкое изобретение, технологией заинтересовались Центральное разведывательное управление США (ЦРУ) и Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА).

В 1980-е гг. компания VPL Research разработала более современное оборудование для виртуальной реальности – очки EyePhone и перчатку DataGlove (рис. 5). Компанию создал Дж. Ланье – талантливый изобретатель, поступивший в университет в 13 лет. Именно он придумал термин «виртуальная реальность».



Рисунок 4. – Первая система виртуальной реальности The Sword of Damocles на основе головного дисплея⁴



Рисунок 5. – Очки EyePhone и перчатка DataGlove от компании VPL Research⁵

¹ Sensorama simulator [Электронный ресурс]: пат. US 3050870 A / M.L. Heilig. – Дата публ. 28.08.1979. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/US3050870A/en>. – Дата доступа: 15.01.2022.

² Краткая история VR: часть первая – ранние концепции и первые шаги от 1930-х до 1960-х [Электронный ресурс] / Хабр. Сообщество IT-специалистов. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/pult/blog/517050/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

³ См. сноску 2.

⁴ См. сноску 2

Дополненная реальность шла рука об руку с виртуальной вплоть до 1990 г., когда ученый Т. Коделл впервые предложил термин «дополненная реальность». В 1992 г. Л. Розенберг разработал одну из самых ранних функционирующих систем дополненной реальности для Военно-воздушных сил Соединенных Штатов Америки. Экзоскелет Л. Розенберга позволял военным виртуально управлять машинами, находясь в удаленном центре управления (рис. 6). В 1994 г. Ж. Мартин создала первую дополненную реальность в театре под названием «Танцы в киберпространстве» – постановку, в которой акробаты танцевали в виртуальном пространстве.

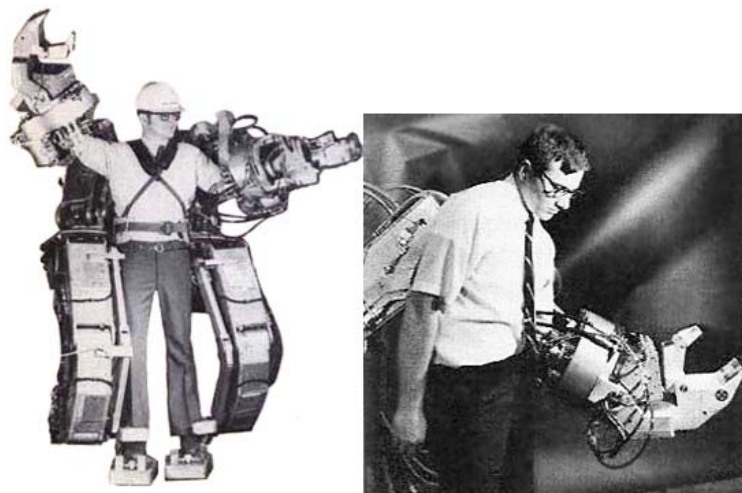


Рисунок 6. – Экзоскелет Л. Розенберга

В 1990-х гг. были и другие интересные открытия, например, австралийка Дж. Мартин соединила виртуальную реальность с телевидением. Тогда же начались разработки игровых платформ с использованием технологий виртуальной реальности. В 1993 г. компания Sega разработала консоль Genesis. На демонстрациях и предварительных показах, однако, все и закончилось. Игры с Sega VR сопровождали головные боли и тошнота, поэтому устройство не вышло в продажу. Высокая стоимость девайсов, скудное техническое оснащение и побочные эффекты вынудили людей на некоторое время забыть о технологиях VR и AR.

В 2000 г. благодаря дополнению с технологиями AR в игре Quake появилась возможность преследовать чудовищ по настоящим улицам. Однако играть можно было, лишь вооружившись виртуальным шлемом с датчиками и камерами, что не способствовало популярности игры, но стало предпосылкой для появления известной ныне Pokemon Go.

Настоящий бум начался только в 2012 г. Стартап Oculus запустил кампанию по сбору средств на выпуск шлема виртуальной реальности. Спустя три с половиной года начались продажи первого серийного потребительского шлема виртуальной реальности Oculus Rift CV1, что стало символическим началом бума VR-технологий и активного роста инвестиций в данную отрасль.

Использование виртуальной и дополненной реальности. Виртуальная реальность – отрасль, в которой инфраструктура и технологии развиваются параллельно с развитием контента. Поэтому можно обозначить несколько основных направлений развития отрасли в зависимости от контента и сферы применения: игровая индустрия, кинематограф, спортивные трансляции и шоу, социальные сети, маркетинговая индустрия, образование, медицина, торговля и недвижимость, промышленность (в частности, военная).

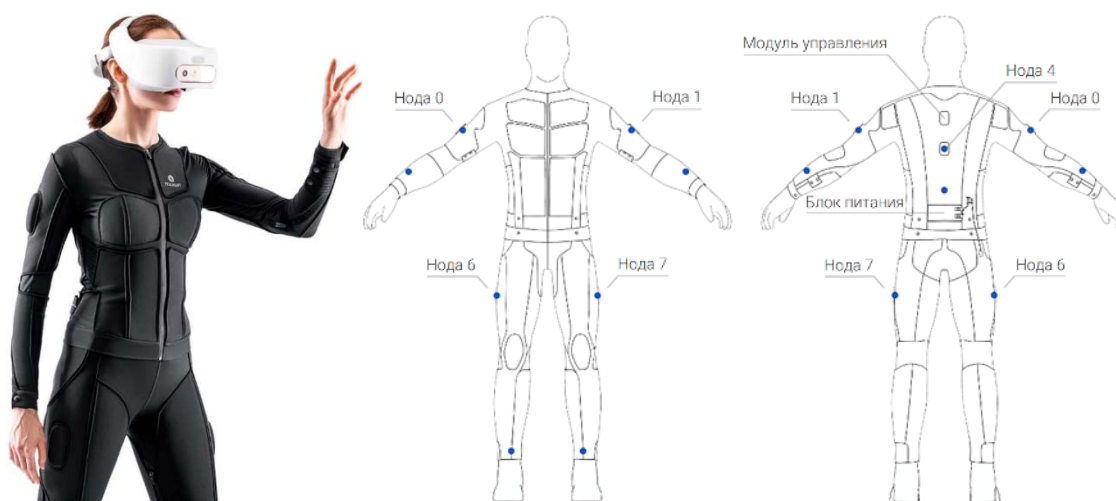
⁵ 5 самых первых гаджетов виртуальной реальности – с чего все начиналось [Электронный ресурс] / xChip.ru – мир гаджетов и технологий. – Режим доступа: <https://xchip.ru/2021/10/21/5-pervyx-gadzhetov-virtualnoj-realnosti/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

Как уже было отмечено, разработки AR- и VR-технологий начались в первую очередь для применения их в военных целях. На данный момент эти технологии начинают активно применяться не только в военном деле, но и в других областях. Например, в работе [4] исследована эффективность современных методов VR для лечения психических заболеваний, в частности тревожных неврозов и фобий. В работе [5] разработан метод лечения депрессии с помощью виртуальной реальности, также экспериментально подтверждена его эффективность.

Понятия и концепции виртуальной и дополненной реальности не претерпели радикальных изменений за последние 30 лет, однако сами технологии идут большими шагами вперед. Технологии дополненной и виртуальной реальности прошли значительный эволюционный путь как в плане совершенствования аппаратно-программного обеспечения, так и контента.

Устройства виртуальной реальности. К предметам VR относятся все устройства, используемые для погружения в виртуальный мир. К ним относятся: костюмы виртуальной реальности, шлемы и очки виртуальной реальности, перчатки виртуальной реальности, комнаты виртуальной реальности и иные устройства.

Костюм виртуальной реальности – устройство, позволяющее человеку погрузиться в мир виртуальной реальности (рис. 7). Костюм полностью изолирует от внешнего мира. Внутри него, как правило, находятся видеозеркало, многоканальная акустическая система и электронные устройства тактильной обратной связи, воздействующие на нервные окончания кожи, создавая имитацию прикосновений или, например, дующего ветра, захвата движения, считывания биометрических данных и др.



Нода – локальный модуль, управляющий работой тактильной обратной связи, захвата движения и биометрии в определенной области тела

Рисунок 7. – Костюм виртуальной реальности Teslasuit⁶

Построение систем VR с использованием данных костюмов требует значительных затрат. По этой причине для частичного погружения в виртуальное пространство обычно используют шлемы, очки и перчатки виртуальной реальности.

В шлеме VR перед глазами пользователя расположены два дисплея, шторы защищают от попадания внешнего света, предусмотрены стереонаушники, встроенные акселерометры и датчики положения [2]. На дисплеях транслируются немного смещенные друг относительно друга стереоскопические изображения, обеспечивая реалистичное восприятие трехмерной среды. В большинстве своем продвинутые шлемы виртуальной реальности

⁶ TESLASUIT [Электронный ресурс] / Full body haptic feedback & motion capture tracking VR suit – TESLASUIT. – Режим доступа: <https://teslasuit.io/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

довольно громоздкие, но в последнее время появляются упрощенные легкие варианты, которые обычно предназначены для смартфонов с приложениями виртуальной реальности.

Шлемы VR можно разделить на три типа [2]:

1) настольные шлемы подключаются к компьютеру (HTCVive, OculusRift) или консолям (Playstation VR), требуют высокой мощности аппаратных средств;

2) дешевые мобильные гарнитуры работают в связке со смартфонами, менее требовательные и громоздкие, чем компьютерные, представляют собой держатель для смартфона с линзами (Samsung Gear VR, Google Cardboard, YesVR);

3) автономные очки виртуальной реальности – самостоятельные устройства, работают под управлением специальных или адаптированных операционных систем, обработка изображения происходит непосредственно в самом шлеме (OculusGo, Oculus Quest, HTC Vive Focus, Sulong, DeePoon, AuraVisor).

Комнаты виртуальной реальности (Cave Automatic Virtual Environment). В таких комнатах изображения транслируются непосредственно на стены (рис. 8), чаще всего это Motion Parallax 3D-дисплеи. С помощью данных дисплеев у пользователя формируется иллюзия объемного предмета, поскольку на экране отображается специальная проекция виртуального объекта, сгенерированная в зависимости от положения пользователя относительно экрана. Считается, что такой вид виртуальной реальности более совершенен, т.к. дисплеи позволяют отображать виртуальные элементы в более высоком разрешении, нет необходимости надевать громоздкие устройства и путаться в проводах, отсутствует эффект укачивания, упрощается самоидентификация, потому что пользователь постоянно видит себя. При дополнительном использовании костюма и перчаток VR создается максимальный эффект погружения в происходящее за счет трекинга головы и всего тела в объеме комнаты. Например, игровой центр квестов ExitGames в Москве запустил первую в России комнату виртуальной реальности на основе технологий, разработанных HTC Vive. Игра длится 60 мин, одновременно участвовать могут 5 человек. Подобные комнаты используются в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова в целях проведения научных экспериментов.

К иным устройствам VR можно отнести различные ножные платформы (3DRudder) и беговые дорожки (VirtuixOmni). Пользователь имеет возможность контролировать движения своих ног, а в случае с дорожками – даже перемещаться в пространстве, не опасаясь столкнуться с препятствиями в реальном мире (рис. 9).



