



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал
Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси
(Journal of Civil Protection)
Том 7, № 2, 2023

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:

Ковтун Вадим Анатольевич, доктор технических 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; Бордак Сергей Сергеевич, кандидат военных наук; 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; Карпиленья Николай Васильевич, доктор военных 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); Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор; Мурзич Игорь Константинович, доктор военных наук, профессор; Пасовец Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент; 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: +37517 340-53-93 (главный редактор)
+37517 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», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

Ботян С.С., Жамойдик С.М., Олесиук Н.М. Анализ методов оценки огнестойкости стальных строительных конструкций с учетом влияния теплообмена с примыкающими смежными конструкциями	131
Полева И.И., Жамойдик С.М., Зайнудинова Н.В., Нехань Д.С. Нормирование огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона	144
Суриков А.В., Зайнудинова Н.В., Бойко В.П., Гараев Ю.В. Оценка возможности применения динамического индентирования гипсовых плит для установления степени полученных в условиях пожара термических поражений конструкций	164
Аушев И.Ю., Балута А.С. Пути снижения количества дефектов сварных соединений при монтаже стальных вертикальных резервуаров цилиндрической конструкции для хранения нефти и нефтепродуктов	178
Шинкоренко К.Е., Грачулин А.В., Рябцев В.Н. Методика экспериментального определения режимов течения компрессионной пены	188
Говор Э.Г., Лихоманов А.О., Камлюк А.Н., Говор Т.А., Ярец В.А. Влияние гидродинамических параметров струи и геометрических параметров дужек и розетки оросителя на кратность пены	202
Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)	
Нахай Д.М., Миканович Д.С., Бусел М.О. Влияние скорости сдвига и температуры на динамическую вязкость раствора полимеров	215
Гражданская оборона	
Субботин М.Н., Цинкевич О.И., Ольга Н.М. Вооруженная защита Родины как одна из функций спасателей в военное время.....	222
Безопасность в чрезвычайных ситуациях (психологические науки)	
Шершнева Н.В. Факторы риска развития профессионального выгорания у руководителей силовых ведомств	231
Подготовка специалистов в области предупреждения и ликвидации ЧС	
Ковалева Т.Г., Дементьева Т.Г. Развитие критического мышления и творческих способностей специалистов в процессе иноязычного образования.....	238
Правила предоставления статей	247

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

Botyan S.S., Zhamoydik S.M., Olesiyuk N.M. Analysis of evaluation methods of fire resistance of steel building structures, taking into account the effect of heat transfer with adjacent structures 131

Palevoda I.I., Zhamoydik S.M., Zaynudinova N.V., Nekhan' D.S. Regulation of the fire resistance of modern building structures of reinforced concrete 144

Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Boyko V.P., Garaev Yu.V. Evaluation of the possibility of using dynamic indentation of gypsum boards to determine the degree of thermal damage to structures received under fire conditions 164

Shinkorenko K.E., Grachulin A.V., Ryabtsev V.N. Methods of experimental determination of compression foam flow regimes 178

Aushev I.Yu., Baluta A.S. Ways to reduce the number of defects in welded joints during installation of steel vertical tanks of cylindrical structure for storage of oil and petroleum products 188

Govor E.G., Govor T.A., Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N., Yarets V.A. Influence of hydrodynamic parameters of the jet and geometric parameters of the frame arm and deflector of the sprinkler on foam expansion rate 202

Safety in emergencies (technical sciences)

Nakhay D.M., Mikanovich D.S., Busel M.O. Influence of shear rate and temperature on the dynamic viscosity of a polymer solution..... 215

Civil defense

Subbotin M.N., Tsinkevich O.I., Ol'kha N.M. Armed defense of the Motherland as one of the functions of rescuers in wartime 222

Safety in emergencies (psychological sciences)

Shershneva N.V. Risk factors for occupational burnout among heads of law enforcement agencies 231

Training of specialists in the field of prevention and elimination of emergencies

Kovaleva T.G., Dement'eva T.G. Development of critical thinking and creative abilities of specialists in the process of foreign language education 238

Rules of submitting articles for publication 247

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООБМЕНА С ПРИМЫКАЮЩИМИ СМЕЖНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Ботян С.С., Жамойдик С.М., Олесиук Н.М.

Цель. Провести анализ методов оценки несущей способности стальных конструкций с учетом теплообмена с примыкающими смежными строительными элементами.

Методы. Моделирование в системе конечно-элементного анализа, теоретический анализ.

Результаты. В системе конечно-элементного анализа ANSYS решена теплотехническая задача огнестойкости стальных огнезащищенных конструкций с учетом примыкания бетонного покрытия. Проведен анализ методов оценки несущей способности стальных конструкций с учетом теплообмена с примыкающими смежными строительными элементами. Определены преимущества и недостатки рассмотренных методов: методы могут учитывать примыкание смежных строительных конструкций как идеальную теплоизоляцию со стороны примыкания; путем применения повышающих коэффициентов огнестойкости в случаях, когда температура стального сечения или его элементарных площадок превышает 400 °С.

Некоторые из рассмотренных методов учитывают теплообмен с примыкающими смежными элементами путем введения коэффициентов для примыкающих элементов из бетона или композитных плит. При этом стальные конструкции могут примыкать также к элементам из других материалов. Принимаемая температура для определения коэффициента снижения предела текучести согласно проанализированным источникам приводит к получению отличающихся значений несущей способности, что свидетельствует о необходимости проведения экспериментальных исследований для уточнения оптимальных значений принимаемой температуры.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть использованы для решения задач огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой наружной поверхности с учетом теплообмена со смежными строительными конструкциями и элементами при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

Ключевые слова: огнестойкость, смежные элементы, несущая способность, стандартный температурный режим, стальные конструкции, метод конечных элементов.

(Поступила в редакцию 21 февраля 2023 г.)

Введение

В современном мире строительство развивается высокими темпами. Технологии позволяют возводить здания различных типов с использованием доступных строительных материалов и элементов. Одними из наиболее распространенных строительных конструкций являются стальные.

Для применяемых конструкций в целях обеспечения их безопасности предъявляется ряд требований. Одним из рассматриваемых показателей, нормируемых для строительных конструкций, является огнестойкость. Основные задачи огнестойкости: обеспечение эвакуации и спасение людей, обеспечение для прибывших подразделений безопасных условий для ликвидации пожара. Прогрев конструкций приводит к снижению прочностных и деформационных характеристик, из-за чего конструкция может достичь предельного состояния, а это может повлечь гибель людей, а также значительный материальный ущерб [1]. Поэтому обеспечение требуемой огнестойкости указанных конструкций является важной и актуальной задачей.

Под огнестойкостью в данной статье подразумевается способность конструктивной системы, ее части или отдельной конструкции выполнять требуемые функции (несущую и (или) ограждающую) в течение установленной продолжительности регламентируемого

пожара при заданном уровне нагрузки¹. Один из критериев огнестойкости конструкций – наступление предельного состояния по несущей способности. Несущая способность при пожаре определяется потерей прочности или устойчивости конструкции [2].

Настоящая статья посвящена огнестойкости стальных конструкций. При воздействии пожара на стальную конструкцию со всех сторон при упрощенном методе расчета принимается, что конструкция прогревается равномерно, и температура в расчетном сечении имеет одинаковое значение. Однако нередко встречаются конструкции, которые могут примыкать к смежным строительным элементам (железобетонным плитам, сэндвич-панелям и др.). Ввиду примыкания элементов друг к другу происходит уменьшение обогреваемого периметра. Ввиду осуществления теплообмена со смежными примыкающими элементами прогрев стальных конструкций будет происходить неравномерно по стальному сечению. Вследствие теплообмена со смежными элементами происходит снижение температуры стального сечения и увеличение несущей способности. В настоящее время в расчетных моделях неравномерный прогрев стального сечения учитывается косвенно, а для ряда конструкций не учитывается вовсе. Учет теплообмена с примыкающими смежными элементами может снизить расчетную температуру стального сечения и, как следствие, уменьшить необходимую толщину огнезащитных средств и материалов. Поэтому разработка методов оценки огнестойкости стальных строительных конструкций с учетом влияния теплообмена с примыкающими смежными конструкциями является важной и актуальной задачей.

Основная часть

В настоящее время широко используется ряд методов оценки несущей способности стальных строительных конструкций. В общем случае указанные методы применяются для конструкций, подвергающихся равномерному прогреву.

Существует ряд методов оценки несущей способности конструкций, которые косвенно учитывают неравномерность прогрева стального сечения. При оценке несущей способности конструкций при неравномерном прогреве стального сечения существует несколько вариантов принимаемой для расчетов температуры стального сечения:

- средняя температура стального сечения (сталь принимается как материал с высокой теплопроводностью)²;
- максимальная температура в сжатой полке³;
- средняя температура в наиболее напряженной полке⁴.

Указанные варианты принимаемой для расчетов температуры стального сечения дают разные значения огнестойкости стальных конструкций при одинаковом температурном и геометрическом воздействии пожара и величине нагрузки, а в ряде случаев не дают возможности оценить огнестойкость стальных конструкций расчетным методом.

Классически расчетная оценка несущей способности стальных конструкций осуществляется с использованием упрощенных методов расчета, основанных на расчете теплоемкости системы без учета теплопотерь в смежные конструкции [3; 4]; при этом в ряде

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

² 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. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012. – 40 с.

³ 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.

⁴ Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 ТУ 5762-050-45757203-15 и клея CONLIT Glue ТУ 2252-018-52935415-2010: утв. зам. нач. ФГБУ ВНИИПО МЧС России 19.01.2011. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2011. – 32 с.

нормативных документов допускается использовать более подробные, так называемые общие методы расчета⁵. Общие методы расчета подразумевают наличие данных о распределении температур в стальном сечении. В силу сложности математического аппарата общего метода расчета в случае необходимости решения дифференциального уравнения теплопроводности методом конечных элементов данная задача может быть выполнена с использованием программных комплексов, например ANSYS [5].

Упрощенные методы в настоящее время широко используются при расчете огнестойкости стальных конструкций, которые могут быть подвержены при пожаре температурному воздействию со всех сторон и для которых нет необходимости получать распределение температур в пределах стального сечения, дают достаточно хорошее совпадение с результатами экспериментальных исследований прогрева этих конструкций [3].

Однако существуют конструкции, которые могут примыкать к смежным строительным элементам и, соответственно, при температурном воздействии на которые распределение температур в стальном сечении будет неравномерным ввиду ограничения периметра температурного воздействия, а также теплообмена с примыкающими смежными элементами. В таких случаях целесообразно использование общего метода расчета.

Оценка несущей способности таких конструкций осуществляется на основании ряда методов. В настоящей работе проанализированы методы оценки несущей способности стальных строительных конструкций, приведенные в п. 4.2.3 ТКП EN 1993-1-2-2009 (02250)⁶ (далее – Еврокод 3).

Метод 1 – оценка несущей способности при равномерном распределении температуры – применяется для стальных конструкций 1, 2 и 3-го класса сечений⁷ с использованием формулы:

$$M_{pl,Rd,fi} = \chi_{LT,fi} W_f k_y / \gamma_{M,fi}, \quad (1)$$

где $\chi_{LT,fi}$ – понижающий коэффициент для учета местной потери устойчивости вследствие кручения с изгибом при расчетном пожаре;

W_{pl} – момент сопротивления, м³;

f_y – предел текучести стали, МПа;

k_y – коэффициент снижения предела текучести стали при температуре конструкции θ ;

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

Метод 2 – оценка несущей способности при неравномерном распределении температуры – применяется для стальных конструкций с сечениями 1-го и 2-го класса, учитывает неравномерность прогрева стального сечения, но не учитывает потерю устойчивости, подразумевает разбиение стального сечения на элементарные площадки (для рассматриваемых конструкций принято согласно рисунку 1) и применяется для стальных конструкций 1-го и 2-го класса сечений с использованием формулы:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i z_i k_{y,\theta,i} f_{y,i} / \gamma_{M,fi}, \quad (2)$$

где A_i – площадь i -й элементарной площадки;

z_i – расстояние от нейтральной оси сечения до центра тяжести i -й элементарной площадки при пластических деформациях;

⁵ См. сноску 3.

⁶ См. сноску 3.

⁷ 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: Минстройархитектуры, 2010. – 85 с.

$k_{y,\theta,i}$ – коэффициент снижения предела текучести стали i -й элементарной площадки при средней температуре θ_a , достигаемой в момент времени t (определяется методом линейной интерполяции);

$f_{y,i}$ – предел текучести стали i -й элементарной площадки, МПа.

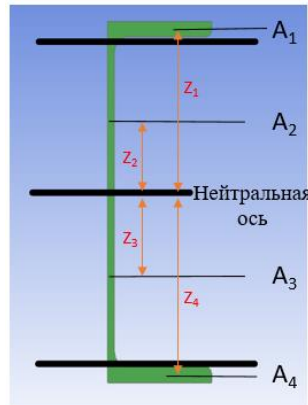


Рисунок 1. – Разбиение стального сечения на элементарные площадки

Метод 3 – оценка несущей способности при неравномерном распределении температуры – позволяет учесть теплообмен с элементами из бетона или композитного материала (материала, изготовленного из двух и более материалов с существенно различными физическими и химическими свойствами) путем введения коэффициентов, учитывающих неравномерность распределения температуры как по длине, так и по ширине конструкции:

$$M_{f_i,t,Rd} = \frac{M_{f_i,\theta,Rd}}{k_1 k_2} = \frac{\chi_{LT,f_i} W f_y k_y}{\gamma_{m_0 f_i} k_1 k_2}, \quad (3)$$

где $M_{f_i,\theta,Rd}$ – расчетное сопротивление поперечного сечения изгибающему моменту при равномерном распределении температуры θ_a , равной равномерно распределенной температуре в момент времени t в поперечном сечении, не подвергающемся тепловому воздействию в месте расположения опор;

k_1 – поправочный коэффициент для учета неравномерного распределения температуры по ширине поперечного сечения⁸;

k_2 – поправочный коэффициент для учета неравномерного распределения температуры по длине конструкции⁹.

В целях определения применимости указанных методов с точки зрения обеспечения несущей способности стальных строительных конструкций при минимальной толщине огнезащитных средств проведен анализ указанных методов на примере швеллеров 18У (класс сечения 1), 20У (класс сечения 1) и 22У (класс сечения 1)¹⁰, примыкающих к бетонному покрытию толщиной 100 и 200 мм, внутренняя полость конструкций заполнена каменной ватой, а по свободному периметру конструкции защищены слоем цементно-песчаной штукатурки толщиной 30 мм (рис. 2). Анализ проводился с использованием различных расчетных сценариев – как с идеальной теплоизоляцией со стороны примыкания к смежным элементам, так и с учетом теплообмена с примыкающими смежными элементами. Рассматриваемое время стандартного температурного воздействия на указанные конструкции – 45, 60 и 90 мин.

⁸ См. сноску 3.

⁹ См. сноску 3.

¹⁰ Межгосударственный стандарт. Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент: ГОСТ 8240-97. – Введ. 01.01.02. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 6 с.

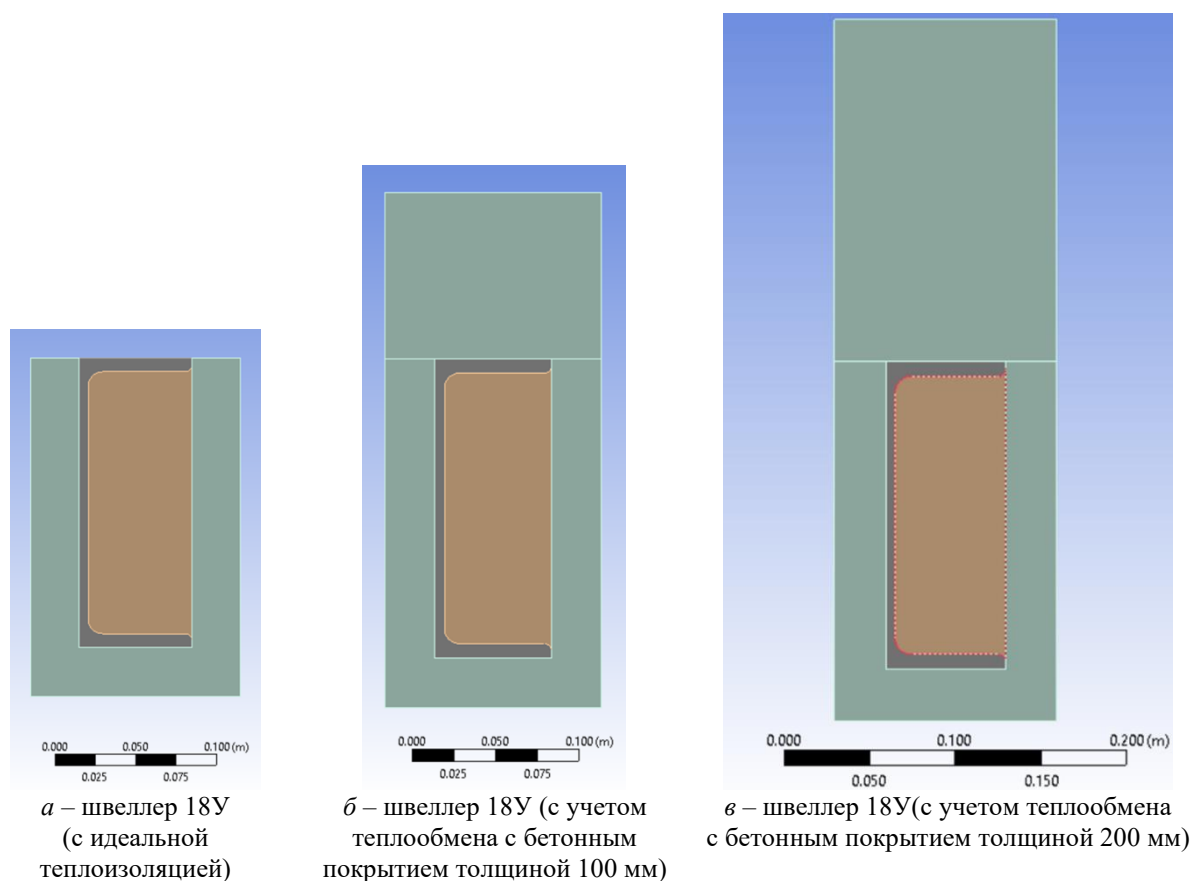


Рисунок 2. – Модели рассматриваемых конструкций на примере швеллера 18У

Распределение температуры стального сечения получено при моделировании прогрева в программном комплексе ANSYS. При разработке моделей (в данной статье под моделью следует понимать расчетную ситуацию) для каждой из них установлены:

1) начальные условия: температура в расчетном сечении одинакова и равна температуре окружающей среды;

2) граничные условия (для теплообмена между газовой средой пожара и поверхностью конструкции, подвергнутой огневому воздействию, граничные условия приняты 3-го рода; для теплообмена между материалами, примыкающими друг к другу, – 4-го рода):

– температура греющей среды принята равной изменению стандартного температурного режима¹¹;

– коэффициент теплоотдачи конвекцией от нагревающей среды к поверхности конструкции равен $25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$;

– степень черноты поверхности материалов принята равной: 0,87 [7] для цементно-песчаной штукатурки, 0,7 для бетона¹² и 1,0 для пламени¹³ (греющей среды);

– для контура примыкания огнезащитного состава к стальному сечению принят идеальный тепловой контакт (равенство плотности теплового потока для двух тел);

– потерями тепла по торцам конструкции (по длине) пренебрегали (тепловой поток принят равным нулю), в запас безопасности.

Теплофизические характеристики материалов приняты для стали согласно Еврокоду 3, для бетона согласно ТКП EN 1992-1-2 (02250) (далее – Еврокод 2), для цементно-

¹¹ Межгосударственный стандарт. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования: ГОСТ 30247.0-94. – Введ. 01.10.98. – Взамен СТ СЭВ 1000-78. – Минск: Минстройархитектуры, 1998. – 16 с.

¹² 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.

¹³ См. сноску 3.

песчаной штукатурки и каменной ваты плотностью 135 кг/м³ [8] представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1. – Характеристики цементно-песчаной штукатурки

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)	Коэффициент теплоемкости, Дж/(кг×К)
Цементно-песчаная штукатурка	1930	0,96-0,00044×t	598+0,63×t

Таблица 2. – Характеристики каменной ваты Фасад 12 Белтеп

Наименование материала	Температура, °С	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)	Коэффициент теплоемкости, Дж/(кг×К)
Каменная вата	20	135,000	0,0360	880
	100	135,000	0,0470	1040
	200	132,300	0,8876	1160
	400	131,895	0,1723	1280
	600	131,355	0,2873	1355
	800	130,950	0,4406	1430
	925	129,600	0,5747	1477
	1200	119,745	0,8626	1580

Для анализа вышеописанных методов разработано 6 расчетных моделей:

Модель 1 реализуется применением метода 1 Еврокода 3, со стороны примыкания смежного элемента принята идеальная теплоизоляция. Для расчета принимались следующие температуры стального сечения:

- средняя температура сечения;
- максимальная температура сжатой полки;
- средняя температура наиболее напряженной полки (для рассматриваемых конструкций в качестве наиболее напряженной полки принята нижняя полка, т.к. ее температура выше и, соответственно, несущая способность полки как элемента ниже).

Модель 2 также реализуется применением метода 1, однако со стороны примыкания к бетонному покрытию учтен теплообмен стального сечения с бетонным покрытием. Для расчета принимались следующие температуры стального сечения:

- средняя температура сечения;
- максимальная температура сжатой полки;
- средняя температура наиболее напряженной полки (для рассматриваемых конструкций в качестве наиболее напряженной полки принята нижняя полка, т.к. ее температура выше и, соответственно, несущая способность полки как элемента ниже).

Модель 3 реализуется применением метода 2 Еврокода 3, со стороны примыкания смежного элемента принята идеальная теплоизоляция. Разбиение на элементарные площадки осуществлено согласно рисунку 1. Для расчета принята средняя температура элементарной площадки.

Модель 4 реализуется применением метода 2 Еврокода 3, со стороны примыкания смежного элемента учтен теплообмен с примыкающим смежным бетонным покрытием. Разбиение на элементарные площадки осуществлено согласно рисунку 1. Для расчета принята средняя температура элементарной площадки.

Модель 5 учитывает теплообмен с примыкающим элементом путем введения коэффициента k_1 ¹⁴. При расчете использованы данные несущей способности, полученные в модели 1.

¹⁴ См. сноску 3.

Модель 6 учитывает теплообмен с примыкающим элементом путем введения коэффициента k_1 ¹⁵. При расчете использованы данные несущей способности, полученные в модели 3.

Результаты оценки несущей способности приведены в таблице 3.

Таблица 3. – Результаты оценки несущей способности рассматриваемых конструкций согласно методам Еврокода 3 ($\chi_{LT,fi} = 1$; $k_1 = 0,85$)

Номер и серия швеллера ¹⁶	Время температурного воздействия, мин	Расчетное сопротивление изгибающему моменту, $M_{fi,t,Rd}$, кН/м					
		Коэффициент снижения предела текучести принят по температурным значениям согласно средней температуре / максимальной температуре в сжатой полке / средней температуре полки					
		Метод 1		Метод 2		Метод 3	
		Модель 1 (с идеальной теплоизоляцией со стороны периметра примыкания)	Модель 2 (с учетом теплообмена с бетонной плитой)	Модель 3 (с идеальной теплоизоляцией со стороны периметра примыкания)	Модель 4 (с учетом теплообмена с бетонной плитой)	Модель 5 (теплообмен учтен посредством расчета как с идеальной теплоизоляцией модели 1 введением коэффициента)	Модель 6 (теплообмен учтен посредством расчета как с идеальной теплоизоляцией модели 3 введением коэффициента)
		Толщина бетонной плиты перекрытия 100 мм					
18У	45	34,2 / 34,2 / 31,6	34,2 / 34,2 / 32,0	32,7 / – / –	33,0 / – / –	40,2 / 40,2 / 37,1	38,5 / – / –
	60	27,0 / 30,0 / 22,5	32,2 / 34,2 / 23,6	26,3 / – / –	29,0 / – / –	31,7 / 35,3 / 26,5	30,9 / – / –
	90	11,8 / 14,8 / 8,6	20,3 / 30,7 / 10,1	11,8 / – / –	20,5 / – / –	13,9 / 17,4 / 10,1	13,8 / – / –
20У	45	43,0 / 43,0 / 39,9	43,0 / 43,0 / 40,2	41,2 / – / –	41,4 / – / –	50,6 / 50,6 / 46,9	48,5 / – / –
	60	34,7 / 38,6 / 28,6	41,2 / 43,0 / 29,3	33,6 / – / –	36,2 / – / –	40,8 / 45,4 / 33,7	39,5 / – / –
	90	15,9 / 19,8 / 11,2	26,9 / 39,6 / 12,3	15,7 / – / –	25,9 / – / –	18,7 / 23,3 / 13,2	18,5 / – / –
22У	45	53,9 / 53,9 / 50,8	53,9 / 53,9 / 51,1	52,3 / – / –	52,5 / – / –	63,4 / 63,4 / 59,8	61,5 / – / –
	60	43,3 / 50,0 / 37,0	51,5 / 53,9 / 37,7	43,6 / – / –	46,1 / – / –	51,0 / 58,8 / 43,6	51,3 / – / –
	90	20,8 / 27,3 / 14,9	33,4 / 51,3 / 15,9	21,3 / – / –	33,2 / – / –	24,5 / 32,2 / 17,5	25,0 / – / –
		Толщина бетонной плиты перекрытия 200 мм					
18У	45	34,2 / 34,2 / 31,6	34,2 / 34,2 / 32,0	32,7 / – / –	33,0 / – / –	40,2 / 40,2 / 37,1	38,5 / – / –
	60	27,0 / 30,0 / 22,5	34,2 / 34,2 / 23,6	26,3 / – / –	29,0 / – / –	31,7 / 35,3 / 26,5	30,9 / – / –
	90	11,8 / 14,8 / 8,6	20,4 / 30,7 / 10,1	11,8 / – / –	20,7 / – / –	13,9 / 17,4 / 10,1	13,8 / – / –
20У	45	43,0 / 43,0 / 39,9	43,0 / 43,0 / 40,2	41,2 / – / –	41,4 / – / –	50,6 / 50,6 / 46,9	48,5 / – / –
	60	34,7 / 38,6 / 28,6	43,0 / 43,0 / 29,4	33,6 / – / –	36,3 / – / –	40,8 / 45,4 / 33,7	39,5 / – / –
	90	15,9 / 19,8 / 11,2	26,9 / 39,7 / 12,3	15,7 / – / –	25,9 / – / –	18,7 / 23,3 / 13,2	18,5 / – / –
22У	45	53,9 / 53,9 / 50,8	53,9 / 53,9 / 51,1	52,3 / – / –	52,5 / – / –	63,4 / 63,4 / 59,8	61,5 / – / –
	60	43,3 / 50,0 / 37,0	53,9 / 53,9 / 37,7	43,6 / – / –	46,1 / – / –	51,0 / 58,8 / 43,6	51,3 / – / –
	90	20,8 / 27,3 / 14,9	33,5 / 51,4 / 15,9	21,3 / – / –	33,4 / – / –	24,5 / 32,2 / 17,5	25,0 / – / –

Как видно из таблицы 3, для рассматриваемых конструкций и рассматриваемого времени температурного воздействия разница значений несущей способности при примыкании бетонного покрытия толщиной 100 и 200 мм составляет не более 1 %, что свидетельствует о незначительном влиянии увеличения толщины бетонного покрытия с 100 до 200 мм для рассматриваемых конструкций при заданных параметрах моделирования прогрева.

¹⁵ См. сноску 3.

¹⁶ См. сноску 10.

При температурном воздействии 45 мин разница в значениях несущей способности модели 1 и модели 2 практически отсутствует. Это связано с тем, что для указанного времени температурного воздействия температура стального сечения не будет превышать 400 °С, соответственно, применяется коэффициент снижения предела текучести, равный 1. При этом стоит подчеркнуть, что применение метода 3 в моделях 5 и 6 с учетом значения коэффициента снижения предела текучести, равного 1, приводит к отличающимся значениям несущей способности на 17–18 %.

Для определения и уточнения рассмотренных методов проведен ряд экспериментальных исследований.

Стоит отметить, что в строительстве могут применяться конструкции, несущую способность которых как цельной конструктивной системы нецелесообразно оценивать по методам Еврокода 3 (рис. 3).

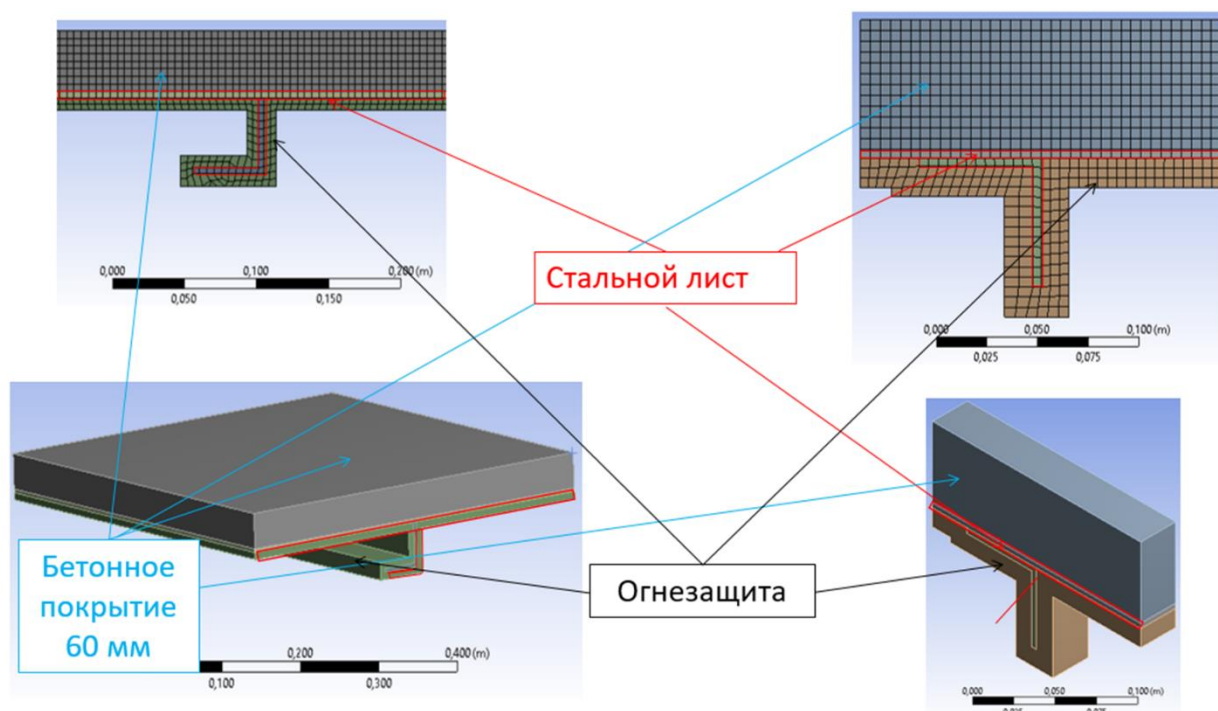


Рисунок 3. – Пример нестандартной конструкции

Конструкция представляет собой стальной лист, усиленный уголком 70×70×6 мм. Стальной лист примыкает к бетонному покрытию толщиной 60 мм.

Для указанной конструкции на основании разработанных моделей рассмотрены 3 расчетные модели:

- модель 1 с использованием метода 1, при этом со стороны примыкания бетонного покрытия принята идеальная теплоизоляция;
- модель 2 с использованием метода 1, при этом со стороны примыкания бетонного покрытия учтен теплообмен стального сечения с бетонным покрытием;
- модель 5 – теплообмен учтен посредством расчета как с идеальной теплоизоляцией модели 1 введением коэффициента.

Результаты оценки несущей способности приведены в таблице 4 по аналогии с таблицей 2 для удобства анализа.

Проанализировав данные, указанные в таблице 4, отметим, что полученные значения несущей способности при идеальной теплоизоляции со стороны примыкания и при теплообмене с примыкающим элементом отличаются более чем в 3,5 раз, что также свидетельствует о необходимости проведения дальнейших исследований рассмотренных

методов с целью оптимальной оценки несущей способности, а также проведения экспериментальных исследований.

Таблица 4. – Результаты оценки несущей способности нестандартной конструкции согласно методам Еврокода 3

Сортамент конструкции	Время температурного воздействия, мин	Расчетное сопротивление изгибающему моменту, кН/м					
		Коэффициент снижения предела текучести принят по температурным значениям согласно средней температуре					
		Метод 1		Метод 2		Метод 3	
		Модель 1 (с идеальной теплоизоляцией со стороны периметра примыкания)	Модель 2 (с учетом теплообмена с бетонной плитой)	Модель 3 (с идеальной теплоизоляцией со стороны периметра примыкания)	Модель 4 (с учетом теплообмена с бетонной плитой)	Модель 5 (теплообмен учтен посредством расчета как с идеальной теплоизоляцией модели 1 введением коэффициента)	Модель 6 (теплообмен учтен посредством расчета как с идеальной теплоизоляцией модели 3 введением коэффициента)
		Толщина бетонной плиты перекрытия 60 мм					
Составная конструкция	60	1,60	5,23	–	–	1,88	–

Заключение

В системе конечно-элементного анализа ANSYS решена теплотехническая задача огнестойкости стальных огнезащищенных конструкций с учетом примыкания бетонного покрытия на примере ряда конструкций. Проведен анализ представленных в п. 4.2.3 Еврокода 3¹⁷ методов оценки несущей способности стальных конструкций с учетом теплообмена с примыкающими смежными строительными элементами. Определены преимущества и недостатки рассмотренных методов. В соответствии с результатами моделирования прогрева стальных конструкций, а также оценки несущей способности рассматриваемых конструкций отметим следующее.

1. Метод 1 может учитывать примыкание смежных строительных конструкций как идеальную теплоизоляцию со стороны примыкания.

2. Результаты, полученные при применении метода 2, будут соответствовать результатам, полученным при применении метода 1.

3. Теплообмен с примыкающими смежными элементами в методе 1 и методе 2 может быть учтен при применении метода 3. Однако стоит отметить, что применение метода 3 в случаях, когда температура стального сечения или его элементарных площадок не превышает 400 °С, применение коэффициентов, учитывающих примыкание смежных элементов, является нецелесообразным, т.к. в указанном случае значение коэффициента снижения предела текучести равно 1.

4. Метод 3 учитывает теплообмен только с композитными плитами и бетонными примыкающими смежными элементами путем введения коэффициентов k_1 и k_2 , учитывающих неравномерность распределения температур по стальному сечению и по длине балки соответственно. При этом стальные конструкции могут примыкать также к элементам из других материалов (пример – сталебетон).

ЛИТЕРАТУРА

1. Худина, К.И. Оценка предела огнестойкости несущих конструкций в условиях внутреннего пожара / К.И. Худина // Инновационная наука. – 2021. – № 4. – С. 76–79. – EDN: NVDXJS.
2. Жамойдик, С.М. Табличные данные для оценки огнестойкости изгибаемых стальных балок без огнезащиты / С.М. Жамойдик, К.В. Шкараденко, С.Ф. Лященко // Вестник Университета

¹⁷ См. сноску 3.

- гражданской защиты МЧС Беларуси – 2022. – Т. 6, № 1. – С. 58–73. – DOI: 10.33408/2519-237X. 2022.6-1.58. – EDN: SJFSSC.
3. Жамойдик, С.М. Огнестойкость стальных колонн с конструктивной огнезащитой: дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / С.М. Жамойдик. – Минск, 2017. – 129 л.
 4. Ботян, С.С. Оценка нагрева стальных несущих элементов здания с учетом примыкающих конструкций / С.С. Ботян [и др.] // Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве: сб. материалов VII Междунар. заочной науч.-практ. конф., Минск, 23 дек. 2020 г. – Минск: УГЗ, 2021. – С. 15.
 5. Голованов, В.И. Оценка огнестойкости стальных конструкций при нормируемых температурных режимах пожара / В.И. Голованов, Г.И. Крючков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 3. – С. 52–60. – DOI: 10.25257/FE.2021.3.52-60. – EDN: HGFXQF.
 6. Гравит, М.В. Оценка порового пространства пенококса огнезащитных вспучивающихся покрытий / М.В. Гравит // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 5. – С. 33–37. – EDN: QIYYTX.
 7. Яковлев, А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А.И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
 8. Schleifer, V. Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall: dissertation ETH Nr. 18156 / V. Schleifer. – Zürich, 2009. – 147 s. (deu). – DOI: 10.3929/ethz-a-005771863.

Анализ методов оценки огнестойкости стальных строительных конструкций с учетом влияния теплообмена с примыкающими смежными конструкциями

Analysis of evaluation methods of fire resistance of steel building structures, taking into account the effect of heat transfer with adjacent structures

Ботян Сергей Сергеевич

кандидат технических наук

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. Botyan

PhD in Technical Sciences

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

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

Олесьюк Николай Михайлович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», сектор международного сотрудничества, начальник сектора

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

Email: nikolai-96@tut.by

ORCID: 0000-0001-5925-1371

Nikolay M. Olesiyuk

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», International Cooperation Sector, Head of Sector

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

Email: nikolai-96@tut.by

ORCID: 0000-0001-5925-1371

ANALYSIS OF EVALUATION METHODS OF FIRE RESISTANCE OF STEEL BUILDING STRUCTURES, TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF HEAT TRANSFER WITH ADJACENT STRUCTURES

Botyan S.S., Zhamoydik S.M., Olesiyuk N.M.

Purpose. To analyze the methods for assessing the bearing capacity of steel structures, taking into account heat exchange with adjacent building elements.

Methods. Modeling in the system of finite element analysis, theoretical analysis.

Findings. The ANSYS finite element analysis system has solved the heat engineering task of fire resistance of steel fire-protected structures, taking into account the adjoining concrete coating. The analysis of methods of assessing the bearing capacity of steel structures is carried out, taking into account heat exchange with adjacent building elements. The advantages and disadvantages of the considered methods are determined: the methods can take into account the adjoining of adjacent building structures as an ideal thermal insulation from the adjoining side; by applying increasing fire resistance coefficients in cases where the temperature of the steel section or its elementary areas does not exceed 400 °C.

Some of the considered methods take into account heat exchange with adjoining adjacent elements by introducing coefficients for adjoining elements made of concrete or composite slabs. At the same time, steel structures can also adjoin elements made of other materials. The accepted temperature for determining the coefficient of yield strength reduction according to the analyzed sources leads to different values of the bearing capacity, which indicates the need for experimental studies to clarify the optimal values of the accepted temperature.

Application field of research. The results obtained can be used to solve the problems of fire resistance of steel structures with fire protection of the outer surface, taking into account heat exchange with adjacent building structures and elements in the design and construction of buildings and structures.

Keywords: fire resistance, adjacent elements, bearing capacity, standard temperature conditions, steel structures, finite element method.

(The date of submitting: February 21, 2023)

REFERENCES

1. Khudina K.I. Otsenka predela ognestoykosti nesushchikh konstruktsiy v usloviyakh vnutrennego pozhara [Assessment of the fire resistance limit of load-bearing structures in an internal fire]. *Innovatsionnaya nauka*, 2021. No. 4. Pp. 76–79. (rus). EDN: NVDXJS.
2. Zhamoydik S.M., Shkaradenok K.V., Lyashchenko S.F. Tablichnye dannye dlya otsenki ognestoykosti izgibaemykh stal'nykh balok bez ognezashchity [Tabular data for estimating the fire resistance of bendable steel beams without fire protection]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol. 6, No. 1. Pp. 58–73. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-1.58. EDN: SJFSSC.
3. Zhamoydik S.M. *Ognestoykost' stal'nykh kolonn s konstruktivnoy ognezashchitoy* [Fire resistance of steel columns with structural fire protection]: PhD tech. sci. diss.: 05.26.03. Minsk, 2017. 129 p. (rus)
4. Botyan S.S., Kudryashov V.A., Zhamoydik S.M., Kreer L.A., Olesiyuk N.M., Pischenkov I.A. Otsenka nagreva stal'nykh nesushchikh elementov zdaniya s uchetom primyayushchikh konstruktsiy [Evaluation of heating of steel bearing elements of a building with regard to adjoining structures]. *Proc. VIII Intern. correspondence scientific-practical conf. «Problemy obespecheniya bezopasnosti lyudey pri pozhare i vzryve»*, Minsk, December 23, 2020. Minsk: University of Civil Protection, 2021. Pp. 15. (rus)
5. Golovanov V.I., Kryuchkov G.I. Otsenka ognestoykosti stal'nykh konstruktsiy pri normiruemykh temperaturnykh rezhimakh pozhara [Steel structures fire resistance assessment under standardized fire temperature regimes]. *Fires and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2021. No. 3. Pp. 52–60. (rus). DOI: 10.25257/FE.2021.3.52-60. EDN: HGFYQF.
6. Gravit M.V. Otsenka porovogo prostranstva penokoksa ognezashchitnykh vspuchivayushchikhsya pokrytiy [Evaluation of pore space foam coke of intumescent fire retardant coating]. *Fire and explosion safety*, 2013. No. 5. P. 33–37. (rus). EDN: QIYYTX.

7. Yakovlev A.I. *Raschet ognestoykosti stroitel'nykh konstruksiy* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 143 p. (rus)
8. Schleifer, V. Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall: dissertation ETH Nr. 18156. Zürich, 2009. 147 s. (deu). DOI: 10.3929/ethz-a-005771863.

НОРМИРОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Полева И.И., Жамойдик С.М., Зайнудинова Н.В., Нехань Д.С.

Цель. На основании разработанной комплексной методики расчета пределов огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона получить табличные данные по оценке огнестойкости железобетонных стен, колонн, балок и плит, учитывающие наличие воздушной полости, класс бетона, вид заполнителя, предварительное напряжение арматуры, а также наличие конструктивной огнезащиты на основе огнестойких гипсовых плит и огнестойких подвесных потолков.

Методы. Анализ и обобщение результатов расчета пределов огнестойкости железобетонных строительных конструкций по разработанной на основе экспериментальных (лабораторные и огневые, в том числе натурные) и теоретических исследований методике.

Результаты. Разработаны правила определения пределов огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона, основанные на упрощенном использовании табличных данных, которые позволяют обеспечить пожарную безопасность зданий и сооружений путем оценки предела огнестойкости незащищенных железобетонных строительных конструкций и подбора параметров конструктивной огнезащиты для его повышения.

Область применения исследований. Полученные результаты могут применяться при разработке норм проектирования и конструирования железобетонных конструкций, 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, температурное поле, огнезащита, плита гипсовая, огнестойкий подвесной потолок.

(Поступила в редакцию 10 апреля 2023 г.)

Введение

Рассмотренные в нормативных правовых актах теоретические и экспериментальные исследования огнестойкости позволяют решить задачу по определению пределов огнестойкости железобетонных конструкций. Вместе с тем с учетом активно развивающейся отрасли строительства существующие подходы по определению пределов огнестойкости не могут быть достоверно применены для ряда современных строительных конструкций из железобетона. Так, до недавнего времени в нормативных правовых актах и научной литературе отсутствовали обоснованные данные для расчета пределов огнестойкости железобетонных конструкций в части влияния прочности (класса бетона), состава бетонной смеси и технологий производства на поведение конструкций при пожаре. Для полых центрифугированных колонн дополнительно следует отметить отсутствие до недавнего времени обоснованных данных для расчета свойств бетона по сечению конструкции при пожаре и температурного поля в них, механизма разрушения при пожаре, а для железобетонных предварительно напряженных конструкций без сцепления арматуры с бетоном – значений критической температуры и механизма разрушения при пожаре. При этом для вышеперечисленных конструкций также отсутствовали методы оценки хрупкого взрывообразного разрушения при пожаре и инженерные методы расчета пределов огнестойкости, позволяющие учесть, помимо особенностей современных железобетонных конструкций, влияние конструктивной огнезащиты на их огнестойкость. Наличие указанных проблем требовало

проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований с разработкой новых и дополнением существующих правил расчета пределов огнестойкости.

На основании результатов экспериментальных [1–8] и теоретических исследований [9–18], выполненных с 1998 по 2022 г., по огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона разработаны расчетные модели по оценке огнестойкости железобетонных конструкций, в том числе с учетом огнезащиты, позволившие решить тепло-техническую и прочностную задачи расчета их огнестойкости. В итоге разработана комплексная методика и рассчитаны пределы огнестойкости современных конструкций из железобетона, сведенные в табличные данные, которые положены в основу правил расчета предела огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона.

Основная часть

На сегодня в мировой практике оценки огнестойкости сложились единые подходы к аналитическому определению пределов огнестойкости, основанные на использовании инженерных методов, включающих применение табличной информации, упрощенных и общих расчетных методик. В настоящей статье приведены табличные данные, позволяющие определить параметры отдельных строительных конструкций из железобетона, обеспечивающие предел огнестойкости в диапазоне от 30 до 240 мин. Значения пределов огнестойкости определены на основе обработки результатов огневых, в том числе натурных, испытаний, лабораторных исследований и расчетов, полученных для типовых конструкций.

Следует отметить, что в таблицах 2, 3, 5–10, 13, 15, 17 настоящей статьи приведены некоторые данные технических нормативных правовых актов. Их указание необходимо с целью модификации размеров железобетонных конструкций с силикатным заполнителем под карбонатный заполнитель, а также определения заложенной в указанных таблицах критической температуры арматуры для оценки в дальнейшем эффективности применения конструктивной огнезащиты. Сопоставление табличных значений указанных таблиц с данными других таблиц настоящей статьи позволяет провести сравнительную оценку минимальных размеров железобетонных конструкций, приведенных в таблицах ТКП EN 1992-1-2, со значениями для конструкций, табличные значения для которых в нем не приведены, а также со значениями, полученными при использовании конструктивной огнезащиты.

В таблицах приведены минимальные размеры конструкций для обеспечения их огнестойкости. Допускается линейная интерполяция по значениям, приведенным в таблицах. Некоторые табличные значения расстояний до оси арматуры¹ менее требуемых для защиты арматуры от коррозии, их следует применять для интерполяции при определении предела огнестойкости конструкций промежуточных размеров и для модификации при использовании высокопрочных бетонов.

При использовании табличных данных не требуется производить дополнительные проверки: сопротивления срезу и кручению; анкеровки; на хрупкое взрывообразное разрушение, за исключением случаев, когда расстояние до оси арматуры 70 мм и более.

Для обеспечения предела огнестойкости по предельному состоянию R приведенные в таблицах минимальные требования по размерам поперечного сечения и расстоянию до оси арматуры определены с учетом выполнения условия: $E_{d,fi} / R_{d,fi} \leq 1$ (где $E_{d,fi}$ – расчетный результат воздействия при пожаре; $R_{d,fi}$ – расчетное сопротивление при пожаре).

Высокопрочный бетон. Стойкость бетона при пожаре как нормируемый показатель не рассматривается, а оценивается непосредственно по пределу огнестойкости строительных конструкций, выполненных из него. Однако для учета прочности бетона применяются поправочные коэффициенты.

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. – 96 с.

Для обеспечения нормируемых пределов огнестойкости приведенные в таблицах минимальные расстояния от оси арматуры до поверхностей элемента для конструкций, изготавливаемых из бетонов классов $C^{55}/_{67} - C^{80}/_{95}$, следует умножать на поправочный коэффициент, приведенный в таблице 1.

Таблица 1. – Поправочные коэффициенты, учитывающие прочность бетона на сжатие²

Вид конструкции	Поправочный коэффициент в зависимости от класса бетона	
	$C^{55}/_{67} - C^{60}/_{75}$	$C^{70}/_{85} - C^{80}/_{95}$
Плоские конструкции с односторонним нагревом	1,1	1,3
В общем случае для всех конструкций	1,2	1,6

Для бетона класса $C^{90}/_{105}$, а также для высокопрочного бетона независимо от класса с содержанием микрокремнезема более 6 % от массы цемента характерно хрупкое взрывообразное разрушение при пожаре. Для конструкций, изготовленных из указанного бетона, следует применять один из следующих способов защиты³:

- дополнительное конструктивное армирование поверхностного слоя бетона со стороны нагрева арматурной сеткой с ячейками размером не менее 50×50 мм и диаметром арматуры 2 мм (толщина защитного слоя для дополнительной арматуры не менее 40 мм);
- применение бетонов, обеспечивающих целостность железобетонной конструкции при пожаре (эффективность примененных составов бетонной смеси необходимо подтвердить экспериментально);
- дополнительное конструктивное армирование поверхностного слоя бетона со стороны нагрева арматурной сеткой с размерами ячеек от 25 до 70 мм и диаметром арматуры от 0,5 до 1,0 мм (толщина защитного слоя для дополнительной арматуры не менее 15 мм);
- добавление в бетонную смесь не менее 2 кг/м^3 полипропиленовых волокон;
- нанесение на нагреваемую поверхность бетона огнезащитного покрытия, при котором не происходит хрупкое разрушение (огнезащитную эффективность покрытия необходимо подтвердить экспериментально);
- применением конструктивной огнезащиты со стороны нагреваемой поверхности бетона.

При невозможности обеспечения перечисленных способов защиты от хрупкого взрывообразного разрушения использование данных, приведенных в статье, не допускается.

Огнестойкость железобетонных стен. Огнестойкость несущих железобетонных стен считается обеспеченной, если параметры конструкции соответствуют приведенным в таблице 2. При этом отношение высоты несущей стены к ее толщине не должно превышать 40, как и в случае с ненесущими стенами. Значения минимальной толщины, приведенные в таблице 2, применимы для бетонных стен в связевых конструктивных системах.

Таблица 2. – Минимальные параметры железобетонных стен, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости⁴

Предел огнестойкости	Толщина δ_{\min}^* и расстояние до оси арматуры стен a , мм	Коэффициент расчетного уровня нагрузки при пожаре			
		$\eta_{fi} = 0,35$		$\eta_{fi} = 0,7$	
		односторонний обогрев	двухсторонний обогрев	односторонний обогрев	двухсторонний обогрев
REI 30	δ_{\min}	100 / 90	120 / 108	120 / 108	120 / 108
	a	10**	10**	10**	10**
REI 60	δ_{\min}	110 / 108	120 / 108	130 / 117	140 / 126
	a	10**	10**	10**	10**
REI 90	δ_{\min}	120 / 108	140 / 126	140 / 126	170 / 153
	a	20**	10**	25	25

² Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости: ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). – Взамен ПП-02 к СНБ 2.02.01-98. – Введ. 12.06.08. – Минск: Минсктипроект, 2008. – 126 с.

³ См. сноску 1.

⁴ См. сноску 1.

Продолжение таблицы 2

Предел огнестойкости	Толщина δ_{\min} * и расстояние до оси арматуры стен a , мм	Коэффициент расчетного уровня нагрузки при пожаре			
		$\eta_{fi} = 0,35$		$\eta_{fi} = 0,7$	
		односторонний обогрев	двухсторонний обогрев	односторонний обогрев	двухсторонний обогрев
REI 120	δ_{\min}	150 / 135	160 / 144	160 / 144	220 / 198
	a	25	25	35	35
REI 180	δ_{\min}	180 / 162	200 / 180	210 / 189	270 / 243
	a	40	45	50	55
REI 240	δ_{\min}	230 / 207	250 / 225	270 / 243	350 / 315
	a	55	55	60	60

Примечание. * Толщина стен δ_{\min} указана для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

** Предел огнестойкости обеспечивается при выполнении требований СП 5.03.01⁵ по защите арматуры от коррозии.

Огнестойкость железобетонных колонн. Огнестойкость железобетонных колонн в связевых конструктивных системах считается обеспеченной, если параметры конструкции соответствуют приведенным: в таблице 3 – для колонн сплошного сечения с обычной арматурой; таблице 4 – для центрифугированных колонн, при выполнении следующих условий: армирование $A_s \leq 0,04A_c$; эксцентриситет по теории первого порядка $e \leq 0,15h$ (или $0,15b$); расчетная длина колонны $l_0 \leq 3$ м (где A_s – площадь сечения арматуры; A_c – площадь поперечного сечения конструкции; h – высота колонны; b – ширина колонны), принимаемая равной как для нормальных условий.

Таблица 3. – Минимальные параметры колонн сплошного сечения, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости⁶

Предел огнестойкости	Ширина b_{\min} * и расстояние до оси арматуры a колонн, мм	Коэффициент расчетного уровня нагрузки при пожаре			
		нагрев более чем с одной стороны			нагрев с одной стороны
		$\eta_{fi} = 0,2$	$\eta_{fi} = 0,5$	$\eta_{fi} = 0,7$	$\eta_{fi} = 0,7$
R 30	b_{\min}	200 / 180	200 / 180	200 / 180	155 / 139,5
	a	25	25	32	25
	b_{\min}			300 / 270	
	a			27	
R 60	b_{\min}	200 / 180	200 / 180	250 / 225	155 / 139,5
	a	25	36	46	25
	b_{\min}		300 / 270	350 / 315	
	a		31	40	
R 90	b_{\min}	200 / 180	300 / 270	350 / 315	155 / 139,5
	a	31	45	53	25
	b_{\min}	300 / 270	400 / 360	450 / 405	
	a	25	38	40**	
R 120	b_{\min}	250 / 225	350 / 315	350 / 315	175 / 157,5
	a	40	45**	57**	35
	b_{\min}	350 / 315	450 / 405	450 / 405	
	a	35	40**	51**	
R 180	b_{\min}	350 / 315	350 / 315	450 / 405	230 / 207
	a	45**	63**	70**	55
R 240	b_{\min}	350 / 315	450 / 405		295 / 265,5
	a	61**	75**		70

Примечание. * Ширина колонн b_{\min} указана для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

** Колонна должна иметь не менее 8 стержней.

⁵ Бетонные и железобетонные конструкции: СП 5.03.01-2020 – Введ. 01.07.03 (с отменой на территории Респ. Беларусь СНиП 2.03.01-84 и СНБ 5.03.01-02). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 244 с.

⁶ См. сноску 1.

Огнестойкость полых центрифугированных железобетонных колонн считается обеспеченной, если параметры конструкции соответствуют приведенным в таблице 4. Данные, представленные в таблице 4, приведены для бетонов с силикатным заполнителем. При использовании карбонатного заполнителя толщина стенки колонны может быть уменьшена на 10 %. При этом минимальная толщина стенки не может быть меньше 50 мм⁷.

Таблица 4. – Минимальные параметры центрифугированных железобетонных колонн, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости [13]

Пределы огнестойкости	Внешний диаметр колонны b / толщина стенки δ / расстояние до оси арматуры a , мм			
	Коэффициент расчетного уровня нагрузки при пожаре			
	$\eta_{fi} = 0,15$	$\eta_{fi} = 0,3$	$\eta_{fi} = 0,5$	$\eta_{fi} = 0,7$
R 45	300 / 50 / 20*	300 / 50 / 20*	300 / 50 / 20*	300 / 50 / 22
R 60	300 / 60 / 26*	300 / 60 / 26*	400 / 60 / 29 800 / 60 / 26* 400 / 70 / 26*	400 / 70 / 33 400 / 80 / 28
R 90	400 / 80 / 26*	400 / 80 / 38 1000 / 80 / 33 600 / 90 / 34 1000 / 90 / 31	800 / 80 / 39 1000 / 80 / 37 600 / 90 / 38 1000 / 90 / 35	600 / 100 / 46 1000 / 90 / 39
R 120	600 / 100 / 26* 700 / 90 / 26*	600 / 100 / 47 1000 / 100 / 43 800 / 110 / 44 1000 / 110 / 41	800 / 100 / 50 1000 / 100 / 48 800 / 110 / 48 1000 / 110 / 46	1000 / 110 / 53 800 / 120 / 55 1000 / 120 / 51
R 150	800 / 110 / 26*	800 / 120 / 54	800 / 120 / 58	—**
R 180	800 / 120 / 26*	—**	—**	—**

Примечание. * Расположение арматуры обеспечивается выполнением положений по проектированию и изготовлению железобетонных колонн согласно СП 5.03.01⁸, в том числе центрифугированных кольцевого сечения⁹.

** Предел огнестойкости не достигается при всевозможных сочетаниях внешнего диаметра колонны (до 1000 мм), толщины стенки (до 120 мм) и расстояния до оси арматуры (до 60 мм)¹⁰.

Огнестойкость железобетонных балок. Огнестойкость железобетонных балок считается обеспеченной, если параметры конструкции и вид соответствуют приведенным в таблицах 5–9. Таблицы используются для балок, нагреваемых при пожаре с трех сторон. Теплоизолирующая способность плит или других элементов, изолирующих верхнюю сторону балки, должна быть обеспечена в течение времени, соответствующего требуемому пределу огнестойкости.

С учетом того что при пожаре нижние углы балок нагреваются наиболее интенсивно, при армировании в один ряд расстояние от боковой поверхности до оси углового стержня (каната или проволоки) a_{sd} (мм) определяется по формуле¹¹:

$$a_{sd} = a + 10 \text{ мм}, \quad (1)$$

где a – расстояние до оси арматуры, мм.

Если при проектировании предварительно напряженных элементов применяется арматура с критической температурой ниже 400 °С, то минимальную ширину растянутого элемента или растянутой зоны балки следует увеличить по формуле¹²:

$$b_{\text{mod}} \geq b_{\text{min}} + k \cdot (400 - \theta_{\text{cr}}), \quad (2)$$

где θ_{cr} – критическая температура, °С; $k = 0,8 \text{ мм/°С}$.

⁷ Руководство по проектированию, изготовлению и применению железобетонных центрифугированных конструкций кольцевого сечения // Науч.-исслед. ин-т бетона и железобетона Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1979. – 144 с.

⁸ См. сноску 5.

⁹ См. сноску 7.

¹⁰ См. сноску 7.

¹¹ См. сноску 1.

¹² См. сноску 1.

Таблица 5. – Минимальные параметры свободно опертых железобетонных балок, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости¹³

Предел огнестойкости	Толщина стенки балки b_w , мм	Ширина балки b_{min} и среднее расстояние до оси арматуры a , мм	Возможные комбинации ширины балки b_{min} (с силикатным / карбонатным заполнителем бетона) и среднего расстояния до оси арматуры a			
R 30	80	b_{min}	80 / 72	120 / 108	160 / 144	200 / 180
		a	25	20	15*	15
R 60	100	b_{min}	120 / 108	160 / 144	200 / 180	300 / 270
		a	40	35	30*	25
R 90	110	b_{min}	150 / 135	200 / 180	300 / 270	400 / 360
		a	55	45	40*	35
R 120	130	b_{min}	200 / 180	240 / 216	300 / 270	500 / 450
		a	65	60	55*	50
R 180	150	b_{min}	240 / 216	300 / 270	400 / 360	600 / 540
		a	80	70	65*	60
R 240	170	b_{min}	280 / 252	350 / 315	500 / 450	700 / 630
		a	90	80	75*	70

Примечание. * При армировании в один ряд для значений b_{min} , не превосходящих указанных, требуется пересчет расстояния до оси арматуры по формуле (1).

Таблица 6. – Минимальные параметры предварительно напряженных свободно опертых железобетонных балок, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости¹⁴

Предел огнестойкости	Толщина стенки балки b_w^* , мм	Ширина балки b_{min}^* и среднее расстояние до оси арматуры a , мм	Возможные комбинации ширины балки b_{min}^* и среднего расстояния до оси арматуры (стержня / проволоки или каната) a , мм			
R 30	80 / 72	b_{min}	80 / 72	120 / 108	160 / 144	200 / 180
		a	35 / 40	30 / 35	25 / 30**	25 / 30
R 60	100 / 90	b_{min}	120 / 108	160 / 144	200 / 180	300 / 270
		a	50 / 55	45 / 50	40 / 45**	35 / 40
R 90	110 / 99	b_{min}	150 / 135	200 / 180	300 / 270	400 / 360
		a	65 / 70	55 / 60	50 / 55**	45 / 50
R 120	130 / 107	b_{min}	200 / 180	240 / 216	300 / 270	500 / 450
		a	75 / 80	70 / 75	65 / 70**	60 / 65
R 180	150 / 135	b_{min}	240 / 216	300 / 270	400 / 360	600 / 540
		a	90 / 95	80 / 85	75 / 80**	70 / 75
R 240	170 / 153	b_{min}	280 / 252	350 / 315	500 / 450	700 / 630
		a	100 / 105	90 / 95	85 / 90**	80 / 85

Примечание. * Толщина стенки b_w и ширина b_{min} балки указаны для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

** При армировании в один ряд для значений b_{min} , не превосходящих указанных, требуется пересчет расстояния до оси арматуры по формуле (1).

Неразрезные балки. Минимальные расстояния от нижней и боковых поверхностей до оси арматуры и ширина неразрезных балок приведены в таблицах 7–8 для пределов огнестойкости от R 30 до R 240 и используются при соблюдении одновременно требований по их конструированию согласно СП 5.03.01¹⁵ и по перераспределению изгибающего момента при нормальной температуре (не более 15 %). В противном случае балки рассматриваются как свободно опертые.

¹³ См. сноску 1.

¹⁴ См. сноску 1.

¹⁵ См. сноску 5.

Таблица 7. – Минимальные параметры неразрезных железобетонных балок, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости¹⁶

Предел огнестойкости	Толщина стенки b_w^* , мм	Ширина балки b_{min}^* и среднее расстояние до оси арматуры a , мм	Возможные комбинации ширины балки b_{min}^* и среднего расстояния до оси арматуры a , мм			
R 30	80 / 72	b_{min}^*	80 / 72	160 / 144		
		a	15 ^{**}	12 ^{**,1}		
R 60	100 / 90	b_{min}^*	120 / 108	200 / 180		
		a	25	12 ^{**,1}		
R 90	110 / 99	b_{min}^*	150 / 135	250 / 225		
		a	35	25 ¹		
R 120	130 / 107	b_{min}^*	200 / 180	300 / 270	450 / 405	500 / 450
		a	45	35 ¹	35	30
R 180	150 / 135	b_{min}^*	240 / 216	400 / 360	550 / 495	600 / 540
		a	60	50 ¹	50	40
R 240	170 / 153	b_{min}^*	280 / 252	500 / 450	650 / 585	700 / 630
		a	75	60 ¹	60	50

Примечание. * Толщина стенки b_w и ширина b_{min} балки указаны для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

^{**} Предел огнестойкости обеспечивается при выполнении требований СП 5.03.01¹⁷ по защите арматуры от коррозии.

¹ При армировании в один ряд для значений b_{min} , не превосходящих указанных, требуется пересчет расстояния до оси арматуры по формуле (1).

Следует отметить, что для конструкций с пределами огнестойкости R90 и выше следует обеспечить минимально необходимую площадь верхней арматуры вблизи опоры и в пролете согласно ТКП EN 1992-1-2 с учетом положений СП 5.03.01. В случае необеспечения необходимой площади поперечного сечения верхней арматуры требуемый предел огнестойкости не обеспечивается.

Таблица 8. – Минимальные параметры предварительно напряженных неразрезных железобетонных балок, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости

Предел огнестойкости	Толщина стенки b_w^* , мм	Ширина балки b_{min}^* и среднее расстояние до оси арматуры a , мм	Возможные комбинации ширины балки b_{min}^* и среднего расстояния до оси арматуры (стержня / проволоки или каната) a			
R 30	80 / 72	b_{min}	80 / 72	160 / 144		
		a	25 ^{**} / 30 ^{**}	22 ^{**,1} / 27 ^{**,1}		
R 60	100 / 90	b_{min}	120 / 108	200 / 180		
		a	35 / 40	22 ^{**,1} / 27 ^{**,1}		
R 90	110 / 99	b_{min}	150 / 135	250 / 225		
		a	45 / 50	35 ¹ / 40 ¹		
R 120	130 / 107	b_{min}	200 / 180	300 / 270	450 / 405	500 / 450
		a	55 / 60	45 ¹ / 50 ¹	45 / 50	40 / 55
R 180	150 / 135	b_{min}	240 / 216	400 / 360	550 / 495	600 / 540
		a	70 / 75	60 ¹ / 65 ¹	60 / 65	50 / 55
R 240	170 / 153	b_{min}	280 / 252	500 / 450	650 / 585	700 / 630
		a	85 / 90	70 ¹ / 75 ¹	70 / 75	60 / 65

Примечание. * Толщина стенки b_w и ширина b_{min} балки указаны для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

^{**} Предел огнестойкости обеспечивается при выполнении требований СП 5.03.01 по защите арматуры от коррозии.

¹ При армировании в один ряд для значений b_{min} , не превосходящих указанных, требуется пересчет расстояния до оси арматуры по формуле (1).

¹⁶ См. сноску 1.

¹⁷ См. сноску 5.

Толщину стенок и ширину неразрезных балок с пределами огнестойкости от R 120 до R 240 необходимо увеличить в соответствии с таблицей 9 для предотвращения разрушения сжатого бетона или среза над первой промежуточной опорой, если не обеспечивается сопротивление балки и соединение изгибу на крайней опоре или на первой промежуточной опоре $V_{Ed} > 2/3 \cdot V_{Rd, max}$ (где V_{Ed} – расчетное поперечное усилие при нормальной температуре; $V_{Rd, max}$ – расчетное сопротивление срезу железобетонного элемента).

Таблица 9. – Предел огнестойкости неразрезных железобетонных балок двутаврового сечения (включая предварительно напряженные), для которых необходимо увеличивать ширину и толщину стенки¹⁸

Предел огнестойкости	Минимальные ширина b_{min} и толщина стенки b_w балки (с силикатным / карбонатным заполнителем бетона), мм
R 120	220 / 198
R 180	380 / 342
R 240	480 / 432

Балки, подверженные огневому воздействию со всех сторон при пожаре. Таблицы 5–8 могут применяться, только если высота балки не менее ширины, нормируемой для требуемого предела огнестойкости, а площадь ее поперечного сечения не менее $A_c = 2b_{min}^2$.

Огнестойкость железобетонных плит. Огнестойкость железобетонных плит считается обеспеченной, если параметры конструкции соответствуют приведенным в таблицах 10–18. В таблицах 10 и 11 l_x и l_y – размеры пролетов плит при армировании по двум перпендикулярным направлениям (l_y – больший пролет), расстояние до оси арматуры в графах 4 и 5 применяется для плит, армированных в двух направлениях, которые опираются по четырем сторонам. В противном случае плиту следует рассматривать армированной в одном направлении.

Таблица 10. – Минимальные параметры статически определимых сплошных железобетонных плит, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости¹⁹

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* , мм	Расстояние до оси арматуры a , мм		
		Армирование в одном направлении	Армирование в двух направлениях	
			$l_y / l_x < 1,5$	$1,5 < l_y / l_x < 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60 / 54	10**	10**	10**
REI 60	80 / 72	20	10**	15**
REI 90	100 / 90	30	15**	20
REI 120	120 / 108	40	20	25
REI 180	150 / 135	55	30	40
REI 240	175 / 158	65	40	50

Примечание. * Толщина плиты h_s^* указана для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

** Предел огнестойкости обеспечивается при выполнении требований СП 5.03.01²⁰ по защите арматуры от коррозии.

Таблица 11. – Минимальные параметры предварительно напряженных сплошных железобетонных плит, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости (критическая температура для предварительно напряженных стержней 400 °С, для проволоки и канатов – 350 °С)

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* , мм	Расстояние до оси арматуры (стержня / проволоки или каната) a , мм		
		Армирование в одном направлении	Армирование в двух направлениях	
			$l_y / l_x < 1,5$	$1,5 < l_y / l_x < 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60 / 54	20 / 25	20 / 25	20 / 25
REI 60	80 / 72	30 / 35	20 / 25	25 / 30

¹⁸ См. сноску 1.

¹⁹ См. сноску 1.

²⁰ См. сноску 5.

Продолжение таблицы 11

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* , мм	Расстояние до оси арматуры (стержня / проволоки или каната) a , мм		
		Армирование в одном направлении	Армирование в двух направлениях	
			$l_y / l_x < 1,5$	$1,5 < l_y / l_x < 2$
1	2	3	4	5
REI 90	100 / 90	40 / 45	25 / 30	30 / 35
REI 120	120 / 108	50 / 55	30 / 35	35 / 40
REI 180	150 / 135	60 / 65	40 / 45	50 / 55
REI 240	175 / 158	75 / 80	50 / 55	60 / 65

Примечание. * Толщина плиты h_s^* указана для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

Таблица 12. – Минимальные параметры свободно опертых железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры (критическая температура 230 °С) с бетоном, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости [11]

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* , мм	Расстояние до оси арматуры a (мм) при армировании в одном направлении	
		при отсутствии защиты обогреваемой поверхности	при наличии защиты обогреваемой поверхности ²¹
		REI 30	60 / 54
REI 60	80 / 72	55	25
REI 90	100 / 90	60	30

Примечание. * Толщина плиты h_s^* указана для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

Неразрезные плиты. Значения, приведенные в таблицах 10 и 11 (графы 2 и 4), также применимы для неразрезных плит, армированных по одному и двум направлениям.

Таблицы 10 и 11 могут быть использованы для неразрезных плит с перераспределением изгибающего момента при нормальной температуре не более 15 %. При перераспределении моментов более 15 % или несоблюдении требований по их конструированию согласно СП 5.03.01²² каждый пролет неразрезной плиты рассматривается как свободно опертая плита с использованием таблиц 10 и 11 (графы 2, 3, 4 или 5). Для неразрезных плит применимы подходы для неразрезных балок. При их несоблюдении каждый пролет следует рассматривать как свободно опертый.

Для пределов огнестойкости REI 90 и выше в опорных полосах конструкции необходимо выводить по всей длине пролетов не менее 20 % от общего количества арматуры, требуемой над промежуточными опорами.

Плоские плиты. Приведенные правила применимы для плоских плит, для которых перераспределение момента не превышает 15 %. В противном случае расстояние до оси арматуры определяется как для плит с армированием в одном направлении – по графе 3 таблиц 10 и 11, а минимальная толщина – по таблице 13. В качестве расстояния до оси арматуры a принимается расстояние до нижнего ряда арматуры.

Таблица 13. – Минимальные параметры плоских железобетонных плит, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости (критическая температура арматуры 500 °С)²³

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* , мм	Расстояние до оси арматуры a , мм
REI 30	150 / 135	10**
REI 60	180 / 162	15**
REI 90	200 / 180	25
REI 120	200 / 180	35
REI 180	200 / 180	45
REI 240	200 / 180	50

Примечание. * Толщина плиты h_s^* указана для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

** Предел огнестойкости обеспечивается при выполнении требований СП 5.03.01 по защите арматуры от коррозии.

²¹ См. сноску 1.

²² См. сноску 5.

²³ См. сноску 1.

Таблица 14. – Минимальные параметры предварительно напряженных плоских железобетонных плит, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости (критическая температура для предварительно напряженных стержней 400 °С, для проволоки и канатов – 350 °С)

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* , мм	Расстояние до оси арматуры (стержня / проволоки или каната) a , мм
REI 30	150 / 135	20 / 25
REI 60	180 / 162	25 / 30
REI 90	200 / 180	35 / 40
REI 120	200 / 180	45 / 50
REI 180	200 / 180	55 / 60
REI 240	200 / 180	60 / 65

Примечание. * Толщина плиты h_s^* указана для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

Ребристые плиты. Для оценки огнестойкости армированных в одном направлении ребристых железобетонных плит (в том числе предварительно напряженных) необходимо применять:

- для ребер: требования, изложенные для свободно опертых и неразрезных балок.
- для полок: требования, изложенные для неразрезных плит, графы 2 и 5 таблиц 10 и 11.

Для армированных в двух направлениях железобетонных ребристых плит предел огнестойкости может быть определен с использованием таблиц 15–18. Данные, представленные в указанных таблицах, справедливы для ребристых плит с равномерно распределенной силовой нагрузкой.

Для ребристых плит с армированием в несколько рядов приведенное расстояние до оси арматуры должно быть не менее указанного в таблицах 15–18. В неразрезных ребристых плитах верхняя арматура должна быть расположена в верхней половине полки.

Таблицы 15 и 16 распространяются на свободно опертые армированные по двум направлениям ребристые плиты, а также на армированные в двух направлениях ребристые плиты как минимум с одним защемленным краем и пределом огнестойкости ниже REI 180.

Таблица 15. – Минимальные параметры армированных в двух направлениях свободно опертых ребристых железобетонных плит, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости²⁴

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* и расстояние до оси арматуры c в полке, мм	Ширина ребер b_{min}^* и расстояние до оси арматуры a , мм	Возможные комбинации ширины ребер b_{min} и расстояния до оси арматуры a , мм		
REI 30	$h_s = 80 / 72$ $c = 10^{**}$	b_{min} a	80 / 72 15 ^{**}	–	–
REI 60	$h_s = 80 / 72$ $c = 10^{**}$	b_{min} a	100 / 90 35	120 / 104 25	200 / 180 15 ^{**}
REI 90	$h_s = 100 / 90$ $c = 15^{**}$	b_{min} a	120 / 108 45	160 / 144 40	250 / 215 30
REI 120	$h_s = 120 / 108$ $c = 20$	b_{min} a	160 / 144 60	190 / 171 55	300 / 270 40
REI 180	$h_s = 150 / 135$ $c = 30$	b_{min} a	220 / 198 75	260 / 234 70	410 / 369 60
REI 240	$h_s = 175 / 153$ $c = 40$	b_{min} a	280 / 252 90	350 / 315 75	500 / 450 70

Примечание. * Толщина плиты h_s и ширина ребер b_{min} указаны для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

** Предел огнестойкости обеспечивается при выполнении требований СП 5.03.01²⁵ по защите арматуры от коррозии.

²⁴ См. сноску 1.

²⁵ См. сноску 5.

Таблица 16. – Минимальные параметры армированных в двух направлениях предварительно напряженных свободно опертых ребристых железобетонных плит, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости (критическая температура для предварительно напряженных стержней 400 °С, для проволоки и канатов – 350 °С)

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* и расстояние до оси арматуры c^{**} в полке, мм	Ширина ребер b_{\min}^* и расстояния до оси арматуры a^{**} , мм	Возможные комбинации минимальных ширины ребер b_{\min} и расстояния до оси арматуры a , мм		
REI 30	$h_s = 80 / 72$ $c = 20 / 25$	b_{\min}	80 / 72	–	–
		a	25 / 30		
REI 60	$h_s = 80 / 72$ $c = 20 / 25$	b_{\min}	100 / 90	120 / 104	200 / 180
		a	45 / 50	35 / 40	25 / 30
REI 90	$h_s = 100 / 90$ $a = 25 / 30$	b_{\min}	120 / 108	160 / 144	250 / 215
		a	55 / 60	50 / 55	40 / 45
REI 120	$h_s = 120 / 108$ $c = 30 / 35$	b_{\min}	160 / 144	190 / 171	300 / 270
		a	70 / 75	65 / 70	50 / 55
REI 180	$h_s = 150 / 135$ $c = 40 / 45$	b_{\min}	220 / 198	260 / 234	410 / 369
		a	85 / 90	80 / 85	70 / 75
REI 240	$h_s = 175 / 153$ $c = 50 / 55$	b_{\min}	280 / 252	350 / 315	500 / 450
		a	100 / 105	85 / 90	80 / 85

Примечание. * Толщина плиты h_s и ширина ребер b_{\min} указаны для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

** Расстояния до оси арматуры a и до оси арматуры c в полке указаны для стержня / проволоки или каната.

Таблица 17. – Минимальные параметры армированных в двух направлениях ребристых железобетонных плит (критическая температура арматуры 500 °С) как минимум с одним защемленным краем, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости²⁶

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* и расстояние до оси арматуры c в полке, мм	Ширина ребер b_{\min}^* и расстояния до оси арматуры a , мм	Возможные комбинации ширины ребер b_{\min}^* и расстояния до оси арматуры a , мм		
REI 30	$h_s = 80 / 72$ $c = 10^{**}$	b_{\min}	80 / 72	–	–
		a	10 ^{**}		
REI 60	$h_s = 80 / 72$ $c = 10^{**}$	b_{\min}	100 / 90	120 / 108	200 / 180
		a	25	15 ^{**}	10 ^{**}
REI 90	$h_s = 100 / 90$ $c = 15^{**}$	b_{\min}	120 / 108	160 / 144	250 / 225
		a	35	25	15 ^{**}
REI 120	$h_s = 120 / 108$ $c = 20$	b_{\min}	160 / 144	190 / 171	300 / 270
		a	45	40	30
REI 180	$h_s = 150 / 135$ $c = 30$	b_{\min}	310 / 279	600 / 540	–
		a	60	50	–
REI 240	$h_s = 175 / 153$ $c = 40$	b_{\min}	450 / 405	700 / 630	–
		a	70	60	–

Примечание. * Толщина плиты h_s и ширина ребер b_{\min} указаны для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.

** Предел огнестойкости обеспечивается при выполнении требований СП 5.03.01²⁷ по защите арматуры от коррозии.

²⁶ См. сноску 1.

²⁷ См. сноску 5.

Таблица 18. – Минимальные параметры предварительно напряженных армированных в двух направлениях ребристых железобетонных плит (критическая температура для предварительно напряженных стержней 400 °С, для проволоки и канатов – 350 °С) как минимум с одним заземленным краем, обеспечивающие требуемый предел огнестойкости

Предел огнестойкости	Толщина плиты h_s^* и расстояние до оси арматуры c^{**} в полке, мм	Ширина ребер b_{min}^* и расстояния до оси арматуры a^{**} , мм	Возможные комбинации минимальных размеров ширины ребер b_{min}^* и расстояния до оси арматуры a^{**} , мм		
REI 30	$h_s = 80 / 72$ $c = 20 / 25$	b_{min}	80 / 72	–	–
		a	20 / 25		
REI 60	$h_s = 80 / 72$ $c = 20 / 25$	b_{min}	100 / 90	120 / 108	200 / 180
		a	35 / 40	25 / 30	20 / 25
REI 90	$h_s = 100 / 90$ $c = 25 / 30$	b_{min}	120 / 108	160 / 144	250 / 225
		a	45 / 50	35 / 40	25 / 30
REI 120	$h_s = 120 / 108$ $c = 30 / 35$	b_{min}	160 / 144	190 / 171	300 / 270
		a	55 / 60	50 / 55	40 / 45
REI 180	$h_s = 150 / 135$ $c = 40 / 45$	b_{min}	310 / 279	600 / 540	–
		a	70 / 75	60 / 65	
REI 240	$h_s = 175 / 153$ $c = 50 / 55$	b_{min}	450 / 405	700 / 630	–
		a	80 / 85	70 / 75	

Примечание. * Толщина плиты h_s и ширина ребер b_{min} указаны для бетона с силикатным / карбонатным заполнителем.
** Расстояния до оси арматуры a и до оси арматуры c в полке указаны для стержня / проволоки или каната.

Огнестойкость железобетонных конструкций с конструктивной огнезащитой.