Рисунок 8. – Комната виртуальной реальности

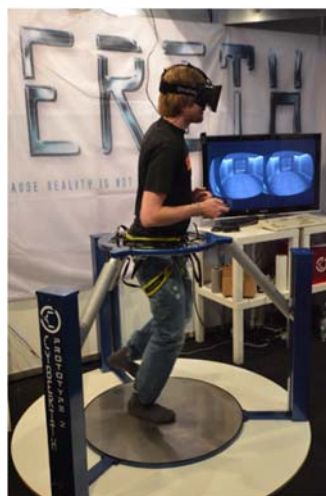


Рисунок 9. – Применение беговой дорожки виртуальной реальности

Устройства дополненной реальности. Умные очки и шлемы. С помощью технологии компьютерного зрения автономные и компактные устройства со встроенными датчи-

ками и камерами позволяют анализировать пространство вокруг пользователя, формировать карту пространства для ориентирования в ней.

Большинство очков оснащено функцией распознавания голоса и движений, ими можно управлять, не используя рук. Изображения проецируются на линзы очков или специальные мини-дисплеи, поэтому нет необходимости в дополнительных элементах для генерации контента. Различают бинокулярные (Hololens, DAQRISmartGlasses, Meta 2) и монокулярные (GoogleGlass, Vuzix M3000) модели очков и шлемов.

Мобильные устройства. Практически любой современный смартфон или планшет может стать устройством дополненной реальности, достаточно лишь установить соответствующую программу. Для распознавания объектов чаще всего применяется маркерная технология, маркерами могут выступать QR-коды, сгенерированные точки, логотипы, компьютерное зрение и распознавание лиц.

Интерактивные стенды и киоски, проецируемые в дополненной реальности. Инструмент широко используется в сфере продаж, на различных выставках. Стенды и киоски представляют собой широкоформатные экраны, позволяющие отображать фотореалистично визуализированные объекты в определенном контексте (например, демонстрация определенных функций продукта), просматривать информацию в интерактивном режиме. Изображение накладывается на любую поверхность (объект).

Таким образом, видно, что на сегодня рынок технологий дополненной и виртуальной реальности находится на первых этапах своего становления, но развивается стремительно и многообещающе. Данные технологии охватывают все большее количество сфер человеческой деятельности. Отдельно стоит подчеркнуть внедрение технологий дополненной и виртуальной реальности в образовательный процесс, что позволит существенно повысить качество обучения за счет возможности практической отработки навыков практически любых профессий в условиях, максимально приближенных к реальным.

Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе

В процессе обучения усвоение материала зависит от степени вовлеченности обучающегося. Неоднократно исследователями установлено, что человек лучше запоминает многократно повторяемую информацию, воздействующую на несколько органов чувств [6]. При этом согласно разработанной американскими учеными Р. Карникау и Ф. Макэлроу модели «Пирамида обучения» (рис. 10) именно практическая отработка навыков и знаний соответствует наивысшему значению показателя запоминания.



Рисунок 10. – Пирамида обучения Р. Карникау и Ф. Макэлроу

Любой визуальный материал помогает сфокусировать внимание обучающегося. Представление сложных процессов в виде совокупности простых элементов, графиков или диаграмм упрощает их понимание. Совместное обсуждение позволяет изучить проблему

с разных точек зрения, а активное участие помогает запомнить важные детали за счет многократного повторения информации.

По мнению Р. Карникау и Ф. Макэлроу, самыми лучшими способами усвоения материала являются обучение других людей или применение полученных знаний в практической деятельности. Как правило, в учебных заведениях для применения теоретических знаний используются лабораторные работы, производственные практики и другие формы учебной деятельности. Но, к сожалению, на практике обучающиеся сталкиваются с определенными трудностями, связанными с техническими, материальными ограничениями, которые не предполагают полноценного эксперимента. Например, ограниченный бюджет не позволяет иметь дорогостоящее оборудование и поддерживать его в приемлемом состоянии, достаточном для проведения эксперимента.

Специфика некоторых видов деятельности предполагает высокий уровень компетенции исполнителя и связана с высоким риском для здоровья. В частности, обучающийся может не получить допуск к технологической установке в связи с рисками по технике безопасности, ведь он не обладает необходимыми навыками ее эксплуатации. Кроме того, примером может являться и профессия спасателей, когда создать условия на площадках для отработки аварийно-спасательных работ, приближенные к реальным в чрезвычайных ситуациях, не представляется возможным либо экономически не выгодно.

В таком случае решением может быть применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе. Данные технологии позволяют создавать как реальные, так и вымышленные сценарии с учетом свойств и особенностей поведения объектов, что открывает широкие возможности ее применения в сфере образования.

Использование виртуальной и дополненной реальности имеет смысл, когда альтернативные методы являются трудновыполнимыми, неэффективными или затратными. Кроме того, существует еще несколько аргументов в пользу использования VR/AR-технологий в образовании.

Трехмерная графика дает возможность наглядно смоделировать сложные процессы с необходимой детализацией [7]. Также можно ускорить или замедлить скорость протекания процесса. Точность и достоверность моделирования в виртуальной реальности ограничена лишь вычислительной мощностью и научными познаниями о моделируемом процессе или явлении.

Устройство виртуальной реальности можно использовать в качестве тренажера для отработки сложных и опасных элементов без риска для здоровья пользователя, например, тушение пожаров в высотных зданиях или оказание медицинской помощи пострадавшему.

Интерактивность и эффект полного погружения дают возможность проведения занятий в режиме виртуальной и дополненной реальности, что совместимо с дистанционным обучением [7].

Любой созданный виртуальный объект или процесс можно воспроизводить и использовать неограниченное количество раз без существенных материальных и временных затрат. На их производство и использование могут накладываться лицензионные ограничения авторских и смежных прав. Но всегда есть возможность создания и публикации материалов под свободной и открытой лицензией. Созданная виртуальная модель или тренажер не заменяет реальный объект или процесс, но позволяет подготовиться к реальной ситуации с максимально возможной детализацией [7].

Технологии виртуальной и дополненной реальности в последние годы приобрели характер высокой востребованности в области высшего образования. Проекты виртуального моделирования реальности активно внедряются в учебный процесс в зарубежной и отечественной высшей школе.

Наиболее активные VR/AR-разработки на данный момент ведутся в сфере медицины. Например, на рынке уже имеются виртуальные симуляторы с тактильной обратной связью для хирургов и стоматологов от компании Osso VR (рис. 11), которые позволяют отта-

чивать навыки в широком спектре процедур⁷. Для этого обучающемуся необходимо взять два концевика-манипулятора и надеть очки VR. Затем можно отрабатывать навыки на виртуальном пациенте. В итоге специальное программное обеспечение предоставляет аналитические сведения, которые можно проанализировать для совершенствования навыка.



Рисунок 11. – Виртуальные симуляторы с тактильной обратной связью для хирургов и стоматологов от компании Osso VR⁸

Авторы работ [8; 9] на основе анализа внедрения и использования VR/AR-технологий в медицине заключили, что дополненная реальность становится все более известной и набирает обороты в медицинском образовании, в частности благодаря новым разработкам от Google (Google Glass) и Microsoft (Microsoft HoloLens⁹). Например, в 2018 г. канадской компанией CAE разработан и представлен симулятор LucinaAR, который призван помочь акушерам отработать технику приема родов при различных вариантах родовых осложнений. Симулятор представляет собой детальные манекены младенца и матери, а также AR-очки HoloLens от Microsoft, которые помогают увидеть движение плода и оценить правильность выполняемых действий. Авторы [8] отмечают, что дополненная реальность не только помогает в обучении студентов, но и может повлиять на уход за пациентами благодаря повышению качества медицинской подготовки.

Также в работе [10] описана технология проекционного картографирования в модели дополненной реальности Augmented Studio, которая позволяет отображать движения скелета и мышц человеческого тела в режиме реального времени. В результате исследований эффективности применения Augmented Studio на практике авторы [10] отметили, что данная технология способствует активному вовлечению в процесс обучения и облегчению коммуникации между преподавателями и студентами.

В 2017 г. в работе [11] на основе обзора и анализа научной литературы по исследованию VR/AR-технологий, применяемых в хореографии, показано, что на данный момент наиболее передовой AR-технологией является технология компьютерного зрения на основе сенсоров AR Kinect от Microsoft, которая предоставляет новые возможности для изучения танцевальных движений и расширения обучающих техник хореографии. В частности, авторы [11] предполагают, что последняя версия Kinect V2 от Microsoft для обучения танцам даже может использоваться в качестве футуристического виртуального педагога.

В исследовании [12] рассмотрены возможности технологии дополненной реальности для обучения географии на факультете одного из университетов Турции. Авторы отметили, что AR-технологии могут помочь студентам в изучении абстрактных и сложных предметов. Также результаты исследований показали, что AR повышает успеваемость студентов и снижает уровень их когнитивной нагрузки, а также в целом является полезным инстру-

⁷ Виртуальная реальность в стоматологии уже очень даже реальна [Электронный ресурс] / Профессиональный стоматологический портал. – Режим доступа: <https://stomatologclub.ru/stati/stomatologiya-8/virtualnaya-realnost-v-stomatologii-uzhe-ochen-dazhe-realna-2443/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

⁸ См. сноску 7.

⁹ Microsoft HoloLens [Электронный ресурс] / Zdrav.Expert – Издание о новых технологиях в здравоохранении. – Режим доступа: https://zdrav.expert/index.php/Продукт:Microsoft_Hololens. – Дата доступа: 15.01.2022.

ментом для преподавания географии, особенно геоморфологии. Авторами подчеркивается, что отношение студентов к технологии AR оказалось положительным [12].

Примечательным также является опыт Российской Федерации в направлении использования VR/AR-технологий в образовательном процессе. На базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ) и партнерских организаций представлен полный цикл разработки технологий виртуальной, смешанной и дополненной реальности: начиная от математических моделей и изучения физиологических основ, заканчивая аппаратной и программной реализацией. Также в университете разрабатывают симулятор работ на МКС с поверхностью Луны и Марса. Это стенд смешанной реальности, имитирующий элементы лунной и марсианской миссии. В рамках стенда имитируется отработка циклограмм внекорабельной и напланетной деятельности. На данный момент уже сформирован межфакультетский центр компетенций по машинному обучению и виртуальной реальности, а также ведется ряд проектов по внедрению этих технологий в разные сферы деятельности, в том числе в школьное и высшее образование в других вузах. В результате такая активная деятельность привела к появлению магистерской программы на новом факультете космических исследований МГУ, посвященной технологическим основам виртуальной и смешанной реальности¹⁰.

В Уфимском государственном авиационном техническом университете с 2013 г. функционирует лаборатория трехмерной визуализации¹¹, которая представляет собой комнату виртуальной реальности. Лаборатория комплектуется всем необходимым VR-оборудованием и периферией, что позволяет отслеживать взгляд и движения пользователя, а также взаимодействовать с виртуальными объектами. Возможности лаборатории позволяют проводить сложные виртуальные опыты, отрабатывать технологические операции с прототипами систем и механизмами, в том числе при обучении специалистов для опасных или удаленных производств. Ее можно использовать для повышения квалификации специалистов по моделированию, которое достигается в том числе с помощью анализа объектов моделирования. Например, кафедра технологии машиностроения использует для практических занятий по промышленному проектированию комнату виртуальной реальности. За студентом закрепляется определенный участок цеха, на котором нужно разместить оборудование согласно правилам и нормам техники безопасности. Каждый студент вносит вклад в общую модель цеха, которая оценивается отдельно. Таким образом, совместными усилиями студентов можно спроектировать целое предприятие. Лаборатория дает возможность взаимодействовать нескольким специалистам из различных сфер знаний в одном виртуальном окружении.