Для повышения пределов огнестойкости железобетонных колонн и плит перекрытия, в том числе предварительно напряженных, допускается использование конструктивных способов защиты, для железобетонных колонн – конструктивной огнезащиты в виде огнестойких гипсовых плит, для железобетонных перекрытий – огнестойких подвесных потолков.

На основе исследований [6; 7] был получен массив данных, на основании которых получены табличные данные для оценки огнестойкости железобетонных конструкций, защищенных огнестойкими гипсовыми плитами: железобетонных колонн, изготовленных методом центрифугирования с огнезащитой из гипсовых огнестойких плит (табл. 19); сплошных железобетонных колонн с огнезащитой из гипсовых огнестойких плит (табл. 20 и 21). Для сплошных железобетонных плит, защищенных огнестойким подвесным потолком, были решены следующие задачи:

1. Построены модели железобетонных плит, защищенных огнестойким подвесным потолком.
2. Определены теплофизические характеристики бетона, назначены начальные и граничные условия теплообмена.
3. Выполнено численное моделирование процессов теплообмена разработанных моделей в системе конечно-элементного анализа ANSYS.
4. Получено распределение температур по сечению железобетонной плиты.
5. Определены минимальные параметры, обеспечивающие предел огнестойкости железобетонных плит, защищенных огнестойкими подвесными потолками.

Решение *первой задачи* осуществлено в системе конечно-элементного анализа ANSYS. Для этого разработаны расчетные модели железобетонных плит с огнестойкими подвесными потолками. Расчетные модели железобетонных плит имеют следующие геометрические размеры: ширина плиты 1000 мм, длина плиты принята равной ширине одной ячейки и составляет 5 мм, высота плит принята равной 80, 120, 150 и 200 мм. Огнестойкий подвесной потолок не моделировался, его влияние моделировалось заданием теплового потока на обогреваемую поверхность железобетонной плиты до момента его разрушения. Процесс теплообмена принят двумерным. Сечение конструкций разбивалось на элементы призматической формы с шириной грани не более 5 мм.

Для разработанных моделей были приняты следующие допущения:

- наступление предельного состояния огнестойкого подвесного потолка принято в момент достижения температуры на необогреваемой поверхности 200 °С;
- момент времени достижения на необогреваемой поверхности температуры 200 °С огнестойкого подвесного потолка принят равным времени наступления предела огнестойкости подвесного потолка с учетом приведения результатов огневых испытаний к стандартному ряду по огнестойкости 45, 60 и 90 мин;
- между материалами, составляющими конструкцию подвесного потолка, и защищаемой конструкцией принято наличие воздушного пространства;
- до момента наступления предела огнестойкости подвесного потолка теплообмен осуществляется между необогреваемой поверхностью огнестойкого подвесного потолка и обращенной к ней поверхностью железобетонной плиты.

При выполнении *второй задачи* свойства бетона и плит огнестойкого потолка, а также начальные условия теплообмена заданы аналогично колоннам сплошного сечения [7]. В качестве граничных условий установлено:

- теплообмен между огневой газовой средой пожара и наружной поверхностью конструкции, а также необогреваемой поверхностью конструкции и окружающей средой описан через граничные условия 3-го рода;
- для теплового воздействия на железобетонную плиту от начала пожара до момента наступления предела огнестойкости подвесного потолка температура необогреваемой поверхности подвесного потолка равна 200 °С. После наступления предела огнестойкости подвесного потолка на поверхность железобетонной конструкции задается воздействие температуры в соответствии со стандартным температурным режимом²⁸, начиная с момента времени, при котором произошло наступление предела огнестойкости подвесного потолка;
- до момента наступления предела огнестойкости подвесного потолка коэффициент теплоотдачи конвекцией от необогреваемой поверхности подвесного потолка к поверхности конструкции не учитывается, после наступления предела огнестойкости подвесного потолка коэффициент теплоотдачи конвекцией от нагревающей среды к поверхности конструкции $\alpha_c = 25 \text{ Вт/м}^2$ по СН 2.01.03²⁹;
- степень черноты поверхности принята равной 0,7 для бетона³⁰, 0,8 – для плит подвесного потолка³¹ и 1,0 – для пламени (греющей среды)³²;
- потерями теплоты по торцам конструкции (по длине) в запас безопасности пренебрегали (тепловой поток принят равным нулю).

В рамках выполнения *третьей задачи* для разработанных моделей выполнено численное моделирование нагрева сечения железобетонных плит с огнестойкими подвесными потолками. Время моделирования огневого воздействия принималось в диапазоне от 60 до 180 мин.

При выполнении *четвертой задачи* для рассматриваемых сечений определено температурное поле на заданных интервалах времени.

По результатам выполнения *пятой задачи* на заданный момент времени определялось расстояние от обогреваемой поверхности железобетонной плиты до точки, в которой была достигнута критическая температура арматуры. В качестве критических значений температуры приняты следующие значения: 500 °С – для ненапрягаемой арматуры; 400 °С – для предварительно напряженных стержней; 350 °С – для проволоки и канатов и 230 °С – для канатов без предварительного сцепления арматуры с бетоном. Указанное расстояние

²⁸ 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.

²⁹ См. сноску 28.

³⁰ См. сноску 1.

³¹ См. сноску 28.

³² См. сноску 28.

принимается минимально необходимым для обеспечения предела огнестойкости по предельному состоянию R железобетонной плиты, защищенной огнестойким подвесным потолком.

Таким образом, для сплошных железобетонных плит по предельному состоянию R применяются таблицы 22 и 23, а по предельным состояниям EI – таблица 24.

Центрифугированные колонны кольцевого сечения с конструктивной огнезащитой. Огнестойкость железобетонных колонн в связевых конструктивных системах с конструктивной огнезащитой считается обеспеченной, если параметры конструкции соответствуют приведенным в таблицах 19–21. При использовании конструктивной огнезащиты необходимо выполнить требования технической документации по ее устройству и монтажу. В противном случае табличными данными 19 и 20 пользоваться не допускается.

В таблицах 19 и 20 расстояния до оси арматуры определяются от поверхности железобетонной колонны до оси арматуры без учета толщины огнестойких гипсовых плит.

Таблица 19. – Минимальные параметры негорючих гипсовых плит, обеспечивающие заданные пределы железобетонных колонн [7]

Предел огнестойкости	Толщина плит конструктивной огнезащиты, мм		
	12,5	20	40
	Расстояние до оси арматуры <i>a</i> , мм		
<i>Колонны шириной до 350 мм</i>			
R 30	—*	—*	—*
R 60	—*	—*	—*
R 90	32	—*	—*
R 120	49	31	—*
R 150	—**	47	—*
R 180	—**	66	26
<i>Колонны шириной 350 мм и более</i>			
R 30	—*	—*	—*
R 60	—*	—*	—*
R 90	—*	—*	—*
R 120	30	—*	—*
R 150	—**	25	—*
R 180	—**	36	—*

Примечание. * Предел огнестойкости обеспечивается выполнением основных требований по проектированию и изготовлению железобетонных конструкций и минимальных требований по защите арматуры от коррозии согласно СП 5.03.01³³.

** Предел огнестойкости с учетом параметров, используемых в таблице, не обеспечивается.

Полученные табличные данные для сплошных железобетонных колонн, защищенных огнестойкими гипсовыми плитами, распространяются на конструкции, соответствующие разделу 5.3.2 ТКП EN 1992-1-2³⁴.

Таблица 20. – Минимальные размеры, расстояние до оси арматуры и толщина негорючих гипсовых плит для железобетонных центрифугированных колонн кольцевого сечения [7]

Предел огнестойкости	Внешний диаметр колонны <i>D</i> , мм / толщина стенки <i>b</i> , мм / расстояние до оси арматуры <i>a</i> , мм		
	Толщина огнезащиты, мм		
	12,5	20	40
R 120	300 / 50 / 20*	300 / 50 / 20*	300 / 50 / 20*
R 180	600 / 100 / 35 800 / 120 / 26*	400 / 60 / 26*	300 / 50 / 20*

Примечание. * Предел огнестойкости обеспечивается выполнением основных требований по проектированию и изготовлению железобетонных конструкций³⁵, в том числе железобетонных центрифугированных колонн кольцевого сечения³⁶.

³³ См. сноску 5.

³⁴ См. сноску 1.

³⁵ См. сноску 5.

³⁶ См. сноску 7.

Огнезащита железобетонных плит. Огнестойкость железобетонных плит считается обеспеченной, если параметры конструкции соответствуют приведенным в таблицах 21 и 22. У огнестойких подвесных потолков предельное состояние по огнестойкости во время проведения огневых испытаний должно наступать при достижении температуры на его не обогреваемой поверхности не более 200 °С.

В таблице 21 расстояния до оси арматуры определяются от поверхности железобетонной плиты до оси арматуры без учета толщины огнестойкого подвесного потолка.

Таблица 21. – Предел огнестойкости (по предельному состоянию R) сплошных железобетонных плит, защищенных огнестойкими подвесными потолками

Предел огнестойкости подвесных потолков по СТБ EN 1363-1 ³⁷ и СТБ EN 1364-2 ³⁸	Критическая температура арматуры, θ_{cr} , °С	Минимальное расстояние до оси арматуры a (мм) для обоснования предела огнестойкости системы				
		R 60	R 90	R 120	R 150	R 180
<i>Сплошные железобетонные плиты толщиной от 80 до 120 мм</i>						
EI 45	230	27	50	—**	—**	—**
	350	18*	34	50	69	—**
	400	15*	30	43	58	72
	500	—*	22*	32	42	53
EI 60	230	—*	40	65	—**	—**
	350	—*	28	43	60	79
	400	—*	24*	37	51	66
	500	—*	18*	28	38	48
EI 90	230	—*	—*	43	69	—**
	350	—*	—*	30	46	65
	400	—*	—*	26	40	55
	500	—*	—*	20*	30	41
<i>Сплошные железобетонные плиты толщиной 120 мм и более</i>						
EI 45	230	27	48	64	79	96
	350	18*	34	46	56	67
	400	15*	29	40	49	58
	500	—*	22*	30	38	45
EI 60	230	—*	40	58	73	89
	350	—*	28	41	52	63
	400	—*	24*	36	46	55
	500	—*	18*	27	35	43
EI 90	230	—*	—*	42	61	77
	350	—*	—*	30	44	55
	400	—*	—*	26	38	48
	500	—*	—*	20*	29	37

Примечание. * Предел огнестойкости обеспечивается выполнением основных требований по проектированию и изготовлению железобетонных конструкций, в том числе требований по защите арматуры от коррозии СП 5.03.01³⁹.

** Предел огнестойкости с учетом параметров, используемых в таблице, не обеспечивается.

Таблица 22. – Минимальная толщина сплошных железобетонных плит, обеспечивающая предел огнестойкости конструкций по предельным состояниям EI, защищенных огнестойкими подвесными потолками

Предел огнестойкости подвесных потолков по СТБ EN 1363-1 и СТБ EN 1364-2	Толщина железобетонной плиты h , мм		
	от 80 до 100	от 100 до 120	120 и более
EI 45–E I60	EI 90	EI 120	EI 150
EI 90	EI 120	EI 150	EI 180

³⁷ Испытания на огнестойкость. Часть 1. Общие требования: СТБ EN 1363-1-2009. – Введ. 01.07.10. – Минск: Госстандарт, 2010. – 92 с.

³⁸ Испытания на огнестойкость. Элементы зданий, не несущие нагрузки. Часть 2. Подвесные потолки: СТБ EN 1364-2-2009. – Введ. 01.07.10. – Минск: Госстандарт, 2010. – 28 с.

³⁹ См. сноску 5.

Заключение

Полученные в работах [1–7; 11–18] результаты исследований позволили разработать комплексную методику расчета пределов огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона. С использованием разработанной на основе экспериментальных (лабораторные и огневые, в том числе натурные) и теоретических исследований комплексной методики расчета пределов огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона получен массив расчетных значений пределов огнестойкости указанных конструкций, в том числе с конструктивной огнезащитой. Анализ и обобщение результатов расчета позволили получить табличные данные по оценке огнестойкости железобетонных стен, колонн, балок и плит, учитывающие наличие воздушной полости, класс бетона, вид заполнителя, предварительное напряжение арматуры, а также наличие конструктивной огнезащиты на основе огнестойких гипсовых плит и огнестойких подвесных потолков. В табличных данных отражены минимальные требования к указанным конструкциям, позволяющие обеспечить необходимые пределы огнестойкости. Использование соответствующих таблиц позволяет подобрать параметры конструкций, обеспечивающие заданный предел огнестойкости, без проведения серии трудоемких расчетов и испытаний.

Практическая значимость полученных результатов заключается в разработке на основе табличных данных правил определения пределов огнестойкости, исключающих пробелы в области нормирования огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона, что в конечном счете позволяет обеспечить устойчивость зданий и сооружений при пожаре путем выполнения существенных требований пожарной безопасности технического регламента.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Касперов, Г.И. Оценка факторов, влияющих на прочность бетонов классов В20–В100 при пожаре / Г.И. Касперов, И.И. Полевода, М.Н. Рыскин // Вестник Белорусского национального технического университета. – 2003. – № 2. – С. 17–21.
3. 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 // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 37–44. – EDN: VKXNSJ.
4. 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. – EDN: ASBKFB.
5. Полевода, И.И. Экспериментальные и теоретические исследования физических и теплофизических характеристик центрифугированного бетона / И.И. Полевода, Д.С. Нехань // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 255–267. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.255. – EDN: RNCLOG.
6. Полевода, И.И. Экспериментальные исследования огнестойкости стальных каркасных конструкций с конструктивной огнезащитой / И.И. Полевода, В.А. Кудряшов, С.М. Жамойдик // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1 (23). – С. 13–27. – EDN: THFOXQ.
7. Полевода, И.И. Огнестойкость железобетонных колонн с конструктивной огнезащитой / И.И. Полевода, С.М. Жамойдик, Д.С. Нехань // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 2. – С. 67–81. – DOI: 10.25257/FE.2022.2.67-81. – EDN: OВMPXF.
8. Милованов, А.Ф. Пособие по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций (к СТО 36554501-006-2006) / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 2008. – 131 с.
9. Милованов, А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1998. – 304 с.

10. Яковлев, А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А.И. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
11. Полева, И.И. Моделирование поведения железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном в программном комплексе ANSYS / И.И. Полева, 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. – EDN: ZRKOZD.
12. Нехань, Д.С. Моделирование прогрева центрифугированной железобетонной колонны с учетом анизотропии теплофизических характеристик бетона по сечению / Д.С. Нехань, С.М. Жамойдик, И.И. Полева // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 4. – С. 366–377. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-4.366. – EDN: ENCGRI.
13. Полева, И.И. Огнестойкость центрифугированных железобетонных колонн / И.И. Полева, Д.С. Нехань // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 139–158. – DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.139. – EDN: KGKYBX.
14. Ширко, А.В. Теплотехнический расчет огнестойкости элементов железобетонных конструкций с использованием программной среды ANSYS / А.В. Ширко [и др.] // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2013. – № 2 (18). – С. 260–269. – EDN: SNFAML.
15. Полева, И.И. Огнестойкость изгибаемых железобетонных предварительно напряженных плит без сцепления арматуры с бетоном / И.И. Полева, Н.В. Зайнудинова // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 161–167. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.161. – EDN: XPAHNF.
16. Полева, И.И. Решение теплотехнической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн / И.И. Полева, Д.С. Нехань // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30, № 2. – С. 49–70. – DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.49-70. – EDN: ONYDWP.
17. Нехань, Д.С. Решение статической задачи огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн / Д.С. Нехань, И.И. Полева // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 8. – С. 94–106. – EDN: FONZFL.
18. Полева, И.И. Моделирование огнестойкости стальных элементов с конструктивной огнезащитой / И.И. Полева, А.Г. Иваницкий, С.М. Жамойдик // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2010. – № 2 (12). – С. 39–46. – EDN: SMWNXV.

Нормирование огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона

Regulation of the fire resistance of modern building structures of reinforced concrete

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

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

Зайнудинова Наталья Владимировна

кандидат технических наук
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
промышленной безопасности, доцент
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: Zainudzinava@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1848-1562

Natal'ya V. Zaynudinova

PhD in Technical Sciences
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Industrial Safety,
Associate Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: Zainudzinava@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1848-1562

Нехань Денис Сергеевич

кандидат технических наук
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра пожарной
безопасности, доцент
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: denis_nechany@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7838-4663

Denis S. Nekhan'

PhD in Technical Sciences
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Fire Safety, Associate Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: denis_nechany@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7838-4663

REGULATION OF THE FIRE RESISTANCE OF MODERN BUILDING STRUCTURES OF REINFORCED CONCRETE

Palevoda I.I., Zhamoydik S.M., Zaynudinova N.V., Nekhan' D.S.

Purpose. Based on the developed comprehensive methodology for calculating the fire resistance limits of modern building structures made of reinforced concrete, obtain tabular data on the assessment of the fire resistance of reinforced concrete walls, columns, beams and slabs, taking into account the presence of an air cavity, concrete class, type of aggregate, prestressing reinforcement, and also the presence of constructive fire protection based on fire-resistant gypsum boards and fire-resistant suspended ceilings.

Methods. Analysis and generalization of the results of calculating the fire resistance limits of reinforced concrete building structures according to the methodology developed on the basis of experimental (laboratory and fire, including full-scale) and theoretical studies.

Findings. The rules have been developed for determining the fire resistance limits of modern building structures made of reinforced concrete, based on the simplified use of tabular data, which make it possible to ensure the fire safety of buildings and structures by assessing the fire resistance limit of unprotected reinforced concrete building structures and selecting the parameters of structural fire protection to increase it.

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

Keywords: fire resistance limits, reinforced concrete structures, standard temperature regime, temperature field, fire protection, gypsum board, fire-resistant suspended ceiling.

(The date of submitting: April 10, 2023)

REFERENCES

1. Kasperov G.I., Palevoda I.I. Raschetno-eksperimental'naya metodika otsenki ognestoykosti stroitel'nykh konstruksiy iz vysokoprochnogo betona [Calculation and experimental method of assessing the fire resistance of building structures made of high-strength concrete]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya*, 2003. No. 4 (14). Pp. 24–32. (rus)
2. Kasperov G.I., Palevoda I.I., Ryskin M.N. Otsenka faktorov, vliyayushchikh na prochnost' betonov klassov B20–B100 pri pozhare [Assessment of factors exerting effects on strength of C⁵/₈ – C⁹⁰/₁₀₅ concrete in the case of fire]. *Vestnik Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta*, 2003. No. 2. Pp. 17–21. (rus)
3. Palevoda I.I., Zaynudinova N.V., Chaychits N.I. Rezul'taty ispytaniya na ognestoykost' zhelezobetonnnykh 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. (rus). EDN: VKXNSJ.
4. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. Rezul'taty naturnykh ognevykh ispytaniy tsentrifugirovannykh zhelezobetonnnykh kolonn kol'tsevoogo 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. EDN: ASBKFB.
5. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya fizicheskikh i teplofizicheskikh kharakteristik tsentrifugirovannogo betona [Experimental and theoretical researches of physical and thermophysical characteristics of centrifuged concrete]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 3. Pp. 255–267. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.255. EDN: RNCLOG.
6. Palevoda I.I., Kudryashov V.A., Zhamoydik S.M. Eksperimental'nye issledovaniya ognestoykosti stal'nykh karkasnykh konstruksiy s konstruktivnoy ognezashchitoy [Experimental study of steel frame structures fire resistance with structural fire protection]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2016. No. 1 (23). Pp. 13–27. (rus). EDN: THFOXQ.
7. Palevoda I.I., Zhamoydik S.M., Nekhan' D.S. Ognestoykost' zhelezobetonnnykh kolonn s konstruktivnoy ognezashchitoy [Fire resistance of reinforced concrete columns with structural fire retard-

- ance] *Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2022. No. 2. Pp. 67–81. (rus). DOI: 10.25257/FE.2022.2.67-81. EDN: OBMPXF.
8. Milovanov A.F. Posobie po raschetu ognestoykosti i ognesokhrannosti zhelezobetonnykh konstruksiy (k STO 36554501-006-2006) [Manual for the calculation of fire resistance and fire safety of reinforced concrete structures (to the Standard Organization 36554501-006-2006)]. Moscow: Stroyizdat, 2008. 131 p. (rus)
 9. Milovanov A.F. *Stoykost' zhelezobetonnykh konstruksiy pri pozhare* [Resistance of reinforced concrete structures in case of fire]. Moscow: Stroyizdat, 1998. 304 p. (rus)
 10. Yakovlev A.I. *Raschet ognestoykosti stroitel'nykh konstruksiy* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 143 p. (rus)
 11. Palevoda I.I., Zaynudinova 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. EDN: ZRKOZD.
 12. Nekhan' D.S., Zhamoydik S. M., Palevoda I.I. Modelirovanie progreva tsentrifugirovannoy zhelezobetonnoy kolonny s uchedom anizotropii teplofizicheskikh kharakteristik betona po secheniyu [Modeling of heating of a centrifuged reinforced concrete column taking into account anisotropy of thermo-physical characteristics of concrete in cross section]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 4. Pp. 366–377. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-4.366. EDN: ENCGRI.
 13. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. Ognestoykost' tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn [Fire resistance of spun reinforced concrete columns]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 5, No. 2. Pp. 139–158. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.139. EDN: KGKYBX.
 14. Shirko A.V., Kamlyuk A.N., Palevoda I.I., Zaynudinova N.V. Teplotekhnicheskii raschet ognestoykosti elementov zhelezobetonnykh konstruksiy s ispol'zovaniem programmnoy sredy ANSYS [Thermal engineering calculation of fire resistance of reinforced concrete structures using the ANSYS Software Environment]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2013. No. 2 (18). Pp. 260–269. (rus). EDN: SNFAML.
 15. Palevoda I.I., Zaynudinova N.V. Ognestoykost' izgibaemykh zhelezobetonnykh predvaritel'no napryazhennykh plit bez stsepleniya armatury s betonom [Fire resistance of binding prestressed concrete slab with unbonded reinforcement]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 2. Pp. 161–167. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-2.161. EDN: XPAXHF.
 16. Palevoda I.I., Nekhan' D.S. Reshenie teplotekhnicheskoy zadachi ognestoykosti tsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh kolonn [A solution to the thermal problem of fire 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. EDN: ONYDWP.
 17. Nekhan' D.S., Palevoda I.I. 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). EDN: FONZFL.
 18. Palevoda I.I., Ivanitskiy A.G., Zhamoydik S.M. Modelirovanie ognestoykosti stal'nykh elementov s konstruktivnoy ognezashchitoy [Modeling the fire resistance of steel elements with structural fire protection]. *Vestnik Komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2010. No. 2. Pp. 39–46. (rus). EDN: SMWNXV.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ ГИПСОВЫХ ПЛИТ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ

Суриков А.В., Зайнудинова Н.В., Бойко В.П., Гараев Ю.В.

Цель. Определить применимость динамического индентирования гипсовых плит для оценки степени полученных в условиях пожара термических поражений конструкций. Выделить основные характеристики оборудования для индентирования гипсовых плит, использованных в качестве огнезащиты строительных конструкций.

Методы. Лабораторные исследования образцов гипсовых плит в камерной электропечи при температурном воздействии. Динамическое индентирование. Полный факторный эксперимент.

Результаты. Установлена возможность применения динамического индентирования гипсовых плит для оценки степени полученных в условиях пожара термических поражений конструкций, выполненных с их применением. Показано, что для определения изменения динамической твердости, обусловленного термическим поражением указанного материала, применение инденторов цилиндрической формы является более предпочтительным в сравнении с коническими инденторами. На основании результатов полного факторного эксперимента получена математическая модель, описывающая изменение глубины вдавливания стального цилиндрического индентора в гипсовую плиту в зависимости от его площади поперечного сечения, силы сжатия пружины разгонного устройства, значения температуры и времени нагрева материала. Определены технические характеристики оборудования, предназначенного для внедрения индентора в исследуемый материал путем создания ударного импульса (площадь поперечного сечения цилиндрического индентора 12,6 мм²; сила сжатия пружины разгонного устройства 130 Н).

Область применения исследований. Полученные результаты исследований могут быть применены при разработке технических средств для определения степени полученных в условиях пожара термических поражений конструкций, выполненных из гипсовых плит.

Ключевые слова: осмотр места пожара, гипсовая плита, термическое повреждение, ударно-импульсный метод, очаг пожара.

(Поступила в редакцию 24 февраля 2023 г.)

Введение

Выявление очага пожара является одной из задач, решаемых работниками органов государственного пожарного надзора либо другими специалистами на месте пожара. Решение данной задачи реализуется как по результатам визуальной фиксации очаговых признаков и признаков направленности распространения горения, так и с применением при необходимости различных инструментальных методов исследования [1]. Последние, в свою очередь, проводятся в лабораторных либо полевых условиях, а результаты исследований с их применением позволяют произвести оценку степени термических поражений конструкций и изделий, выполненных из различных материалов, а также определить расчетные температурно-временные параметры теплового воздействия на указанные объекты. Среди полевых методов наибольшее распространение получили: измерение глубины обугливания древесины и электрорезистивные исследования ее обугленных остатков, магнитный метод исследования холоднодеформированных и каленых стальных изделий, ультразвуковой метод исследования бетонных и железобетонных конструкций и ряд

других¹. Известны работы, направленные на разработку новых методов исследований, а также на совершенствование существующих² (например, [2–3]).

Проведенный в работе [4] анализ научных работ, выполненных на постсоветском пространстве, показал, что исследований, направленных на разработку методов определения термических поражений и методов определения расчетных температурно-временных параметров теплового воздействия на конструкции, выполненные с применением гипсовых плит, не проводится. Показано, что визуальная оценка термического поражения гипсовых плит имеет низкую степень информативности при достаточно невысоких температурах воздействия на материал (для листов гипсовых стандартных и влагостойких до 300 °С, для листов гипсовых с повышенной стойкостью гипсового сердечника при воздействии открытого пламени – до 400 °С). Это определяет перспективность применения инструментальных методов исследования. За рубежом применяются методы, суть которых сводится к измерению глубины прокаливания слоя гипса, образованного в результате термического воздействия в условиях пожара. При этом для измерения используются либо штангенциркуль, либо динамометр сжатия с присоединенным измерительным зондом (индентором), либо специально разработанные устройства [4]. Фактически указанные методы базируются на фиксации изменения твердости материала (за счет протекания процесса дегидратации гипса) с применением метода статического индентирования, при котором вдавливание индентора происходит при постоянной нагрузке.

Предпосылками для настоящих исследований послужили проанализированные в статье [4] работы, посвященные определению глубины прокаливания гипсовых плит, а также результаты работы [2], в которой исследована зависимость изменения поверхностной твердости ячеистых бетонов от предшествующего воздействия высоких температур с применением динамического индентирования. Последнее представляет собой ударное внедрение индентора в испытуемый материал под действием однократного ударного импульса, создаваемого посредством специального разгонного устройства или силы тяжести³. В работе [2] проводилось измерение глубины вдавливания стальных инденторов конусной формы с различными углами раствора в зависимости от значения температур, при которых выдерживали образцы. Для обеспечения сообщения ударно-поступательного движения индентору и необходимой силы удара применялось специальное разгонное устройство. Таким образом, авторами настоящей работы была поставлена цель по определению применимости динамического индентирования гипсовых плит для проведения в полевых условиях оценки степени полученных в условиях пожара термических поражений конструкций, выполненных с их применением, с использованием разгонного устройства и инденторов, примененных в работе [2], а также основных характеристик указанного оборудования.

Основная часть

Экспериментальные исследования динамического индентирования гипсовых плит. Исследования проводились в лабораторных условиях и сводились к определению изменения динамической твердости (твердости, определяемой при ударном нагружении) гипсовой плиты путем измерения глубины вдавливания индентора в ее поверхность по аналогии с известным методом динамического индентирования по ГОСТ Р 56474-2015⁴.

¹ Методология судебной пожарно-технической экспертизы: основные принципы. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2013. – 23 с.

² Сысоева, Т.П. Комплексная методика исследования металлических изделий с целью установления очаговых признаков и причин пожаров автомобилей: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Т.П. Сысоева. – СПб., 2015. – 152 л.

³ Системы космические. Контроль неразрушающий физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники методом динамического индентирования. Общие требования: ГОСТ Р 56474-2015. – Введ. 01.01.16. – М.: Стандартинформ, 2019. – 22 с.

⁴ См. сноску 3.

Искомая величина устанавливалась в зависимости от температуры и времени нагрева исследуемых образцов гипсовой плиты.

Для обеспечения сообщения индентору ударно-поступательного движения с заданным усилием использовалось разгонное устройство, описанное в работе [2].

С учетом работы [5] измерения проводились с применением конусного и цилиндрического инденторов. Угол раствора конусного индентора составлял 55° при диаметре основания конуса 7 мм. Площадь поперечного сечения цилиндрического индентора и сила сжатия пружины разгонного устройства подбирались максимально близко к значениям площадей инденторов и прикладываемых усилий (прилагаемое давление около 9 Н/мм^2), приведенным в работах [6] и [7], и составляли $12,6 \text{ мм}^2$ и 130 Н соответственно.

Измерение глубины вдавливания проводилось цифровым глубиномером с диапазоном измерений от 0 до $25,00 \text{ мм}$, ценой деления и погрешностью $0,01 \text{ мм}$.

В качестве исследуемого материала была принята наиболее востребованная на рынке Республики Беларусь гипсовая плита влагостойкая типа Н (далее – ГКЛВ). Исследуемые образцы изготавливали одинаковых размеров ($140 \times 100 \text{ мм}$) и нагревали в муфельной электропечи ЭКПС-10/1300 с открытыми нагревательными элементами (далее – печь). Размещение и крепление исследуемых образцов, измерение температуры на их обогреваемой и необогреваемой стороне, а также внутри печи проводилось по аналогии с исследованиями, приведенными в работе [8]:

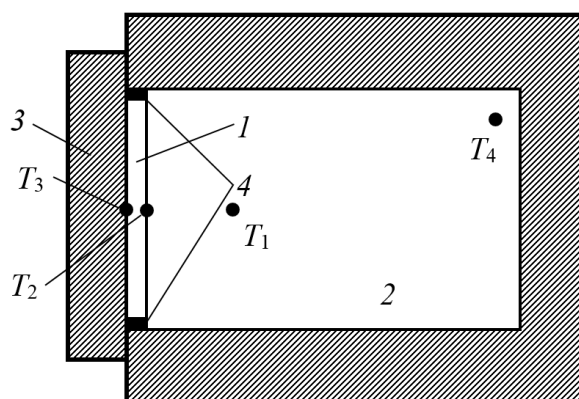
– образцы крепили к стальной пластине толщиной 1 мм, размерами ($50 \times 80 \text{ мм}$) посредством винтового соединения (винты диаметром 4 мм);

– стальную пластину с закрепленным образцом устанавливали вплотную на дверцу печи с помощью стальной шпильки, приваренной к пластине;

– зазоры и неплотности, образующиеся по периметру исследуемого образца и теплоизоляции дверцы печи, уплотняли мягким огнеупорным рулонным волокном;

– для измерения температуры использовались термоэлектрические преобразователи с диапазоном измерения до $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, диаметром не более $0,75 \text{ мм}$ и изолированным слоем не менее 300 мм .

Измерительная схема приведена на рисунке 1.



1 – исследуемый образец; 2 – рабочая камера печи; 3 – дверца печи; 4 – уплотнение из огнеупорного материала; T_1 – точка установки термоэлектрического преобразователя внутри рабочей камеры печи (расстояние до плоскости образца 100 мм); T_2 – точка установки термоэлектрического преобразователя на обогреваемой стороне исследуемого образца (в геометрическом центре); T_3 – точка установки термоэлектрического преобразователя на необогреваемой стороне исследуемого образца (в геометрическом центре); T_4 – точка датчика контроля температуры в печи, предусмотренного его конструкцией (расстояние до плоскости образца 260 мм)

Рисунок 1. – Измерительная схема экспериментальных исследований

Глубину вдавливания инденторов определяли при температуре в печи (показания индикатора) $150, 250$ и $400 \text{ }^\circ\text{C}$ (далее – целевые температуры) в течение 1, 10 и 15 мин.

Значения температуры принимались на основании известных значений температур, при которых происходит дегидратация гипса ($80\text{--}250 \text{ }^\circ\text{C}$) [9], а также с учетом работы [4]

(температура, при которой происходит механическое разрушение ГКЛВ, – 400–500 °С). Время нагрева определялось исходя из необходимости выявления различий глубины вдавливания индентора при целевых температурах при малом по длительности нагреве и изменении измеряемого параметра с увеличением времени.

Для проведения исследований закрытую специальной заглушкой рабочую камеру печи разогревали до целевой температуры по заданной программе нагрева. При ее достижении заглушку извлекали, закрывали дверцу печи и нагревали исследуемый образец в течение заданного времени, после чего испытания прекращались и образец доставался.

Охлаждение образцов осуществлялось без дополнительного обдува. Известно, что при измерении глубины прокалывания гипсовых плит существенное влияние оказывает влажность исследуемого материала [10, п. 18.4.4]. Смачивание выполненных с применением данного материала конструкций, подвергшихся термическому воздействию в условиях пожара, прежде всего может быть обусловлено проведением работ по его тушению. В настоящей работе указанный фактор не учитывался, а его влияние может быть исследовано в дальнейшем.

При проведении измерений авторы руководствовались требованиями к проведению испытаний при применении метода динамического индентирования, установленными ГОСТ Р 56474-2015⁵: разгонное устройство располагалось так, чтобы усилие прикладывалось строго перпендикулярно испытываемой поверхности; расстояние от края образца, а также между центрами двух соседних отпечатков составляло не менее трех их диаметров; при проведении испытаний образцы помещались на жесткое основание, а разгонное устройство плотно прижималось к их поверхности; за результат испытаний принималось среднее значение, полученное при проведении 5 измерений. Оценка погрешностей измерений проводилась согласно ГОСТ 8.207-76⁶.

На рисунке 2 для примера приведены образцы ГКЛВ, нагретые при целевых температурах в печи в течение 10 мин, после измерения глубины вдавливания инденторов.



а – температура в печи 150 °С

б – температура в печи 250 °С

в – температура в печи 400 °С

Рисунок 2. – Внешний вид образцов со следами воздействия инденторов

Результаты измерений глубины вдавливания инденторов, а также зависимости температур, полученные в ходе исследования, приведены на рисунках 3 и 4 соответственно.

По представленным данным видно, что в заданных временных условиях при температуре нагрева в печи 150 °С глубина вдавливания не изменилась как при применении конусного, так и при применении цилиндрического инденторов. Это обусловлено достаточно низкими температурами непосредственно на поверхности образцов (рис. 4 а, б, в). Так,

⁵ См. сноску 3.

⁶ Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207-76. – Введ. 15.03.76. – М.: Стандартинформ, 2006. – 7 с.

температура на поверхности образцов достигала 80 °С при нагреве в течение первых двух минут, а в течение 10–15 мин составляла 100–110 °С. Указанные условия не позволили сформироваться достаточному слою прокаленного гипса, и, как следствие, существенных изменений в динамической твердости материала не произошло.

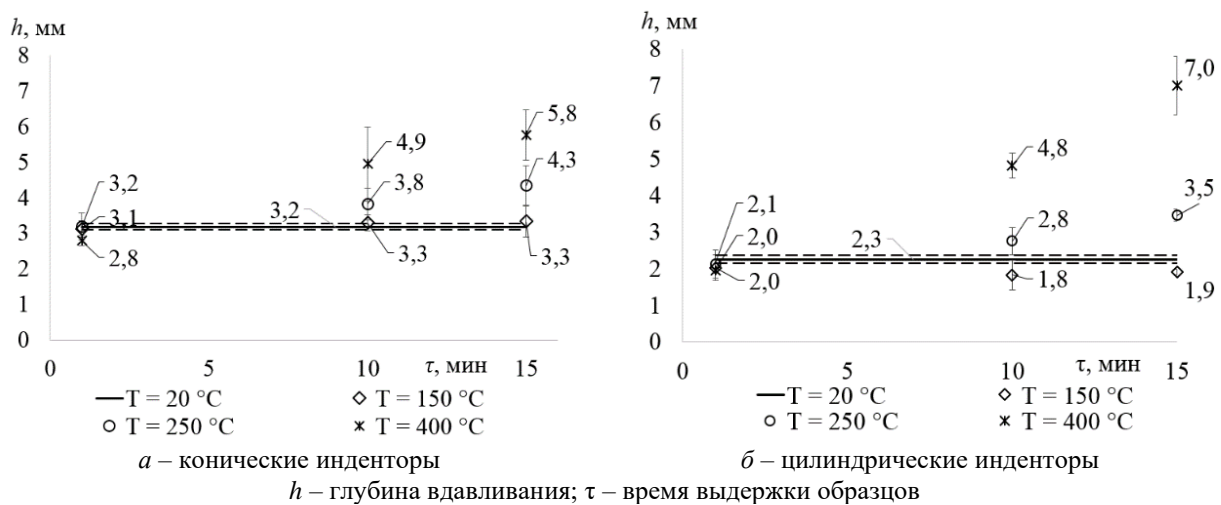


Рисунок 3. – Результаты измерений глубины вдавливания инденторов

При температуре в печи, равной 250 °С, по истечении первой минуты температура на поверхности образцов составляла около 130 °С. При дальнейшем нагреве в течение 5–15 мин указанный показатель составлял 200–210 °С (рисунок 4 г, д, е). При этом температура на необогреваемой поверхности достигала 80–85 °С после 12 мин с момента начала температурного воздействия, т.е. образец нагревался до температур, достаточных для процесса дегидратации гипса по всему сечению.

При нагреве образцов в течение 1 мин при температуре в печи, равной 400 °С, температура на их поверхности составляла 230–240 °С, а при нагреве в течение 5–15 мин 335–370 °С (рис. 4 г, д, е). Температура на необогреваемой поверхности превышала 80 °С после 6 мин с момента начала нагрева.

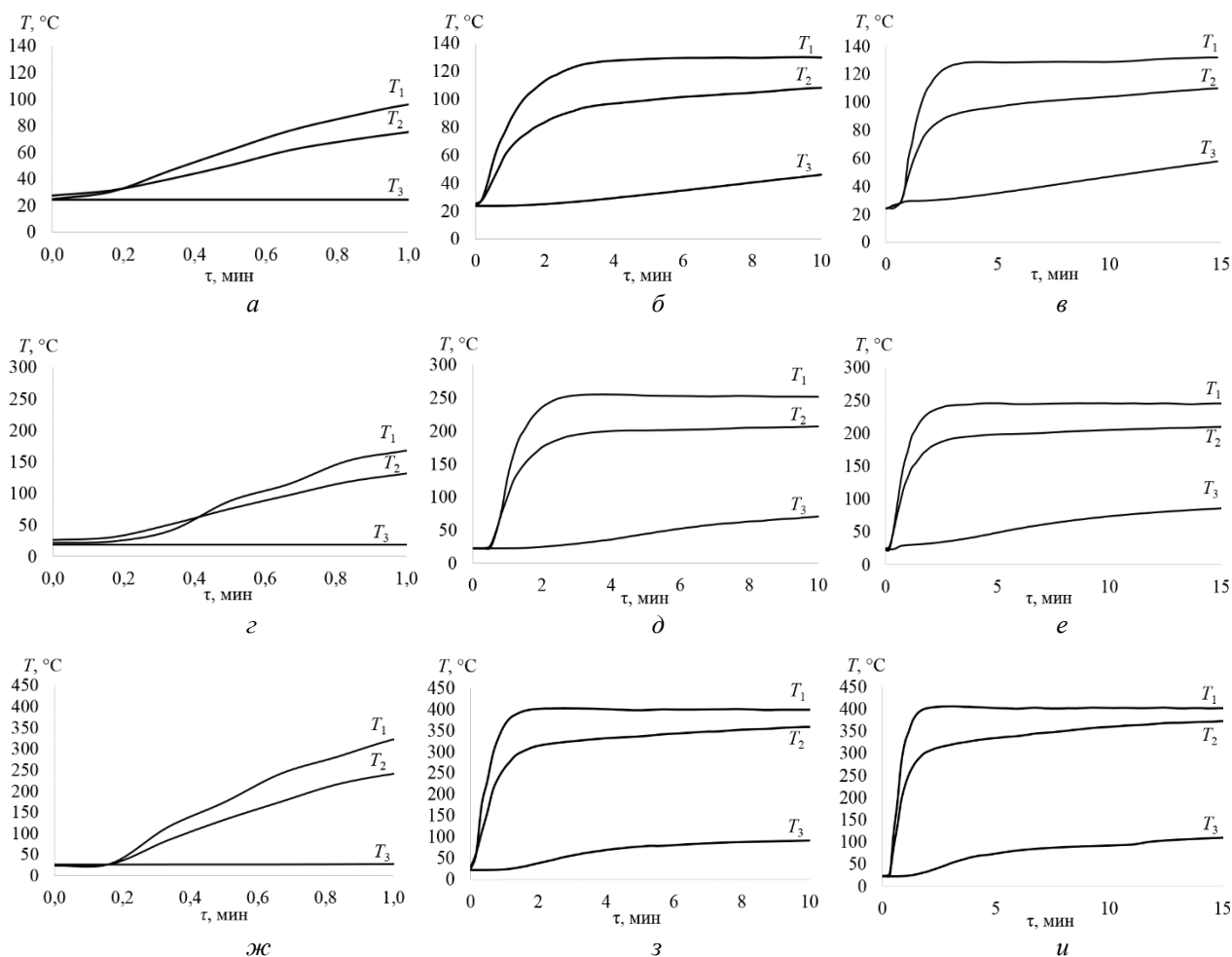
Таким образом, в заданных временных условиях при увеличении температуры в печи до 250 и 400 °С наблюдается устойчивая тенденция к увеличению глубины вдавливания инденторов, что связано с процессом дегидратации гипса, обусловленным значением температуры на поверхности исследуемых образцов и их нагревом по всему сечению. Указанный эффект проявляется уже при 10 мин воздействия целевых температур.

При этом рассеяние результатов измерения при использовании конического индентора значительно превышает его значение при применении индентора цилиндрической формы. Указанное согласуется с результатами, полученными в работе [5] относительно предпочтительности выбора цилиндрической формы индентора при статическом индентировании гипсовых плит. По указанной причине при дальнейших исследованиях применялись инденторы цилиндрической формы.

Следует отметить, что условия, при которых проводились исследования ГКЛВ, нельзя непосредственно экстраполировать на условия, характерные для реальных пожаров. Прежде всего это связано с режимом нагрева образцов.

Как известно, любой пожар характеризуется определенным температурным режимом. Очевидно, что на значение глубины вдавливания индентора помимо непосредственно прикладываемого ударного воздействия будет влиять и температурно-временной режим нагрева материала, т.е. скорость нарастания температуры на поверхности плиты до ее целевого значения. Последнее связано с тем, что в зависимости от скорости нагрева будет определяться и глубина прокалывания гипса. Иными словами, при достижении на поверхности плиты температуры, при которой начинается процесс дегидратации, глубина прокалывания

гипса будет зависеть от времени, в течение которого материал был подвержен воздействию температуры, превышающей минимальную температуру начала указанной химической реакции. Следовательно, чем интенсивнее будет нарастать температура, тем меньше будет глубина прокаливания при достижении ее целевого назначения.



а, б, в – целевая температура – 150 °С, время выдержки образцов – 1, 10 и 15 мин соответственно;
г, д, е – целевая температура – 250 °С, время выдержки образцов – 1, 10 и 15 мин соответственно;
ж, з, и – целевая температура – 400 °С, время выдержки образцов – 1, 10 и 15 мин соответственно;
 T_1 – температура внутри рабочей камеры печи; T_2 – температура на обогреваемой стороне исследуемого образца; T_3 – температура на необогреваемой стороне исследуемого образца
Рисунок 4. – Результаты измерений температуры при проведении исследований

Это означает, что для оценки термических поражений гипсовых плит, полученных в результате пожара, необходимо определить зависимости глубины прокаливания (глубины вдавливания индентора) от температурно-временного режима нагрева материала, в том числе для различных его типов. Указанное может быть одним из направлений дальнейших исследований.

Полученные результаты свидетельствуют, что воздействие высоких температур значительно влияет на динамическую твердость ГКЛВ, что подтверждает перспективность применения динамического индентирования для проведения оценки термического поражения конструкций, выполненных с применением гипсовых плит. Для получения более однозначных результатов определения глубины вдавливания инденторов в зависимости от температуры и времени ее воздействия авторами была проведена дальнейшая серия исследований, направленных на изучение характеристик использованного оборудования, обеспечивающего ударное воздействие, – силы сжатия пружины разгонного устройства и размеров инденторов.

Экспериментальные исследования по определению технических характеристик разгонного устройства. Для определения оптимальных технических характеристик разгонного устройства исследования проводились с использованием цилиндрических инденторов различного поперечного сечения при варьировании силы сжатия пружины устройства, температуры и времени нагрева образцов гипсовых плит. С учетом результатов работы [2] применялись стальные цилиндрические инденторы с площадью поперечного сечения 0,8; 3,1; 7,1 и 12,6 мм² (рис. 5).

С целью исследования влияния площади поперечного сечения инденторов разгонного устройства и условий нагрева гипсовой плиты на глубину вдавливания применен метод полного факторного эксперимента (далее – ПФЭ). В качестве главных факторов были приняты: площадь поперечного сечения индентора S , сила сжатия пружины разгонного устройства F ; температура в печи T ; время нагрева t ; в качестве отклика – глубина вдавливания h .

Значения уровней и интервалов факторов приведены в таблице 1. Количество уровней факторов определялось исходя из того, что глубина прокаливания гипсовой плиты и, следовательно, глубина вдавливания нелинейно зависит от варьируемых факторов [5; 7]. В связи с этим для описания искомой зависимости необходимо как минимум 3 уровня. Для реализации ПФЭ с количеством факторов, равным 4, и количеством уровней, равным 3, проведена 81 серия опытов.



Рисунок 5. – Внешний вид инденторов

Таблица 1. – Уровни и интервалы факторов при применении цилиндрических инденторов

№	Факторы	Уровни факторов		
		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
1	Площадь поперечного сечения индентора S , мм	3,1	7,1	12,6
2	Сила сжатия пружины F , Н	130	145	160
3	Температура в печи T , °С	150	250	400
4	Время нагрева t , мин	1	10	15

Интервалы факторов определялись исходя из цели настоящей работы, а также на основании проведенных предварительных экспериментов и с учетом имеющегося оборудования:

– интервалы значений силы сжатия пружины разгонного устройства определялись его техническими возможностями (регулировка в диапазоне 130–160 Н);

– интервалы площади поперечного сечения цилиндрических инденторов принимались с учетом результатов работ [6; 7], а также предварительных экспериментов, которые показали неинформативность результатов измерений при применении инденторов площадью поперечного сечения 0,8 мм² (явных изменений глубины вдавливания при воздействии различных температур выявлено не было);

– интервалы значений температуры и времени нагрева принимались по аналогии с первым блоком исследований, представленных в основной части настоящей работы.

Анализ ПФЭ проводился с помощью программного обеспечения STATISTICA компании StatSoft, Inc. (США). Результаты измерений глубины вдавливания конических инденторов, полученные в ходе ПФЭ, приведены в таблице 2.

Анализ ПФЭ показал, что наиболее точной моделью, описывающей изменчивость отклика, является модель, учитывающая взаимодействие главных факторов и квадратов главных факторов 2-го порядка (коэффициент детерминации $R^2 = 0,92$):

$$h = h_0 + k_1S + k_2S^2 + k_3T + k_4T^2 + k_5F + k_6F^2 + k_7\tau + k_8\tau^2 + k_9ST + k_{10}ST^2 + k_{11}S^2T + k_{12}S^2T^2 + k_{13}SF + k_{14}SF^2 + k_{15}S^2F + k_{16}S^2F^2 + k_{17}S\tau + k_{18}S\tau^2 + k_{19}S^2\tau + k_{20}S^2\tau^2 + k_{21}TF + k_{22}TF^2 + k_{23}T^2F + k_{24}T^2F^2 + k_{25}T\tau + k_{26}T\tau^2 + k_{27}T^2\tau + k_{28}T^2\tau^2 + k_{29}F\tau + k_{30}F\tau^2 + k_{31}F^2\tau + k_{32}F^2\tau^2, \quad (1)$$

где $h_0, k_1, k_2, k_3, \dots, k_{32}$ – коэффициенты уравнения регрессии в натуральном масштабе переменных, имеющие размерность, обратную размерности переменных / произведению переменных при них.

Таблица 2. – Результаты измерений глубины вдавливания инденторов

№ серии	Факторы в натуральном масштабе				Среднее h_{cp}	№ серии	Факторы в натуральном масштабе				Среднее h_{cp}	№ серии	Факторы в натуральном масштабе				Среднее h_{cp}
	S	T	F	τ			S	T	F	τ			S	T	F	τ	
1	3,1	150	160	15	9,8	28	12,6	150	160	1	3,0	55	12,6	250	145	1	2,9
2	7,1	250	130	1	3,6	29	7,1	150	160	1	4,5	56	12,6	400	160	1	3,2
3	7,1	250	130	15	4,7	30	12,6	150	160	15	2,6	57	3,1	250	160	15	9,9
4	12,6	400	130	15	7,0	31	7,1	400	130	15	7,6	58	3,1	250	145	1	7,8
5	12,6	250	160	1	3,4	32	3,1	400	130	1	6,9	59	3,1	150	145	1	7,3
6	3,1	150	160	1	8,8	33	12,6	400	160	10	6,8	60	7,1	250	145	10	5,4
7	7,1	400	130	10	2,9	34	12,6	400	130	10	4,8	61	12,6	250	145	15	4,2
8	3,1	150	160	10	10,0	35	3,1	250	160	1	9,8	62	3,1	400	145	1	8,2
9	12,6	400	160	15	8,7	36	7,1	400	145	1	3,3	63	3,1	150	130	1	6,0
10	3,1	250	130	15	8,0	37	12,6	400	145	15	8,8	64	3,1	150	145	15	7,9
11	12,6	400	145	1	2,9	38	12,6	150	130	10	1,8	65	7,1	400	145	10	9,4
12	7,1	150	160	10	4,5	39	12,6	150	130	1	2,0	66	12,6	250	160	15	4,6
13	12,6	400	145	10	6,0	40	3,1	250	130	10	7,2	67	7,1	150	160	15	4,6
14	3,1	400	145	10	10,2	41	3,1	400	160	1	9,5	68	3,1	400	145	15	12,5
15	7,1	250	145	1	4,3	42	3,1	150	130	10	7,1	69	7,1	400	160	10	10,0
16	7,1	250	160	1	5,0	43	7,1	250	160	15	6,5	70	12,6	150	145	15	2,2
17	12,6	150	145	1	2,5	44	12,6	250	130	1	2,1	71	7,1	150	145	15	4,4
18	3,1	250	130	1	6,8	45	12,6	250	160	10	4,0	72	12,6	400	130	1	2,0
19	12,6	150	145	10	2,8	46	7,1	150	130	15	3,2	73	7,1	400	160	15	9,9
20	7,1	250	160	10	5,6	47	7,1	150	145	1	4,0	74	12,6	250	130	10	2,8
21	7,1	250	130	10	5,2	48	7,1	400	160	1	4,8	75	3,1	150	145	10	8,3
22	12,6	150	160	10	3,4	49	7,1	400	130	1	9,4	76	12,6	250	145	10	3,6
23	3,1	250	145	10	8,1	50	3,1	400	130	15	10,3	77	7,1	400	145	15	9,9
24	12,6	150	130	15	1,9	51	3,1	150	130	15	6,2	78	3,1	400	130	10	7,7
25	3,1	400	160	10	12,5	52	3,1	250	145	15	8,4	79	3,1	400	160	15	12,5
26	7,1	250	145	15	4,8	53	7,1	150	145	10	3,9	80	3,1	250	160	10	9,6
27	7,1	150	130	1	3,6	54	7,1	150	130	10	3,4	81	12,6	250	130	15	3,5

Проведенные корреляционный и дисперсионные анализы позволили сделать выводы о наличии главных факторов, между которыми имеется сильная корреляционная связь, корреляции главных факторов с откликом, а также о факторах, оказывающих наибольшее влияние на изменение глубины вдавливания инденторов. Дополнительно были отсеяны незначимые факторы ($p > 0,05$). В итоге была получена следующая искомая зависимость:

$$h = h_0 + k_1S + k_2S^2 + k_3T + k_5F + k_7\tau + k_{13}SF + k_{25}T\tau = -3,57750 - 0,65665S + 0,56971S^2 + 0,00187T + 0,10133F - 0,17996\tau - 0,00527SF + 0,00114T\tau. \quad (1)$$

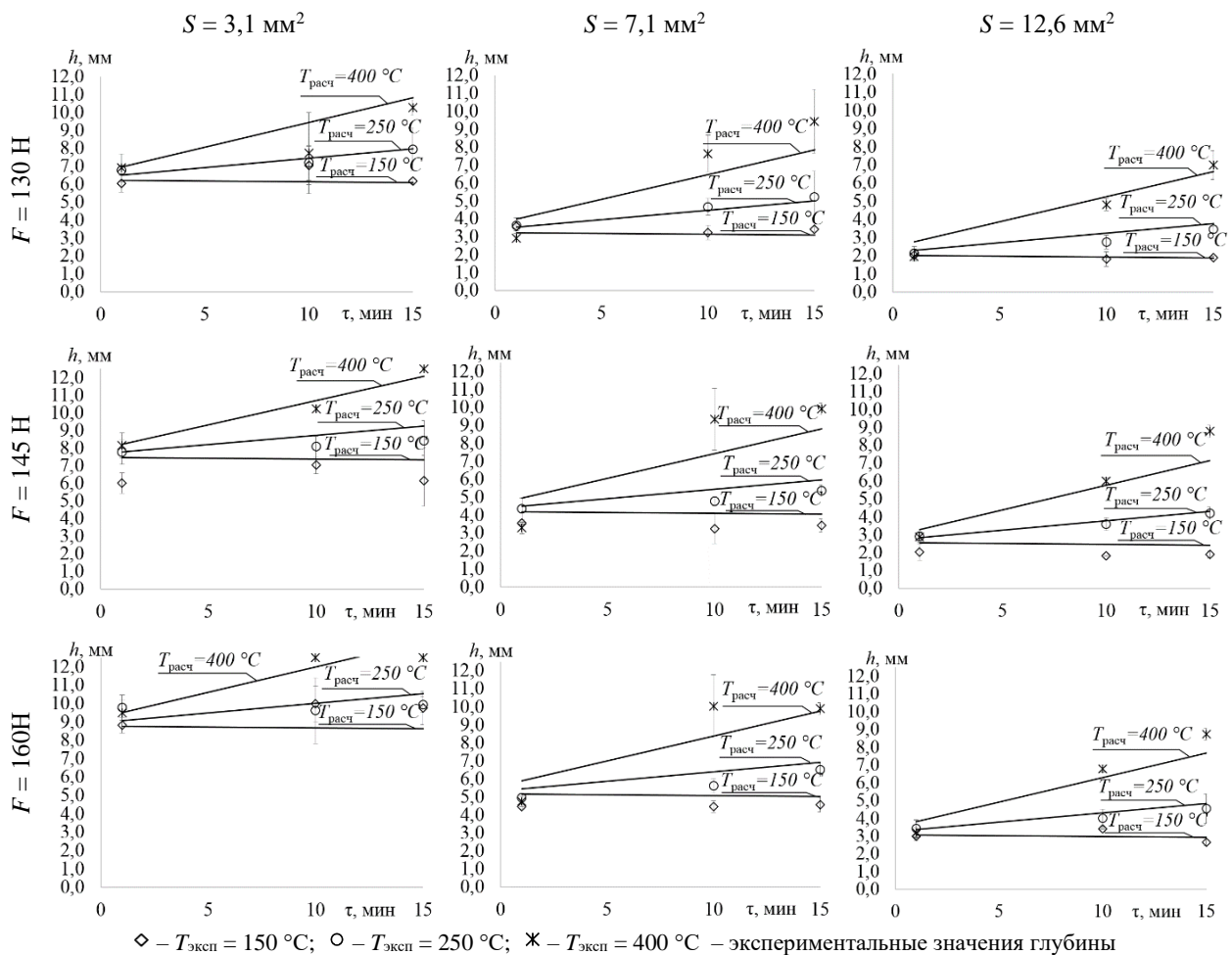
Коэффициент детерминации R^2 для упрощенной модели составил 0,88.

Корреляционный анализ показал, что максимальная корреляция между главными факторами $|r|$ составляет 0,18, что свидетельствует об отсутствии сильной корреляционной

связи между ними. По результатам анализа степени корреляции главных факторов с откликом «глубина вдавливания» установлено, что имеется умеренная корреляционная связь ($0,25 \leq |r| \leq 0,75$): между откликом и фактором «площадь» ($|r| = 0,69$), фактором «температура» ($|r| = 0,42$), «усилие» ($|r| = 0,26$) и «время» ($|r| = 0,25$).

Наибольшая изменчивость объясняется факторами «площадь» – 49,5 % от общей суммы квадратов отклонений и «температура» – 15,2 %. Влияние остальных факторов на глубину вдавливания значительно меньше, т.к. отношение квадратов отклонений остальных факторов к общей сумме квадратов отклонений не превышает 10 % («время» – 7,1 %; «усилие» – 6,5 % «температура × время» – 5,5 %; «квадрат площади» – 4 %; «площадь × усилие» – 0,8 %). Указанные результаты согласуются с результатами корреляционного анализа.

Зависимости глубины вдавливания при заданных значениях уровней температуры в печи и силы сжатия пружины для исследованных площадей поперечного сечения инденторов, полученные по формуле (2), в сравнении с экспериментальными результатами приведены на рисунке 6.



S – площадь поперечного сечения инденторов; F – сила сжатия пружины; h – глубина вдавливания; $T_{расч}$ – заданное значение температуры в печи; τ – время выдержки образцов

Рисунок 6. – Расчетные зависимости глубины вдавливания инденторов в сравнении с экспериментальными результатами

Анализ экспериментальных результатов показал, что при площади поперечного сечения индентора $S = 3,1 \text{ мм}^2$ при принятых значениях силы сжатия пружины F не выявляется значимых различий по глубине вдавливания индентора h на всем принятом временном

интервале. При этом измеренные значения h не всегда согласуются с полученными по формуле (2) расчетными зависимостями. Аналогичные эффекты выявлены при $S = 7,1 \text{ мм}^2$.

При применении индентора с площадью поперечного сечения $S = 12,6 \text{ мм}^2$ наблюдается значительное изменение глубины его вдавливания h в зависимости как от температуры в печи, так и от длительности ее воздействия. Данное изменение становится более характерным с увеличением времени нагрева образцов. Расчетные зависимости хорошо согласуются с экспериментальными данными на всем исследованном временном интервале при целевых температурах 150 и 250 °С. Однако при значении температуры в печи 400 °С при значениях силы сжатия пружины 145 и 160 Н наблюдается расхождение расчетных и измеренных значений, которое возрастает с увеличением времени нагрева. При указанных условиях измерения в ряде случаев происходило механическое разрушение образцов, подверженных нагреву при температуре в печи, равной 400 °С.

Вместе с тем при $F = 130 \text{ Н}$ глубина вдавливания индентора при более высоких температурах и времени воздействия значительно увеличивается, а расчетные значения хорошо согласуются с экспериментальными.

Исходя из анализа полученных в результате ПФЭ данных оптимальным для установления температурно-временных зависимостей изменения динамической твердости гипсовых плит является применение цилиндрических инденторов с площадью поперечного сечения $12,6 \text{ мм}^2$ при силе сжатия пружины разгонного устройства, равной 130 Н. Следует отметить, что указанное соотношение согласуется с параметрами оборудования, примененного в работах [6] и [7] при измерении глубины прокаливания гипсовых плит с применением статического индентирования.

Заключение

Проведенные исследования показали, что воздействие высоких температур значительно влияет на динамическую твердость гипсовых плит. Указанное определяет перспективность применения динамического индентирования для проведения оценки термического поражения конструкций, выполненных с применением данного материала.

Результаты измерений глубины вдавливания инденторов в поверхность предварительно нагретых образцов гипсовых плит типа ГКЛВ показали, что использование цилиндрических инденторов является более предпочтительным в сравнении с инденторами конусной формы.

На основании результатов проведенного ПФЭ получена математическая модель, описывающая изменение глубины вдавливания стального цилиндрического индентора в гипсовую плиту в зависимости от площади его поперечного сечения, силы сжатия пружины разгонного устройства, значения температуры и времени нагрева материала в течение 1–15 мин. Проведенные расчеты глубины вдавливания индентора по полученной зависимости свидетельствуют, что наиболее точно экспериментальные результаты описываются при значении его поперечного сечения $12,6 \text{ мм}^2$ и силе сжатия пружины разгонного устройства, равной 130 Н.

Для оценки термических поражений гипсовых плит, полученных в результате пожара, путем измерения изменения их динамической твердости в дальнейшем необходимо определение зависимости глубины вдавливания индентора от температурно-временного режима нагрева материала (скорости нарастания температуры, ее значения и времени воздействия), в том числе для различных типов гипсовых плит, а также в условиях их смачивания после термического воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чешко, И.Д. Технические основы расследования пожаров: метод. пособие / И.Д. Чешко. – М.: ВНИИПО, 2002. – 330 с.

2. Волосач, А.В. Результаты экспериментальных исследований поверхностной твердости ячеистых бетонов, подвергшихся температурному воздействию, инденторами с углами раствора конуса 20–55° / А.В. Волосач, О.Г. Горовых // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 13–22. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.13. – EDN: YZVGBF.
3. Таубкин, И.С. Определение температуры и длительности горения древесины на пожаре по параметрам обугленного слоя: методические рекомендации / И.С. Таубкин // Теория и практика судебной экспертизы. – 2017. – Т. 12, № 4. – С. 37–47. – DOI: 10.30764/1819-2785-2017-12-4-37-47. – EDN: YLXHSK.
4. Суриков, А.В. Перспективные методы оценки степени полученных в условиях пожара термических повреждений конструкций, выполненных с применением гипсовых плит / А.В. Суриков, Н.В. Зайнудинова, В.П. Бойко // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 4. – С. 400–414. – DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.400
5. Ngu, Chu Nguong. Calcination of gypsum plasterboard under fire exposure: fire engineering research report 04/6 may 2004 / Chu Nguong, Ngu; Department of Civil Engineering University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 2004. – 127 p. – DOI: 10.26021/1689.
6. Mann, D.C. Studies of the Dehydration / Calcination of Gypsum Wallboard / D.C. Mann, N.D. Putaansuu // Proceeding of the 11th Conference and Exhibition «Fire and Materials 2009», San Francisco, California, USA, January 26–28, 2009. – UK, London: Interscience Communications Ltd, 2009. – Pp. 827–838.
7. Mealy, Ch.L. A Study of Calcination of Gypsum Wallboard / Ch.L. Mealy, D.T. Gottuk // Proceedings of the 5th International Symposium on Fire Investigation Science and Technology. – USA, Sarasota, 2012. – Pp. 427–438.
8. 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. – EDN: BNQIRI.
9. Zehfub, J. Gypsum plasterboards under natural fire – Experimental investigations of thermal properties / J. Zehfub, L. Sander // Civil Engineering Design. – 2021. – Vol. 3, № 3. – P. 62–72. – DOI: 10.1002/cend.202100002.
10. Guide for Fire and Explosion Investigations: NFPA 921 / The Technical Committee on Fire Investigations. – Massachusetts, Quincy: National Fire Protection Association, 2017. – 426 p.

Оценка возможности применения динамического индентирования гипсовых плит для установления степени полученных в условиях пожара термических поражений конструкций

Evaluation of the possibility of using dynamic indentation of gypsum boards to determine the degree of thermal damage to structures received under fire conditions

Суриков Андрей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра организации надзорной и профилактической деятельности, начальник кафедры

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

Email: shurikoff@bk.ru

ORCID: 0000-0002-3659-7297

Andrey V. Surikov

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 Organization of Supervisory and Preventive Activities, Head of the Chair

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

Email: shurikoff@bk.ru

ORCID: 0000-0002-3659-7297

Зайнудинова Наталья Владимировна

кандидат технических наук

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

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

Email: Zainudzinava@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1848-1562

Natal'ya V. Zaynudinova

PhD in Technical Sciences

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

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

Email: Zainudzinava@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1848-1562

Бойко Василий Павлович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра организации надзорной и профилактической деятельности, старший преподаватель

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

Email: pojarnik@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8032-2792

Vasiliy P. Boyko

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

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

Email: pojarnik@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8032-2792

Гараев Юрий Владимирович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра организации надзорной и профилактической деятельности, начальник кабинета

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

Email: y.garaev@icloud.com

ORCID: 0000-0002-4980-2712

Yuriy V. Garaev

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Organization of Supervisory and Preventive Activities, Office Manager

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

Email: y.garaev@icloud.com

ORCID: 0000-0002-4980-2712

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF USING DYNAMIC INDENTATION OF GYPSUM BOARDS TO DETERMINE THE DEGREE OF THERMAL DAMAGE TO STRUCTURES RECEIVED UNDER FIRE CONDITIONS

Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Boyko V.P., Garaev Yu.V.

Purpose. To determine the applicability of dynamic indentation of gypsum boards to assess the degree of thermal damage to structures under fire conditions. To highlight the main characteristics of equipment for indentation of gypsum boards used as fire protection of building structures.

Methods. Laboratory studies of samples of gypsum boards in the chamber electric furnace under temperature exposure. Dynamic indentation. Full factorial experiment.

Findings. The possibility of using dynamic indentation of gypsum boards to assess the degree of thermal damage to structures made with their use. It is shown that to determine the change in dynamic hardness due to thermal damage to the specified material, the use of cylindrical indenters is more preferable than conical indenters. Based on the results of a full factorial experiment, the mathematical model was obtained that describes the change in the depth of indentation of a steel cylindrical indenter into a gypsum board depending on its cross-sectional area, the compression force of the spring of the accelerator, the temperature value and the heating time of the material. The technical characteristics of the equipment intended for the introduction of the indenter into the researched material by creating a shock pulse (the cross-sectional area of the cylindrical indenter 12.6 mm²; the compression force of the accelerating device spring 130 N) were determined.

Application field of research. The obtained research results can be applied in the development of technical means for determining the degree of thermal damage to structures made of gypsum boards obtained under fire conditions.

Keywords: inspection of the fire site, gypsum board, thermal damage, shock-pulse method, seat of fire.

(The date of submitting: February 24, 2023)

REFERENCES

1. Cheshko I.D. *Tekhnicheskie osnovy rassledovaniya pozharov* [Technical basis of fire investigation]: methodical manual. Moscow: VNIPO EMERCOM of Russia, 2002. 330 p. (rus)
2. Volosach A. V., Gorovykh O. G. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy poverkhnostnoy tverdsti yacheistykh betonov, podvergshikhsya temperaturnomu vozdeystviyu, indentorami s uglami rastvora konusa 20–55° [Results of experimental researches of surface hardness of cellular concretes exposed to temperature by indentors having 20–55° angles of cone opening]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 1. Pp. 13–22. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.13. EDN: YZVGBF.
3. Taubkin I.S., Opređenje temperatury i dlitel'nosti goreniya drevesiny na pozhare po parametram obuglennogo sloya: metodicheskie rekomendatsii [Determining the temperature and time of wood combustion from char layer parameters: methodological guidelines for fire investigators]. *Theory and Practice of Forensic Science*, 2017. Vol. 12, No. 4. Pp. 37–43. (rus). DOI: 10.30764/1819-2785-2017-12-4-37-47. EDN: YLXHSK.
4. Surikov A.V., Zaynudinova N.V., Boyko V.P. Perspektivnye metody otsenki stepeni poluchennykh v usloviyakh pozhara termicheskikh povrezhdeniy konstruktsiy, vpolnennykh s primeneniem gipsovykh plit [Promising methods for assessing the degree of thermal damage obtained under fire conditions made with the application of gypsum boards]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol. 6, No. 4. Pp. 400–414. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.400. EDN: ZYWQWU.
5. Ngu, Chu Nguong. Calcination of gypsum plasterboard under fire exposure: fire engineering research report 04/6 May, 2004. Department of Civil Engineering of University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. 127 p. DOI: 10.26021/1689.
6. Mann D.C., Putaansuu N.D. Studies of the Dehydration / Calcination of Gypsum Wallboard. *Proc. 11th Conference and Exhibition «Fire and Materials 2009»*, San Francisco, California, USA, January 26–28, 2009. UK, London: Interscience Communications Ltd, 2009. Pp. 827–838.

7. Mealy Ch.L., Gottuk D.T. A Study of Calcination of Gypsum Wallboard. *Proc. 5th International Symposium on Fire Investigation Science and Technology*. USA, Sarasota, 2012. Pp. 427–438. Url: <https://www.nafi.org/blog/a-study-of-calcination-of-gypsum-wallboard/>.
8. Botyan S.S., Zhamoydik S.M., Kudryashov V.A., Nguen 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. 4, No. 1. Pp. 5–19. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-1.5. EDN: BNQIRI.
9. Zehfub J., Sander L. Gypsum plasterboards under natural fire – Experimental investigations of thermal properties. *Civil Engineering Design*, 2021. Vol. 3, Iss 3. Pp. 62–72. DOI: 10.1002/cend.202100002.
10. Guide for Fire and Explosion Investigations: NFPA 921. The Technical Committee on Fire Investigations. Massachusetts, Quincy: National Fire Protection Association, 2017. 426 p.

ПУТИ СНИЖЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ МОНТАЖЕ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Аушев И.Ю., Балуга А.С.

Цель. Разработка комплекса мероприятий по снижению количества дефектов сварных соединений при монтаже вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

Методы. Общая методология работы предусматривала использование теоретических методов исследования (анализ, синтез, сравнение).

Результаты. Проведен анализ основных причин разрушения вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Показано, что основными дефектами, приводящими к аварии в процессе монтажа и эксплуатации резервуаров, являются трещиноподобные дефекты сварных швов. Разработан комплекс мероприятий по снижению количества дефектов сварных соединений при монтаже.

Область применения исследований. Результаты обзора и анализа сведений о причинах дефектов вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов могут быть использованы при проведении монтажных работ конструктивных элементов.

Ключевые слова: резервуар стальной вертикальный, сварное соединение, дефекты сварных соединений, разрушение сварных швов.

(Поступила в редакцию 10 апреля 2023 г.)

Введение

Стальные вертикальные резервуары цилиндрической конструкции (далее – РВС) для хранения нефти и нефтепродуктов являются достаточно ответственными инженерными сооружениями, аварии на которых могут привести к значительному экологическому и экономическому ущербу, во много раз превышающему стоимость сооружения. Целый сегмент по добыче, транспортировке и переработке нефти и нефтепродуктов не сможет функционировать должным образом без использования РВС для их хранения и отпуска. Поэтому во всем мире вопросам предотвращения аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации резервуаров уделяется пристальное внимание.

Однако, несмотря на внедрение на предприятиях топливно-энергетического комплекса систем управления охраной труда, экологического менеджмента, менеджмента качества, обеспечивающих промышленную и экологическую безопасность, эксплуатация РВС сопровождается случаями возгорания, взрывами и разрушением сооружений.

В данной работе проведен анализ основных причин разрушения РВС и предложен ряд мероприятий по их предотвращению на примере нефтесборного пункта «Виша», расположенного на территории Октябрьского района Гомельской области.

Основная часть

На нефтеперерабатывающих предприятиях Республики Беларусь для хранения нефти и нефтепродуктов используются резервуары различных конструктивных исполнений. В нашей стране эксплуатируется более 700 резервуаров, общим объемом порядка 1,5 млн м³. Наиболее распространенными являются РВС [1].

Главные конструктивные элементы РВС: корпус, крыша, основание. Сборка и сварка конструктивных элементов производится на монтажной площадке полистовым способом или рулонированием, когда на заводе из отдельных листов свариваются полотнища корпуса и днища. Затем полотнища сворачиваются в рулоны и транспортируются на монтажную площадку, где производят их развертывание в проектное положение. Рулонирова-

ние существенно сокращает трудоемкость изготовления и повышает качество сварочных работ [2].

Анализ литературных источников показал, что наиболее распространенными авариями РВС являются: хрупкое разрушение (63,1 %), взрывы и пожары (12,4 %) [3; 4]. Основные причины разрушения РВС [5]: заводские дефекты листового материала, дефекты монтажа конструктивных элементов, нарушение правил технической эксплуатации, низкий контроль качества строительно-монтажных работ, объективные факторы условий эксплуатации, стихийные бедствия (рис. 1).



Рисунок 1. – Основные причины разрушения РВС

Предотвратить заводские дефекты и дефекты монтажа, обеспечить качество строительно-монтажных работ в большинстве случаев можно лишь до ввода резервуара в эксплуатацию путем соблюдения технологии изготовления материалов и конструкций, правил монтажа конструктивных элементов, а также качественного входного контроля материалов и профессионального технического надзора за строительством.

Вызываемые воздействием окружающей среды при эксплуатации РВС перепады температур и осадка оснований, а также стихийные бедствия – это процессы, которые невозможно в достаточной степени контролировать персоналу предприятия. В данном случае предупреждающие аварии действия сводятся к своевременному диагностированию, техническому обслуживанию и ремонту сооружения.

Из литературных источников следует, что прочность и долговечность резервуара, как сварной конструкции, во многом определяется качеством сварных швов. Дефекты сварных швов РВС составляют около 25 % от основных дефектов, образующихся в процессе его монтажа и эксплуатации [7; 8].

При снижении температуры окружающей среды в процессе эксплуатации, при развитии коррозии стенок РВС и сварных соединений, интенсивность которой зависит от вида хранимого нефтепродукта, а также продолжительности эксплуатации в нагруженном состоянии влияние дефектов на разрушение сварного шва значительно повышается.

Результаты натурных обследований технического состояния резервуарных парков Республики Коми показывают [7], что износ корпуса резервуара с продолжительностью эксплуатации 10 лет при хранении угленосной нефти составляет более 35 %, бензинов – более 15 %, сырой нефти – около 10 %, а при увеличении срока эксплуатации в 2 раза показатели износа также увеличиваются практически в 2 раза.

Наиболее опасными являются трещиноподобные дефекты сварных швов. Трещины признаются экспертами недопустимыми дефектами, т.к. являются концентраторами напряжений, приводящих к разрушению сварного соединения. Образуются они в виде разрыва в сварном шве или в зоне термического влияния сначала с очень малым раскрытием, однако в дальнейшем под действием нагрузок происходит их развитие, что приводит к разрушению конструкции.

Основными причинами образования трещин чаще всего является нарушение технологии сварочных работ и неверный подбор режимов сварки. Например, при очень быстром охлаждении сварного соединения растворенный атомарный водород, оставшийся в сварочной ванне, может приводить к появлению холодных трещин. Причинами попадания водорода могут служить некачественно подготовленные, непросушенные кромки свариваемых изделий или сварочные материалы, сварка в сырую погоду (снег или дождь), а также нарушение технологии защиты сварочной ванны.

Высокая скорость охлаждения свариваемых изделий из углеродистых сталей приводит к образованию в околошовной зоне закалочных микроструктур с высокими внутренними напряжениями, возникающими во время фазовых превращений, что снижает прочностные свойства металла. Снизить скорость охлаждения после сварки можно либо увеличением погонной энергии при сварке (увеличив силу сварочного тока или уменьшив скорость перемещения электрода), либо предварительным подогревом изделия. Увеличение погонной энергии при сварке допустимо только в ограниченных пределах, а также зависит от квалификации сварщика. Поэтому основным способом, влияющим на снижение скорости охлаждения металла при сварке, является предварительный подогрев свариваемого изделия, что также является технологическим приемом снижения риска появления горячих трещин.

Под влиянием переменных нагрузок, обусловленных циклами заполнения-опорожнения, в сварных швах развиваются вертикальные трещины, на появление которых существенное влияние оказывает время года. Образование основной доли трещин приходится на холодные месяцы года (рис. 2).

Появление перечисленных дефектов у резервуаров зависит не только от неблагоприятных климатических условий региона, но и от продолжительности эксплуатации в этих условиях. Наибольшее количество дефектов и повреждений у РВС наблюдается в начальный период эксплуатации емкостей и после 25 лет работы. Согласно данным публикации [8] срок службы РВС до первого капитального ремонта при хранении сероводородсодержащей нефти составляет 5 и 10 лет при хранении нефти без сероводорода. В целом эксплуатационный период РВС до выхода из строя варьируется от 3,9 до 21 года.

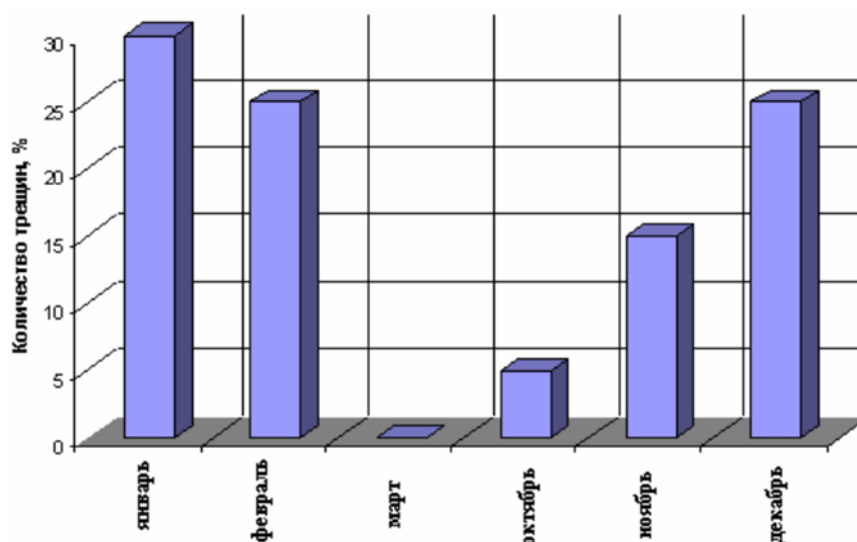


Рисунок 2. – Распределение образования трещин по месяцам [8]

Практическое исследование качества монтажа сварных соединений РВС проводилось авторами данной статьи в Республике Беларусь на нефтесборном пункте «Виша» (далее – НСП «Виша»), расположенном на территории Октябрьского района Гомельской области. На НСП «Виша» поступает газонасыщенная нефть с Вишанского, Борисовского, Восточно-Дроздовского, Мармовичского, Полесского, Оземлинского, Южно-Оземлинского, Ново-Дроздовского месторождений.

НСП «Виша» предназначен для сбора и учета нефтегазовой смеси, одноступенчатой сепарации газа, частичного отделения и подготовки пластовой воды, аварийного сбора нефтепродуктов и дальнейшей транспортировки сырой нефти и газа на установку подготовки нефти, а также хранения соленой воды для закачки в скважины для поддержания пластового давления.