Кроме того, Российский научный фонд в апреле 2021 г. завершил проект по созданию виртуальных туров по ведущим научным российским лабораториям, в том числе лабораториям вузов. Съемки виртуальных туров стартовали в конце 2017 г. Проект получил название «Наука в формате 360°» и представляет собой ряд сферических панорамных снимков лабораторий вузов и научно-исследовательских институтов России. Благодаря таким виртуальным турам пользователи могут перемещаться по помещениям, рассматривать оборудование, а также получать подробную информацию с помощью текстовых, аудио- и видеовставок¹².

¹⁰ Интеллектуальные технологии смешанной реальности для аэрокосмических систем [Электронный ресурс] / Факультет космических исследований Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. – Режим доступа: <https://cosmos.msu.ru/index.php/node/11>. – Дата доступа: 15.01.2022.

¹¹ Виртуальная реальность в различных сферах ее применения [Электронный ресурс] / Уфимский государственный авиационный технический университет. – Режим доступа: <http://it.ugatu.su/komnata-3d-vizualizaczii.html>. – Дата доступа: 15.01.2022.

¹² РФНФ запустил сайт онлайн-экскурсий в формате 360 градусов по ведущим научным лабораториям страны [Электронный ресурс] / Российский научный фонд. – Режим доступа: https://www.rscf.ru/news/found/vzglyanite-na-nauku-pod-drugim-uglom/?sphrase_id=92483. – Дата доступа: 15.01.2022.

Аналогичный подход реализован и в Республике Беларусь. Примером может являться Образовательный центр безопасности жизнедеятельности МЧС (рис. 12), на официальном сайте которого имеется возможность ознакомиться с со всеми обучающими площадками центра с помощью виртуальной экскурсии¹³. Отдельно следует отметить богатую материальную базу данного центра для обучения граждан способам защиты и действиям в условиях чрезвычайных ситуаций. В нем расположено более 30 интерактивных обучающих площадок по транспортной безопасности, безопасности при чрезвычайных ситуациях, гражданской обороны, пожарной и экологической безопасности, а также криминальной безопасности, здорового образа жизни и опасных метеорологических явлений, атомной и радиационной безопасности, промышленной безопасности.

Обучение в центре построено на принципах развлекательной игры. В основу положены методы погружения обучающихся в среду, максимально имитирующую чрезвычайную ситуацию, и углубленного изучения материала за счет повышения эмоционального восприятия моделируемой обстановки. В центре применяются интерактивные тренажеры и симуляторы, созданные на основе современных информационных коммуникационных технологий (виртуальная реальность, дополненная реальность, Интернет вещей, компьютерное зрение и др.). Подобные центры функционируют в Китае и Корее, а в странах СНГ аналоги центров безопасности отсутствуют. Эффективность работы центров безопасности выражается в первую очередь в снижении гибели людей. В частности, в Беларуси за последние 5 лет количество погибших людей снизилось в 1,2 раза, из них детей – в 6 раз¹⁴.



Рисунок 12. – Образовательный центр безопасности жизнедеятельности МЧС Беларуси

Эффективность применения VR/AR-технологий в образовательном процессе.

Для обоснования эффективности применения технологии дополненной реальности в образовании в работе [13] в рамках курса информатики были проведены эксперименты с привлечением учащихся. В первом эксперименте исследовалась гипотеза, что использование технологии дополненной реальности на занятии повышает эффективность изучения AR, по сравнению с лекцией об этой технологии. Второй эксперимент проверял гипотезу об эффективности изучения некоторых разделов курса информатики с использованием AR. В результате эксперимента показано, что общий уровень знаний в экспериментальной группе учащихся повысился в среднем на 23,1 % по сравнению с контрольной группой без использования AR-технологий [13].

Компанией Vrarlab проведено исследование эффективности применения виртуальной реальности в образовании, в котором приняли участие более 150 человек. Испытуемые, попадая в виртуальную реальность, наблюдали работающую электрическую цепь с источником

¹³ Образовательный центр безопасности жизнедеятельности [Электронный ресурс] / Образовательный центр безопасности жизнедеятельности. – Режим доступа: <https://center.ucp.by/virtual/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

¹⁴ Образовательный центр безопасности МЧС открыли в Минске [Электронный ресурс] / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/glavnoe/336964/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

тока, далее они попадали внутрь проводника, изучая движение заряженных частиц на атомном уровне, кристаллическую решетку и строение самих атомов. После окончания урока, который длился около 7 мин, испытуемые прошли тесты по изученной тематике. Результаты теста показали, что 92 % людей ответили верно на все вопросы теста, что демонстрирует высокий уровень усвоения знаний [7].

В работе [14] выполнен детальный анализ современных исследований, посвященных применению VR/AR-технологий в сфере образования, что позволило обобщить существующие мнения относительно преимуществ виртуальной и дополненной реальности, их совместимости с образовательными технологиями, а также получаемых выгод. При анализе научных работ и публикаций, связанных с использованием VR/AR в высшем образовании, авторами отмечается высокий потенциал данных технологий по различным направлениям. Например, результаты применения инструментов дополненной реальности для обучения китайскому языку показывают, что AR помогает студентам гораздо быстрее написать свой первый параграф и освоить китайское письмо [15]. При сравнении учебных AR-материалов и образовательного видео на YouTube в рамках освоения курса по разработке программного обеспечения более эффективным оказался AR-контент, его применение помогло повысить интерес студентов и их вовлеченность [16]. Многие другие исследователи также подтверждают мотивацию и вовлеченность студентов, которым предлагается использовать приложения дополненной реальности в процессе обучения [17].

При сравнении технологии AR и методов интерактивной симуляции значительной разницы с точки зрения обучаемости студентов и их вовлеченности не наблюдалось, однако отмечено значительное преимущество AR с точки зрения восприятия информации [18].

В литературе наиболее часто встречаются исследования, посвященные применению AR в сфере послевузовского образования. Примеры из области архитектурного образования говорят в пользу технологий AR [19], такие же выводы делаются для дисциплин естествознания, где динамический контент позволяет лучше осваивать материал [20] и способствует прогрессу исследовательских проектов аспирантов [21]. В точных науках и инженерии AR-технологии способствуют лучшему пространственному восприятию, это подтверждают исследования в области математического образования [22], машиностроения [23]. Системы AR с технологией Kinect успешно применяются в физико-математическом образовании [24]. В гуманитарной сфере использование AR помогает снизить когнитивную нагрузку, повышая при этом мотивацию и позитивный настрой обучающихся [25]. Существуют исследования в области медицинского образования, когда обучение стоматологов с применением мобильного приложения AR стало простым эффективным инструментом передачи знаний [26]. Изучение истории с помощью приложений дополненной реальности открывает большие перспективы как с точки зрения возможностей создания контента, так и позиций эмоциональности и вовлеченности в образовательный процесс [27].

Таким образом, реализация технологий виртуальной и дополненной реальности в сфере образовательных услуг имеет много преимуществ: полная вовлеченность в процесс и фокусировка на предмете по причине полного погружения в зону интереса на все 360°, а также в силу игрового и интерактивного характера коммуникации; неограниченная наглядность, т.е. демонстрация предмета с любой степенью детализации; безопасность обучающихся виртуальных моделей при обучении специальностям, связанным с риском для жизни и здоровья.

Процессы внедрения технологий виртуальной и дополненной реальности в учебных учреждениях носят довольно активный характер и широкий спектр реализации. Применение технологий виртуальной и дополненной реальности создает новые, более эффективные способы обучения, укрепляет позиции учебных учреждений на рынке образовательных услуг, однако технические недостатки устройств и высокая стоимость конечных решений пока еще ограничивают их широкое применение в образовательном процессе. Приоритетными задачами являются повышение эргономичности VR/AR-оборудования, стремление

к комфортному использованию устройства без существенного ущерба для здоровья, а также оптимизация программной части данных технологий для эффективного использования в узконаправленных сферах деятельности.

Виртуальные технологии, применяемые для подготовки спасателей-пожарных

Одна из важнейших составляющих подготовки спасателей-пожарных – формирование умений и навыков принятия решений в условиях нестандартных чрезвычайных ситуаций, при проведении аварийно-спасательных работ и тушении пожаров на объектах, имеющих сложную планировку, а также эксплуатирующих опасное производственное оборудование, неисправности которого в случае аварии (пожара, землетрясения и т.п.) могут привести к тяжелым последствиям.

На текущий момент в условиях даже самых технологически развитых учебных полигонных баз трудно выполнимы следующие задачи [28]:

- создание и размещение широкого перечня объектов различного функционального назначения (жилого, производственного, социально-бытового и др.) для отработки действий по проведению аварийно-спасательных работ и пожаротушения с учетом особенностей объекта;

- реализация различных сценариев развития пожара и иных чрезвычайных ситуаций для выработки оптимального алгоритма их ликвидации; возможность многократной отработки навыков взаимодействия между пожарно-спасательными подразделениями, принятия управленческих решений и руководства пожарно-спасательным подразделением при различных сценариях развития пожаров и иных чрезвычайных ситуаций;

- погружение обучающегося или группы обучающихся в условия профессиональных стрессовых ситуаций для выработки психологической устойчивости к их воздействию, а также механизмов их преодоления;

- организация совместной подготовки спасателей-пожарных в удаленном режиме;

- организация регулярных пожарно-тактических учений по ликвидации сложных пожаров и иных чрезвычайных ситуаций с привлечением различных структур, входящих в состав единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций государства.

Для повышения уровня профессиональной готовности спасателей-пожарных наиболее интересной представляется иммерсивная форма подготовки, реализуемая посредством технологий виртуальной и дополненной реальности.

Разработкой программно-аппаратных комплексов виртуальной и дополненной реальности для обучения действиям в чрезвычайных ситуациях, в частности при возникновении пожаров, занимается широкий ряд компаний и организаций. Например, в Университете гражданской защиты МЧС Республики Беларусь имеется ряд разработок по подготовке специалистов высшей квалификации в области пожарной безопасности и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в том числе включающих элементы виртуальной и дополненной реальности.

Наибольший интерес представляет учебное программное обеспечение по подготовке специалистов государственного пожарного надзора Fire Quest: inspector (версии FQ1 и FQ2)¹⁵. В основу программного продукта заложена виртуальная трехмерная модель промышленного объекта (рис. 13). При ее разработке использованы наиболее характерные технологические процессы. Виртуальная модель программы FQ1 содержит 1 здание, программа FQ2 – 22 здания, более 200 помещений и более 5000 конструкций и единиц оборудования. Программа FQ1 также адаптирована под законодательство Российской Федерации.

¹⁵ FQ1 и FQ2 Учебное программное обеспечение «Подготовка специалистов органов государственного пожарного надзора» [Электронный ресурс] / Университет гражданской защиты МЧС Беларуси. – Режим доступа: <https://ucp.by/services/razrabotka-po/fq1-i-fq2/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

Программное обеспечение может функционировать в учебном и контрольном режимах. В первом случае обучаемый может перейти из одного здания в другое, только выявив указанный преподавателем процент нарушений, во втором случае он ограничен временем, отведенным на проверку. Фиксация выявленных нарушений может осуществляться с помощью встроенного блокнота или автоматически с использованием контекстного меню. По результатам проведения проверки автоматически представляется отчет, в котором указывается процент выявленных нарушений по каждому слою. Данную информацию можно детализировать для отдельного здания. Для оформления необходимых по результатам проверки документов формируется полный перечень выявленных обучаемым нарушений. Основная задача обучаемого – выявление нарушений норм и правил пожарной безопасности. Для этого ему предоставлена возможность просмотра необходимой информации по зданиям, помещениям и отдельным объектам. При необходимости он может просмотреть проектную документацию, а также аксонометрические виды инженерных и технологических систем, как в целом, так и отдельно взятых. Отличительной особенностью данного продукта является имитация обстановки внутри зданий с учетом оборудования и коммуникаций. Это делает объект и проверку более реалистичными.



Рисунок 13. – Учебное программное обеспечение по подготовке специалистов государственного пожарного надзора Fire Quest: inspector¹⁶

По результатам исследования учеными Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России [29] возможностей адаптации и применения цифровых образовательных технологий для повышения уровня профессиональных компетенций выпускников в области пожаротушения совместно с ЗАО «Институт телекоммуникаций» (Санкт-Петербург, Россия) разработан многофункциональный виртуальный тренажерный комплекс «ОГНЕБОРЕЦ-ИТ»¹⁷ (рис. 14), позволяющий моделировать профессиональную среду и организовывать в ней практическую подготовку обучающихся по тушению пожаров как индивидуально, так и совместными действиями групп обучающихся с возможностью имитации проблемных ситуаций на виртуальных объектах жилого, социально-бытового, промышленного, транспортного и иных функциональных назначений.

В состав тренажера входят системное и прикладное программное обеспечение, базовые объекты, модели и сценарии распространения на них пожаров, система оценивания выполняемых обучаемыми задач. Технологический и методический опыт, полученный в процессе проектирования, внедрения и эксплуатации многофункционального тренажерного комплекса, планируется распространить на другие вузы МЧС России, что позволит создать и унифицировать единую систему практической подготовки курсантов в области пожаротушения, посредством технологии виртуальной реальности [29].

В 2019 г. холдингом «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех представлен комплексный тренажер на основе технологии виртуальной реальности для обучения сотрудни-

¹⁶ См. сноску 15.

¹⁷ Виртуальный тренажерный комплекс «ОГНЕБОРЕЦ-ИТ» [Электронный ресурс] / Университет гражданской защиты МЧС Беларуси. – Режим доступа: <https://itain.ru/produkty/kartograficheskoe-obespechenie/136-mnogofunktsionalnyj-virtualnyj-trenazhernyj-kompleks-ogneborets-it>. – Дата доступа: 15.01.2022.

ков противопожарных и саперных служб, специалистов МЧС, работающих в условиях чрезвычайных ситуаций¹⁸. Симулятор для тренировки пожарных моделирует возгорания различной сложности. Программное обеспечение позволяет воссоздать в виртуальной среде конкретную ситуацию и отработать алгоритмы ее разрешения в приближенной к реальности обстановке. Для полного погружения в виртуальную реальность и обучения сложным моторным навыкам тренажер может быть интегрирован с умным костюмом с обратной тактильной связью. Электромагнитные импульсы, передающиеся от костюма человеку, имитируют различные тактильные ощущения (жар, удары, отдача от огнестрельного оружия и др.).



Рисунок 14. – Комплексный тренажер на основе технологии виртуальной реальности для подготовки спасателей-пожарных¹⁹

Разработкой программно-аппаратных комплексов виртуальной и дополненной реальности для обучения как пожарных-спасателей, так и остального населения действиям в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, в частности пожаров, также занимается широкий ряд компаний дальнего зарубежья. В рамках программных комплексов в основном предусматриваются сценарии с возникновением пожара на объекте и необходимостью выполнить определенный порядок действий, включающий активацию системы пожарной сигнализации и оповещения с помощью ручных пожарных извещателей на объекте, поиск огнетушителя и выбор его типа в зависимости от пожарной нагрузки, приведение огнетушителя в готовность и непосредственно тушение очага пожара.

Примером может являться разработка от британской компании Luminous²⁰ (рис. 15) для проведения тренингов по пожарной безопасности. Используя гарнитуру виртуальной реальности, обучающиеся могут передвигаться по детально отрисованному в виртуальной среде зданию и изучать виртуальные версии специального пожарного оборудования для тушения пожаров и решения чрезвычайных ситуаций. При этом обучающиеся могут видеть последствия своих действий как правильных, так и при совершении ошибок, например возникновение взрыва при использовании воды для тушения растительного масла.

Похожая разработка под названием SIMSAFE имеется и у американской компании Gravity Jack²¹ (рис. 16). Данный тренировочный комплекс, построенный на базе гарнитуры виртуальной реальности VIVE Focus Pro Plus, позволяет погрузиться в реалистичную

¹⁸ Представление комплексного тренажера на основе технологии виртуальной реальности [Электронный ресурс] / TAdvisor – портал выбора технологий и поставщиков. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/a/462739>. – Дата доступа: 15.01.2022.

¹⁹ См. сноску 17.

²⁰ VR fire safety training [Электронный ресурс] / Luminous Group. – Режим доступа: <https://www.luminousgroup.co.uk/project/premier-partnership-vr-fire-training/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

²¹ Safety training meets virtual reality [Электронный ресурс] / Gravity Jack. – Режим доступа: <https://gravityjack.com/simsafe-vr-training/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

трехмерную виртуальную среду и бороться с пожаром, например возникшим при возгорании плиты для приготовления пищи или мусорного ведра. SIMSAFE каждый раз подбирает случайный сценарий развития пожара, что позволяет держать обучающихся в состоянии полной концентрации на протяжении всего сеанса. До начала сеанса проводится обучение работе с гарнитурой VIVE Focus Pro Plus VR и так называемому методу P.A.S.S. (от англ. Pull, Aim, Squeeze and Sweep) – технике правильного тушения пожара с использованием огнетушителя. После того как обучающийся выполнил сценарий, появляется экран с результатом и подробной информацией, насколько хорошо он справился с задачей.

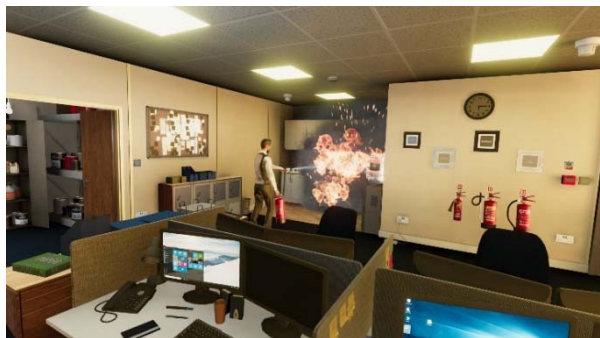


Рисунок 15. – VR-технология компании Lumipous²² для обучения действиям в случае возникновения пожара в здании



Рисунок 16. – VR-технология компании SIMSAFE²³ для обучения действиям в случае возникновения пожара в зданиях

Аналогичные по своей сути и содержанию продукты разрабатывают и представляют на рынке: ONEBONSAI²⁴ (Бельгия), VRVIS²⁵ (Австрия), eLearning Studios²⁶ (Великобритания), индийские компании CHRP-INDIA²⁷, Simulanis²⁸ и QUYTECH²⁹ и др.

На рынке имеется и уникальная разработка под названием Flaim Training (США) – симулятор для обучения спасателей-пожарных³⁰ (рис. 17). По сути является аналогом российской разработки «ОГНЕБОРЕЦ-ИТ». Симулятор обеспечивает иммерсивную среду виртуальной реальности в сочетании с системой тактильной обратной связи, дыхательным аппаратом и индивидуальной защитной одеждой с подогревом. Симулятор позволяет оттачивать навыки тушения пожаров различной сложности на объектах широкого спектра назначения.

На основе анализа эффективности применения технологий виртуальной и дополненной реальности в подготовке спасателей-пожарных можно выделить ряд основных преимуществ над традиционными способами обучения:

– формирование психологической устойчивости обучающихся при воздействии на них опасных факторов чрезвычайных ситуаций различного характера;

²² См. сноску 20.

²³ См. сноску 21.

²⁴ Fire Training in Virtual Reality [Электронный ресурс] / OneBonsai – Virtual Reality Solutions for Companies. – Режим доступа: <https://onebonsai.com/vr-training/vr-fire-training/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

²⁵ Virtual Reality Fire Training [Электронный ресурс] / VRVis. – Режим доступа: <https://www.vrvis.at/en/research/research-projects/virtual-reality-fire-training>. – Дата доступа: 15.01.2022.

²⁶ Solutions [Электронный ресурс] / E-Learning Studios. – Режим доступа: <https://www.e-learningstudios.com/vr-solutions>. – Дата доступа: 15.01.2022.

²⁷ Virtual Reality [Электронный ресурс] / CHRP-INDIA. – Режим доступа: <https://www.chrp-india.com/virtual-reality>. – Дата доступа: 15.01.2022.

²⁸ Fire Safety VR Simulator [Электронный ресурс] / Simulanis. – Режим доступа: <https://www.simulanis.com/fire-safety-vr>. – Дата доступа: 15.01.2022.

²⁹ VR Safety Training Application [Электронный ресурс] / QUYTECH. – Режим доступа: <https://www.quytech.com/portfolio/virtual-reality-safety-training.php>. – Дата доступа: 15.01.2022.

³⁰ FLAIM Trainer, the world's first immersive technology enabled firefighter training solution [Электронный ресурс] / Flaim. – Режим доступа: <https://flaimgsystems.com/products/trainer>. – Дата доступа: 15.01.2022.

- возможность многократного прохождения сценариев развития чрезвычайных ситуаций, что, в свою очередь, позволяет вырабатывать наиболее эффективные методы и способы их ликвидации;
- низкая вероятность получения повреждений и травм, которые могут быть получены на реальных объектах при воздействии опасных факторов пожара либо при ошибочных действиях обучающегося;
- увеличенная степень вовлеченности в процесс обучения за счет применения игровых форм обучения в виртуальной среде;
- повышенная рентабельность обучения.

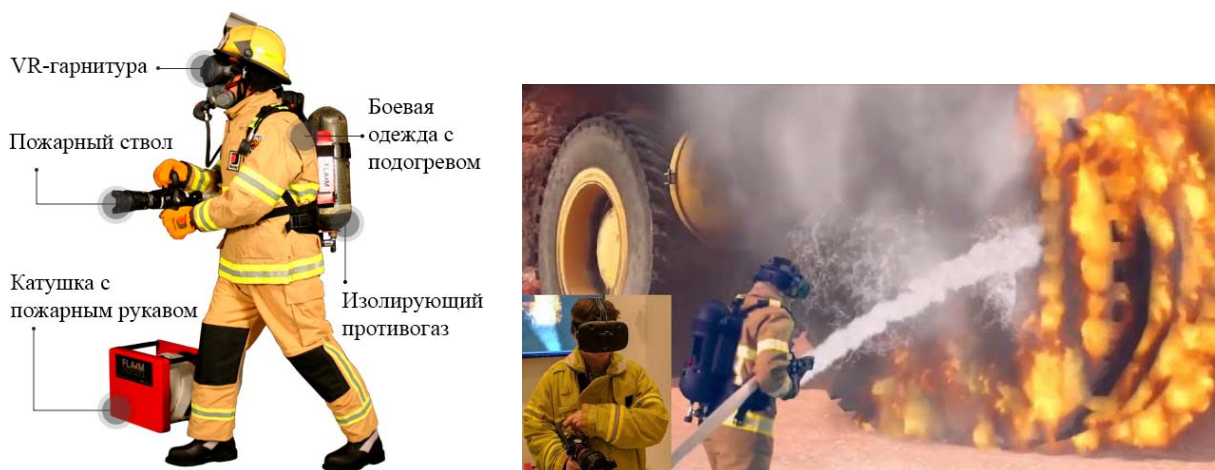


Рисунок 17. – Симулятор для обучения спасателей-пожарных Flaim Training (США)³¹

Следует отметить, что в настоящее время в учреждениях образования Беларуси задача разработки тренажеров с применением виртуальной и дополненной реальности для подготовки специалистов аварийно-спасательных служб не решена. По этой причине выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в данном направлении имеет высокую актуальность и практическую значимость: результаты данных исследований позволят поднять уровень и качество подготовки спасателей-пожарных в Беларуси на более высокую ступень, а также повысить статус учреждений образования страны и закрепиться на международной арене в области предоставления образовательных услуг.