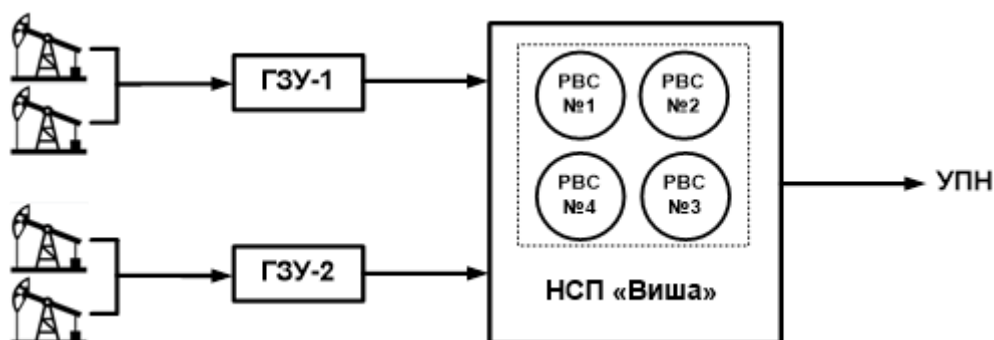
На установке подготовки нефть проходит тщательную очистку от солей, парафина, воды, производится отделение газа, доводится до товарной кондиции и поступает в виде товарной нефти в нефтепровод «Дружба» и на Мозырский нефтеперерабатывающий завод. Попутный газ, который идет с нефтью по трубопроводам, поступает через установку подготовки нефти на Белорусский газоперерабатывающий завод.

Мощность НСП «Виша» составляет 215 тыс. т / год. На данном объекте обращаются следующие вещества: сырая нефть – до 2300 м³ (1960 т), попутный газ – до 800 м³ (1,08 т), реагенты – деэмульсаторы (реагенты ДИН-4, Реанон-И) – до 8 м³, ингибитор коррозии на основе отходов производства капролактама марки КРЦ-3Г – до 10 м³.

Схема транспортировки нефти на территории Октябрьского района представлена на рисунке 3. Нефть после добычи поступает на групповую замерную установку, которая предназначена для замера поступающей нефти из куста скважин. Далее нефть поступает на НСП «Виша», после чего транспортируется на установку подготовки нефти.

Для хранения нефтепродуктов используются два РВС объемом 2000 м³, хранение соленой воды осуществляется также в 2 РВС объемом 2000 м³. Все четыре резервуара находятся в черте одного обвалования.

В 2020 г. в связи с истечением нормативного расчетного срока службы резервуаров (20 лет) началась реконструкция РВС № 2 и РВС № 4. Резервуар № 2 предназначен для хранения пластовой воды, № 4 – для хранения сырой нефти (рис. 4).



ГЗУ – групповая замерная установка; РВС – стальной вертикальный резервуар цилиндрической конструкции; УПН – установка подготовки нефти

Рисунок 3. – Схема транспортировки нефти на территории Октябрьского района Гомельской области

При проведении сварочных работ металлических стен РВС № 4 был выявлен факт деформации металла и ненормированного отклонения стенки резервуара от номинального значения. Согласно техническому отчету № 2810-1/22 Межгосударственного образовательного учреждения высшего образования «Белорусско-Российский университет» причиной ненормированного отклонения стенки резервуара от номинального значения послужило несоблюдение технологии сборки и сварки монтажного стыка стенки РВС № 4. В соответствии с техническим отчетом вероятность появления дефектов за срок службы от усталости металла с ненормированными отклонениями от геометрии при максимальном напряжении 160 МПа (65 % от предела текучести) составит около 17 %. Вероятность появления усталостных дефектов, ограничивающих назначенный срок службы относительно стенки, не имеющей отклонений от геометрии, составит около 8 %.



Рисунок 4. – Общий вид РВС № 4 на НСП «Виша»

Визуальное изучение сварных швов (рис. 5) металлических стен внутри РВС № 4 на НСП «Виша» выявило дефекты, которые согласно ГОСТ 30242-97¹ классифицированы как «подрез» (5012) и «непровар» (402). Непровар, обозначенный на рисунке 6 цифрой 1, имеет

¹ Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения: ГОСТ 30242-97. – Введ. 01.01.00. – Минск: Госстандарт, 2000. – 20 с.

длину 12,1 мм, ширину 3,9 мм, глубину 2,6 мм. Подрез, обозначенный цифрой 2, имеет размеры 47,4×4,3×2,5 мм. Непровар, обозначенный цифрой 3, имеет размеры 8,2×2,1×1,7 мм. Дефекты зафиксированы на высоте 1,5 м от уровня основания.



Рисунок 5. – Выявленные дефекты сварных швов РВС № 4

Непровар – это несплавление основного металла по всей длине шва или на участке, возникающее вследствие неспособности расплавленного металла проникнуть в корень соединения. Данный дефект образуется, как правило, при недостаточной силе сварочного тока или высокой скорости сварки, при смещении электрода от оси стыка, некачественной подготовки кромок перед сваркой. *Подрез* – дефект, который характеризуется образованием остроугольной канавки (продолговатого углубления) в зоне сплавления сварного шва и основного металла. Причинами образования подрезов могут быть: высокие сварочный ток и скорость сварки, неправильный угол наклона электрода относительно кромок изделий, что зависит от квалификации сварщика. Исследования показывают [9]², что с уменьшением температуры твердой поверхности смачивание ее жидким металлом ухудшается и улучшается с повышением температуры. Следовательно, одним из способов предотвращения данного дефекта является подогрев свариваемых кромок. Неустраненные дефекты в дальнейшем могут привести к образованию трещин и разрушению резервуара.

Выявленные дефекты стали причиной частичной разборки реконструируемого РВС № 4, что привело к переносу срока ввода его в эксплуатацию, уменьшению рабочей мощности НСП «Виша», эксплуатационной перегрузке РВС № 3, а также к дополнительным финансовым затратам.

Заключение

С учетом требований ТКП 45-5.04-172-2010³ для снижения количества дефектов при монтаже РВС в процессе проведения сварочных работ металлических стен резервуаров необходимо обеспечить [10]:

- контроль всех технологических операций руководителем сварочных работ, заварку дефектных участков сварных соединений;
- систематический контроль в зимнее время температуры металла, рабочие диапазоны скоростей охлаждения сталей, а также минимальные температуры, не требующие подогрева кромок при сварке, которые зависят от углеродного эквивалента, толщины металла, способа сварки и погонной энергии;

² Дефекты сварных соединений [Электронный ресурс] // Сварка и сварщик: welding.com. – Режим доступа: <https://welding.com/defekty-svarnyh-soedineniy#toc-34/>. – Дата доступа: 20.03.2023.

³ Стальные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов: ТКП 45-5.04-172-2010. – Введ. 01.07.10. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 148 с.

- просушку кромок металла от влаги при сварке в зимнее время, независимо от температуры воздуха и марки стали;
- нагрев металла в зимнее время на всю толщину в обе стороны от стыка на ширину не менее 100 мм при осуществлении подогрева кромок металла;
- сварку при стабильном режиме, исключающем подключение к сети сварочного оборудования, вызывающего колебания величины сварочного тока и напряжения более 5 % от номинального;
- запрет сварочных работ по поверхностям или соединениям, покрытым влагой, маслом, скоплениями окалины, шлака или другого рода загрязненными;
- запрет сварочных работ на резервуаре при дожде и снеге, если кромки элементов, подлежащих сварке, не защищены от попадания влаги в зону сварки;
- проведение ручной или механизированной сварки не менее чем в два слоя (каждый слой сварных швов должен проходить визуально-измерительный контроль) сварных соединений на днище и стенке резервуаров;
- своевременное удаление дефектных участков сварных швов механическим методом (шлифовальными машинками или пневмозубилом) или воздушно-дуговой строжкой с последующей зашлифовкой поверхности реза;
- удаление технологических приспособлений, закрепленных сваркой к корпусу резервуара, механическим способом или кислородной резкой с последующей зачисткой мест их приварки заподлицо с основным металлом и контролем качества поверхности в этих зонах, при этом «вырывы» основного металла или подрезы в указанных местах недопустимы;
- очистку от шлака и брызг металла сварных соединений и зоны термического влияния;
- идентификацию сварных соединений клеймением или составлением исполнительных схем с подписями сварщиков, при этом каждый сварщик ставит личное клеймо на расстоянии от 40 до 60 мм от границы выполненного им шва сварного соединения (одним сварщиком – в одном месте, несколькими сварщиками – в начале и в конце шва).

Во избежание аварийных ситуаций в процессе эксплуатации резервуаров объемами от 100 до 50 000 м³, при монтаже которых были выявлены дефекты в сварных соединениях с последующей деформацией стенок резервуара, целесообразно обратить внимание на детальную проработку вопроса о периодичности проведения частичного обследования, а также полного обследования или технического диагностирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спириденко, Л.М. Комплексная безопасность стальных резервуаров нефти и нефтепродуктов / Л.М. Спириденко, А.И. Бордачук // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2012. – № 8. – С. 99–102. – EDN: TZBKGKGN.
2. Давыдов, Е.Ю. Стальные наземные вертикальные резервуары. Основы конструирования и расчета: пособие по дисциплине «Металлические конструкции» для студентов строительных специальностей / Е.Ю. Давыдов. – Минск: БНТУ, 2016. – 90 с.
3. Кондрашова, О.Г. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров [Электронный ресурс] / О.Г. Кондрашова, М.Н. Назарова // Нефтегазовое дело. – 2004. – № 2. – 8 с. – Url: <http://ogbus.ru/article/view/prichinno-sledstvennyj-analiz-avarij-vertikalnyx-stalnyx-rezer>. – EDN: TWVUMF.
4. Вержбицкий, К.Д. Обеспечение ресурса вертикального стального резервуара путем дополнительной обработки сварных соединений нижнего пояса: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / К.Д. Вержбицкий. – СПб., 2018. – 103 л.
5. Байбурин, Р.А. Методы и модели обеспечения пожарной и промышленной безопасности при эксплуатации и ремонте резервуаров вертикальных стальных: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Р.А. Байбурин. – Уфа, 2007. – 180 л.
6. Якшибаев, И.Н. Идентификация опасностей на вертикальных стальных резервуарах / И.Н. Якшибаев, И.Э. Лукьянова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 1. – С. 108–112. – DOI: 10.31660/0445-0108-2015-1-108-112. – EDN: TJWDJR.

7. Биккинин, А.И. Повышение долговечности вертикального стального резервуара совершенствованием конструкции уторного сварного соединения: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / А.И. Биккинин. – Уфа, 2020. – 121 л.
8. Волков, В.Н. Оценка работоспособности резервуаров для хранения нефтепродуктов в условиях Республики Коми [Электронный ресурс] / В.Н. Волков, Н.В. Попова, О.Н. Бурмистрова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4, статья 148. – 8 с. – Url: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13855>. – EDN: STRMUN.
9. Юхин, Н.А. Дефекты сварных швов и соединений / Н.А. Юхин. – М.: СОУЭЛО, 2007. – 58 с.
10. Черепяхин, А.А. Технология сварочных работ: учебник / А.А. Черепяхин, Н.Ф. Шпунькин, В.М. Виноградов. – М.: МПУ, 2019. – 269 с.

**Пути снижения количества дефектов сварных соединений при монтаже
стальных вертикальных резервуаров цилиндрической конструкции
для хранения нефти и нефтепродуктов**

**Ways to reduce the number of defects in welded joints during installation
of steel vertical tanks of cylindrical structure
for storage of oil and petroleum products**

Аушев Игорь Юрьевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра
промышленной безопасности, профессор
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: ai@ucp.by
ORCID: 0000-0003-4425-2085

Igor Yu. Aushev

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Industrial Safety, Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: ai@ucp.by
ORCID: 0000-0003-4425-2085

Балута Артем Сергеевич

Учреждение «Гомельское областное
управление МЧС Республики Беларусь»,
Октябрьский районный отдел
по чрезвычайным ситуациям,
заместитель начальника отдела
Адрес: ул. Советская, 90,
247319, г.п. Октябрьский,
Гомельская область, Беларусь
Email: 101okt@gomel.mchs.gov.by

Artem S. Baluta

Institution «Gomel regional administration
of Ministry of Emergency Situations
of the Republic of Belarus»,
Oktyabrsky District Department for Emergency
Situations, Deputy Head of Department
Address: Sovetskaya str., 90,
247319, urban settlement Oktyabrskiy,
Gomel region, Belarus
Email: 101okt@gomel.mchs.gov.by

WAYS TO REDUCE THE NUMBER OF DEFECTS IN WELDED JOINTS DURING INSTALLATION OF STEEL VERTICAL TANKS OF CYLINDRICAL STRUCTURE FOR STORAGE OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS

Aushev I.Yu., Baluta A.S.

Purpose. Development of a set of measures to reduce the number of defects in welded joints during the installation of vertical steel tanks for storing oil and oil products.

Methods. The general methodology of the work included the use of theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison).

Findings. The analysis of the main causes of the destruction of vertical steel tanks for the storage of oil and oil products has been carried out. It is shown that the main defects leading to an accident during the installation and operation of tanks are crack-like defects in welds. A set of measures has been developed to reduce the number of defects in welded joints during installation.

Application field of research. The results of the review and analysis of information about the causes of defects in vertical steel tanks for the storage of oil and oil products can be used during the installation of structural elements.

Keywords: vertical steel tank, welded joint, defects in welded joints, destruction of welded joints.

(The date of submitting: April 10, 2023)

REFERENCES

1. Spiridenok L.M., Bordachuk A.I. Kompleksnaya bezopasnost' stal'nykh rezervuarov nefi i nefteproduktov [The complex safety of steel reservoirs of oil and mineral oil]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*, 2012. No. 8. Pp. 99–102. (rus). EDN: TZBKGK.
2. Davydov E.Yu. *Stal'nye nazemnye vertikal'nye rezervuary. Osnovy konstruirovaniya i rascheta* [Steel ground vertical tanks. Fundamentals of design and calculation]: manual on the discipline «Metal structures» for students of construction specialties. Minsk: BNTU, 2016. 90 p. (rus)
3. Kondrashova O.G., Nazarova M.N. Prichinno-sledstvennyy analiz avariyn vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov [Causal analysis of accidents in vertical steel tanks]. *Neftegazovoe delo*, 2004. No. 2. 8 p. Url: <http://ogbus.ru/article/view/prichinno-sledstvennyj-analiz-avarij-vertikalnyx-stalnyx-rezer>. (rus). EDN: TWVUMF.
4. Verzhbttskiy K.D. *Obespechenie resursa vertikal'nogo stal'nogo rezervuara putem dopolnitel'noy obrabotki svarnykh soedineniy nizhnego poyasa* [Ensuring the resource of a vertical steel tank by additional processing of welded joints of the lower chord]. PhD tech. sci. diss.: 25.00.19. Saint Petersburg, 2018. 103 p. (rus)
5. Bayburin R.A. *Metody i modeli obespecheniya pozharной i promyshlennoy bezopasnosti pri ekspluatatsii i remonte rezervuarov vertikal'nykh stal'nykh* [Methods and models of ensuring fire and industrial safety in the operation and repair of vertical steel tanks]. PhD tech. sci. diss.: 05.26.03. Ufa, 2007. 180 p. (rus).
6. Yakshibaev I.N., Luk'yanova I.E. Identifikatsiya opasnostey na vertikal'nykh stal'nykh rezervuarakh [Identification of hazards on vertical steel tanks]. *Oil and Gas Studies*, 2015. No. 1. Pp. 108–112. (rus). DOI: 10.31660/0445-0108-2015-1-108-112. EDN: TJWDJR.
7. Bikinin A.I. Povyshenie dolgovechnosti vertikal'nogo stal'nogo rezervuara sovershenstvovaniem konstruktssii utornogo svarnogo soedineniya [Increasing the durability of a vertical steel tank by improving the design of a mortise welded joint]. PhD tech. sci. diss.: 25.00.19. Ufa, 2020. 121 p. (rus).
8. Volkov V.N., Popova N.V., Burmistrova O.N. Otsenka rabotosposobnosti rezervuarov dlya khraneniya nefteproduktov v usloviyakh Respubliki Komi [The performance evaluation for storage tanks petroleum products in the Republic Komi]. *Modern problems of science and education*, 2014. No. 4, article 148. 8 p. Url: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13855>. (rus). EDN: STRMUN.
9. Yukhin N.A. *Defekty svarnykh shvov i soedineniy* [Defects in welds and joints]. Moscow: SOUELO, 2007. 58 p.
10. Cherepakhin A.A., Shpun'kin N.F., Vinogradov V.M. *Tekhnologiya svarochnykh rabot* [Welding technology]: textbook. Moscow: MPU, 269 p. (rus)

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ

Шинкоренко К.Е., Грачулин А.В., Рябцев В.Н.

Цель. Провести анализ методик определения режимов течения газожидкостных смесей в цилиндрическом канале. На основе проведенного анализа разработать методику проведения экспериментальных исследований движения компрессионной пены в автоматических установках пожаротушения.

Методы. В процессе выполнения работы применялись основные теоретические и эмпирические методы исследования, а также общие научные методы исследования (анализ, систематизация).

Результаты. Разработаны конструкция экспериментальной установки и методика проведения экспериментальных исследований движения компрессионной пены в автоматических установках пожаротушения.

Область применения исследований. Разработка методики гидравлического расчета автоматических установок пожаротушения, генерирующих компрессионную пену.

Ключевые слова: автоматическая установка пожаротушения, гидравлический расчет, трубопровод, газожидкостная смесь, двухфазное течение, давление, расход.

(Поступила в редакцию 8 февраля 2023 г.)

Введение

В современном мире автоматические установки пожаротушения являются одним из наиболее эффективных элементов системы противопожарной защиты благодаря возможности автоматической подачи огнетушащего вещества в очаг возникшего пожара, что позволяет его локализовать либо ликвидировать на начальной стадии без участия человека с минимальным ущербом [1].

Перспективной технологией тушения пожаров автоматическими установками пожаротушения являются установки генерирования компрессионной пены, формирующейся вследствие принудительного введения воздуха (инертного газа) под давлением в поток раствора пенообразователя (рис. 1). Рассматриваемые установки позволяют уменьшить расход воды и пенообразователя, а также время тушения пожара [2].

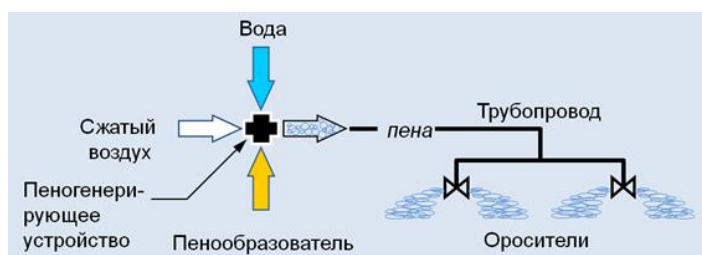


Рисунок 1. – Общая схема автоматической установки пожаротушения компрессионной пеной¹

Данная технология пожаротушения получила широкое распространение в зарубежных странах², однако на территории СНГ она внедряется не так стремительно [2]. Одной из причин этого является отсутствие нормативной методики гидравлического расчета автоматических установок пожаротушения, генерирующих компрессионную пену.

¹ Каталог группы компаний «СТАЛТ» (Российская Федерация) [Электронный ресурс] / СТАЛТ комплексные системы безопасности жизнеобеспечения объектов. – Режим доступа: <http://www.stalt.ru/index.php?Itemid=346>. – Дата доступа: 24.01.2023.

² CAFS – Straight answers for the beginner or the experienced user [Electronic resource] / Compressed Air Foam Systems. – Mode of access: http://compressedairfoamsystem.com/compressed_air_foam_systems.htm. – Date of access: 24.01.2023.

Компрессионная пена представляет собой газожидкостную смесь (вода, пенообразователь и воздух), а существующие методики гидравлического расчета при проектировании автоматических установок пожаротушения не учитывают режимы движения двухфазных течений, от которых зависят гидравлические потери в трубопроводе. Проектирование данных установок должно осуществляться в соответствии с руководством по проектированию производителя³. При этом предлагаемые производителями методики расчета значительно упрощены: рассматривается только тупиковый питающий трубопровод с симметричным расположением пар оросителей⁴ (рис. 2) относительно пеногенерирующего устройства (ПГУ), а также не учитывается структура и физические особенности движения газожидкостного потока.

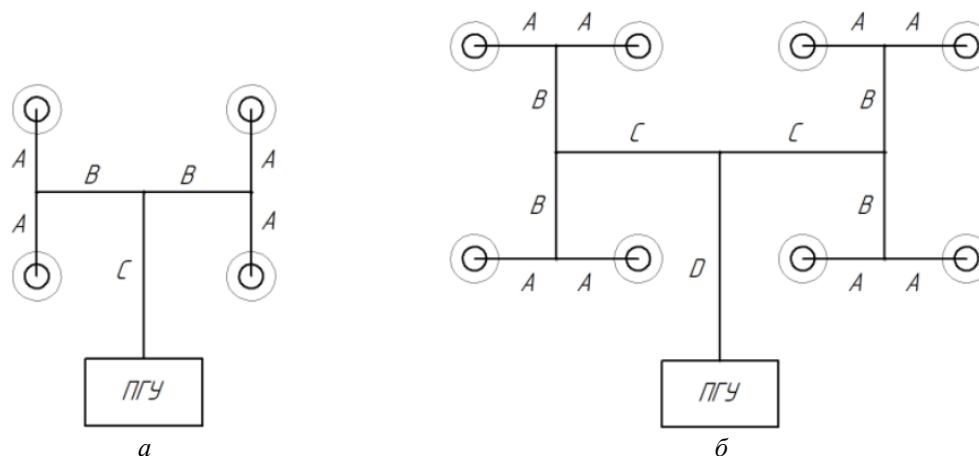


Рисунок 2. – Пример конфигурации установки на 4 (а) и 8 (б) оросителей

Авторами статьи предлагается конструкция экспериментальной установки и методика проведения экспериментальных исследований движения компрессионной пены в автоматических установках пожаротушения. Это позволит определить влияние различных факторов на режимы течения компрессионной пены, а также установить, при каких параметрах создаются оптимальные условия для работы автоматической установки пожаротушения, генерирующей компрессионную пену.

Основная часть

Связь режимов течения и гидравлических расчетов. В сфере обеспечения пожарной безопасности режимы течения рассматриваются при проведении гидравлических расчетов автоматических установок пожаротушения водой, пеной низкой и средней кратности, а также рукавных линий при движении по ним воды или раствора пенообразователя. Гидравлический расчет является важнейшим этапом проектирования автоматических установок пожаротушения.

Целью гидравлического расчета является определение расчетного расхода воды из условия одновременной работы всех оросителей на расчетной площади, а также определение диаметров трубопроводов и необходимого давления у водопитателей. Методика гидравлического расчета установок пожаротушения изложена в строительных нормах СН 2.02.03⁵.

³ Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam. National fire protection association 11 [Electronic resource] / NFPA. – Mode of access: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=11>. – Date of access: 26.01.2023.

⁴ Установка пожаротушения с генерированием пены компрессионным способом. Руководство по проектированию / ООО «СТАЛТ». – СПб., 2020. – 79 с.

⁵ Пожарная автоматика зданий и сооружений. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 2.02.03-2019 (с изм. № 1) – Введ. 18.08.21 (с отменой ТКП 45-2.02-317-2018, СНБ 2.02.02-01 (п. 5.10, табл. 13), СН 3.02.03-2019 (подразд. 5.4), НПБ 15-2007). – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2021. – 99 с.

В инженерных расчетах для описания движения жидкостей в каналах постоянного сечения (трубопроводах) поток жидкости рассматривается стационарным: в элементарном объеме между поперечными сечениями канала параметры потока в трубопроводе (плотность, температура, давление и скорость) не изменяются во времени. В стационарном потоке параметры потока могут изменяться только от сечения к сечению канала. Движение воды по трубопроводу характеризуется постоянством объемного расхода из-за несжимаемости воды. Это позволяет принимать значение скорости потока воды в расчетах постоянным по всей длине трубопровода и, как следствие, с постоянным значением числа Рейнольдса [2].

Сложности в гидравлическом расчете возникают, когда в качестве огнетушащего вещества применяется компрессионная пена. В составе компрессионной пены присутствует воздух, который при избыточном давлении сжимается, что приводит к изменению его физических свойств (плотности и вязкости) и, как следствие, к изменению свойств потока в целом. Движение компрессионной пены по длине трубопровода сопровождается падением давления, приводящим к расширению воздуха в потоке и его ускорению. Вследствие этого падение давления по длине трубопровода при движении компрессионной пены не будет линейным, как при движении воды, из-за изменения плотности и скорости движения потока. В связи с этим традиционная методика гидравлического расчета не может использоваться для определения потерь давления в трубопроводах при движении по ним компрессионной пены [2].

Совместное движение газа и жидкости по трубопроводу характеризуется наличием различных форм течения, определяемых в основном распределением фаз по сечению трубы, что, в свою очередь, зависит от объемного содержания газа в потоке смеси, скорости течения, физических свойств фаз и других факторов [3].

Описание режимов течения газожидкостных смесей. Движение газожидкостных смесей исследуется на протяжении долгого времени. Основной причиной этого является широкая распространенность газожидкостных потоков в различных отраслях промышленности, особенно в нефтегазодобывающей.

Режимы течения газожидкостных потоков в трубопроводах различаются по характеру движения каждой из фаз и их структуре. Глобальная картина движения определяется смачиваемостью внутренней поверхности трубопровода жидкостью [4]. При течении жидкости, смачивающей материал трубопровода, на внутренней поверхности последнего всегда формируется жидкая пленка, а газ отжимается в ядро потока смеси. При течении жидкости, не смачивающей материал трубопровода, значительная масса жидкости оттесняется в ядро потока, а газ прорывается между внутренней поверхностью трубопровода и струями жидкости. Режимы течения газожидкостных потоков в вертикальных трубопроводах представлены в [4] с упоминанием работ А.Н. Ложкина, П.И. Кроля, В.В. Померанцева и С.Н. Сыркина. Режимы течения газожидкостных потоков в горизонтальных трубопроводах приведены со ссылками на опыты А.А. Арманда, В.Е. Накорякова, Б.Г. Покусаева, В.А. Утовича и др. Особенностью течения газожидкостной смеси в трубопроводах, наклонных по отношению к вектору силы тяжести, является асимметрия потока жидкой фазы, обусловленная ее стеканием к нижней образующей трубопровода.

Основные структуры газожидкостного потока в горизонтальных и наклонных трубах приведены на рисунке 3 [5].

Типичные структуры вертикальных (пузырьковая, снарядная, вспененная, капельно-пленочная и клочкообразно-пленочная) и горизонтальных (пузырьковая, расслоенная, снарядная, гребневая, капельно-пленочная) потоков представлены в работе [6]. При этом подробно описаны вертикальные восходящие потоки. На диаграмме (рис. 4) показаны примерные области существования режимов движения восходящего газожидкостного потока по данным Хьюита и Робертса [7]. Диаграмма представлена в координатах потоков

импульса соответствующих фаз $\rho_1(v_1\varepsilon_1)^2$ и $\rho_2(v_2\varepsilon_2)^2$, где $v\varepsilon$ – приведенная к сечению трубопровода скорость фазы (индекс «1» относится к жидкости). Для вертикальных нисходящих течений режимы сходны с восходящими, за исключением того, что вспененного режима течений не существует [6].

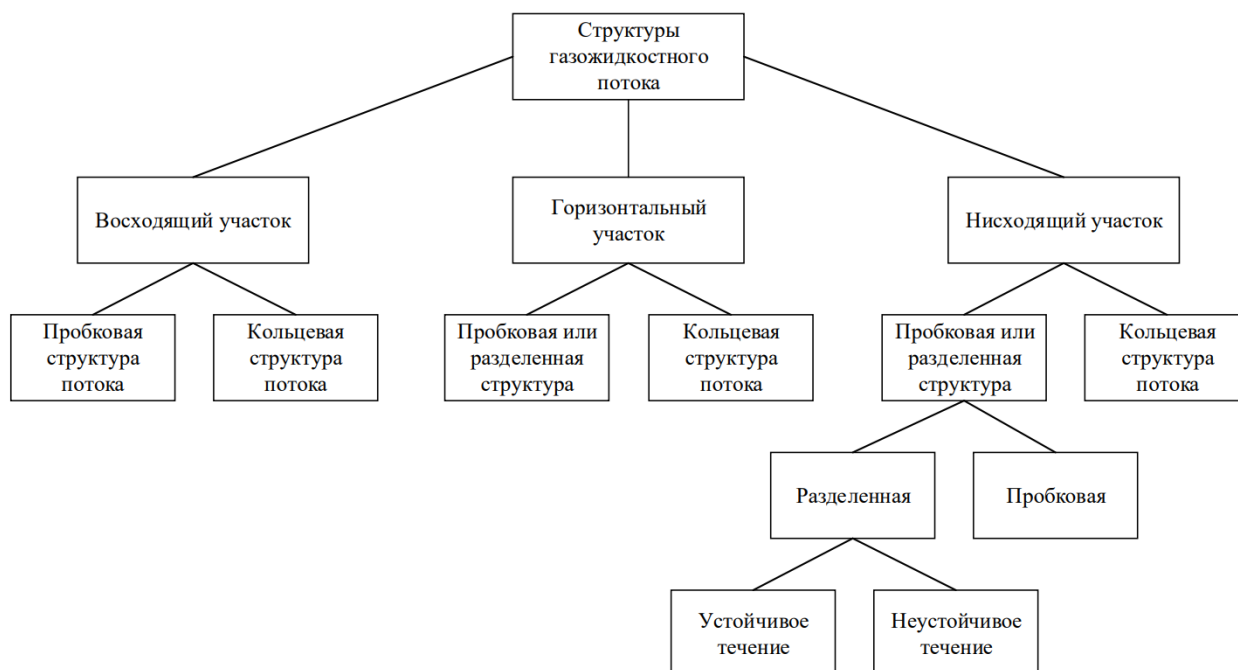
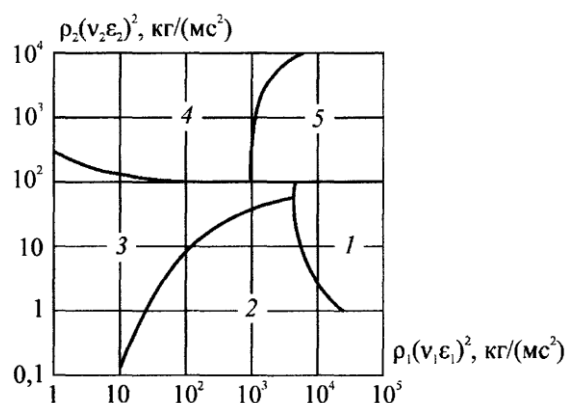


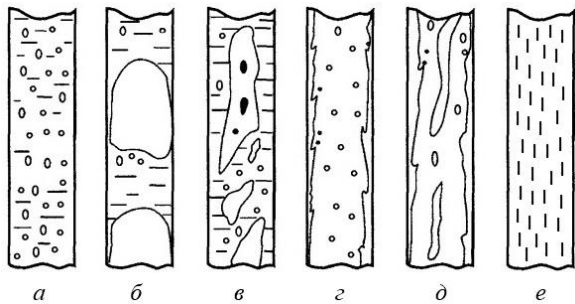
Рисунок 3. – Структурные формы двухфазного газожидкостного потока в трубопроводе [5]



1 – пузырьковый; 2 – снарядный; 3 – вспененный; 4 – капельно-пленочный; 5 – ключкообразно-пленочный
 Рисунок 4. – Диаграмма режимов для газожидкостного восходящего течения [6]

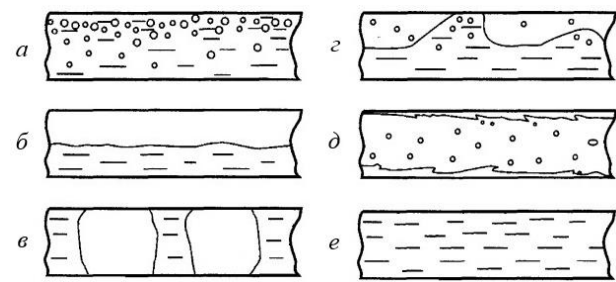
Основные режимы горизонтальных и вертикальных течений газожидкостных потоков описаны в [8]. Авторы выделяют пузырьковое, расслоенное (с гладкой или волновой поверхностью раздела), пробковое, пробко-дисперсное, пузырьково-пробковое, кольцевое, серповидное и дисперсное горизонтальные течения. Кроме перечисленных терминов указывается на существование снарядной эмульсионной, распыленной или вспененной структур. В сравнении с горизонтальными течениями у вертикальных отсутствует расслоенное и серповидное, а дисперсное обозначено как туманнообразное. Многими авторами были разработаны и предложены для практического использования диаграммы структур, в которых области существования тех или иных режимов наносятся на график с двумя независимыми координатами. Необходимо отметить, что в общем случае режим течения определяется множеством переменных и двумерная диаграмма не может обладать достаточной общностью представления областей существования режимов с различным механизмом течения.

Различные классификации структур газожидкостных потоков, из которых можно выделить основные для вертикальных (рис. 5) и горизонтальных (рис. 6) цилиндрических каналов, приведены в работах [3–9].



а – пузырьковый; *б* – пробковый (снарядный);
в – вспененный; *г* – кольцевой (капельно-
пленочный); *д* – клочкообразно-пленочный;
е – туманнообразный

Рисунок 5. – Режимы газожидкостных потоков в вертикальных каналах



а – пузырьковый; *б* – расслоенный;
в – пробковый (снарядный); *г* – смешанный;
д – кольцевой; *е* – дисперсный

Рисунок 6. – Режимы газожидкостных потоков в горизонтальных каналах

Представленное разнообразие режимов газожидкостных потоков в трубопроводах (рис. 5, 6) подтверждает существенные физические отличия при движении газожидкостных смесей, которые непосредственно влияют на гидравлические потери потока. Именно поэтому в гидродинамике газожидкостных смесей в качестве первоочередной задачи выступает определение структуры (режима) движения газожидкостной смеси, определить которую можно визуально и (или) с использованием карт режимов (диаграмм структур) газожидкостных потоков. Возможность применения существующих диаграмм структур газожидкостных потоков для случая течения компрессионной пены, а также определение оптимальных условий для работы автоматической установки пожаротушения, генерирующей компрессионную пену, требует проведения экспериментальных исследований, что также обусловлено присутствием в газожидкостном потоке пенообразователя.

Экспериментальные методики определения режимов течения газожидкостных смесей в цилиндрическом канале.

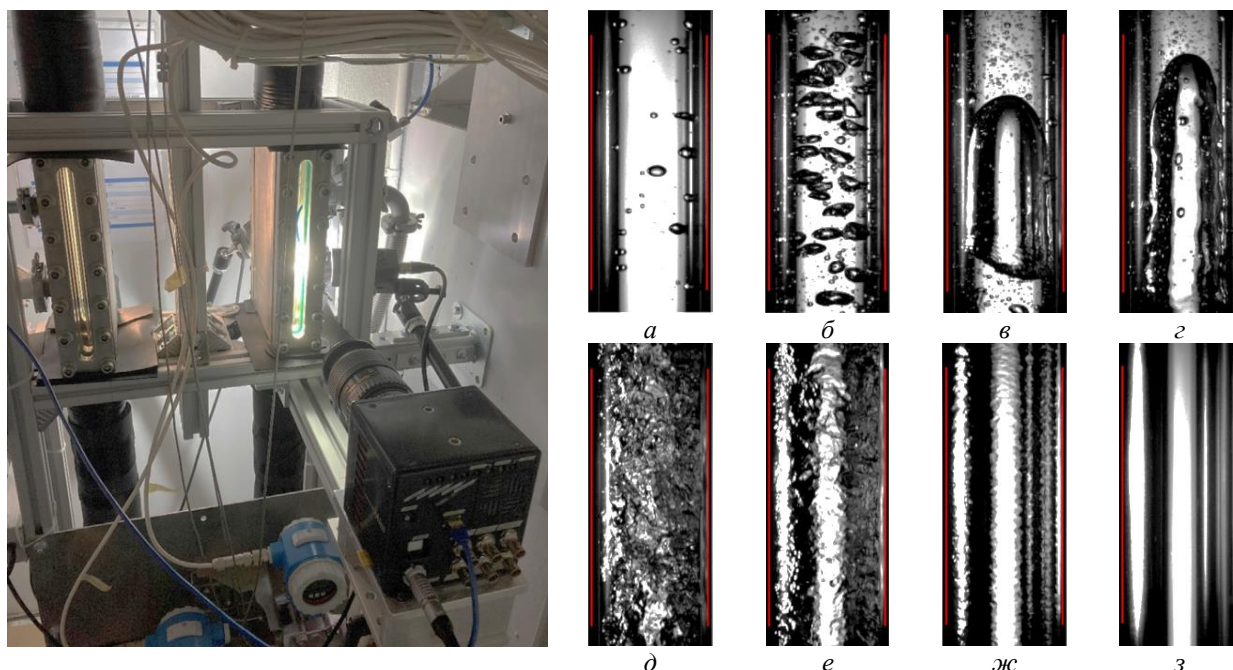
Методики фотографирования. Большое количество исследований газожидкостного потока проводилось в прозрачных трубах. В этих случаях характер течения можно наблюдать визуально. Фотографирование газожидкостного течения явилось естественным усовершенствованием метода визуального наблюдения [7]. Метод фотографирования позволил многим исследователям получить картины режимов течения. Режим газожидкостного течения, казавшийся бесформенным при визуальном наблюдении, становился выразительным на снимках, сделанных методом высокоскоростной фотографии. Результаты применения высокоскоростного фотографирования при исследовании газожидкостного потока описываются в работах [10–17].

Один из примеров экспериментальной установки для исследования режимов течения адиабатического двухфазного потока углекислого газа в вертикальных трубопроводах с применением методики фотографирования, а также зафиксированные режимы течения представлены на рисунке 7.

Обязательным элементом подобных установок является наличие оптически прозрачного участка. Фиксация генерируемого режима производится с помощью высокоскоростной камеры.

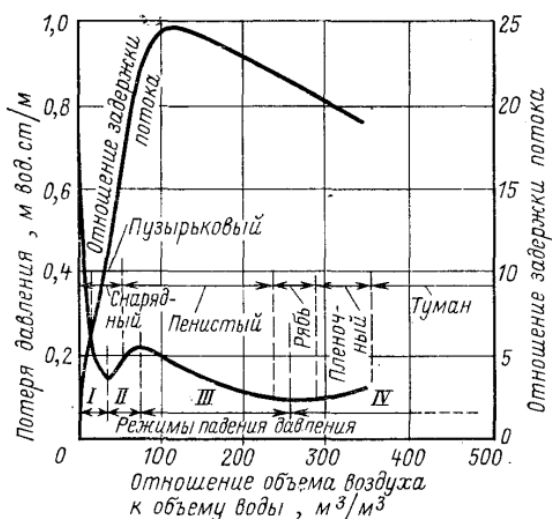
Методики, базирующиеся на измерении перепада давления. Одним из методов определения режимов течения двухфазного потока является установление зависимости режимов течения от того или иного измеряемого параметра, например, градиента давления

и объемного паросодержания или от изменения этих параметров во времени. Исследование зависимости режима течения от градиента давления (рис. 8) представлено авторами в работе [18], а в работе [7] – с дополнительным визуальным контролем и фотографированием потока (рис. 9).