Заключение

В результате работы проведен сбор и анализ научно-технической информации в области использования виртуальных технологий в образовательном процессе. Рассмотрены общие сведения о технологиях виртуальной и дополненной реальности, в частности история их создания и применения, основные области их использования в человеческой деятельности, а также технические элементы и устройства, используемые для реализации данных технологий в различных сферах. Установлено, что VR/AR-технологии в настоящее время наиболее широко применяются в следующих областях: игровая индустрия, кинематограф, спортивные трансляции и шоу, социальные сети, маркетинговая индустрия, образование, медицина, торговля и недвижимость, промышленность, в частности военная. Для создания виртуального окружения либо реализации дополненной реальности чаще всего используются такие элементы, как костюмы виртуальной реальности, шлемы и очки виртуальной реальности, перчатки виртуальной реальности, комнаты виртуальной реальности. Причем наибольшая степень погружения в виртуальную среду обеспечивается при одновременном использовании перечисленных компонентов.

Выполнен обзор и анализ имеющегося опыта применения технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе в целом. Рассмотрены направления

³¹ См. сноску 30.

и способы использования VR/AR-технологий в образовательном процессе, приведены примеры применяемых за рубежом учебных программно-аппаратных комплексов, тренажеров и платформ для различных направлений образования. Проанализированы исследования эффективности применения VR/AR-технологий в области образования, показано, что данные технологии позволяют существенно повышать рентабельность и качество обучения за счет возможности многократной практической отработки навыков без воздействия на обучающегося (обучающихся) возможных в реальной жизни опасных факторов имитируемых ситуаций, а также благодаря повышенной степени вовлечения в процесс обучения.

Рассмотрены виртуальные технологии, применяемые для обучения спасателей-пожарных как на территории Беларуси, так и за рубежом. В настоящее время для подготовки таких специалистов с возможностью практической отработки действий и решения задач, связанных с ликвидацией чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, на рынке представлены тренажерные комплексы только зарубежных производителей. При этом выявлены основные преимущества применения таких тренажеров по сравнению с традиционными методами обучения спасателей-пожарных: формирование психологической устойчивости обучающихся при воздействии на них опасных факторов чрезвычайных ситуаций различного характера; возможность многократного прохождения сценариев развития чрезвычайных ситуаций, что позволяет вырабатывать наиболее эффективные методы и способы их ликвидации; низкая вероятность получения повреждений и травм, которые могут быть получены на реальных объектах при воздействии опасных факторов пожара либо при ошибочных действиях обучающегося; увеличенная степень вовлеченности в процесс обучения за счет применения игровых форм обучения в виртуальной среде; повышенная рентабельность обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Milgram, P. A taxonomy of mixed reality visual displays / P. Milgram, F. Kishino // *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*. – 1994. – Vol. E77-D, No. 12. – P. 1321–1329.
2. Иванова, А.В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения / А.В. Иванова // *Стратегические решения и риск-менеджмент*. – 2018. – № 3. – С. 88–107. DOI: 10.17747/2078-8886-2018-3-88-107.
3. LaValle, S.M. *Virtual reality* / S.M. LaValle // University of Illinois. – Cambridge: Cambridge University Press, 2016. – 418 p.
4. Maples-Keller, J.L. The use of virtual reality technology in the treatment of anxiety and other psychiatric disorders / J.L. Maples-Keller [et al.] // *Harvard Review of Psychiatry*. – 2017. – Vol. 25, Iss. 3. – P. 103–113. DOI: 10.1097/HRP.000000000000138.
5. Falconer, C.J. Embodying self-compassion within virtual reality and its effects on patients with depression / C.J. Falconer [et al.] // *BJPsych Open*. – 2016. – Vol. 2, Iss. 1. – P. 74–80. DOI: 10.1192/bjpo.bp.115.002147.
6. Соболев, В.Ю. Интерактивные методы обучения как основа формирования компетенций / В.Ю. Соболев, О. В. Киселева // *Высшее образование сегодня*. – 2014. – № 9. – С. 70–74.
7. Андрушко, Д.Ю. Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе: проблемы и перспективы / Д.Ю. Андрушко // *Научное обозрение. Педагогические науки*. – 2018. – № 6 – С. 5–10.
8. Herron, J. Augmented reality in medical education and training / J. Herron // *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*. – 2016. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 51–55. DOI: 10.1080/15424065.2016.1175987.
9. Kamphuis, C. Augmented reality in medical education? / C. Kamphuis [et al.] // *Perspect Med Educ*. – 2014. – Vol. 3. – P. 300–311. DOI: 10.1007/s40037-013-0107-7.
10. Kelly, D. Augmented reality learning environment for physiotherapy education / D. Kelly [et al.] // *Physical Therapy Reviews*. – 2018. – Vol. 23, Iss. 1. – P. 21–28. DOI: 10.1080/10833196.2018.1447256.
11. Iqbal, J. A review on making things see: Augmented reality for futuristic virtual educator / J. Iqbal, M.S. Sidhu, S. Wang // *Cogent Education*. – 2017. – Vol. 4, Iss. 1. – DOI: 10.1080/2331186X.2017.1287392.

12. Turan, Z. The impact of mobile augmented reality in geography education: achievements, cognitive loads and views of university students / Z. Turan, E. Meral, I.F. Sahin // *Journal of Geography in Higher Education*. – 2018. – Vol. 42, Iss. 3. – P. 427–441. DOI: 10.1080/03098265.2018.1455174.
13. Гриншкун, А.В. Об эффективности использования технологий дополненной реальности при обучении школьников информатике / А.В. Гриншкун // *Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Информатика и информатизация образования»*. – 2016. – Т. 35, № 1. – С. 98–103.
14. Кирьянов, А.Е. Технологии дополненной реальности в сфере образования / А.Е. Кирьянов [и др.] // *Иновации*. – 2020. – № 5. – С. 81–88.
15. Wang, Y.-H. Exploring the effectiveness of integrating augmented reality-based materials to support writing activities / Y.-H. Wang // *Computers & Education*. – 2017. – Vol. 113. – P. 162–176. DOI: 10.1016/j.compedu.2017.04.013.
16. Wang, Y.-H. Using augmented reality to support a software editing course for college students / Y.-H. Wang // *Journal of Computer Assisted Learning*. – 2017. – Vol. 33, Iss. 5. – P. 532–546. DOI: 10.1111/jcal.12199.
17. Mumtaz, K. An E-assessment framework for blended learning with augmented reality to enhance the student learning / K. Mumtaz [et al.] // *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 8. – P. 4419–4436. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00938a.
18. Chang, H.-Y. A comparison study of augmented reality versus interactive simulation technology to support student learning of a socio-scientific issue / H.-Y. Chang, Y.-S. Hsu, H.-K. Wu // *Interactive Learning Environments*. – 2016. – Vol. 24, Iss. 6. – P. 1148–1161. DOI: 10.1080/10494820.2014.961486.
19. Domínguez, E.R. Educating urban designers using augmented reality and mobile learning technologies / E.R. Domínguez // *RIED – Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*. – 2017. – Vol. 20, No. 2. – P. 141–165. DOI: 10.5944/ried.20.2.17675.
20. Montoya, M.H. Evaluating the effect on user perception and performance of static and dynamic contents deployed in augmented reality based learning application / M.H. Montoya, C.A. Díaz, G.A. Moreno // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 301–317. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00617a.
21. Bendicho, P.F. Effect on academic procrastination after introducing augmented reality / P.F. Bendicho [et al.] // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 319–330. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00618a.
22. Salinas, P. Understanding the conics through augmented reality / P. Salinas, R. Pulido // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 341–354. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00620a.
23. Carrera, C.C. Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill / C.C. Carrera, L.A.B. Asensio // *Journal of Geography in Higher Education*. – 2017. – Vol. 41, Iss. 1. – P. 119–133. DOI: 10.1080/03098265.2016.1260530.
24. Martin-Gonzalez, A. Usability evaluation of an augmented reality system for teaching Euclidean vectors / A. Martin-Gonzalez, A. Chi-Poot, V. Uc-Cetina // *Innovations in Education and Teaching International*. – 2016. – Vol. 53, Iss. 6. – P. 627–636. DOI: 10.1080/14703297.2015.1108856.
25. Cheng, K.-H. Reading an augmented reality book: An exploration of learners' cognitive load, motivation, and attitudes / K.-H. Cheng // *Australasian Journal of Educational Technology*. – 2017. – Vol. 33, No. 4. – P. 53–69. DOI: 10.14742/ajet.2820.
26. Juan, M.C. A mobile augmented reality system for the learning of dental morphology / M.C. Juan [et al.] // *Digital Education Review*. – 2016. – No. 30. – P. 234–247.
27. Harley, J.M. Comparing virtual and location-based augmented reality mobile learning: Emotions and learning outcomes / J.M. Harley [et al.] // *Educational Technology Research and Development*. – 2016. – Vol. 64, No. 3. – P. 359–388. DOI: 10.1007/s11423-015-9420-7.
28. Булгаков, В.В. Иммерсивная форма подготовки: актуальность и перспективы внедрения в образовательный процесс вузов МЧС России / В.В. Булгаков // *Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования»*. – 2020. – Т. 54, № 4. – С. 68–78. DOI: 10.25688/2072-9014.2020.54.4.07.
29. Малый, И.А. Применение цифровых технологий для подготовки курсантов в области пожаротушения / И.А. Малый [и др.] // *Открытое образование*. – 2021. – Т. 25, № 2. – С. 51–59.

Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе
Virtual and augmented reality technologies in the educational process

Полевода Иван Иванович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»,
начальник университета

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

Email: ip@ucp.by

ORCID: 0000-0003-2469-3553

Ivan I. Palevoda

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

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

Email: ip@ucp.by

ORCID: 0000-0003-2469-3553

Иваницкий Александр Григорьевич

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

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

e-mail: A.Ivanitski@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1219-962X

Aleksandr G. Ivanitskiy

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

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

e-mail: A.Ivanitski@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1219-962X

Миканович Андрей Станиславович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты Министер-
ства по чрезвычайным ситуациям Республики
Беларусь», факультет техносферной
безопасности, начальник факультета

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

e-mail: mast1978@gmail.com

Andrey S. Mikanovich

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Technosphere Safety Faculty, Head of Faculty

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

e-mail: mast1978@gmail.com

Пастухов Сергей Михайлович

кандидат технических наук, доцент
Общество с ограниченной ответственностью
«Тат-Систем», технический директор

Адрес: 22-й километр Киевское шоссе,
двд. 4 стр. 1, блок А, офис 804/2,
108811, г. Москва, Россия

e-mail: plamennyj98@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1437-1913

Sergey M. Pastukhov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
Tat-System Limited Liability Company,
Technical Director

Address: the 22nd kilometer Kievskoe highway,
premises 4, building 1,
block A, office 804/2,
108811, Moscow, Russia

e-mail: plamennyj98@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1437-1913

Грачулин Александр Владимирович

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

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

Email: Grachulin_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

Aleksandr V. Grachulin

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

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

Email: Grachulin_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

Рябцев Виталий Николаевич

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

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

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

Vitaly N. Ryabtsev

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

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

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

Навроцкий Олег Дмитриевич

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

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

Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4137-2519

Oleg D. Navrotskiy

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

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

Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4137-2519

Лихоманов Алексей Олегович

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

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

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

Aleksey O. Likhomanov

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

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

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

Винярский Георгий Владимирович

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: jora54367@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4962-7763

Georgiy V. Vinyarskiy

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: jora54367@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4962-7763

Гусаров Игорь Сергеевич

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
предупреждения и ликвидации
чрезвычайных ситуаций, курсант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: igor.gusarov.2000@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0665-8212

Igor' S. Gusarov

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Faculty of Emergency Prevention and Elimination,
cadet

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: igor.gusarov.2000@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0665-8212

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.119>

VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS

**Palevoda I.I., Ivanitskiy A.G., Mikanovich A.S., Pastukhov S.M., Grachulin A.V.,
Ryabtsev V.N., Navrotskiy O.D., Likhomanov A.O., Vinyarskiy G.V., Gusarov I.S.**

Purpose To collect and analyze scientific and technical information in the field of using virtual and augmented reality technologies in the educational process, in particular in the training of rescuers and firefighters.

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

Findings. The collection and analysis of scientific and technical information in the field of the use of virtual technologies in the educational process were carried out. General information about virtual and augmented reality technologies, in particular, the history of their creation and application, the main areas of use in human activity, as well as the technical elements and devices used to implement these technologies in various fields were considered. The directions and methods of using virtual and augmented reality in the educational process were examined. Examples of educational software and hardware systems used abroad, simulators and platforms for various areas of education were given. Studies of the effectiveness of these technologies in the field of education were analyzed. Virtual technologies used to train firefighters both in Belarus and abroad were addressed and analyzed.

Application field of research. The results of the review and analysis of information on the use of virtual and augmented reality technologies in the educational process can be further used in the development of VR/AR simulators for training rescuers and firefighters.

Keywords: virtual reality, augmented reality, simulator, simulation of physical impacts, emergency rescue operations, rescuer, firefighter.

(The date of submitting: January 10, 2022)

REFERENCES

1. Milgram P., Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 1994. Vol. E77-D, No. 12. Pp. 1321–1329.
2. Ivanova A.V. VR & AR technologies: opportunities and application obstacles. *Strategic decisions and risk management*, 2018. No. 3. Pp. 88–107. DOI: 10.17747/2078-8886-2018-3-88-107.
3. LaValle S.M. Virtual reality. University of Illinois. Cambridge: Cambridge University Press, 2016. 418 p.
4. Maples-Keller J.L., Bunnell B.E., Kim S.-J., Rothbaum B.O. The use of virtual reality technology in the treatment of anxiety and other psychiatric disorders. *Harvard Review of Psychiatry*, 2017. Vol. 25, Iss. 3. Pp. 103–113. DOI: 10.1097/HRP.000000000000138.
5. Falconer C.J., Rovira A., King J.A., Gilbert P., Antley A., Fearon P., Ralph N., Slater M., Brewin C.R. Embodying self-compassion within virtual reality and its effects on patients with depression. *BJPsych Open*, 2016. Vol. 2, Iss. 1. Pp. 74–80. DOI: 10.1192/bjpo.bp.115.002147.
6. Sobolev V.Yu., Kiseleva O.V. Interaktivnye metody obucheniya kak osnova formirovaniya kompetentsiy [Interactive teaching methods as the basis for the formation of competencies]. *Vysshee obrazovanie segodnya*, 2014. No. 9. Pp. 70–74. (rus)
7. Andrushko D.Yu. Primenenie tekhnologiy virtual'noy i dopolnennoy real'nosti v obrazovatel'nom protsesse: problemy i perspektivy [Application of virtual and augmented reality technology in educational process: issues and perspectives]. *Scientific Review*, 2018. No. 6. Pp. 5–10. (rus)
8. Herron J. Augmented reality in medical education and training. *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 2016. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 51–55. DOI: 10.1080/15424065.2016.1175987.
9. Kamphuis C., Barsom E., Schijven M., Christoph N. Augmented reality in medical education? *Perspect Med Educ*, 2014. Vol. 3. Pp. 300–311. DOI: 10.1007/s40037-013-0107-7.
10. Kelly D., Hoang T.N., Reinoso M., Joukhadar Z., Clements T., Vetere F. Augmented reality learning environment for physiotherapy education. *Physical Therapy Reviews*, 2018. Vol. 23, Iss. 1. Pp. 21–28. DOI: 10.1080/10833196.2018.1447256.
11. Iqbal J., Sidhu M.S., Wang S. A review on making things see: Augmented reality for futuristic virtual educator. *Cogent Education*, 2017. Vol. 4, Iss. 1. DOI: 10.1080/2331186X.2017.1287392.

12. Turan Z., Meral E., Sahin I.F. The impact of mobile augmented reality in geography education: achievements, cognitive loads and views of university students. *Journal of Geography in Higher Education*, 2018. Vol. 42, Iss. 3. Pp. 427–441. DOI: 10.1080/03098265.2018.1455174.
13. Grinshkun A.V. Ob effektivnosti ispol'zovaniya tekhnologiy dopolnennoy real'nosti pri obuchenii shkol'nikov informatike [On the efficiency of use of augmented reality at teaching students computer science]. *The academic Journal of Moscow City University. Series: Informatics and Informatization of Education*, 2016. Vol. 35, No. 1. Pp. 98–103. (rus)
14. Kiryanov A.E., Yilmaz R.M., Maslov D.V., Masyuk N.N., Vorobyev B.A. Tekhnologii dopolnennoy real'nosti v sfere obrazovaniya [Technology of augmented reality in education]. *Innovations*, 2020. No. 5. Pp. 81–88. (rus). DOI: 10.26310/2071-3010.2020.259.5.011.
15. Wang Y.-H. Exploring the effectiveness of integrating augmented reality-based materials to support writing activities. *Computers & Education*, 2017. Vol. 113. Pp. 162–176. DOI: 10.1016/j.compedu.2017.04.013.
16. Wang Y.-H. Using augmented reality to support a software editing course for college students. *Journal of Computer Assisted Learning*, 2017. Vol. 33, Iss. 5. Pp. 532–546. DOI: 10.1111/jcal.12199.
17. Mumtaz K., Iqbal M.M., Khalid Sh., Rafiq T., Owais S.M., Al Achhab M. An E-assessment framework for blended learning with augmented reality to enhance the student learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2017. Vol. 8, No. 13. Pp. 4419–4436. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00938a.
18. Chang H.-Y., Hsu Y.-S., Wu H.-K. A comparison study of augmented reality versus interactive simulation technology to support student learning of a socio-scientific issue. *Interactive Learning Environments*, 2016. Vol. 6, No. 24. Pp. 1148–1161. DOI: 10.1080/10494820.2014.961486.
19. Domínguez E.R. Educating urban designers using augmented reality and mobile learning technologies. *RIED – Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 2017. Vol. 20, No. 2. Pp. 141–165. DOI: 10.5944/ried.20.2.17675.
20. Montoya M.H., Díaz C.A., Moreno G.A. Evaluating the effect on user perception and performance of static and dynamic contents deployed in augmented reality based learning application. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2017. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 301–317. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00617a.
21. Bendicho P.F., Mora C.E., Añorbe-Díaz B., Rivero-Rodríguez P. Effect on academic procrastination after introducing augmented reality. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2017. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 319–330. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00618a.
22. Salinas P., Pulido R. Understanding the conics through augmented reality. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2017. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 341–354. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00620a.
23. Carrera C.C., Asensio L.A.B. Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill. *Journal of Geography in Higher Education*, 2017. Vol. 41, Iss. 1. Pp. 119–133. DOI: 10.1080/03098265.2016.1260530.
24. Martin-Gonzalez A., Chi-Poot A., Uc-Cetina V. Usability evaluation of an augmented reality system for teaching Euclidean vectors. *Innovations in Education and Teaching International*, 2016. Vol. 53, Iss. 6. Pp. 627–636. DOI: 10.1080/14703297.2015.1108856.
25. Cheng K.-H. Reading an augmented reality book: An exploration of learners' cognitive load, motivation, and attitudes. *Australasian Journal of Educational Technology*, 2017. Vol. 33, No. 4. Pp. 53–69. DOI: 10.14742/ajet.2820.
26. Juan M.C., Alexandrescu L., Folguera F., García-García I. A mobile augmented reality system for the learning of dental morphology. *Digital Education Review*, 2016. No. 30. Pp. 234–247.
27. Harley J.M., Poitras E.G., Jarrell A., Duffy M.C., Lajoie S.P. Comparing virtual and location-based augmented reality mobile learning: Emotions and learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 2016. Vol. 64, No. 3. Pp. 359–388. DOI: 10.1007/s11423-015-9420-7.
28. Bulgakov V.V. Immersivnaya forma podgotovki: aktual'nost' i perspektivy vnedreniya v obrazovatel'nyy protsess vuzov MChS Rossii [Immersive Form of Training: Relevance and Prospects of Implementation in the Educational Process of Higher Education Institutions of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. *The academic Journal of Moscow City University. Series: Informatics and Informatization of Education*, 2020. Vol. 54, No. 4. Pp. 68–78. (rus). DOI: 10.25688/2072-9014.2020.54.4.07.
29. Malyj I.A., Bulgakov V.V., Sharabanova I.Yu., Orlov O.I. Primenenie tsifrovyykh tekhnologiy dlya podgotovki kursantov v oblasti pozharotusheniya [Interdisciplinary Distance Learning Workshop for IT Students]. *Educational Resources*, 2021. Vol. 25, No. 2. Pp. 51–59. (rus). DOI: 10.21686/1818-4243-2021-2-51-59.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.143>

УДК 159.9:614.8-057.36

К ВОПРОСУ О ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ СПАСАТЕЛЕЙ К РИСКУ В УСЛОВИЯХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Чумила Е.А., Булыга Д.М., Маркач И.И., Гурин А.А.,
Войтехович Д.Р., Медведева Д.В.

Цель. Определение мотивационно-ценностного отношения к риску работников и обучающихся МЧС Республики Беларусь на различных этапах профессионализации.

Методы. В ходе исследований применялся комплексный подход. Основу исследований составили эмпирические методы, основанные на использовании психодиагностических методов и направленные на диагностику мотивации к риску (методика диагностики склонности к риску Г. Шуберта, методика диагностики личности на мотивацию к успеху и избеганию неудач Т. Элерса, опросник «Личностные факторы принятия решений» (ЛФР-25) Т.В. Корниловой). Для обработки данных использовались количественный и качественный методы. Для сопоставления исследуемых по возрастам использовался сравнительный метод.