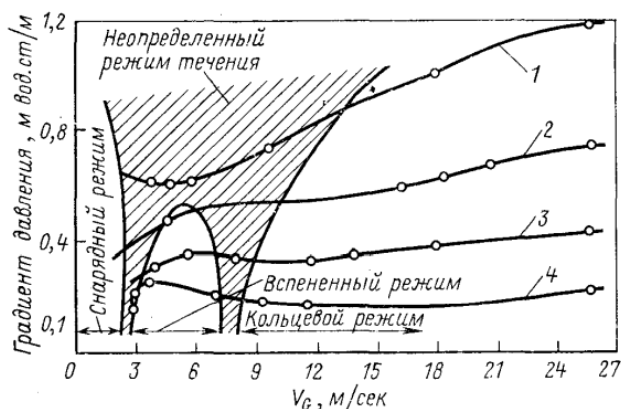
а, б – пузырьковый; в, з – пробковый; д – вспененный; е, жс – кольцевой; з – пар/туман. Качество пара увеличивается сверху слева вниз справа. Красные линии обозначают внутренние стенки трубы

Рисунок 7. – Экспериментальная установка и зафиксированные с использованием высокоскоростной камеры режимы течения двухфазного потока [17]



постоянная скорость потока $v_L = 0,041$ м/с

Рисунок 8. – Зависимость между градиентом давления и режимом течения [18]



среднее давление $2,1$ кгс/см² (0,21 МПа);

1 – $v_L = 1,07$ м/с; 2 – $v_L = 0,61$ м/с;

3 – $v_L = 0,31$ м/с; 4 – $v_L = 0,09$ м/с

Рисунок 9. – Зависимость между градиентом давления и характером течения газожидкостной смеси в 25-миллиметровой трубе [7]

Из рисунков 8 и 9 видно, что определенной связи между ходом кривой градиента давления и границами режимов течения не существует. Заштрихованная зона (рис. 9) не может быть четко определена из визуальных наблюдений.

Методики зондирования. Достаточно широкое распространение для определения перехода от одного режима течения к другому получили методы с использованием зондов,

которые вводятся в двухфазный поток. Наибольший интерес представляет зонд, обладающий электрической проводимостью [7].

В электропроводящем зонде металлическая игла (рис. 10а), полностью изолированная (за исключением острия), помещается в канале (обычно на осевой линии). При возникновении жидкостного моста, например при пробковом режиме течения, электропроводимость между концом зонда и стенкой трубы значительно выше электропроводимости в том случае, когда конец зонда окружен только газовой фазой. При этом более точные результаты получаются при измерении сопротивления между кончиками зондов (рис. 10б), а не сопротивления между зондом и стенкой трубы (рис. 10а) [7].

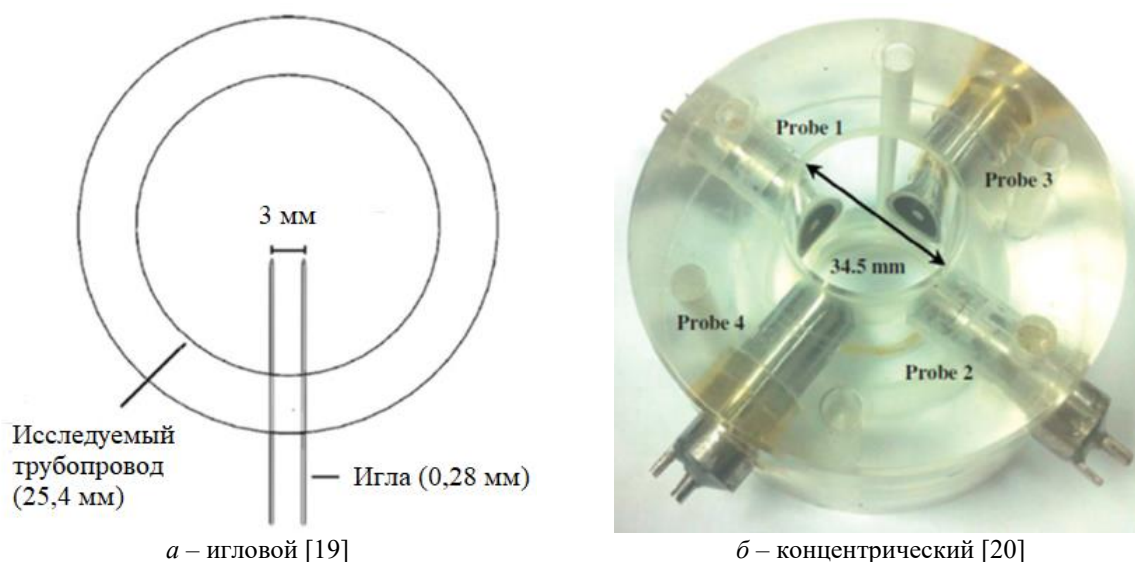


Рисунок 10. – Электропроводящие зонды

Трудности, возникающие при определении этим методом границ переходного режима течения, состоят в том, что контакт между зондами возникает даже в устойчивом кольцевом потоке, поскольку большие волны возмущения выбрасывают «языки» жидкости, которые затем разбиваются на капли. Наличие такого контакта было установлено за счет применения поперечных электропроводящих зондов для исследования средних толщин пленки и поверхностных волн в кольцевом потоке [21].

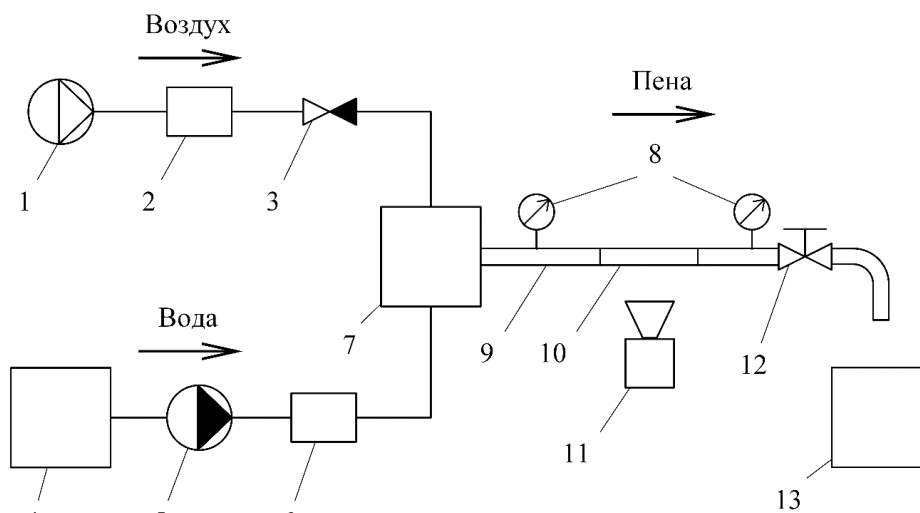
Таким образом, наблюдение двухфазных течений и их классификация довольно субъективны. Используемые методы могут включать высокоскоростную фотографию, исследования с помощью рентгеновского излучения и статистический анализ изменения величин, таких как локальное давление в системе, напряжение трения на стенке. Любую информацию о режимах течения следует рассматривать строго в рамках метода, которым она была получена. Оптимальным способом получения достоверной информации о движении газожидкостных потоков является использование комбинации методов [9].

Эффективность экспериментального исследования процесса течения газожидкостных смесей в трубопроводах во многом зависит от выбора методики постановки и обработки самого эксперимента, а также от конструкции экспериментальной установки. Ряд свойств газожидкостных течений в самой различной форме проявляется в зависимости от конструктивного исполнения гидравлического контура установки.

Описание конструкции экспериментальной установки для исследования движения компрессионной пены в цилиндрическом канале. На основании проведенного анализа разработана конструкция экспериментальной установки для исследования движения компрессионной пены в цилиндрическом канале, а также методика проведения экспериментальных исследований движения компрессионной пены в автоматических установках

пожаротушения, позволяющая определять различные режимы течения компрессионной пены в трубопроводах (цилиндрических каналах) автоматических установок пожаротушения.

Принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 11.



1 – компрессор; 2 – воздушный расходомер; 3 – обратный клапан; 4 – емкость для подготовки раствора пенообразователя; 5 – насос; 6 – расходомер раствора пенообразователя; 7 – смесительная камера; 8 – датчики давления; 9 – исследуемый трубопровод; 10 – прозрачный участок трубопровода; 11 – высокоскоростная камера; 12 – сливное устройство с регулируемым расходом; 13 – емкость для пены

Рисунок 11. – Принципиальная схема экспериментальной установки

Для исключения влияния погрешности дозатора пенообразователя на результаты экспериментов рабочий раствор пенообразователя необходимой концентрации следует готовить предварительно в специальной емкости.

В автоматической установке пожаротушения компрессионной пеной Smart Foam группы компаний «СТАЛТ» запас воздуха хранится в баллонах высокого давления и подается через редуктор. Объем воздуха в баллонах ограничен, что приводит к необходимости их перезарядки в процессе эксплуатации. Это создает определенные трудности при проведении экспериментальных исследований. Поэтому для генерирования и подачи воздуха под давлением целесообразно использовать компрессор.

Смешивание рабочего раствора пенообразователя и воздуха производится в специальной смесительной камере объемом 0,1 м³.

Движение компрессионной пены после выхода из смесительной камеры предусматривается по трубопроводу диаметром 32 мм. Особенностью конструкции трубопровода является возможность его демонтажа для последующей замены на аналогичные по длине образцы с большим диаметром (40 и 50 мм). Длина горизонтальной части трубопровода составляет 10 м. В центральной части трубопровод имеет прозрачную поликарбонатную вставку длиной 0,5 м для возможности визуального наблюдения движущегося газожидкостного потока.

Для выпуска пены в конце трубопровода устанавливается сливное устройство, обеспечивающее необходимый расход.

С целью исследования движения компрессионной пены в цилиндрическом канале подобраны экспериментальное оборудование и средства измерений.

Для подачи раствора пенообразователя предлагается использовать вертикальный многоступенчатый насос высокого давления марки Calpeda MXV 50-1507⁶. Насос имеет

⁶ Каталог нагнетательного оборудования Zenova (Российская Федерация) [Электронный ресурс] / Зенова – универсальный каталог нагнетательного оборудования. – Режим доступа: http://zenova.ru/category/nasosy_vysokogo_davlenia/model/mxv-50-1507. – Дата доступа: 23.01.2023.

7 рабочих ступеней. Производительность насоса от 8,0 до 24,0 м³/ч (от 2,22 до 6,67 л/с). Оптимальная рабочая точка производительности 16,0 м³/ч (4,44 л/с) при давлении 73,5 метра водяного столба (0,72 МПа).

Для подачи воздуха предлагается использовать стационарный маслonaполненный винтовой компрессор, оснащенный ременным приводом, марки Cross Air CA 18,5-8GA⁷.

Чтобы определить избыточное давление в трубопроводе, предлагается использовать специальные трубопроводные вставки с датчиками давления, каждый из которых состоит из пьезоэлектрического преобразователя давления АИР-10Н и измерителя технологического цифрового ИТЦ 420/М4-1⁸. Измеритель технологический цифровой предназначен для измерения и индикации температуры и других физических величин, преобразованных в унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА⁹. Работа измерителя основана на преобразовании входного аналогового сигнала (тока) в цифровую форму, на его обработке и отображении обработанной информации на цифровом семисегментном индикаторе.

Для определения расхода раствора пенообразователя предлагается использовать расходомер-счетчик электромагнитный «Взлет ЭМ (ПРОФИ)»¹⁰. Он предназначен для измерения среднего объемного расхода и объема различных электропроводящих жидкостей в широком диапазоне температур и вязкостей в различных условиях эксплуатации. Чувствительность расходомера по скорости потока составляет 0,02 м/с. Расходомер устанавливается на трубопроводе, подводящем раствор пенообразователя из резервуара к смешительной камере.

Для определения расхода воздуха предлагается использовать встраиваемый расходомер ЕЕ741¹¹. Он предназначен для точного учета и контроля сжатого воздуха и технических газов. Скорость измеряемых значений расхода составляет 0,1 с. Расходомер устанавливается на трубопроводе, подводящем воздух от компрессора к смешительной камере.

С целью фиксации режимов течения компрессионной пены при проведении эксперимента предлагается использовать высокоскоростную камеру Evercam F 3000-32-C¹². Камера применяется для записи быстро протекающих процессов, например дефлаграционного сгорания газо-, паро-, пылевоздушных смесей, формирования пузырьков огнетушащей пены при ударе струи огнетушащего раствора о тарелку оросителя автоматических установок пенного пожаротушения.

Методика проведения экспериментальных исследований движения компрессионной пены в автоматических установках пожаротушения. Методика экспериментальных исследований движения компрессионной пены в цилиндрическом канале устанавливает порядок определения режимов течения газожидкостной смеси при использовании экспериментальной установки, приведенной на рисунке 11. Сущность методики заключается в определении потерь давления по длине трубопровода путем установления разницы пока-

⁷ Каталог товаров ООО «Зид Бай» (Республика Беларусь) [Электронный ресурс] / ООО «Зид Бай» строительное оборудование в Беларуси. – Режим доступа: http://zid.by/catalog/Kompressory/Vintovye_kompressory/vintovoy_kompressor_cross_air_ca_18_5_8ga. – Дата доступа: 23.01.2023.

⁸ Каталог НПП «ЭЛЕМЕР» (Российская Федерация) [Электронный ресурс] / НПП «ЭЛЕМЕР». – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/catalog/funktsionalnaya-apparatura/indikator-izmeriteli/itts-420-m4-1-m4-2/>. – Дата доступа: 23.01.2023.

⁹ Измерители технологические цифровые ИТЦ 420/М4-1. Руководство по эксплуатации / НПП «ЭЛЕМЕР». – М., 2017. – 28 с.

¹⁰ Каталог группы компаний «Взлет» (Российская Федерация) [Электронный ресурс] / ГК «Взлет». – Режим доступа: https://vzljet.ru/catalogue/elektromagnitnyj_metod/vzlet_em_profi_m. – Дата доступа: 23.01.2023.

¹¹ Каталог ООО «Полтраф СНГ» (Российская Федерация) [Электронный ресурс] / ООО «Полтраф СНГ». – Режим доступа: https://poltraf.ru/raskhod/ee741_modulnuu-_kompaktny/. – Дата доступа: 23.01.2023.

¹² Производство высокоскоростных видеокамер Evercam (Российская Федерация) [Электронный ресурс] / Высокоскоростные камеры Evercam. – Режим доступа: <http://evercam.ru/produktsiya/8/273>. – Дата доступа: 23.01.2023.

заний измерительных приборов давления, а также фиксации режима течения компрессионной пены при заданных параметрах.

В ходе проведения экспериментальных исследований неизменными принимаются диаметр трубопровода и расстояние между приборами давления. Проведению эксперимента предшествует приготовление раствора пенообразователя необходимой концентрации в специальной емкости.

Осуществляется одновременный пуск насоса и компрессора с заданными параметрами. Расходы раствора пенообразователя и воздуха фиксируются с помощью соответствующих расходомеров. Параллельно движущиеся потоки раствора пенообразователя и воздуха доставляются в смесительную камеру, где происходит генерирование компрессионной пены. Готовая пена поступает в исследуемый трубопровод, где определяются потери давления по длине путем установления разницы показаний манометров, установленных в начальном и конечном участках. При этом в центральной части трубопровода компрессионная пена проходит прозрачный поликарбонатный участок, где с помощью высокоскоростной камеры фиксируется установившийся режим течения газожидкостного потока.

Сбор компрессионной пены осуществляется через сливное устройство в специальную емкость. После разрушения пены по истечении времени раствор пенообразователя можно использовать в установке повторно.

На основании полученных результатов строятся концентрационно-скоростные графики. Определяются критерии подобия (число Рейнольдса, число Вебера).

Для экспериментальных исследований предусмотрены три различных пенообразующих состава. Для случая использования каждого из пенообразующих составов проводятся серии измерений при различных расходах раствора пенообразователя в диапазоне производительности насоса. Количество параллельных измерений в серии – четыре.

Исследования проводятся для трех различных диаметров трубопроводов (32, 40 и 50 мм) по отдельности.

Заключение

Разработанная экспериментальная установка и методика проведения экспериментальных исследований движения компрессионной пены в автоматических установках пожаротушения позволят установить закономерности падения давления по длине трубопровода при движении по ней компрессионной пены и определить на их основе величины удельных потерь давления для различных значений объемного расхода раствора пенообразователя, а также при каких параметрах формируется вспененный режим течения и создаются оптимальные условия для работы автоматической установки пожаротушения, влияют ли при этом на режим течения диаметр трубопровода и вид пенообразователя.

Проведение дальнейших исследований посредством описанной выше методики способствует разработке принципиально новой методики гидравлического расчета автоматических установок пожаротушения, генерирующих компрессионную пену.

ЛИТЕРАТУРА

1. Камлюк, А.Н. Пенные оросители для автоматических установок пожаротушения: монография / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2023. – 244 с.
2. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с.
3. Мамаев, В.А. Гидродинамика газожидкостных смесей в трубах / В.А. Мамаев [и др.]. – М.: Недра, 1969. – 208 с.
4. Кутателадзе, С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. – М.: Энергия, 1976. – 296 с.
5. Марон, В.И. Гидродинамика однофазных и многофазных потоков в трубопроводе / В.И. Марон. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 334 с.

6. Островский, Г.М. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий / Г.М. Островский [и др.]. – СПб.: АНО НПО Профессионал, 2004. – Ч. 1. – 848 с.
7. Хьюитт, Дж.Ф. Кольцевые двухфазные течения: пер. с англ. / Дж.Ф. Хьюитт, Н.С. Холл-Тейлор. – М.: Энергия, 1974. – 408 с.
8. Гриценко, А.И. Гидродинамика газожидкостных смесей в скважинах и трубопроводах / А.И. Гриценко, О.В. Клапчук, Ю.А. Харченко. – М.: Недра, 1994. – 238 с.
9. Справочник по теплообменникам: в 2 т. / пер. с англ. под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 1. – 560 с.
10. Arnold, C.R. Further developments in the photography of two-phase gas-liquid flow / C.R. Arnold, G.F. Hewitt // *Journal of Photographic Science*. – 1967. – Vol. 15, Iss. 3. – P. 97–114. – DOI: 10.1080/00223638.1967.11737388.
11. Coleman, J.W. Characterization of two-phase flow patterns in small diameter round and rectangular tubes / J.W. Coleman, S. Garimella // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 1999. – Vol. 42, № 15. – P. 2869–2881. – DOI: 10.1016/S0017-9310(98)00362-7.
12. Cooper, K.D. Photography of two-phase gas-liquid flow / K.D. Cooper, G.F. Hewitt, B. Pinchin // *Journal of Photographic Science*. – 1964. – Vol. 12, Iss. 5. – P. 269–278. – DOI: 10.1080/00223638.1964.11737259.
13. Zhang, Zh. Experimental study on radial evolution of droplets in vertical gas-liquid two-phase annular flow / Zh. Zhang [et al.] // *International Journal of Multiphase Flow*. – 2020. – Vol. 129. – Article 103325. – 9 p. – DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103325.
14. Takamasa, T. Experimental Study of gas-liquid two-phase flow affected by wall surface wettability / T. Takamasa, T. Hazuku, T. Hibiki // *International Journal of Heat and Fluid Flow*. – 2008. – Vol. 29, № 6. – P. 1593–1602. – DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2008.09.001.
15. Bhagwat, S.M. Similarities and differences in the flow patterns and void fraction in vertical upward and downward two phase flow / S.M. Bhagwat, A.J. Ghajar // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2012. – Vol. 39. – P. 213–227. – DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2012.01.026.
16. Dasgupta, A. Experimental investigation on dominant waves in upward air-water two-phase flow in churn and annular regime / A. Dasgupta [et al.] // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2017. – Vol. 81. – P. 147–163. – DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2016.10.012.
17. Schmid, D. Flow pattern observations and flow pattern map for adiabatic two-phase flow of carbon dioxide in vertical upward and downward direction / D. Schmid [et al.] // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2022. – Vol. 131. – Article 110526. – 16 p. – DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2021.110526.
18. Govier G.W., Radford B.A., Dunn J.S.C. The upwards vertical flow of air-water mixtures. 1. Effect of air and water rates on flow pattern, hold-up pressure drop / G.W. Govier, B.A. Radford, J.S.C. Dunn // *Canadian Journal of Chemical Engineering*. – 1957. – Vol. 35. – P. 58–70.
19. Wang, G. Wave structure and velocity in vertical upward annular two-phase flow / G. Wang, Z. Dang, M. Ishii // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2021. – Vol. 120. – Article 110205. – 12 p. – DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2020.110205.
20. Zhao. Y. Disturbance wave development in two-phase gas-liquid upwards vertical annular flow / Y. Zhao [et al.] // *International Journal of Multiphase Flow*. – 2013. – Vol. 55. – P. 111–129. – DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.04.001.
21. Hewitt, G.F. Liquid film and pressure drop studies / G.F. Hewitt, R.D. King, P.C. Lovegrove // *Chemical and Process Engineering*. – 1964. – Vol. 45. – P. 191–200.

Методика экспериментального определения режимов течения компрессионной пены
Methods of experimental determination of compression foam flow regimes

Шинкоренко Кирилл Евгеньевич

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: kirill_shinkorenko@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-4946-9339

Kirill E. Shinkorenko

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: kirill_shinkorenko@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-4946-9339

Грачулин Александр Владимирович

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: grachulin_a@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3832-8258

Alexandr 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

Vitaliy 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

METHODS OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF COMPRESSION FOAM FLOW REGIMES

Shinkorenko K.E., Grachulin A.V., Ryabtsev V.N.

Purpose. To analyze the methods for determining the flow regimes of gas-liquid mixtures in a cylindrical channel. On the basis of the analysis carried out, to develop a methodology for conducting experimental studies of the movement of compression foam in automatic fire extinguishing installations.

Methods. In the course of the work, the main theoretical and empirical research methods were used, as well as general scientific research methods (analysis, systematization).

Findings. The design of the experimental installation and the methodology for conducting experimental studies of the movement of compression foam in automatic fire extinguishing installations have been developed.

Application field of research. Development of a method for hydraulic calculation of automatic fire extinguishing installations generating compression foam.

Keywords: automatic fire extinguishing installation, hydraulic calculation, pipeline, gas-liquid mixture, two-phase flow, pressure, consumption.

(The date of submitting: February 8, 2023)

REFERENCES

1. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. *Pennye orositeli dlya avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya* [Foam sprinklers for automatic fire extinguishing installations]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2023. 244 p. (rus)
2. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. *Kompressionnaya pena dlya nuzhd pozharnykh podrazdeleniy* [Compression foam for the needs of fire departments]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2019. 224 p. (rus)
3. Mamaev V.A., Odishariya G.E., Semenov N.I., Tochigin A.A. *Gidrodinamika gazo-zhidkostnykh smesey v trubakh* [Hydrodynamics of gas-liquid mixtures in pipes]. Moscow: Nedra, 1969. 208 p. (rus)
4. Kutateladze S.S., Styrikovich M.A. *Gidrodinamika gazozhidkostnykh sistem* [Hydrodynamics of gas-liquid systems]. Moscow: Energiya, 1976. 296 p. (rus)
5. Maron V.I. *Gidrodinamika odnofaznykh i mnogofaznykh potokov v truboprovode* [Hydrodynamics of single-phase and multi-phase flows in a pipeline]. Moscow: MAKS Press, 2009. 334 p. (rus)
6. Ostrovskiy G.M. [et al.]. *Novyy spravochnik khimika i tekhnologa. Protsessy i apparaty khimicheskikh tekhnologiy* [New handbook of chemist and technologist. Processes and apparatuses of chemical technologies]. Saint Petersburg: ANO NPO Professional, 2004. Part 1. 848 p. (rus)
7. Hewitt G., Hall-Taylor N.S. *Kol'tsevye dvukhfaznye techeniya* [Annular two-phase flows]: translated from English. Moscow: Energiya, 1974. 408 p. (rus)
8. Gritsenko A.I., Klapchuk O.V., Kharchenko Yu.A. *Gidrodinamika gazozhidkostnykh smesey v skvazhinakh i truboprovodakh* [Hydrodynamics of gas-liquid mixtures in wells and pipelines]. Moscow: Nedra, 1994. 238 p. (rus)
9. *Spravochnik po teploobmennikam* [Handbook of heat exchangers]: in 2 vol. Translated from English. Ed. by B.S. Petukhov, V.K. Shikov. Moscow: Energoatomizdat, 1987. Vol. 1. 560 p. (rus)
10. Arnold C.R., Hewitt G.F. Further developments in the photography of two-phase gas-liquid flow. *Journal of Photographic Science*, 1967. Vol. 15, Iss. 3. Pp. 97–114. DOI: 10.1080/00223638.1967.11737388.
11. Coleman J.W., Garimella S. Characterization of two-phase flow patterns in small diameter round and rectangular tubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1999. Vol. 42, № 15. Pp. 2869–2881. DOI: 10.1016/S0017-9310(98)00362-7.
12. Cooper K.D., Hewitt G.F., Pinchin B. Photography of two-phase gas-liquid. *Journal of Photographic Science*, 1964. Vol. 12, Iss. 5. Pp. 269–278. DOI: 10.1080/00223638.1964.11737259.
13. Zhang Zh., Li Yu., Wang Zh., Hu Q., Wang D. Experimental study on radial evolution of droplets in vertical gas-liquid two-phase annular flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 2020. Vol. 129. Article 103325. 9 p. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2020.103325.

14. Takamasa T., Hazuku T., Hibiki T. Experimental Study of gas-liquid two-phase flow affected by wall surface wettability. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 2008. Vol. 29, № 6. Pp. 1593–1602. DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2008.09.001.
15. Bhagwat S.M., Ghajar A.J. Similarities and differences in the flow patterns and void fraction in vertical upward and downward two phase flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2012. Vol. 39. Pp. 213–227. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2012.01.026.
16. Dasgupta A., Chandraker D.K., Kshirasagar S., Reddy B.R., Rajalakshmi R., Nayak A.K., Walker S.P., Vijayan P.K., Hewitt G.F. Experimental investigation on dominant waves in upward air-water two-phase flow in churn and annular regime. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2017. Vol. 81. Pp. 147–163. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2016.10.012.
17. Schmid D., Verlaat B., Petagna P., Revellin R., Schiffmann J. Flow pattern observations and flow pattern map for adiabatic two-phase flow of carbon dioxide in vertical upward and downward direction. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2022. Vol. 131. Article 110526. 16 p. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2021.110526.
18. Govier G.W., Radford B.A., Dunn J.S.C. The upwards vertical flow of air-water mixtures. 1. Effect of air and water rates on flow pattern, hold-up pressure drop. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 1957. Vol. 35. Pp. 58–70.
19. Wang G., Dang Zh., Ishii M. Wave structure and velocity in vertical upward annular two-phase flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2021. Vol. 120. Article 110205. 12 p. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2020.110205.
20. Zhao Yu., Markides Ch.N., Matar O.K., Hewitt G.F. Disturbance wave development in two-phase gas-liquid upwards vertical annular flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 2013. Vol. 55. Pp. 111–129. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.04.001.
21. Hewitt G.F., King R.D., Lovegrove P.C. Liquid film and pressure drop studies. *Chemical and Process Engineering*, 1964. Vol. 45. Pp. 191–200.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРУИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДУЖЕК И РОЗЕТКИ ОРОСИТЕЛЯ НА КРАТНОСТЬ ПЕНЫ

Говор Э.Г., Лихоманов А.О., Камлюк А.Н., Говор Т.А., Ярец В.А.

Цель. Определение зависимости кратности воздушно-механической пены от гидродинамических параметров струи водного раствора синтетического углеводородного пенообразователя, не содержащего фторированных поверхностно-активных веществ, с учетом варьирования геометрических параметров составных частей розеточного оросителя (штуцера, дужек и розетки).

Методы. В работе применены теоретические методы анализа, сравнения и синтеза, а также метод полного факторного эксперимента для получения регрессионной модели.

Результаты. При использовании синтетического углеводородного пенообразователя, не содержащего фторированных поверхностно-активных веществ, марки Синтек-6НС (6 %), который относится к пенообразователям общего назначения (тип S) согласно СТБ 2459-2016, проведен полный факторный эксперимент на трех уровнях пяти факторов, влияющих на кратность генерируемой оросителем пены: число Вебера $We = 23\ 100, 47\ 900$ и $75\ 900$, длина дужек $L = 30, 50$ и 150 мм, коэффициент рабочей поверхности розетки $K_s = 50, 64$ и 100 %, внешний диаметр розетки $D = 20, 50$ и 100 мм и угол наклона лопастей розетки $\alpha = 15, 30$ и 45° . В результате анализа экспериментальных данных разработана регрессионная модель для прогнозирования кратности пены в исследованных диапазонах изменения числа Вебера We и геометрических параметров дужек и розетки оросителя. Для полученной модели коэффициент детерминации R^2 равен $0,93$, что свидетельствует о высокой точности описания зависимой переменной (кратности пены) от исследованных факторов, при этом отклонение теоретических значений кратности пены от эмпирических составляет не более $8,9$ %.

Область применения исследований. Разработанная регрессионная модель позволяет осуществлять подбор оптимальных конфигураций (комбинаций геометрических параметров) розеточного оросителя, в частности коэффициента рабочей поверхности розетки, внешнего диаметра и угла конусности лопастей розетки, длины дужек и диаметра выходного отверстия штуцера оросителя с целью получения воздушно-механической пены с необходимыми значением кратности в зависимости от условий и целей применения данного огнетушащего вещества.

Ключевые слова: установка пожаротушения, розеточный ороситель, дужки оросителя, розетка оросителя, диаметр выходного отверстия, гидродинамические параметры струи, число Вебера, воздушно-механическая пена, кратность пены, полный факторный эксперимент.

(Поступила в редакцию 7 апреля 2023 г.)

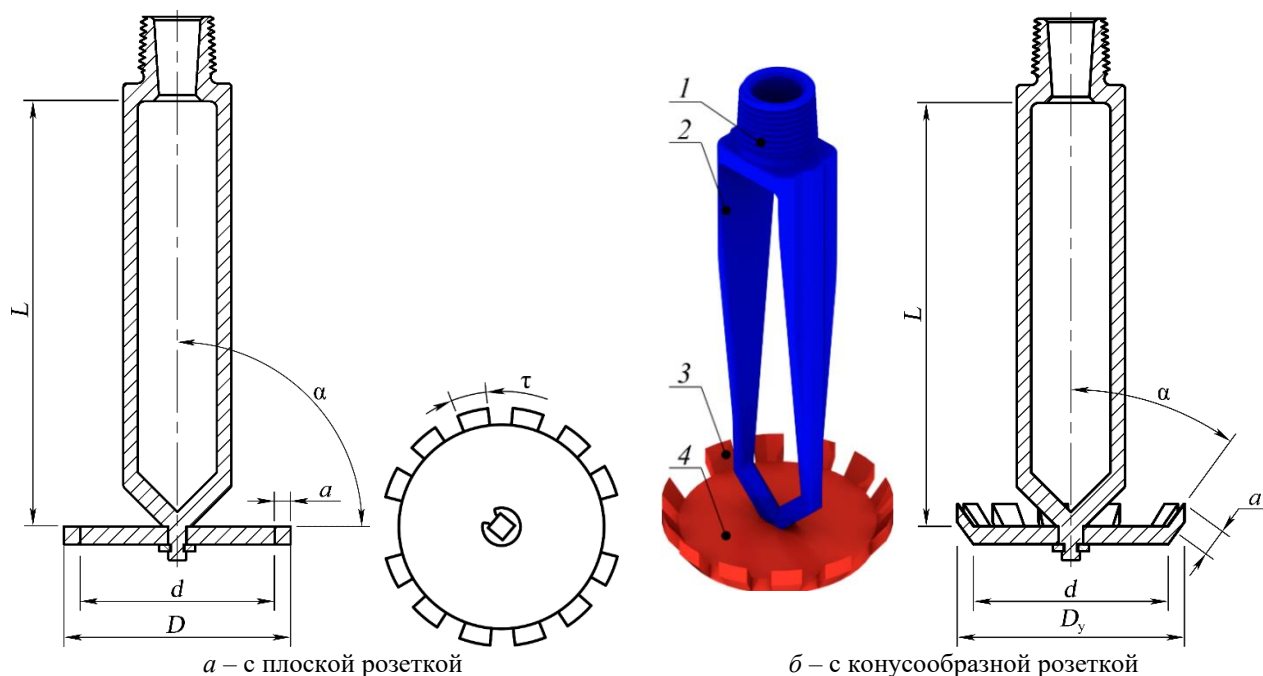
Введение

Автоматические установки пенного пожаротушения (далее – АУП) входят в состав системы противопожарной защиты химических, нефтеперерабатывающих, металлургических и энергетических предприятий [1; 2]. Их использование позволяет без участия человека локализовать либо ликвидировать пожар на начальной стадии развития. В качестве огнетушащего вещества в АУП применяется воздушно-механическая пена – пена, образующаяся в результате механического перемешивания водного раствора пенообразователя с воздухом.

Одной из ключевых классификационных характеристик воздушно-механической пены (далее – пена) с точки зрения огнетушащей эффективности считается ее кратность – отношение объема пены к объему раствора пенообразователя, из которого она получена [3].

По кратности пены принято делить на три группы в зависимости от условий применения (способа тушения, вида горючего материала, типа пенообразователя и др.): низкой (от 3 до 20), средней (20–200) и высокой (более 200) кратности [4]. Пена низкой кратности обладает большей проникающей способностью, лучшей растекаемостью по поверхности и эффективнее охлаждает горячие поверхности по сравнению с другими типами пены [5; 6]. При этом чем выше кратность пены (имеется в виду внутри диапазона от 3 до 20), тем больше ее огнетушащая эффективность [3; 7]. Генерирование пены низкой кратности в АУП, как правило, осуществляется с помощью розеточных оросителей [5].

Известно, что кратность пены при использовании серийно выпускаемых розеточных оросителей не превышает 8. С целью увеличения кратности пены, генерируемой такими оросителями, в работах [8; 9] авторы исследовали зависимость данной характеристики от геометрических параметров розеточного оросителя. В итоге ими построена регрессионная модель в виде полинома для прогнозирования кратности пены от таких геометрических параметров оросителя, как длина дужек, внешний диаметр, угол наклона лопастей и коэффициента рабочей поверхности розетки (рис. 1) [8; 10].



а – с плоской розеткой
б – с конусообразной розеткой
 1 – штуцер; 2 – дужки; 3 – лопасть розетки; 4 – розетка; D – внешний диаметр розетки; D_y – проекция внешнего диаметра розетки на горизонтальную плоскость; a – длина лопасти розетки; d – внутренний диаметр розетки; τ – угол лопасти розетки; α – угол конусности лопастей розетки; L – длина дужек

Рисунок 1. – Конструктивные элементы и геометрические параметры элементов розеточного оросителя

Данная регрессионная модель благодаря высокой точности может быть с успехом применена на практике для инженерных расчетов при разработке новых оросителей либо при проектировании АУП для защиты объекта определенного типа. Однако область применения предложенной модели ограничена условиями проведения экспериментов и измерений, на основе которых она построена. В частности, речь идет о гидродинамических параметрах потока пенообразующего раствора, которые задаются как минимум геометрией проточного тракта штуцера оросителя. По этой причине основной целью текущих исследований является получение регрессионной модели, позволяющей оценивать влияние геометрических параметров дужек и розетки оросителя, а также гидродинамических параметров струи на кратность пены на примере синтетического углеводородного пенооб-

разователя, не содержащего фторированных поверхностно-активных веществ, марки Синтек-6НС (6%), который относится к пенообразователям общего назначения (тип S)¹.

Основная часть

Для обобщения экспериментальных данных при изучении гидродинамических параметров струй водных растворов пенообразователей принято использовать характеристическое число Вебера We (далее – число We) [11]. Изменение геометрических параметров штуцера оросителя (рис. 1), в частности диаметра его выходного отверстия A , оказывает значительное влияние на число We . Так, в работе [11] экспериментально установлены значения числа We для 5 штуцеров с различным диаметром выходного отверстия (рис. 2). Одной из использованных в эксперименте жидкостей был рабочий водный раствор пенообразователя марки Синтек-6НС (6 %). Для построения регрессионной модели воспользуемся полученными в работе [12] экспериментальными значениями числа We для струи вышеуказанного пенообразователя.

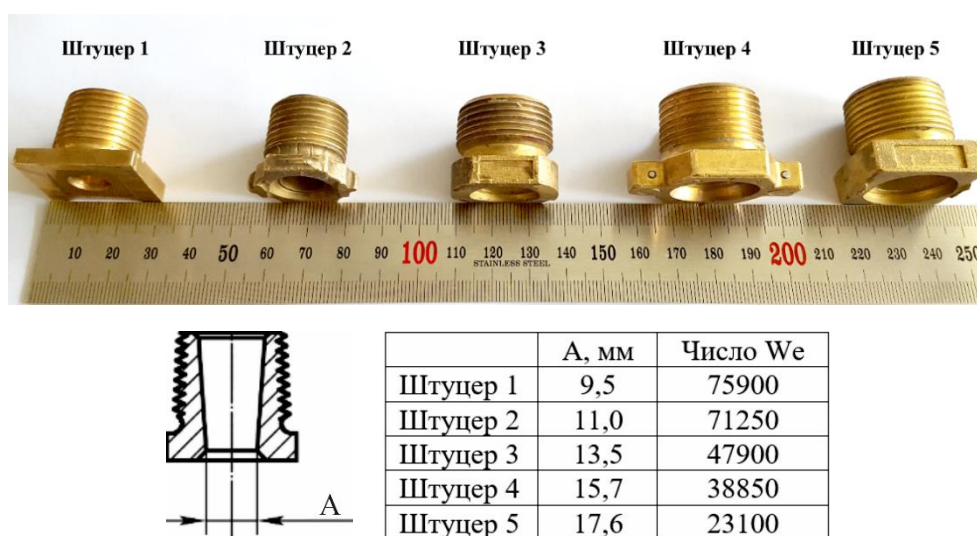


Рисунок 2. – Внешний вид и размеры выходного отверстия штуцеров оросителя

С целью построения регрессионной модели для прогнозирования кратности пены применен метод полного факторного эксперимента (далее – ПФЭ). Данный метод позволяет существенно сократить количество экспериментов (наблюдений) для понимания природы исследуемого процесса в заданных диапазонах исследуемых величин. ПФЭ широко применяется для изучения влияния факторов на исследуемый процесс и поиск их оптимальных значений, при которых этот процесс протекает требуемым образом [13].

На начальном этапе ПФЭ проведен выбор факторов (независимых переменных уравнения регрессии) и отклика (зависимой переменной уравнения регрессии). В качестве главных факторов приняты: 1 – число We , 2 – длина дужек L , 3 – коэффициент рабочей поверхности розетки K_s , 4 – внешний диаметр розетки D и 5 – угол конусности лопастей розетки α (рис. 1); в качестве отклика – кратность пены K . Исходя из анализа известных эмпирических зависимостей кратности пены от геометрических параметров дужек и розетки оросителя, а также числа We [11; 12; 14], ПФЭ проводился на трех уровнях главных факторов, имеющих следующие значения: $We = 23100, 47900$ и 75900 , $L = 30, 50$ и 150 мм, $K_s = 50, 64$ и 100 %, $D = 20, 50$ и 100 мм и $\alpha = 15^\circ, 30^\circ$ и 45° . Выбор трех уровней факторов объясняется тем, что зависимости кратности пены от них не линейны, а имеют вид кривой, для описания которой необходимо как минимум три уровня. При количестве факторов $n_f = 5$ и количестве уровней $p_y = 3$ план ПФЭ состоит из 243 серий опытов. С целью

¹ Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016. – Введ. 12.07.16. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2016. – 18 с.