Результаты. Конкретизирован комплекс мотивационных и ценностных характеристик, влияющих на развитие психологической готовности к риску в профессиональной деятельности. Установлена взаимосвязь между уровнем развития психологической готовности к профессиональной деятельности и уровнем профессионального опыта.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть использованы в системе профессиональной подготовки спасателей, а также учитываться психологами при осуществлении деятельности в боевых подразделениях и Университете гражданской защиты МЧС Беларуси.

Ключевые слова: курсант, психологическая готовность, профессиональная деятельность, профессионализация, работник МЧС, риск, рациональность.

(Поступила в редакцию 10 сентября 2021 г.)

Введение

При тушении пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также проведении аварийно-спасательных работ от работников МЧС Республики Беларусь требуется наличие высокого уровня профессионализма, осуществление своевременных действий, направленных, прежде всего, на спасение и защиту человеческих жизней. На выполнение работ в зоне ЧС по спасанию людей, материальных и культурных ценностей, снижению размеров вреда, причиняемого окружающей среде, а также локализации ЧС и ликвидации или уменьшению уровня воздействия опасных факторов, характерных для нее, проводимых в условиях, угрожающих жизни и здоровью людей, на работника МЧС может негативно повлиять наличие риска.

На сегодня в Республике Беларусь не проведено достаточного количества исследований, определяющих степень влияния риска на готовность к профессиональной деятельности и характеризующих психологические особенности отношения к риску работников МЧС Республики Беларусь. В работе А.В. Врублевского рассмотрены подходы к пониманию риска и отношения к риску как в обычной жизни, так и в условиях чрезвычайной ситуации. Кроме того, автором описаны различия в отношении к риску офицера-спасателя и обычного человека в условиях чрезвычайной ситуации, а также отмечены оптимальные уровни отношения к риску спасателя для успешной работы, представлены факторы восприятия риска и принятия решения.

Между тем содержание работы недостаточно подкреплено результатами практических исследований, в основном построено на суждениях, примерах и мнениях ведущих специалистов в области психологии.

В складывающихся в последнее время обстоятельствах, связанных с состоянием современной техносферы, появлением новых технологий, усложнением крупномасштабных, энергонасыщающих, технических комплексов, введением в эксплуатацию атомной электростанции, выявлены несоответствия относительно постоянно увеличивающихся требований, предъявляемых к профессионализму работников МЧС Республики Беларусь, и наличием необходимых психологических качеств, определенных профессиональной деятельностью, у выпускников Университета гражданской защиты МЧС Беларуси (далее – УГЗ МЧС). Как показали результаты проведенного нами психологического тестирования по опроснику Мехрабиана, у значительной части обучающихся преобладает стремление к избеганию неудач [1]. Это может объясняться их недостаточной опытностью, однако следует учитывать, что обучающиеся с преобладанием мотивации достижения успеха способны достичь большего в своей деятельности на данном этапе профессионализации.

Необходимо отметить, что у специалистов с высокой направленностью на успех эффективность деятельности выше, а у ориентированных на избегание неудач нет направленности на достижение высоких результатов. Неуспешность в профессиональной деятельности вызывает падение мотивации стремления к успеху и рост мотивации избегания неудач, что оправдано в экстремальных условиях деятельности спасателей.

Высокие показатели в профессиональной деятельности будущих специалистов МЧС определяются степенью готовности личности к труду. Ключевым показателем готовности к профессиональной деятельности выступает психологическая готовность, включающая психические свойства и процессы, психические образования, совокупность функциональных и личностных компонентов [2].

Регулируемый процесс психологического становления личности, формирование специалиста в условиях получаемого образования занимают ключевое место в структуре готовности к профессиональной деятельности. Таким образом, показатели психологической готовности к профессиональной деятельности определяются динамикой изменений ее мотивационно-ценностных компонентов, на основе которых вырабатываются профессионально значимые отношения в структуре мировоззрения личности [3; 4].

Основная часть

В связи с изложенным возникает необходимость проведения исследований, направленных на выявление степени влияния риска на профессиональную деятельность, со стороны психологической готовности работников МЧС Республики Беларусь к действиям, сопровождающимся риском.

В последнее время проведено большое количество теоретических, методических, образно-аналитических и эмпирических исследований в психологии, в том числе посвященных психологии риска, вместе с тем по-прежнему остаются малоизученными психологические характеристики отношения к риску работников МЧС Республики Беларусь.

Изучение литературных источников по указанной проблеме позволило выявить некоторые противоречия:

– между способностью работников МЧС Республики Беларусь надежно, систематически и эффективно выполнять поставленные задачи и имеющимися проблемами в отборе и подготовке кадров;

– между требованиями, предъявляемыми к психологической готовности работников для выполнения профессиональных задач в условиях высоких нагрузок и повышенной опасности, и показателями их психологических возможностей;

– между необходимостью определения у работников МЧС Республики Беларусь адекватного отношения к риску и оценки обстановки как одному из показателей эффективной профессиональной деятельности и отсутствием подходящих, апробированных и несложных методик для проведения подобных исследований [5–7].

Для выявления указанных противоречий были предложены методики, которые, по нашему мнению, наиболее точно отвечают условиям данного исследования, определяя характер взаимозависимости деятельностной активности и мотивации достижения.

1. Методика диагностики личности на мотивацию к успеху Т. Элерса. Опросник предназначен для диагностики мотивационной направленности личности на достижение успеха. Опросник включает 41 утверждение, на каждое из которых необходимо ответить «да» или «нет». Количество совпадений с ключом опросника определяло степень выраженности мотивации к успеху.

2. Методика диагностики личности на мотивацию к избеганию неудач Т. Элерса. Опросник позволяет определить, насколько сильно личность ориентирована на защиту. Человек, у которого преобладает мотив избегания неудач, предпочитает незначительный или, наоборот, чрезмерно большой риск, где неудача не угрожает престижу. У данной категории людей, как правило, высокий уровень защиты перед несчастными случаями, проявляют уверенность в себе, выполнение сложных задач вызывает у них дискомфорт.

Содержание опросника включает список слов из 30 строк, по 3 слова в каждой строке. Испытуемому необходимо выбрать только одно из трех слов, которое наиболее точно его характеризует. Показатель выраженной склонности личности на избегание неудач оценивается количеством баллов, совпадающих с ключом.

3. Основу методики А.М. Шуберта составляет тест из 25 вопросов, на каждый из которых нужно дать один из пяти предлагаемых вариантов ответов – от полного согласия до уверенного «нет». Результат тестирования определяется согласно набранным баллам, на основании которых выносится заключение о склонности человека к рискованному поведению. Общая оценка теста дается по непрерывной шкале как отклонение от среднего значения. Положительные ответы свидетельствуют о склонности к риску.

4. Опросник «Личностные факторы принятия решений» (ЛФР-25), разработанный Т.В. Корниловой.

Использование опросника направлено на диагностику компонентов личностной регуляции – рациональности (готовности обдумывать свои решения и действовать при возможно более полной ориентировке в ситуации) и готовности к риску (готовность к самоконтролю действий при заведомой неполноте или недоступности необходимых ориентиров), влияющих на принятие решений в широком контексте жизненных ситуаций.

Готовность к риску в концепции Т.В. Корниловой понимается как личностное свойство саморегуляции, позволяющее человеку принимать решения и действовать в ситуациях неопределенности. Таким образом, это не столько личностная диспозиция, сколько достаточно генерализованная характеристика способов выхода субъекта из ситуаций неопределенности. Шкала рациональности измеряет готовность обдумывать свои решения и действовать при возможно полной ориентировке в ситуации, что может характеризовать разные, в том числе рискованные решения субъекта.

Опросник включает 25 утверждений, на которые испытуемому необходимо дать один из трех вариантов ответа: «да», «нет», «нечто среднее». По результатам набранных баллов определяется степень выраженности по шкале рациональности и шкале готовности к риску [7].

В исследованиях приняли участие 53 курсанта 1-го курса и 51 курсант 3-го курса УГЗ МЧС, а также 47 работников подразделений МЧС Республики Беларусь, проходящих службу на должностях рядового и младшего начальствующего состава.

Достоверность и надежность результатов исследования обеспечивалась репрезентативностью выборки, использованием педагогической теории, наличием практического опыта проведения исследований, применением апробированного инструментария.

Математико-статистическая обработка материалов исследования осуществлялась на персональном компьютере с использованием компьютерных программ Excel 7.0 и SSPS–

13.0 и включала определение среднего значения и стандартного отклонения, критериев различия, корреляционный, кластерный и факторный анализ.

Сравнение полученных результатов исследования во всех группах позволило выявить обратную зависимость, согласно которой повышение мотивации к избеганию неудач соответствует снижению мотива к достижению успеха (табл.).

Таблица. – Результаты сравнения средних значений параметров профессионализма для независимых выборок курсантов и работников МЧС Республики Беларусь (с помощью *t*-критерия Стьюдента)

Группы испытуемых		Методика Элерса		ЛФР-25		Методика Шуберта (склонность к риску)
		Мотивация избегания неудачи	Мотивация достижения успеха	Рациональность	Готовность к риску	
Этап профессионализма M ± σ, балл	I (1-й курс)	13,78 ± 4,68	17,73 ± 4,06	6,13 ± 3,26	2,13 ± 1,53	9,76 ± 1,23
	II (3-й курс)	14,50 ± 4,93	17,29 ± 3,51	6,51 ± 2,95	1,31 ± 1,82	9,08 ± 1,77
	III (работники)	15,80 ± 4,16	16,77 ± 3,26	7,89 ± 0,93	3,80 ± 1,89	2,17 ± 0,81
Расчетное значение <i>t</i> -критерия	$t_{I, II}$	0,76	0,59	0,62	2,48	2,27
	$t_{I, III}$	2,29	1,31	3,76	4,82	36,81
	$t_{II, III}$	1,41	0,76	3,17	6,63	25,17
Принятие гипотезы о равенстве средних значений выборок	$t_{I, II} < t_{кр}$	+	+	+	–	–
	$t_{I, III} < t_{кр}$	–	+	–	–	–
	$t_{II, III} < t_{кр}$	+	+	–	–	–

Примечание. M – среднее арифметическое; σ – стандартное квадратичное отклонение. При уровне значимости 0,05 значение функции Лапласа $\Phi(t_{кр}) = 0,475$. Следовательно, значение ограничивающего критическую область критерия $t_{кр} = 1,96$ [8, с. 297–304].

Диапазон от 2,17 до 9,78 баллов по методике Шуберта во всех группах испытуемых свидетельствует о невысокой (1–16 баллов) в целом склонности к риску, а выявленные достоверные различия между группами свидетельствуют о снижении склонности к риску у работников (2,17) по сравнению с курсантами 3-го курса (9,18) и 1-го курса (9,78).

По методике ЛФР-25 выявлены статистически значимые различия между группой работников и группами курсантов, свидетельствующие о тенденции возрастания показателей «Рациональность» и «Готовность к риску» в зависимости от увеличения возраста участвующих в исследовании.

Как правило, результаты методики Шуберта анализируются вместе с результатами методики Элерса. В нашем исследовании не проявилась известная по литературе зависимость, при которой повышение мотивации к успеху сопровождается снижением склонности к риску. У участвующих в исследовании повышение склонности к риску сопровождалось повышением мотивации к успеху, соответственно, снижением мотивации к избеганию неудачи.