уменьшения погрешности измерений с каждой конфигурацией, выбранной случайным образом, проводилось пять экспериментов.

Анализ ПФЭ с целью исключения возможности ошибки при расчетах, а также для наглядности полученных результатов проводился с помощью программного обеспечения STATISTICA компании StatSoft, Inc. (США). Система STATISTICA является одним из наиболее известных в мировой практике пакетов статистического анализа и обработки данных и широко применяется в крупнейших университетах, исследовательских центрах, банках, государственных учреждениях и др. [13].

На основании анализа ПФЭ возможно построение регрессионных моделей трех типов. Это модель: 1) включающая главные факторы и квадраты главных факторов, но без учета их взаимодействий; 2) включающая главные факторы и их квадраты с учетом взаимодействий главных факторов; 3) включающая главные факторы и квадраты главных факторов, а также учитывающая взаимодействия главных факторов и их квадратов. Выбор типа модели, как правило, осуществлялся с учетом коэффициента детерминации R^2 , который показывает долю изменяемости отклика, происходящей при одновременном воздействии всех включенных в модель факторов. Чем больше значение данного коэффициента ($0 \leq R^2 \leq 1$), тем выше качество модели (точность описания взаимосвязи между факторами и откликом). Так, для модели первого типа коэффициент детерминации оказался равным $R^2 = 0,83$, для модели второго типа – $R^2 = 0,93$ и для модели третьего типа – $R^2 = 0,95$. В связи с тем что коэффициент детерминации для второго и третьего типа модели отличается всего на 0,02, для анализа выбрана более простая модель, включающая главные факторы и их квадраты с учетом взаимодействий главных факторов. Такая модель в натуральном масштабе переменных имеет следующий вид:

$$K = b_0 + b_1 We + b_2 We^2 + b_3 L + b_4 L^2 + b_5 K_s + b_6 K_s^2 + b_7 D + b_8 D^2 + b_9 \alpha + b_{10} \alpha^2 + b_{11} We L + b_{12} We K_s + b_{13} We D + b_{14} We \alpha + b_{15} L K_s + b_{16} L D + b_{17} L \alpha + b_{18} K_s D + b_{19} K_s \alpha + b_{20} D \alpha. \quad (1)$$

где b_0, b_1, b_2, \dots – коэффициенты уравнения регрессии в натуральном масштабе переменных. Данные коэффициенты имеют размерность, обратную размерности переменных (или произведению переменных) при них.

Далее выполнен дисперсионный анализ данной модели, который в программной среде STATISTICA носит название ANOVA (от англ. Analysis of Variation). Выходные данные дисперсионного анализа представлены в таблице 1. Следует отметить, что в первую очередь дисперсионный анализ позволяет отсеять незначимые факторы ($p > 0,05$). Исходя из полученных данных такими факторами являются: We^2 ; K_s ; α^2 ; $We \times D$; $We \times \alpha$; $K_s \times \alpha$.

После исключения незначимых факторов рассматриваемая модель приобрела следующий вид:

$$K = b_0 + b_1 We + b_2 L + b_3 L^2 + b_4 K_s^2 + b_5 D + b_6 D^2 + b_7 \alpha + b_8 We L + b_9 We K_s + b_{10} L K_s + b_{11} L D + b_{12} L \alpha + b_{13} K_s D + b_{14} D \alpha. \quad (2)$$

Выходные данные дисперсионного анализа уточненной модели (2) представлены в таблице 1 (без учета незначимых факторов). Новая модель имеет значение коэффициента детерминации R^2 , близкое к 1 ($\approx 0,93$), что свидетельствует о высокой точности описания взаимосвязи факторов с зависимой переменной.

Сумма квадратов отклонений каждого фактора характеризует изменчивость отклика, объясняемую данным фактором, т.е. влияние данного фактора на кратность пены. Исходя из полученных данных следует, что наибольшая изменчивость отклика объясняется факторами L (43 % от общей суммы квадратов отклонений) и We (37 %). Влияние остальных факторов на зависимую переменную существенно меньше (не более 10 %).

Таблица 1. – Результаты дисперсионного анализа с учетом незначимых факторов и без их учета

Фактор	С учетом незначимых факторов		Без учета незначимых факторов	
	Сумма квадратов отклонений	Уровень статистической значимости	Сумма квадратов отклонений	Уровень статистической значимости
We	159,6114	0,000000	162,3269	0,000000
We ²	0,4845	0,059911	исключен	
L	189,2959	0,000000	190,0724	0,000000
L²	18,0121	0,000000	18,0121	0,000000
K _s	0,2308	0,193208	исключен	
K_s²	3,5436	0,000001	4,2263	0,000000
D	3,7724	0,000000	3,8197	0,000000
D²	8,9538	0,000000	8,9538	0,000000
α	8,2261	0,000000	7,8970	0,000000
α ²	0,0000	0,988214	исключен	
We×L	1,8119	0,000318	1,8119	0,000337
We×K_s	0,8325	0,013922	0,8128	0,015521
We×D	0,0275	0,652469	исключен	
We×α	0,0343	0,615432	исключен	
L×K_s	18,6432	0,000000	20,8216	0,000000
L×D	21,4789	0,000000	21,4789	0,000000
L×α	1,4063	0,001464	1,4063	0,001532
K_s×D	0,8258	0,014304	0,9187	0,010147
K _s ×α	0,3167	0,127714	исключен	
D×α	0,8222	0,014518	0,8222	0,014941
Общая сумма квадратов отклонений	438,0091		438,0091	

Затем проведен регрессионный анализ уточненной модели. В первую очередь выполнена проверка наличия мультиколлинеарных факторов, т.е. факторов, между которыми имеется сильная корреляционная связь (коэффициент корреляции $|r| \geq 0,75$) [13]. Поиск таких факторов необходим по той причине, что они затрудняют ранжирование всех факторов по степени влияния на отклик. Для этого построена корреляционная матрица, при анализе которой установлено, что нет ни одного коэффициента, превышающего значение 0,75, при этом наиболее высокий из них имеет абсолютную величину 0,36. В связи с этим можно заключить, что сильной корреляционной связи между факторами нет, поэтому при использовании уточненной модели (2) можно достаточно точно ранжировать факторы по степени их влияния на отклик. При анализе корреляционной матрицы следует также отметить факторы, которые имеют наибольшую степень корреляции с откликом «Кратность K ». Так, умеренная корреляционная связь ($0,25 < |r| \leq 0,75$) наблюдается между откликом и факторами We ($|r| = 0,63$) и L ($|r| = 0,58$).

Следующим этапом регрессионного анализа явился анализ остатков. Под остатками подразумеваются разности между экспериментальными значениями отклика и их предсказанными значениями по модели. Модель можно считать достаточно точной, если остатки не зависят от предсказанных по модели значений зависимой переменной. Для проверки данного условия построена диаграмма рассеяния остатков в зависимости от предсказанного по модели значения зависимой переменной (рис. 3). Исходя из результатов на данной диаграмме следует отметить, что систематическая зависимость величины остатков от предсказанных значений отклика не наблюдается.

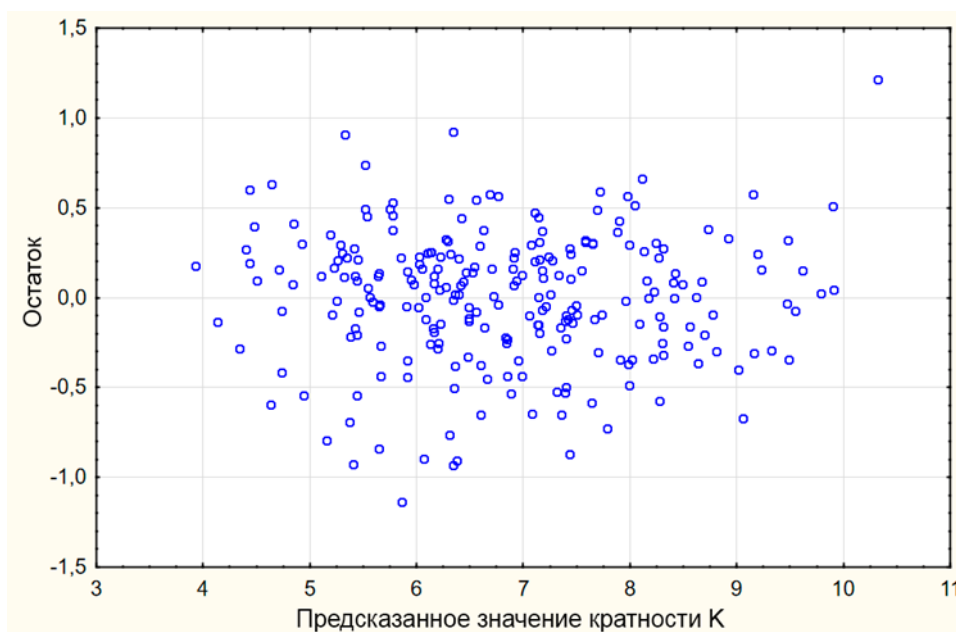


Рисунок 3. – Диаграмма рассеяния остатков

Для определения количественного влияния факторов на изменение кратности пены проведена оценка эффектов, являющихся разностями средних значений зависимой переменной при минимальных и максимальных абсолютных значениях главных факторов в рамках их исследуемых диапазонов, результаты которой представлены в таблице 2. Следует отметить, что наибольшим эффектом обладают факторы, которые по результатам дисперсионного анализа характеризовали наибольшую степень изменчивости зависимой переменной, а именно: We ($\Delta K = 2,09$) и L ($\Delta K = 2,20$).

Таблица 2. – Результаты оценки эффектов факторов

Фактор	Эффект ΔK	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	Уровень значимости	Доверительный интервал	
					Нижний	Верхний
b_0	7,086150	0,024715	286,7118	0,000000	7,037450	7,134849
We	2,093493	0,060753	34,4590	0,000000	1,973783	2,213202
L	2,203234	0,059087	37,2878	0,000000	2,086807	2,319661
L^2	0,618848	0,053913	11,4786	0,000000	0,512616	0,725080
K_s^2	0,280354	0,050422	5,5602	0,000000	0,181001	0,379707
D	0,321013	0,060730	5,2859	0,000000	0,201350	0,440676
D^2	0,411420	0,050836	8,0930	0,000000	0,311251	0,511589
α	0,457774	0,060230	7,6004	0,000000	0,339095	0,576453
$We \times L$	0,241616	0,066366	3,6406	0,000337	0,110846	0,372385
$We \times K_s$	-0,168011	0,068905	-2,4383	0,015521	-0,303783	-0,032240
$L \times K_s$	0,771515	0,062514	12,3414	0,000000	0,648335	0,894695
$L \times D$	0,823849	0,065726	12,5347	0,000000	0,694342	0,953356
$L \times \alpha$	0,212993	0,066407	3,2074	0,001532	0,082143	0,343842
$K_s \times D$	0,176158	0,067952	2,5924	0,010147	0,042264	0,310052
$D \times \alpha$	0,172714	0,070426	2,4524	0,014941	0,033944	0,311483

Таким образом, на основании проведенного дисперсионного и регрессионного анализов модели, построенной по результатам ПФЭ, можно заключить, что наибольшее изменение K наблюдается при варьировании следующих факторов: число We и длина дужек L .

Конечный вид разработанной регрессионной модели в натуральном масштабе переменных для прогнозирования кратности пены, генерируемой с использованием пенообразователя Синтек-6НС (6 %), в зависимости от исследуемых факторов в установленных диапазонах их значений следующий:

$$\begin{aligned}
K &= b_0 + b_1 We + b_2 L + b_3 L^2 + b_4 K_s^2 + b_5 D + b_6 D^2 + b_7 \alpha + b_8 We L + \\
&+ b_9 We K_s + b_{10} L K_s + b_{11} L D + b_{12} L \alpha + b_{13} K_s D + b_{14} D \alpha = \\
&= 3,4 + 0,00004 We + 0,03708 L - 0,00031 L^2 - 0,00018 K_s^2 + 0,00985 D - \\
&- 0,00027 D^2 - 0,00403 \alpha + 0,000000076 We L - 0,0000001 We K_s + \\
&+ 0,00026 L K_s + 0,00017 L D + 0,00012 L \alpha + 0,000098 K_s D + 0,00014 D \alpha.
\end{aligned} \quad (3)$$

В формуле 3 коэффициенты уравнения регрессии b_i и b_{ij} установлены согласно оценкам регрессионных коэффициентов, которые представлены в таблице 3 и имеют размерность, обратную размерности переменных (или произведению переменных) при них.

Таблица 3. – Оценка коэффициентов уравнения регрессии

Фактор	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Критерий Стьюдента	Уровень значимости	Доверительный интервал	
					Нижний	Верхний
b_0	3,401672	0,299322	11,3646	0,000000	2,811881	3,991463
We	0,000040	0 000004	9,5004	0,000000	0,000032	0,000049
L	0,037081	0,005660	6,5509	0,000000	0,025928	0,048235
L^2	-0,000309	0,000028	-11,2291	0,000000	-0,000364	-0,000255
K_s^2	-0,000178	0,000025	-7,2656	0,000000	-0,000227	-0,000130
D	0,009850	0,005405	1,8224	0,069703	-0,000800	0,020499
D^2	-0,000274	0,000035	-7,9172	0,000000	-0,000343	-0,000206
α	-0,004026	0,004882	-0,8247	0,410418	-0,013646	0,005594
We×L	0,000000	0,000000	3,5615	0,000449	0,000000	0,000000
We× K_s	-0,000000	0,000000	-1,9042	0,058147	-0,000000	0,000000
L× K_s	0,000258	0,000022	11,8289	0,000000	0,000215	0,000301
L×D	0,000172	0,000014	12,2623	0,000000	0,000144	0,000199
L× α	0,000118	0 000038	3,1377	0,001927	0,000044	0,000193
K_s ×D	0,000098	0,000035	2,8285	0,005093	0,000030	0,000166
D× α	0,000144	0,000060	2,3991	0,017239	0,000026	0,000262

Подстановка различных комбинаций факторов (L , K_s , D и α), для которых известны экспериментальные значения K , в формулу (3) приводит к результатам, отличающимся от экспериментальных не более чем на 8,9 %. Данный факт свидетельствует о возможности созданной модели с достаточно высокой точностью предсказывать значения зависимой переменной (кратности пены) в установленных диапазонах изменения числа We и геометрических параметров дужек и розетки оросителя ($We = 23100-75900$, $L = 30-150$ мм, $K_s = 50-100$ %, $D = 20-100$ мм и $\alpha = 15-45^\circ$).

Для удобства на практике прогнозировать кратность пены можно с помощью регрессионной модели, включающей главные факторы и квадраты главных факторов, но без учета их взаимодействий, которая имеет коэффициент детерминации $R^2 = 0,82$:

$$\begin{aligned}
K &= -0,70 + 0,00004 We + 0,0725 L - 0,00031 L^2 + 0,07355 K_s - \\
&- 0,00052 K_s^2 - 0,000003 D^2 + 0,0132 \alpha.
\end{aligned} \quad (4)$$

Заключение

Согласно разработанному плану полного факторного эксперимента выполнено определение кратности пены, получаемой с помощью розеточного оросителя при использовании рабочего водного раствора синтетического углеводородного пенообразователя, не содержащего фторированные поверхностно-активные вещества, марки Синтек-6НС (6 %) в зависимости от следующих параметров: числа Вебера (We), длины дужек оросителя (L), коэффициента рабочей поверхности (K_s), внешнего диаметра (D) и угла конусности лопастей (α) розетки. Полный факторный эксперимент проводился на трех уровнях вышепере-

численных параметров (факторов): $We = 23\ 100, 47\ 900$ и $75\ 900$, $L = 30, 50$ и 150 мм, $K_s = 50, 64$ и $100\ %$, $D = 20, 50$ и 100 мм и $\alpha = 15, 30$ и 45° и состоял из 243 серий опытов.

На основе анализа результатов полного факторного эксперимента построена регрессионная модель (3) для прогнозирования кратности пены в зависимости от вышеуказанных параметров в следующих диапазонах значений: $We = 23\ 100\text{--}75\ 900$, $L = 30\text{--}150$ мм, $K_s = 50\text{--}100\ %$, $D = 20\text{--}100$ мм и $\alpha = 15\text{--}45^\circ$. Отклонение теоретических значений кратности пены, определяемых с помощью разработанной модели, по сравнению с эмпирическими данными составляет не более 8,9 %. Для полученной модели коэффициент детерминации R^2 равен 0,93, что свидетельствует о высокой точности описания зависимой переменной (кратности пены) от исследованных факторов. Разработанная модель может быть использована для прогнозирования кратности пены, получаемой с использованием рабочего водного раствора синтетических углеводородных пенообразователей, не содержащих фторированные поверхностно-активные вещества, в частности пенообразователя Синтек-6НС (6 %).

При дисперсионном анализе модели установлено, что наибольшее влияние на кратность пены оказывают такие параметры, как длина дужек L и число We (43 и 37 % соответственно от общей суммы квадратов отклонений). При регрессионном анализе установлено, что сильной корреляционной связи между факторами нет (ни один коэффициент не превышает значение 0,75), поэтому при использовании модели можно достаточно точно ранжировать факторы по степени их влияния на отклик. Наибольшая корреляционная связь наблюдается между откликом и факторами «число We » ($|r| = 0,63$) и «длина дужек L » ($|r| = 0,58$).

В полученной регрессионной модели (3), в отличие от модели согласно [8], помимо геометрических параметров дужек и розетки оросителя учитывается число Вебера We , которое определяют гидродинамические параметры струи водного раствора пенообразователя. Вместе с тем в текущей работе исследования проводились с использованием пенообразователя аналогичного типа и сходного по химическому составу и свойствам (по сравнению с работой [8]), но другой марки (Синтек-6НС (6 %) вместо ПО-6РЗ (6 %)). Дальнейшие исследования с использованием различных типов и марок пенообразователей позволят получить универсальную модель прогнозирования кратности пены, учитывающую физико-химические свойства используемого пенообразователя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Т22М-023).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahrens, M. U.S. Experience with sprinklers / M. Ahrens. – Quincy: NFPA Research, 2017. – 35 p.
2. Chen, T. Experimental study on the extinguishing efficiency of compressed air foam sprinkler system on oil pool fire / T. Chen [et al.] // *Procedia Engineering*. – 2018. – Vol. 211. – P. 94–103. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.142.
3. Dlugogorski, B.Z. What properties matters in fire-fighting foams?: whitepaper / B.Z. Dlugogorski [et al.]. – Tokyo, 2002. – 20 p.
4. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с.
5. Качанов, И.В. Установки автоматического пожаротушения с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды / И.В. Качанов, И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков. – Минск: БНТУ, 2018. – 148 с.
6. Кучер, В.М. Изучение процессов тушения пламени нефтепродуктов низкократными пенами / В.М. Кучер [и др.] // *Пожаротушение: сб. науч. тр. / ВНИИПО*. – М.: ВНИИПО, 1984. – С. 29–37.
7. Laundess, A.J. Small-scale test protocol for firefighting foams DEF(AUST)5706: effect of bubble size distribution and expansion ratio / A.J. Laundess [et al.] // *Fire Technology*. – 2011. – Vol. 47. – P. 149–162. – DOI: 10.1007/s10694-009-0136-2.

8. Kamluk, A.N. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry / A.N. Kamluk, A.O. Likhomanov // Fire Safety Journal. – 2019. – Vol. 109. – Article 102862. – 8 p. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
9. Kamluk, A.N. Field testing and extinguishing efficiency comparison of the optimized for higher expansion rates deflector type sprinkler with other foam and foam-water sprinklers / A.N. Kamluk, A.O. Likhomanov, A.V. Grachulin // Fire Safety Journal. – 2020. – Vol. 116. – Article 103177. – 10 p. – DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103177.
10. Лихоманов, А.О. О взаимосвязях геометрических параметров оросителя, устойчивости и кратности получаемой пены / А.О. Лихоманов, Э.Г. Говор, А.Н. Камлюк // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 174–185. – DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.159. – EDN: ZKVVOJ.
11. Лихоманов, А.О. Длина начального участка осесимметричной турбулентной струи, образующейся в пенном розеточном оросителе для автоматических установок пожаротушения / А.О. Лихоманов, А.Н. Камлюк // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 159–173. – DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.159. – EDN: ZRNKUV.
12. Говор, Э.Г. Экспериментальное исследование геометрических параметров штуцера оросителя и их влияние на гидродинамические параметры струи водных растворов различных пенообразователей / Э.Г. Говор, Т.А. Говор, А.О. Лихоманов // Пожарная и аварийная безопасность: сб. материалов XVII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-й годовщине образования гражданской обороны, 24 ноября 2022 г. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 315–321.
13. Халафян, А.А. Промышленная статистика: контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA: учеб. пособие / А.А. Халафян. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 384 с.
14. Камлюк, А.Н. Пенные оросители для автоматических установок пожаротушения: монография / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2023. – 244 с.

Влияние гидродинамических параметров струи и геометрических параметров дужек и розетки оросителя на кратность пены

Influence of hydrodynamic parameters of the jet and geometric parameters of the frame arm and deflector of the sprinkler on foam expansion rate

Говор Эдуард Геннадьевич

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

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

Email: govor-098@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4040-3264

Eduard G. Govor

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

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

Email: govor-098@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4040-3264

Лихоманов Алексей Олегович

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

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

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

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

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

Говор Татьяна Алексеевна

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

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

Email: kalinskaja1@mail.ru

ORCID: 0009-0002-7927-8971

Tatyana A. Govor

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Administration Training Faculty, graduate student

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

Email: kalinskaja1@mail.ru

ORCID: 0009-0002-7927-8971

Ярец Владимир Алексеевич

Филиал «Институт профессионального образования» государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра профессиональной подготовки, преподаватель

Адрес: пр-т Речицкий, 35А,
246023, Гомель, Беларусь

Email: v-yarets@mail.ru

ORCID: 0009-0004-9637-2235

Vladimir A. Yarets

Branch «Institute of Vocational Education» of the State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Professional Training, Lecturer

Address: Rechitskiy ave., 35A,
246023, Gomel, Belarus

Email: v-yarets@mail.ru

ORCID: 0009-0004-9637-2235

INFLUENCE OF HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF THE JET AND GEOMETRIC PARAMETERS OF THE FRAME ARM AND DEFLECTOR OF THE SPRINKLER ON FOAM EXPANSION RATE

Govor E.G., Likhomanov A.O., Govor T.A., Kamlyuk A.N., Yarets V.A.

Purpose. To determine the dependence of the expansion rate of air-mechanical foam on the hydrodynamic parameters of the jet of an aqueous solution of a synthetic hydrocarbon foaming agent that does not contain fluorinated surfactants, taking into account the variation in the geometric parameters of the elements of the deflector type sprinkler (nozzle, frame arm and deflector).

Methods. The theoretical methods of analysis, comparison and synthesis, as well as the method of a full factorial experiment to obtain a regression model were used.

Findings. The full factorial experiment on the three levels of five factors affecting the expansion rate of foam generated by the deflector type sprinkler was carried out. The three levels of the Weber number were equal to 23 100, 47 900 and 75 900 accordingly, the frame arm length L was 30, 50 and 150 mm, the deflector working surface coefficient K_s was 50, 64 и 100 %, the outer deflector diameter D was 20, 50 and 100 mm and the deflector taper angle α was 15, 30 and 45°. To generate foam the synthetic hydrocarbon foaming agent Sintek-6NS (6 %), which does not contain fluorinated surfactants and belongs to the foaming agents of general purpose (type S) according to STB 2459-2016, was used. After the analysis of the obtained experimental data the regression model for predicting the foam expansion rate in the studied ranges of values of the Weber number and the geometrical parameters of frame arm and deflector of the sprinkler was developed. For the created model the coefficient of determination R^2 is 0.93, which indicates a high accuracy of description of the dependent variable (foam expansion rate K) from the studied factors, while the deviation of theoretical values of foam expansion rate from empirical ones does not exceed 8.9 %.

Application field of research. The developed regression model allows the selection of optimal configurations (combinations of geometric parameters) of the deflector type sprinkler, in particular the deflector working surface coefficient, the outer diameter and the taper angle of the deflector, the frame arm length and the diameter of the sprinkler nozzle to obtain foam with the required expansion rate, depending on the conditions and objectives of the application of the extinguishing agent.

Keywords: automatic extinguishing system, deflector type sprinkler, sprinkler frame arm, sprinkler deflector, nozzle diameter, jet hydrodynamic parameters, Weber number, air-mechanical foam, foam expansion rate, full factorial experiment.

(The date of submitting: April 7, 2023)

REFERENCES

1. Ahrens M. U.S. Experience with sprinklers. Quincy: NFPA Research, 2017. 35 p.
2. Chen T., Fu X., Bao Zh., Xia J., Wang R. Experimental study on the extinguishing efficiency of compressed air foam sprinkler system on oil pool fire. *Procedia Engineering*, 2018. Vol. 211. Pp. 94–103. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.142.
3. Dlugogorski, B.Z. What properties matters in fire-fighting foams?: whitepaper / B.Z. Dlugogorski, E.M. Kennedy, T.H. Shaefer, J.A. Vitali. – Tokyo, 2002. – 20 p.
4. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. *Kompressionnaya pena dlya nuzhd pozharnykh podrazdeleniy* [Compression foam for the needs of fire departments]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2019. 224 p. (rus)
5. Kachanov I.V., Karpenchuk I.V., Pavlyukov S.Yu. *Ustanovki avtomaticheskogo pozharotusheniya s predvaritel'noy aeratsiey oagnetushashchey rabochey sredy* [Automatic fire extinguishing installations with preliminary aeration of the fire extinguishing working medium]. Minsk: BNTU, 2018. 148 p. (rus)
6. Kucher V.M., Merkulov V.A., Zhukov V.V., Kucher V.N., Ponimasov V.M. *Izuchenie protsessov tusheniya plameni nefteproduktov nizkokratnymi penami* [Study of the processes of extinguishing the oil products flame with low-expansion foams]. *Pozharotushenie: proceedings of VNIPO*. Moscow: VNIPO, 1984. Pp. 29–37. (rus)
7. Laundess A.J., Rayson M.S., Dlugogorski B.Z., Kennedy E.M. Small-scale test protocol for fire-fighting foams DEF(AUST)5706: effect of bubble size distribution and expansion ratio. *Fire Technology*, 2011. Vol. 47. Pp. 149–162. DOI: 10.1007/s10694-009-0136-2.

8. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry. *Fire Safety Journal*, 2019. Vol. 109. Article 102862. 8 p. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
9. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. Field testing and extinguishing efficiency comparison of the optimized for higher expansion rates deflector type sprinkler with other foam and foam-water sprinklers. *Fire Safety Journal*, 2020. Vol. 116. Article 103177. 10 p. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103177.
10. Likhomanov A.O., Govor E.G., Kamlyuk A.N. О взаимосвязях геометрических параметров оросителя, устойчивости и кратности получаемой пены [On the relationship between the sprinkler geometric parameters, stability and expansion rate of the generated foam]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 2. Pp. 174–185. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.174. EDN: ZKVVOJ.
11. Лихоманов, А.О. Длина начального участка осесимметричной турбулентной струи, образующейся в пенном розеточном оросителе для автоматических установок пожаротушения [The breakup length of axisymmetric turbulent jet in the foam deflector type sprinkler for automatic extinguishing systems] *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 2. Pp. 159–173. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.159. EDN: ZRNKUV.
12. Govor E.G., Govor T.A., Likhomanov A.O. Экспериментальное исследование геометрических параметров сфутсера оросителя и их влияние на гидродинамические параметры струи водных растворов различных пенообразователей [Experimental study of the geometric parameters of the sprinkler nozzle and their influence on the hydrodynamic parameters of the jet of aqueous solutions of various foam concentrates]. *Proc. XVII Intern. scientific-practical conf. dedicated to the 90th anniversary of the formation of civil defense «Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'»*, November 24, 2022. Ivanovo: Ivanovo Fire Rescue Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2022. Pp. 315–321. (rus)
13. Khalafyan A.A. *Promyshlennaya statistika: kontrol' kachestva, analiz protsessov, planirovanie eksperimentov v pakete STATISTICA* [Industrial statistics: quality control, process analysis, experiment design in STATISTICA]. Moscow: Knizhnyy dom «LIBROKOM», 2013. 384 p. (rus)
14. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. *Pennye orositeli dlya avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya* [Foam sprinklers for automatic fire extinguishing installations]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2023. 244 p. (rus)

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СДВИГА И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ ВЯЗКОСТЬ РАСТВОРА ПОЛИМЕРОВ

Нахай Д.М., Миканович Д.С., Бусел М.О.

Цель. Изучение особенностей изменения динамической вязкости неньютоновских жидкостей от изменения градиента скорости (скорости сдвига) и температуры.

Методы. Измерение вязкости растворов проводилось на ротационном вискозиметре ИКА ROTAVISC LO-VI. Для измерения температуры исследуемых растворов использовали криотермостат жидкостный FT-316-40. Добавление необходимого количества исследуемой жидкости осуществлялось с помощью пипеточного дозатора компании Thermo Fischer Scientific.

Результаты. По результатам проведенного детального анализа зависимости свойств полимерных (неньютоновских) жидкостей от процентного содержания поверхностно-активных веществ в растворе (от 0,1 до 3 %), степени нагрева исследуемых жидкостей (от 5 до 35 °С) и градиента скорости (скорости сдвига 1,28–259,13 с⁻¹) установлены особенности изменения динамической вязкости, указывающие на присутствие пристенного эффекта.

Область применения исследований. Полученные результаты важны для дальнейшего исследования поведения полимерных (неньютоновских) жидкостей, применяемых на промышленных объектах.

Ключевые слова: эффект пристенного скольжения, кривая вязкости, тиксотропные свойства, полимерная жидкость.

(Поступила в редакцию 13 января 2023 г.)

Введение

Поведение неньютоновских жидкостей при использовании в различных производственных процессах демонстрирует определенные аномалии их ламинарного течения. Анализ технологического процесса при производстве калийных удобрений на ОАО «Беларуськалий» показал, что при добавлении полимерных компонентов в воду повышается выход полезных веществ [1], однако данные полимерные добавки способствуют суффозии грунта, что, в свою очередь, снижает его прочностные характеристики при оборудовании земляных дамб и способствует возникновению чрезвычайных ситуаций. Исходя из анализа литературных источников [1–3], сделан вывод, что особенностью ламинарного течения является возникновение тонкого слоя [2], в результате разделения жидкой фазы на границе твердое – жидкое тело, что способствует уменьшению сопротивления и, как следствие, увеличению скорости движения исследуемой жидкости на границе взаимодействующих поверхностей.

В представленной статье рассмотрены процессы поведения полимерных жидкостей с учетом данных об их вязкости, измеренной на ротационном вискозиметре. Данный прибор позволяет с высокой точностью (до 1 %) наблюдать и фиксировать процессы изменения вязкости при различных физико-химических факторах воздействия.

Основная часть

Методика эксперимента. При проведении исследования нами использовались растворы полиакриламида (синтетический полимер (C₃H₅NO)_n) с процентным содержанием полимерных добавок в диапазоне от 0,1 до 3 %, раствор Техарон (лаурилсульфат натрия) с процентным содержанием вещества от 1 до 2 %, а также шлам калийного производства [5] (содержание полиакриламида и солей KCl, NaCl) с процентным содержанием полиакриламида до 1 %.

Измерение вязкости растворов проводилось на ротационном вискозиметре ROTA-VISC lo-vi Complete¹ (рис. 1) при скорости вращения коаксиального шпинделя (DIN-SP-6) от 1 до 200 оборотов в минуту, скорости сдвига жидкости $\dot{\gamma}$ от 1,28 до 259,13 с⁻¹, а также от напряжения сдвига τ от 0,03 до 0,55 Па соответственно. Данный вискозиметр определяет вязкость с точностью до 1 %. Для измерения температуры исследуемых растворов использовали криотермостат жидкостный FT-316-40 с точностью поддержания температуры $\pm 0,1$ °С (рис. 2). Коэффициент динамической вязкости η всех растворов фиксировали в диапазоне температур от 5 до 35 °С. Добавление необходимого количества исследуемой жидкости осуществлялось с помощью пипеточного дозатора компании Thermo Fischer Scientific в объеме 6,5 мкл на каждое измерение в зависимости от характеристик шпинделя.



Рисунок 1. – Вискозиметр ROTA-VISC lo-vi Complete



Рисунок 2. – Криотермостат FT-316-40

С целью увеличения точности проведенных исследований каждое измерение проводилось не менее пяти раз и определялось среднее значение при частоте вращения шпинделя: 1; 3,1; 7,8; 31,2; 83,5; 100,6 и 200 оборотов в минуту. В таблицах 1–2 приведены результаты измерений вязкости в температурном диапазоне от 5 до 15 °С для полиакриламида. Для Техароп и шлама при данных условиях изменения не происходят.

Таблица 1. – Вязкость полимерных жидкостей при температуре 5 °С

Полиакриламид – 0,1 %			Полиакриламид – 0,5 %			Полиакриламид – 2 %		
τ (Па)	$\dot{\gamma}$ (1/с)	η (мПас)	τ (Па)	$\dot{\gamma}$ (1/с)	η (мПас)	τ (Па)	$\dot{\gamma}$ (1/с)	η (мПас)
0,03	1,28	23,44	0,03	1,28	23,44	0,12	1,28	93,75
0,04	4,01	9,98	0,06	4,01	14,96	0,16	4,01	39,90
0,07	10,10	6,93	0,13	10,10	12,87	0,23	10,10	22,77
0,17	40,41	4,21	0,19	40,41	4,70	0,88	40,41	21,78
0,26	108,18	2,40	0,28	108,18	2,59	1,26	108,18	11,65
0,27	130,33	2,07	0,32	130,33	2,46	1,34	130,33	10,28
0,55	259,13	2,12	0,55	259,13	2,12	2,43	259,13	9,38

Таблица 2. – Вязкость полимерных жидкостей при температуре 10 °С

Полиакриламид – 0,1 %			Полиакриламид – 0,5 %			Полиакриламид – 2 %		
τ (Па)	$\dot{\gamma}$ (1/с)	η (мПас)	τ (Па)	$\dot{\gamma}$ (1/с)	η (мПас)	τ (Па)	$\dot{\gamma}$ (1/с)	η (мПас)
0,04	1,28	31,25	0,02	1,28	22,66	0,09	1,28	70,31
0,03	4,01	7,48	0,07	4,01	17,46	0,16	4,01	39,90
0,05	10,10	4,95	0,09	10,10	8,91	0,22	10,10	21,78
0,15	40,41	3,71	0,15	40,41	3,71	0,56	40,41	13,86
0,25	108,18	2,31	0,27	108,18	2,50	1,40	108,18	12,94
0,27	130,33	2,07	0,30	130,33	2,30	1,32	130,33	10,13
0,46	259,13	1,78	0,49	259,13	1,89	2,24	259,13	8,64

В результате проведенных исследований установлено, что коэффициент динамической вязкости растворов снижается с увеличением градиента скорости (скорости сдвига).

¹ Ротационный вискозиметр ROTA-VISC lo-vi Complete. Технические характеристики [Электронный ресурс] // ИКА Лабораторное оборудование. – Режим доступа: <https://www.ika.com/ru/Products-Lab-Eq/Viscometers-csp-279/ROTA-VISC-lo-vi-Complete-cpdt-25000310>. – Дата доступа: 05.01.2023.

Данное снижение показывает, что исследуемые растворы имеют тиксотропные свойства [4], что, в свою очередь, показывает их текучесть при механическом воздействии. На рисунках 3–4 представлены результаты измерений вязкости растворов полиакриламида с процентным содержанием 0,1–2 % при температуре 5 и 10 °С соответственно.

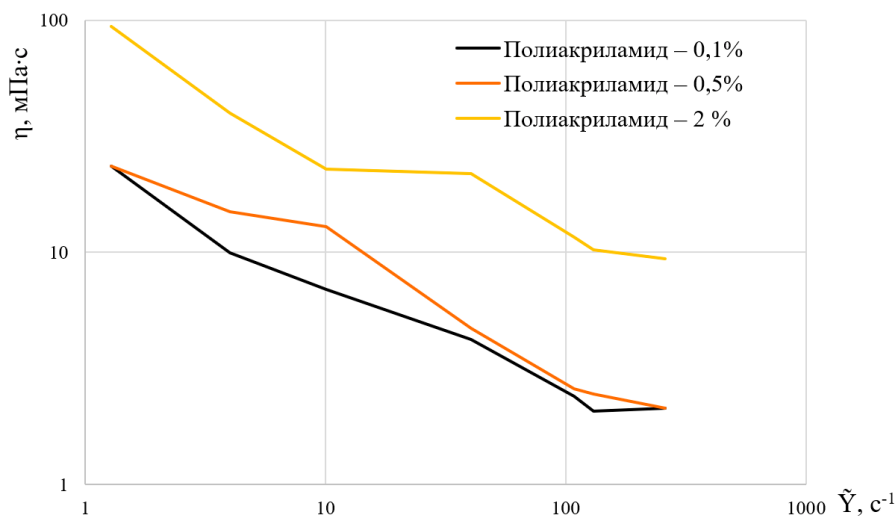


Рисунок 3. – Зависимость динамической вязкости полиакриламидов от градиента скорости при температуре 5 °С (логарифмическая шкала)

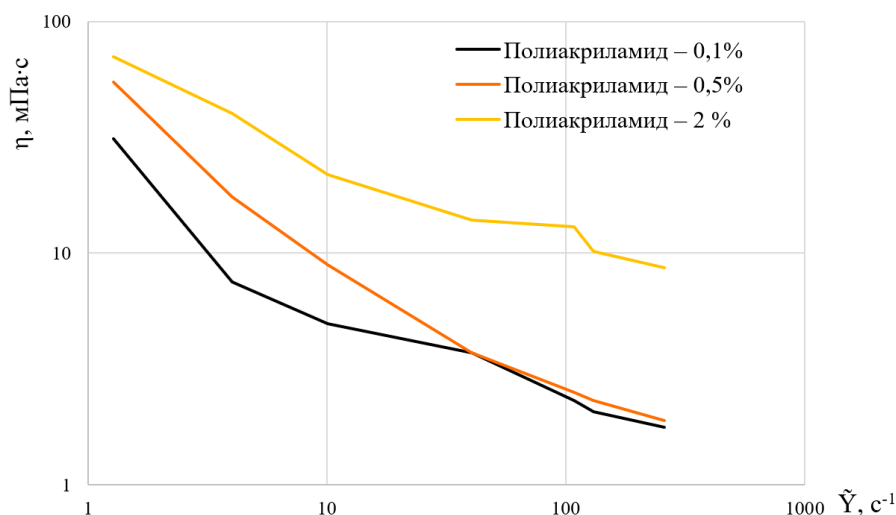


Рисунок 4. – Зависимость динамической вязкости полиакриламидов от градиента скорости при температуре 10 °С (логарифмическая шкала)

Исходя из анализа экспериментальных данных установлено, что растворы полиакриламида с концентрацией 0,1; 0,5 и 2 % ведут себя как тиксотропные жидкости, т.е. вязкость снижается с увеличением скорости сдвига, но при низких скоростях сдвига от 1,28 до 40,1 с⁻¹ наблюдается более выраженное снижение вязкости.

В рамках реологической модели, когда вязкость снижается с увеличением скорости сдвига, упругое свойство полимерных жидкостей теряется путем разрушения ассоциатов макромолекул [2].