Кроме того, подтвердились данные ранее проведенных исследований о том, что с увеличением возраста склонность к риску падает; у более опытных работников она ниже, чем у неопытных курсантов. Сравнительный анализ результатов по методике Шуберта свидетельствует о небольшом различии результатов между группами курсантов (9,08 и 9,76 балла) и значительном превышении значений результатов курсантов обеих групп относительно группы работников (2,17 балла).

Но при этом результаты по методике ЛФР-25 показывают обратную зависимость. Таким образом, получается, что более высоким результатам по склонности к риску соответствуют более низкие по «Готовность к риску» и «Рациональность», а снижение склонности к риску сопровождается повышением показателей «Рациональность» и «Готовность к риску».

В принятии риска личностью важную регулятивную роль играют взаимодействия рационально оцениваемых свойств готовности к риску и субъективных репрезентаций фактора риска в ситуации. На готовность работников отвечать за последствия выбора ока-

зывают влияние инстанции нравственного самосознания личности, чувство авторства за принятое решение, свойства критичности, желание ориентироваться на интересы других людей, умение предвидеть последствия альтернатив.

У работников-профессионалов невысокая рискованность по методике Шуберта (2 балла против 9 у курсантов) компенсируется более высоким, чем у курсантов, значением по шкале «Готовность к риску» (3 балла против 1 у курсантов), а также по шкале «Рациональность» методики ЛФР-25 (8 баллов против 6 у курсантов). По нашему мнению, это свидетельствует о том, что декларируемая курсантами повышенная относительно сотрудников склонность к риску (по методике Шуберта) не находит адекватного отражения на ценностном уровне, проявляющемся в подсознательном неприятии риска.

Заключение

Анализ результатов различий личностных и мотивационно-ценностных компонентов подтвердил, что характер становления специалиста отражается в динамике отношения к риску в зависимости от этапа профессионализации. Адекватная самооценка и уровень притязаний личности не формируется в тех видах деятельности, где низка ее успешность, не сложились операционные навыки. В качестве гарантии успеха, оправдывающего риск работника МЧС Республики Беларусь, должен выступать профессиональный опыт, в котором именно рациональность является стержнем готовности к риску. Мотивы выбора риска курсантами основаны, прежде всего, на их субъективной самооценке склонности к риску в поведении. Таким образом, становится очевидным, что в интеллектуально-личностную регуляцию принятия риска включен и уровень самосознания личности.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Чумила, Е.А. Определение психологической подготовленности обучающихся учебных заведений МЧС Республики Беларусь / Е.А. Чумила, Т.П. Юшкевич // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф. курсантов (студ.), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 4–5 апр. 2013 г.: в 2 ч. / Командно-инженерный ин-т; редкол.: И.И. Полевода (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – Ч. 2. – С. 129–130.
2. Дьяченко, М.И. Психологические проблемы готовности к деятельности / М.И. Дьяченко, Л.А. Кардыбович. – Минск: Изд-во БГУ, 1976. – 176 с.
3. Сизикова, Н.В. Смысловой компонент психологической готовности к спортивной деятельности: автореф. дис. ... канд. психол. наук: 19.00.01 / Н.В. Сизикова. – Хабаровск, 2008. – 24 с.
4. Кленова, М.А. Социально-психологическая адаптация молодежи и склонность к риску / М.А. Кленова // Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Философия. Психологич. педагогика. – 2010. – Т. 10, № 3. – С. 79–82.
5. Кучерявенко, И.А. Проблема психологической готовности к профессиональной деятельности / И.А. Кучерявенко // Молодой ученый. – 2011. – № 12. – С. 60–62.
6. Чумила, Е.А. Повышение психологической готовности курсантов Университета гражданской защиты МЧС Беларуси к особенностям будущей профессиональной деятельности / Е.А. Чумила, И.И. Маркач // Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: методы, технологии, проблемы и перспективы: сб. материалов II Междунар. заочной науч.-практ. конф., Светлая Роща, 28 июня 2018 г. – Светлая Роща: Филиал ИППК, 2018. – С. 196–199.
7. Петимко, А.И. Отношение к риску как компонент психологической готовности к профессиональной деятельности сотрудников МЧС России: автореф. дис. ... канд. психол. наук: 05.26.03 / А.И. Петимко. – Санкт-Петербург, 2010. – 23 с.
8. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 2003. – 479 с.

**К вопросу о психологической готовности спасателей к риску
в условиях профессиональной деятельности**

**About the psychological readiness of rescuers to risk
in the conditions of professional activity**

Чумила Евгений Анатольевич

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

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

Email: cchhuumm@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5551-4215

Evgeniy A. Chumila

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

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

Email: cchhuumm@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5551-4215

Бulyга Дмитрий Михайлович

Филиал «Институт переподготовки
и повышения квалификации» Университета
гражданской защиты МЧС Беларуси,
кафедра повышения квалификации,
начальник кафедры

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

Email: pchs_ippk@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6269-6790

Dmitriy M. Bulyga

Branch «Institute for Retraining and Professional
Development» of the State Educational
Establishment «University of Civil Protection
of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus», Chair of Professional
Development, Head of Chair

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

Email: pchs_ippk@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6269-6790

Маркач Игорь Иванович

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

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

Email: pasfp_mark14@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6885-7209

Igor' I. Markach

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

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

Email: pasfp_mark14@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6885-7209

Гурин Алексей Александрович

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

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

Email: arget98@mail.ru

Aleksey A. Gurin

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Technosphere Safety Faculty, cadet

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

Email: arget98@mail.ru

Войтехович Дмитрий Ромуальдович

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

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

Email: voitech.dmitry@mail.ru

Dmitriy R. Voytekovich

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Technosphere Safety Faculty, cadet

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

Email: voitech.dmitry@mail.ru

Медведева Диана Вячеславовна

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

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

Email: mirdi2003@gmail.com

Diana V. Medvedeva

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Technosphere Safety Faculty, cadet

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

Email: mirdi2003@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.143>

ABOUT THE PSYCHOLOGICAL READINESS OF RESCUERS TO RISK IN THE CONDITIONS OF PROFESSIONAL ACTIVITY

Chumila Y.A., Bulyga D.M., Markach I.I., Gurin A.A., Voytekhovich D.R., Medvedeva D.V.

Purpose. Determination of the motivational and value attitude to risk of employees and students of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus at various stages of professionalization.

Methods. In the course of the research, an integrated approach was used. The research was based on empirical methods of the use of psychodiagnostic methods and aimed at diagnosing risk motivation (G. Schubert's method of diagnosing risk propensity, T. Ehlers' method of personality diagnostics for motivating success and avoiding failures, questionnaire «Personal factors of decision-making» by T.V. Kornilova). Quantitative and qualitative methods were used to process the data. To compare the tested persons by age, a comparative method was used.

Findings. The complex of motivational and value characteristics influencing the development of psychological readiness for risk in professional activity is concretized. The relationship between the level of development of psychological readiness for professional activity and the level of professional experience is established.

Application field of research. The results of the research can be used in the system of professional training of rescuers, as well as taken into account by psychologists when organizing official activities in combat departments as well as while training personnel at the University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus.

Keywords: cadet, psychological readiness, professional activity, professionalization, employee of rescue service, risk, rationality.

(The date of submitting: September 10, 2021)

REFERENCES

1. Chumila E.A., Yushkevich T.P. Opredelenie psikhologicheskoy podgotovlennosti obuchayushchikhsya uchebnykh zavedeniy MChS Respubliki Belarus' [Determination of psychological preparedness of the cadets (students) of educational institutions of the Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus]. *Proc. XIV international scientific and practical conference of cadets (students), graduate students and adjuncts (postgraduates) «Obespechenie bezopasnosti zhiznedejatel'nosti: problema i perspektivy»*. In 2 parts. Part 2. Minsk: KII, 2013. Pp. 129–130. (rus)
2. D'yachenko M.I., Kardymovich L.A. *Psikhologicheskie problemy gotovnosti k deyatelnosti* [Psychological problems of readiness for activity]. Minsk: Izd-vo BGU, 1976. 176 p. (rus)
3. Sizikova N.V. *Smyslovoy komponent psikhologicheskoy gotovnosti k sportivnoy deyatelnosti* [Semantic component of psychological readiness for sports activities]: PhD psych. sci. diss. Synopsis: 19.00.01. Khabarovsk, 2008. 24 p. (rus)
4. Klenova M.A. Sotsial'no-psikhologicheskaya adaptatsiya molodezhi i sklonnost' k risku [Socio-psychological adaptation of young people and risk propensity]. *Izvestiya of Saratov University. Philosophy. Psychology. Pedagogy*. 2010. Vol. 10, No. 3. Pp. 79–82. (rus)
5. Kucheryavenko I.A. Problema psikhologicheskoy gotovnosti k professional'noy deyatelnosti [The problem of psychological readiness for professional activity]. *Molodoy uchenyy*. 2011. № 12. Pp. 60–62. (rus)
6. Chumila E.A., Markach I.I. Povyshenie psikhologicheskoy gotovnosti kursantov Universiteta grazhdanskoy zashchity MChS Belarusi k osobennostyam budushchey professional'noy deyatelnosti [Increase of psychological readiness of students of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergencies of Belarus to the peculiarities of future professional activity]. *Proc. II Intern. scientific-practical conf. in absentia «Preduprezhdenie i likvidatsiya chrezvychaynykh situatsiy: metody, tekhnologii, problemy i perspektivy»*. Svetlaya Roshcha, 2018. Pp. 196–199. (rus)
7. Petimko A.I. *Otnoshenie k risku kak komponent psikhologicheskoy gotovnosti k professional'noy deyatelnosti sotrudnikov MChS Rossii* [Attitude to risk as a component of psychological readiness for professional activity of employees of the Ministry of Emergency Situations of Russia]: PhD psych. sci. diss. Synopsis: 05.26.03. Saint Petersburg, 2010. 23 p. (rus)
8. Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]: tutorial. Moscow: Vysshaya shkola, 2003. 479 p. (rus)

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

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

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

3. Статья предоставляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала: <https://journals.ucp.by>.

4. Электронная версия статьи, подготовленная в текстовом редакторе Microsoft Word, предоставляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес: vestnik@ucp.by. Рисунки прилагаются дополнительно как отдельные файлы графического формата.

5. Материал статьи излагается в следующем порядке:

1) информация об авторах (на отдельном листе): фамилия, имя, отчество – полностью, ученая степень, ученое звание, место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны), должность, рабочий телефон, email (обязательно), имеющиеся персональные идентификационные номера в наукометрических базах (при этом обязательным является указание SPIN-кода РИНЦ, идентификатора ORCID). Если авторов несколько, указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;

2) номер УДК (универсальная десятичная классификация);

3) название статьи;

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

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

6) дата поступления статьи (месяц и год);

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Факультет заочного обучения

Проводит:

Подготовку по специальностям:

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

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

Факультет безопасности жизнедеятельности

Проводит:

Переподготовку лиц с высшим образованием по специальностям:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Семинары по образовательным программам:

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

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

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

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

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

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 6, № 1, 2022

Подписано в печать 25.02.2022.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 17,78. Уч.-изд. л. 16,58.
Тираж 110 экз. Заказ 016-2022.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/259 от 14.10.2016.
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.