При проведении дальнейших экспериментов с повышением температуры исследуемых жидкостей наблюдались амплитудные скачки на минимальных скоростях сдвига. Данные амплитудные скачки начинали проявляться при температуре 15 °С и выше. В целях оценки поведения полимерных жидкостей при данной температуре помимо растворов полиакриламида был проведен эксперимент с раствором ПАВ Техароп различной концентрации, а также со шламом калийного производства. Результаты измерений вязкости раствора ПАВ Техароп с процентным содержанием 1–2 % и растворов полиакриламида с процент-

ным содержанием 0,1–2 % при температуре 15 и 20 °С представлены на рисунках 5 и 6 соответственно.

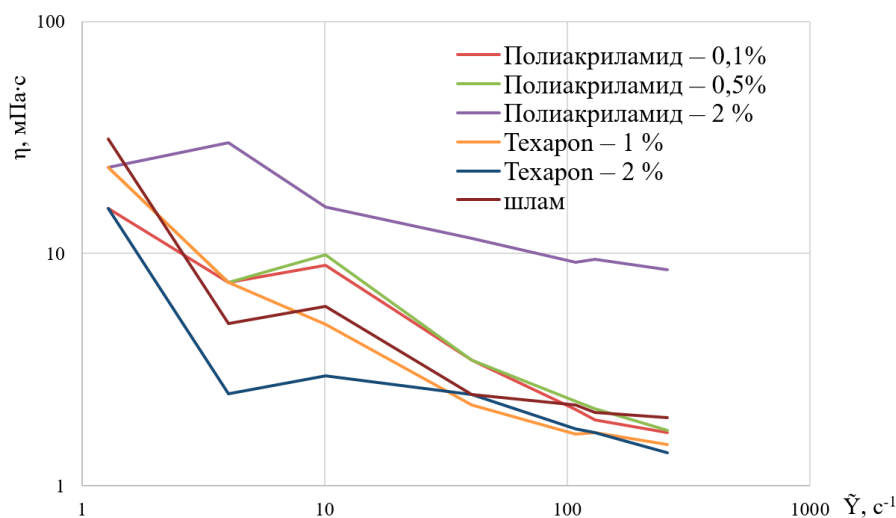


Рисунок 5. – Зависимость динамической вязкости растворов полиакриламида и Техарон от градиента скорости при температуре 15 °С (логарифмическая шкала)

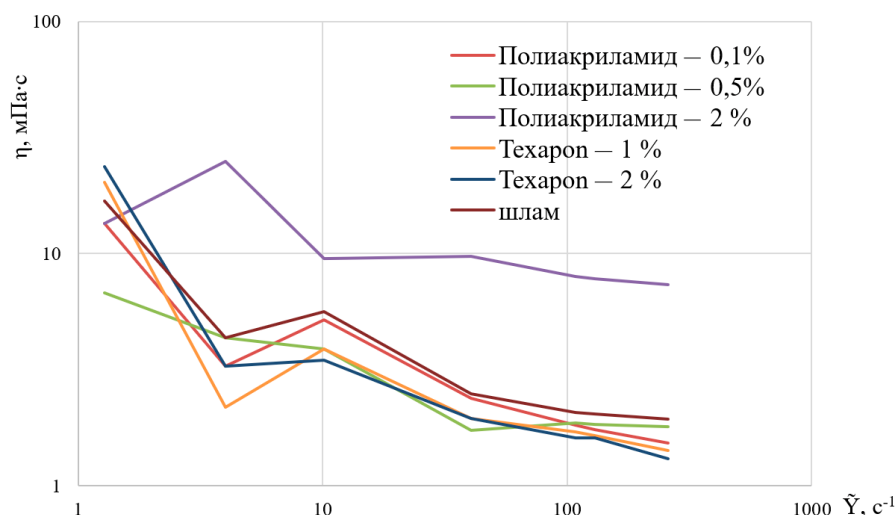


Рисунок 6. – Зависимость динамической вязкости растворов Техарон и полиакриламида, шлама калийного производства от градиента скорости при температуре 20 °С

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что с увеличением температуры полимерных жидкостей проявляются амплитудные скачки линии вязкости, которые сопровождаются резким снижением и мгновенным ее увеличением при низких скоростях сдвига 1,28 до 40,41 с⁻¹. Стоит отметить, что данные амплитудные скачки мгновенного изменения вязкости характерны для полимерных жидкостей с процентным содержанием ПАВ от 0,1 до 2 %. При содержании 2 % и выше тиксотропные свойства полимеров не теряются [3–4].

Следует отметить, что при дальнейшем повышении температуры (свыше 20, до 35 °С) амплитудные скачки в диапазоне скорости сдвига жидкости от 1,28 до 10,1 с⁻¹ продолжают проявляться во всех исследуемых растворах (полиакриламид, Техарон, шлам). При этом поведение полимерных жидкостей с увеличением процентного содержания полимерных компонентов существенно менялось. При температурах 25 °С и выше в жидкостях с содержанием 2–3 % ПАВ эффект амплитудных скачков кривой вязкости снижается или вовсе исчезает.

При замере раствора полиакриламида с концентрацией 3 % состав получился очень вязкий, в связи с чем мощность ротационного вискозиметра ROTAVISC позволила изме-

речь динамическую вязкость только при скоростях сдвига от 1,28 и 40,41 с⁻¹. Амплитудных скачков в данном эксперименте не наблюдалось.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что динамическая вязкость полимерных (неньютоновских) жидкостей с увеличением градиента скорости снижается. В диапазоне скорости сдвига от 1,28 до 40,41 с⁻¹ при различных температурах нагревания и процентном содержании активных веществ происходит более выраженное снижение (амплитудный скачок) динамической вязкости, что может являться эффектом пристенного скольжения за счет образования тонкого слоя в результате разделения жидкой фазы. Положительным эффектом данного явления является повышение выхода полезных веществ в производстве калийных удобрений за счет добавления полимерных компонентов. Но, в свою очередь, оно также имеет и негативное воздействие при возведении земляных сооружений за счет суффозии грунта. Для более точного объяснения данного эффекта будут проведены дополнительные исследования по изучению влияния полимерных добавок на фильтрацию (насыщение) различных наполнителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миканович, Д.С. Прогнозирование возникновения чрезвычайных ситуаций на грунтовых подпорных сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.02 / Д.С. Миканович. – Минск, 2020. – 212 л.
2. Astarita, G. Non-newtonian gravity flow along inclined plane surfaces / G. Astarita, G. Marrucci, G. Palumbo // *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. – 1964. – Vol. 3, No. 4. – P. 333–339. – DOI: 10.1021/i160012a010.
3. Morrison, S.R. Wall effect in coquette flow of non-newtonian suspensions / S.R. Morrison, J.C. Harper // *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. – 1965. – Vol. 4, No. 2. – P. 176–181. – DOI: 10.1021/i160014a014.
4. Carreau, P.J. Wall effects in polymer flow on inclined plane / P.J. Carreau, Q.H. Bui, P. Leroux // *Rheology Acta*. – 1979. – Vol. 18, No. 5. – P. 600–608. – DOI: 10.1007/bf01520356.
5. Миканович, Д.С. Исследование фильтрационных свойств грунтов ограждающих сооружений шламохранилищ с учетом влияния эффекта пристенного скольжения / Д.С. Миканович, Г.Ф. Ласута // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. – 2019. – Т. 3, № 2. – С. 166–177. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.166. – EDN: WKMNAK.

**Влияние скорости сдвига и температуры на динамическую вязкость
раствора полимеров**

**Influence of shear rate and temperature on the dynamic viscosity
of a polymer solution**

Нахай Дмитрий Михайлович

Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра химической,
биологической, радиационной и ядерной
защиты, преподаватель

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

Email: eurotitaner@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5989-5465

Dmitriy M. Nakhay

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Chemical, Biological, Radiation
and Nuclear Protection, Lecturer

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

Email: eurotitaner@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5989-5465

Миканович Дмитрий Станиславович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», факультет
предупреждения и ликвидации чрезвычайных
ситуаций, начальник факультета

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

Email: dmikanovich@list.ru

ORCID: 0000-0002-3560-1741

Dmitriy 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»,
Faculty of Emergency Prevention and Elimination,
Head of Faculty

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

Email: dmikanovich@list.ru

ORCID: 0000-0002-3560-1741

Бусел Михаил Олегович

кандидат технических наук
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра химической,
биологической, радиационной и ядерной
защиты, доцент

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

Email: Mischabox@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9467-218X

Mikhail O. Busel

PhD in Technical Sciences
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Chemical, Biological, Radiation
and Nuclear Protection, Associate Professor

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

Email: Mischabox@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9467-218X

INFLUENCE OF SHEAR RATE AND TEMPERATURE ON THE DYNAMIC VISCOSITY OF A POLYMER SOLUTION

Nakhay D.M., Mikanovich D.S., Busel M.O.

Purpose. Study of the features of changes in the dynamic viscosity of non-Newtonian fluids due to changes in the velocity gradient (shear rate) gradient and temperature.

Methods. The viscosity of the solutions was measured on an IKA ROTAVISC LO-VI rotational viscometer. An FT-316-40 liquid cryothermostat was used to measure the temperature of the studied solutions. The addition of the required amount of the test liquid was carried out using a Thermo Fischer Scientific pipette dispenser.

Findings. According to the results of a detailed analysis of the dependence of the properties of polymeric (non-Newtonian) liquids on the percentage of surface active substances in the solution (from 0.1 to 3 %), the degree of heating of the studied liquids (from 5 to 35 °C) and the velocity gradient (shear rate 1.28–259.13 s⁻¹), the features of the change in dynamic viscosity were established, indicating the presence of a near-wall effect.

Application field of research. The results obtained are important for further investigation of the behavior of polymeric (non-Newtonian) fluids used in industrial facilities.

Keywords: wall slip effect, viscosity curve, thixotropic properties, polymer liquid.

(The date of submitting: January 13, 2023)

REFERENCES

1. Mikanovich, D.S. Prognozirovanie vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy na gruntovykh podpornykh sooruzheniyakh shlamokhranilishch Respubliki Belarus' [Forecasting the occurrence of emergencies at earth retaining structures of sludge storage facilities of the Republic of Belarus]. PhD tech. sci. diss.: 05.26.02. Minsk, 2020. 212 p. (rus)
2. Astarita G., Marrucci G., Palumbo G. Non-newtonian gravity flow along inclined plane surfaces. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 1964. Vol. 3, No. 4. Pp. 333–339. – DOI: 10.1021/i160012a010.
3. Morrison S.R., Harper J.C. Wall effect in coquette flow of non-newtonian suspensions. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 1965. Vol. 4, No. 2. Pp. 176–181. DOI: 10.1021/i160014a014.
4. Carreau P.J., Bui Q.H., Leroux P. Wall effects in polymer flow on inclined plane. *Rheology Acta*, 1979. Vol. 18, No. 5. Pp. 600–608. DOI: 10.1007/bf01520356.
5. Mikanovich D.S., Lasuta G.F. Issledovanie fil'tratsionnykh svoystv gruntov ograzhdayushchikh sooruzheniy shlamokhranilishch s uchetom vliyaniya effekta pristennogo skol'zheniya [Investigation of the filtration properties of the soils of the enclosing structures of sludge storages, taking into account the influence of the near-wall sliding effect]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 2. Pp. 166–177. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-2.166. EDN: WKMNAK.

ВООРУЖЕННАЯ ЗАЩИТА РОДИНЫ КАК ОДНА ИЗ ФУНКЦИЙ СПАСАТЕЛЕЙ В ВОЕННОЕ ВРЕМЯ

Субботин М.Н., Цинкевич О.И., Оляха Н.М.

Цель. Определение способов применения подразделений пожарной аварийно-спасательной службы в военное время в вооруженной защите Отечества.

Методы. Используются общенаучные методы дедукции, индукции, анализа и синтеза.

Результаты. Предложены варианты возможного применения в условиях военного времени формируемых подразделений пожарной аварийно-спасательной службы, их структура, вооружение, порядок подготовки.

Область применения исследований. Результаты исследования используются в образовательном процессе в Университете гражданской защиты и могут быть использованы в практической деятельности органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям.

Ключевые слова: военный конфликт, военная угроза, военная организация государства, пожарная аварийно-спасательная служба, гражданская оборона, стрелковое отделение, общевойсковая тактика, вооруженная борьба.

(Поступила в редакцию 27 февраля 2023 г.)

Введение

События, происходящие у границ Республики Беларусь на протяжении последних лет, заставляют все чаще и настороженнее задумываться о нашей безопасности, о защищенности интересов страны от всякого рода санкций, информационных вбросов, нападок со стороны воинствующих западных соседей, разжигающих вражду между славянскими народами. Прежде всего речь идет о милитаризации Польши и ее агрессивных намерениях, о военной риторике, которая звучит с запада. Средства массовой информации стран НАТО наперебой вещают о нависшей угрозе развязывания крупномасштабной войны, выставляя в роли агрессора наше союзное государство. Страны объединенного Запада превратили военный блок НАТО в орган возмездия для всех несогласных с их политикой «демократизации по-американски». При этом все чаще и громче звучит призыв к решению этого вопроса насильственным, военным путем. Изменились их подходы и к применению военной силы, наглядно свидетельствующие о серьезных изменениях в стратегии и тактике, суть которых состоит в стремлении на начальном периоде развития конфликта нарушить важнейшие элементы государственной и военной инфраструктуры противника. При этом непосредственному началу боевых действий могут предшествовать особые периоды деятельности в целях формирования негативного мирового общественного мнения в отношении государства-жертвы, осуществления его политической и экономической изоляции с привлечением ресурса международных институтов и обоснования в конечном счете легитимности применения против него военной силы. Все эти действия направлены на создание необходимой базы для достижения определенных целей, среди которых – дестабилизация внутривнутриполитической обстановки, дезинтеграция системы государственного и военного управления, разрушение экономического потенциала противостоящей стороны.

Особенность современной военной стратегии США и всего коллективного Запада состоит в том, что она «одета» не в форму агрессора, а в форму якобы освободителя и миротворца. Наглядным примером этого являются события в Украине, где многомиллиардные поставки оружия преступному режиму укронацистов натовские ястребы считают основным условием достижения мира, применяя при этом различные способы в обход действующих норм международного права, чем сильно дестабилизирует международную

обстановку. При этом использование дипломатических методов урегулирования конфликтов, соблюдение общепризнанных принципов и норм международного права не становятся доминирующими правилами в решении проблем поддержания международного мира и безопасности. В качестве главных геополитических соперников Соединенные Штаты рассматривают прежде всего Россию и Китай. Во внешнеполитической деятельности американская администрация исходит из того, что США являются ведущей державой мира, имеющей моральное право и материальные возможности диктовать свои условия и устанавливать в различных регионах земного шара «порядок по-американски».

Находясь в союзном государстве с Россией, Республика Беларусь в полной мере испытывает на себе вводимые санкции и давление, оказываемое коллективным Западом на союзное государство. Мы последовательно выступаем за создание такой системы международных отношений, в которой значение военной силы будет минимизировано и ее функции сведены к задаче сдерживания вооруженных конфликтов.

Проводимая Россией специальная военная операция по денацификации и демилитаризации Украины показала сущность объединенного запада по эскалации напряженности в этом регионе. Обострение ситуации у наших границ как на западном, так и на южном направлении заставляет всерьез задумываться над вопросами национальной безопасности. На фоне складывающейся обстановки сегодня, как никогда, остро встает вопрос защиты суверенитета и территориальной целостности не только Республики Беларусь, но и всего союзного государства. Наши западные соседи открыто заявляют о своих территориальных претензиях и к Республике Беларусь, и к Российской Федерации, и даже к Украине, которую продолжают накачивать оружием и боеприпасами. Именно поэтому необходима всесторонняя и заблаговременная подготовка страны для обеспечения безопасности, способности дать решительный отпор любому агрессору.

Вопросам участия работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям (далее – ОПЧС) в обеспечении безопасности нашего государства (в таком контексте, который ранее не рассматривался) посредством участия их в вооруженной защите Отечества в случае крайней необходимости и пойдет речь в статье.

На совещании у Президента Республики Беларусь 7 февраля 2022 г. Главнокомандующим был обозначен перед Министром по ЧС важный проблемный вопрос применения подразделений пожарной аварийно-спасательной службы и поставлена конкретная задача реформирования и модернизации МЧС. Глава государства заявил: *«Не можем же мы в компактной небольшой стране иметь численность Вооруженных Сил 200–300 тысяч. Не можем. Постоянно действующих. Мы договорились, что численность наших Вооруженных Сил, армии нашей – 65 тысяч. На этом остановились. Но если произойдет какой-то конфликт, не дай бог, война, у нас что, в МЧС – крепкие, надежные сотрудники будут в стороне? Нет. Они не только пожар будут тушить. Все, пожарники, пожарники, это ушло в прошлое. Никакие не пожарники, это спасатели. **И вторая функция – вооруженные люди, которые в случае момента, времени "Ч", встанут на защиту нашей родины.** А для этого надо владеть оружием. Каким? Пистолеты, автоматы, пулеметы, гранатометы. Или мы их будем вооружать еще какой-то техникой? Думаю, да. Это серьезный актив и подспорье для нашей армии на случай, если вдруг. Может быть, и в мирное время модернизируем МЧС. Мы найдем им работу. Работу как вооруженных людей. Это очень важно при реформировании. А не то что мы там клеточки начертим, этого человека туда, этого сюда, какую-то клеточку, типа функцию, уберем, это само собой. Но должна быть существенная модернизация...»*¹

¹ Лукашенко о вооружении спасателей: «Не дай бог, война, у нас что, в МЧС – крепкие, надежные сотрудники будут в стороне? Нет» [Электронный ресурс] / Новости Беларуси и мира сегодня – СТБ: ctv.by. – Режим доступа: <https://ctv.by/lukashenko-o-vooruzhenii-spasateley-ne-day-bog-voyna-u-nas-chto-v-mchs-krepkie-nadyozhnyesotrudniki>. – Дата доступа: 27.02.2023.

Основная часть

В Концепции национальной безопасности нашего государства дано определение военной безопасности как состояния защищенности национальных интересов Республики Беларусь от военных угроз и перечислены возможные угрозы [1]. Одной из этих угроз, очень ярко выраженной сегодня, является концентрация вооруженных сил блока НАТО вдоль Государственной границы Республики Беларусь и Российской Федерации и стремительное увеличение численности армии Польши, указывающие на реальное намерение применить военную силу против независимости, территориальной целостности, суверенитета и конституционного строя Республики Беларусь и союзного государства.

Военная доктрина Республики Беларусь определяет, что для обеспечения своей военной безопасности и вооруженной защиты государство вправе применить свою *военную организацию*, другие необходимые силы и средства, а также принять помощь других государств в соответствии с международными договорами Республики Беларусь в военной сфере [2].

Там же определено предназначение военной организации государства:

в мирное время, в том числе в период нарастания военной угрозы, – для решения задач обеспечения военной безопасности, минимизации рисков и вызовов военной безопасности, предотвращения военной угрозы, недопущения дестабилизации обстановки или разрешения внутреннего вооруженного конфликта в Республике Беларусь;

в военное время – для обеспечения *вооруженной защиты* Республики Беларусь, сохранения независимости, территориальной целостности, суверенитета, конституционного строя Республики Беларусь и прекращения военных действий на условиях, не противоречащих национальным интересам Республики Беларусь.

Исходя из определения военной организации государства как совокупности военно-политических органов управления, Вооруженных Сил Республики Беларусь, других войск и воинских формирований, *военизированных организаций* Республики Беларусь, оборонного сектора экономики с его органами управления, других государственных органов и организаций, совместная деятельность которых направлена на решение задач по обеспечению военной безопасности, следует, что *органы и подразделения по чрезвычайным ситуациям* Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, являясь *военизированной организацией* в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 1 июня 2007 г. № 251 «О некоторых вопросах деятельности воинских формирований и военизированных организаций Республики Беларусь», *входят в состав военной организации государства и также обязаны решать задачи по обеспечению военной безопасности* [3].

Это прописано и в Законе «Об обороне», где оборона отнесена к важнейшей функции государства и является всеобщим делом. Для обороны наше государство имеет Вооруженные Силы, внутренние войска Министерства внутренних дел, органы пограничной службы, органы государственной безопасности, Службу безопасности Президента Республики Беларусь, территориальные войска и иные воинские формирования, создаваемые в соответствии с законодательством, а также привлекает органы внутренних дел, Следственный комитет Республики Беларусь, Государственный комитет судебных экспертиз, органы финансовых расследований Комитета государственного контроля, *органы и подразделения по чрезвычайным ситуациям* [4].

В решении задач по обеспечению военной безопасности важное место отводится *гражданской обороне* (далее – ГО), которая рассматривается как *составная часть оборонных мероприятий* Республики Беларусь по подготовке к защите и по защите населения, материальных и историко-культурных ценностей на территории Республики Беларусь от опасностей, возникающих (возникших) при ведении военных действий или вследствие этих действий.

Подготовка государства к ведению гражданской обороны осуществляется заблаговременно в мирное время с учетом совершенствования средств вооруженной борьбы и средств защиты населения от опасностей, возникающих при ведении военных действий.

Ведение гражданской обороны осуществляется в соответствии с планами гражданской обороны, которые вводятся в действие на территории Республики Беларусь или в отдельных ее местностях полностью или частично с момента объявления войны, фактического начала военных действий или введения Президентом Республики Беларусь военного положения [5].

Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 12 августа 2008 г. № 1151 «О службах гражданской обороны» предписывает создание в особый период на базе МЧС республиканской пожарной аварийно-спасательной службы (далее – ПАСС) гражданской обороны с возложением на нее задачи создания на ее базе органов управления ГО (штабов ГО) [6]. Таким образом, *в соответствии с законодательством нашего государства ОПЧС в особый период и в военное время являются ПАСС, одной из служб ГО.*

Нормативными правовыми актами в области ГО определены задачи ГО, задачи каждой из ее служб, в том числе ПАСС. Однако в них *нет положений, регламентирующих деятельность по вооруженной защите государства как ГО в целом, так и ПАСС, как составной части ГО и военной организации государства.*

Что же необходимо сделать в ближайшее время и в кратчайшие сроки для выполнения поручения Президента?

Исходить целесообразно из тех задач, которые могут быть поставлены перед подразделениями, сформированными на базе ПАСС. А спектр задач, решаемых в особый период и в военное время, очень разнообразен. Достаточно перечислить те задачи, которые возложены на силы Территориальной обороны (далее – ТерО), создаваемой для повышения уровня обороноспособности государства:

- охрана и оборона объектов территориальной обороны;
- выполнение отдельных боевых задач совместно с соединениями и воинскими частями Вооруженных Сил при отражении акта вооруженной агрессии;
- борьба с десантно-диверсионными силами противника и незаконными вооруженными формированиями;
- ведение вооруженной борьбы на временно захваченной (оккупированной) противником территории;
- участие в усилении охраны участков Государственной границы Республики Беларусь;
- участие в ликвидации последствий применения противником оружия;
- участие в выполнении мероприятий по обеспечению поддержания военного положения.

Эти задачи важно знать представителям ПАСС хотя бы по той причине, что начальником и территориальной, и гражданской обороны является одно и то же должностное лицо – председатель районного (городского) исполнительного комитета. Почему рассматривается нижний, тактический уровень управления? Потому что и в той, и в другой обороне основные силы находятся под этим управлением и взаимодействие этих сил будет организовываться именно на этом уровне.

Возникает ряд важных вопросов: а смогут ли ОПЧС выполнять такие же задачи, как силы ТерО или надо готовиться к чему-то другому? В каком объеме и в какое время? В какой организационно-штатной структуре? С каким вооружением? Под чьим управлением? В какое время осуществлять подготовку ОПЧС (ПАСС) для участия в вооруженной защите? Какую правовую основу под это создать? И другие «как» и «почему».

По мнению авторов, можно предположить, что выполнение задач, подобных задачам ТерО, силами подразделений, сформированных на базе ПАСС, возможно, но не целесообразно, ведь суть большинства задач ТерО заключается в создании и поддержании условий для нормального функционирования государственных органов, предприятий

и организаций в период нарастания военной угрозы и в военное время. Нет необходимости дублирования ТерО. Однако изучать ряд из них надо хотя бы по той причине, что, как показали события 2020 г., участие ОПЧС в поддержании общественного порядка, блокировании протестных движений на улицах городов сыграло роль. Да и взаимодействие между территориальной и гражданской обороной будет наиболее существенно.

В основу применения сил ПАСС целесообразнее изначально закладывать выполнение отдельных задач совместно с частями и подразделениями Вооруженных Сил в общевойсковом бою, как и указал Президент, в случае тяжелого часа для нашей Родины, в случае крайней необходимости. Когда, в какой момент может наступить эта крайняя необходимость – будет определено Генеральным штабом Вооруженных Сил, который выполняет функции исполнительного органа Совета Безопасности Республики Беларусь в системе стратегического управления Вооруженными Силами и другими войсками под непосредственным руководством Главнокомандующего Вооруженными Силами. Что это могут быть за задачи и какие совместные действия – тема дальнейших дискуссий не только в среде спасателей, но и совместно с представителями Вооруженных Сил.

На наш взгляд, это может быть и совместное применение подразделений ПАСС в оборонительном бою с танковыми подразделениями, для которых важно иметь рядом с боевыми машинами пехоту, и действия в боевых порядках обороняющихся мотострелковых подразделений, усиливая их огонь по живой силе противника, и участие в подготовленной заблаговременно круговой обороне населенных пунктов совместно с силами ТерО, и действия в районах засадных действий по нанесению внезапного огня по выдвигающимся колоннам противника, и другие действия в соответствии с обстановкой. Общее управление, по мнению авторов, в этом случае будет осуществлять, конечно же, общевойсковой командир, в чьем подчинении окажутся подразделения ПАСС. Непосредственное управление может осуществляться командирами отделений, командирами взводов из состава формируемых подразделений спасателей.

Возникает вопрос: в какой организационно-штатной структуре целесообразно применять эти подразделения и с каким вооружением? И здесь можно использовать наработанный опыт территориальных войск ТерО, где основные тактические подразделения – отдельный стрелковый батальон, отдельная стрелковая рота, состоящая из стрелковых взводов, имеющих в составе три стрелковых отделения. В каждом отделении по штату предусмотрены командир отделения, гранатометчик, 1–2 пулеметчика и 4–5 стрелков, один из которых старший. В отличие от территориальных войск, где основной принцип построения ТерО зонально-территориальный, применение стрелковых подразделений спасателей возможно как по территориальному принципу, так и централизованно, исходя из поставленных задач. Вид формируемого подразделения и его количественный состав будут зависеть от категории РОЧС, на который возложены задачи по формированию. На вооружении – стрелковое оружие в соответствии с должностью по штату.

Важным остается вопрос подготовки работников ОПЧС к выполнению задачи по вооруженной защите Отечества. С учетом исторического опыта, а также опыта современной подготовки территориальных войск ТерО главным, по мнению авторов, является подготовка командиров взводов, рот, т.е. офицерского состава. Во время подготовки будущих сотрудников МЧС Беларуси в Университете гражданской защиты это не составит большого труда – достаточно в программу обучения курсантов старшего курса ввести курс общей тактики, чтобы на заключительном этапе подготовки будущих офицеров дать знания и сформировать простейшие умения и навыки в организации и ведении общевойскового боя. Причем изучать надо как оборонительные действия, так и наступательные, т.к. они тесно взаимосвязаны. Остальные действия – специальные войсковые, охранные и другие – это производные от этих основных видов боя.

Гораздо труднее придется в ОПЧС, где из-за отсутствия специалистов в военном деле изучать и обучаться основам общевойскового боя офицерам придется в основном

самостоятельно. Но это не должно стать проблемой. Боевые уставы Вооруженных Сил, учебники по тактике и учебные пособия до батальона включительно не секретны и могут быть предоставлены по первому требованию как в печатном, так и в электронном виде. Как вариант решения вопроса – проведение курсов в Университете гражданской защиты и его филиале «Институт переподготовки и повышения квалификации» для представителей РОЧС, которые в дальнейшем смогут самостоятельно обучать офицеров своего отдела. Кроме того, в рамках взаимодействия с районными военными комиссариатами (РВК) можно для этой цели по договоренности (или решением председателя районного (городского) исполнительного комитета) организовать подготовку офицеров РОЧС с помощью представителей РВК. Важно, чтобы в случае наступления времени «Ч», о котором говорил Президент, в каждом отделе были офицеры, способные быстро обучить подчиненных основам военного дела. Конечно же, это потребует затрат как временных, так и материальных, но цена вопроса несоизмерима с затратами. Обучение офицеров должно осуществляться постоянно в системе служебной подготовки циклично, с повышением из года в год уровня и глубины знаний.

Обучение рядового и сержантского состава целесообразно осуществлять заблаговременно в период нарастания военной угрозы исходя из складывающейся обстановки. По опыту проведения боевого слаживания с подразделениями территориальных войск из военнообязанного, никогда ранее не знакомого с вопросами военной подготовки, за 6–8 учебных дней можно подготовить бойца, защитника Отечества. Поэтому тратить время и средства на подготовку рядового состава в повседневной профессиональной подготовке необходимости нет.

Заключение

Таким образом, необходимо отметить: чтобы предложенные варианты возможного применения формируемых подразделений ПАСС, их структура, вооружение, порядок подготовки могли быть реализованы, нужно выработать предложения по внесению изменений в нормативную правовую базу, определяющую деятельность ПАСС в особый период и в военное время. И вопросы участия в вооруженной защите отечества в составе военной организации государства в случае необходимости должны найти там отражение. С этой целью целесообразно создание рабочей группы, способной выработать предложения, применение которых позволит комплексно решить этот проблемный вопрос, устранить существующие разногласия. И исходить надо из того, что основной закон нашего государства, Конституция Республики Беларусь, определяет и требует, что защита Республики Беларусь – обязанность и священный долг гражданина Республики Беларусь [7]. Каждого гражданина. А тем более гражданина в погонах.

Авторы приглашают всех заинтересованных к обсуждению рассмотренных в работе вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь, 9 нояб. 2010 г., № 575 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=P31000575>. – Дата доступа: 22.02.2022.
2. Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2016 г., № 412-3 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=N11600412>. – Дата доступа: 22.02.2022.
3. О некоторых вопросах деятельности воинских формирований и военизированных организаций Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 1 июня 2007 г., № 251 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=P30700251>. – Дата доступа: 22.02.2022.

4. Об обороне [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 3 нояб. 1992 г., № 1902-ХП // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=V19201902>. – Дата доступа: 22.02.2022.
5. О гражданской обороне [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 27 нояб. 2006 г., № 183-3 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H10600183>. – Дата доступа: 22.02.2022.
6. О службах гражданской обороны [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 12 авг. 2008 г., № 1151 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C20801151>. – Дата доступа: 22.02.2022.
7. Конституция Республики Беларусь 1994 года: с изм. и доп., принятыми на респ. референдумах 24 нояб. 1996 г., 17 окт. 2004 г. и 27 февр. 2022 г. – Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2022. – 80 с.

Вооруженная защита Родины как одна из функций спасателей в военное время
Armed defense of the Motherland as one of the functions of rescuers in wartime

Субботин Михаил Николаевич

кандидат военных наук, доцент

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

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

Email: gz@ucp.by

ORCID: 0000-0003-0071-8867

Mikhail N. Subbotin

PhD in Military 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: gz@ucp.by

ORCID: 0000-0003-0071-8867

Цинкевич Ольга Ивановна

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: cinkevich71@mail.ru

ORCID: 0009-0000-8729-8978

Ol'ga I. Tsinkevich

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: cinkevich71@mail.ru

ORCID: 0009-0000-8729-8978

Ольха Николай Михайлович

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

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

Email: olha.nikolai@mail.ru

ORCID: 0009-0001-7447-7499

Nikolay M. Ol'kha

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Administration Training Faculty,
graduate student

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

Email: olha.nikolai@mail.ru

ORCID: 0009-0001-7447-7499

ARMED DEFENSE OF THE MOTHERLAND AS ONE OF THE FUNCTIONS OF RESCUERS IN WARTIME

Subbotin M.N., Tsinkevich O.I., Ol'kha N.M.

Purpose. Determination of the ways of using the divisions of the fire rescue service in wartime in the armed defense of the Fatherland.

Methods. General scientific methods are used: deduction, induction, analysis and synthesis.

Findings. Variants of the possible use in wartime conditions of the formed units of the fire emergency rescue service, their structure, armament, training procedure are proposed.

Application field of research. The results of the study are used in the educational process at the University of Civil Protection, and can be used in the practical activities of bodies and departments for emergency situations.

Keywords: military conflict, military threat, military organization of the state, fire rescue service, civil defense, rifle department, combined arms tactics, armed struggle.

(The date of submitting: February 27, 2023)

REFERENCES

1. *Ob utverzhenii kontseptsii natsional'noy bezopasnosti Respubliki Belarus'* [On approval of the concept of national security of the Republic of Belarus]: *Decree of the President of the Republic of Belarus, November 9, 2010, No. 575.* National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, available at: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=P31000575> (accessed: February 2, 2022). (rus)
2. *Ob utverzhenii voennoy doktriny Respubliki Belarus'* [On approval of the military doctrine of the Republic of Belarus]: *Law of the Republic of Belarus, July 20, 2016, No. 412-Z.* National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=H11600412> (accessed: February 2, 2022). (rus)
3. *O nekotorykh voprosakh deyatel'nosti voinskikh formirovaniy i voenizirovannykh organizatsiy Respubliki Belarus'* [On some issues of the activities of military formations and militarized organizations of the Republic of Belarus]: *Decree of the President of the Republic of Belarus, June 1, 2007, No. 251.* National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, available at: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=P30700251> (accessed: February 2, 2022). (rus)
4. *Ob oborone* [On Defense]: *Law of the Republic of Belarus, November 3, 1992, No. 1902-XII.* National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, available at: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=V19201902> (accessed: February 2, 2022). (rus)
5. *O grazhdanskoy oborone* [On civil defense]: *Law of the Republic of Belarus, November 27, 2006, No. 183-Z.* National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, available at: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H10600183> (accessed: February 2, 2022). (rus)
6. *O sluzhbakh grazhdanskoy oborony* [On civil defense services]: *Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, August 12, 2008, No. 1151.* National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, available at: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C20801151> (accessed: February 2, 2022). (rus)
7. *Konstitutsiya Respubliki Belarus' 1994 goda* [The Constitution of the Republic of Belarus of 1994]: *with amendments and additions adopted at the republican referenda on November 24, 1996, October 17, 2004 and February 27, 2022.* Minsk: National Center of Legal Information of the Republic of Belarus, 2022. 80 p. (rus)

ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ У РУКОВОДИТЕЛЕЙ СИЛОВЫХ ВЕДОМСТВ

Шершнева Н.В.

Цель. Актуализация и сведение воедино взглядов на термин «профессиональное выгорание», определение факторов риска развития профессионального выгорания у руководителей силовых ведомств.

Методы. Феноменологический анализ научных положений зарубежных и отечественных и авторов.

Результаты. Установлены характерные факторы профессиональной деятельности руководителя силового ведомства, влияющие на развитие профессионального выгорания.

Область применения исследований. Проведение исследований в области изучения факторов профессионального выгорания руководителей силовых ведомств поможет осуществлять первичное предупреждение и вторичную профилактику в процессе их профессиональной деятельности.

Ключевые слова: профессиональное выгорание, эмоции, руководитель, профессиональная деятельность, силовая структура.

(Поступила в редакцию 13 марта 2023 г.)

Введение

Работа руководителя отличается высокой эмоциональной наполненностью и когнитивным разнообразием: от необходимости быстро реагировать на изменения до решения ответственных задач в ситуации неопределенности и риска. Это может негативно отразиться на личности руководителя и привести к выгоранию.

Появление проблемы выгорания было продиктовано мощным отрицательным влиянием на профессионализм и поведение специалистов. Многие исследования определяют синдром выгорания появлением быстрой истощаемости, раздражительности, депрессии, ощущением беспомощности и бессмысленности жизни, низкой самооценкой, в том числе оценкой своего профессионализма, что влияет на работоспособность и продуктивность профессиональной деятельности в целом, а также может привести к развитию различных психосоматических заболеваний. Эмоционально выгоревшие профессионалы могут нанести вред не только организации, в которой они работают, но и себе (через злоупотребление алкоголем, употреблением наркотиков, а иногда и суицидальными мыслями). Таким образом, в связи с тем, что рассматриваемый синдром комплексно воздействует на личность человека и его особенности профессиональной деятельности, его изучение представляет большой научный интерес и актуальность как для зарубежных, так и для отечественных исследователей.

Основная часть

Первыми об эмоциональном выгорании как о социальной проблеме заявили американские исследователи. В рамках исследований проблемы негативного влияния профессиональной деятельности на личность психиатр Г. Фрейденбергер ввел специальный термин *burnout* (англ. – ‘выгорание’, ‘сгорание’, ‘затухание горения’) [1, с. 57].

Первоначально термин «выгорание» обозначал состояние истощения и изнеможения, связанное с ощущением собственной беспомощности и бесполезности. Он применялся для описания испытываемого человеком состояния эмоционального, психического и физического истощения, которое характеризуется длительной включенностью в ситуации, требующие высоких эмоциональных затрат человека.

Понятие раскрыто Г. Фрейденбергером для психической характеристики состояния здоровых людей, находящихся в интенсивном и тесном общении с клиентами в эмоционально нагруженной атмосфере при оказании профессиональной помощи [1, с. 21].

Несколько позднее К. Маслач представила результаты исследования когнитивных стратегий, используемых профессионалами для борьбы с эмоциональным возбуждением. Ею было отмечено, что у людей, работающих в сфере «помогающих» профессий и вовлеченных в интенсивное и глубокое взаимодействие с другими людьми, наблюдаются определенные эмоционально-поведенческие нарушения (отрицательное отношение к работе, сниженная самооценка, утрата понимания по отношению к реципиентам) [2, с. 28].

Открытия Г. Фрейденберга и К. Маслач заложили фундамент для исследований в сфере эмоционального выгорания. Термин «выгорание» был удачным для описания отдельных состояний, которые наблюдались у многих людей, работающих в системе профессий «человек – человек» [3, с. 18].

Позже К. Кондо выявил, что наиболее уязвимыми являются те, кто несдержанно и агрессивно реагирует на стрессы. Стрессогенный фактор вследствие неосуществления того, что хотелось достичь, вызывает чувство уныния и подавленность. Выгорание начинается в хроническом повседневном напряжении, переутомлении человека, появляется субъективное переживание усталости, эмоциональная неустойчивость, что приводит к хроническому переутомлению. Неотреагированные воздействия, нереализованные эмоции накапливаются, что в итоге приводит к возникновению выгорания. Выгорание рассматривается К. Кондо как состояние дезадаптированности к рабочему месту из-за чрезмерной рабочей нагрузки и неадекватных межличностных отношений [4, с. 13].

Еще одно определение было предложено П. Брилл. Он считал, что выгорание определяется двумя своеобразными симптомами – дисфорическими симптомами и снижением достижений на работе. П. Брилл полагал, что причина выгорания – неосуществимые ожидания. Оно не может возникнуть вне профессиональной деятельности и не предполагает выгорание лиц, страдающих различными психическими расстройствами [5].

Среди отечественных исследователей одним из первых феномен выгорания рассматривает В.В. Бойко. Ученый определяет выгорание как выработанный личностью механизм психологической защиты в форме полного или частичного исключения эмоций (понижения их энергетика) в ответ на избранные психотравмирующие события.

В.В. Бойко относит синдром к формам профессиональной деформации личности и определяет его как стереотипное со стороны эмоций понимание окружающей действительности, которое образуется у специалиста с учетом внешних и внутренних факторов, от которой страдают в равной степени как сама личность, так и субъекты ее профессиональной деятельности, наносится ущерб самому процессу общения [6, с. 39].

Н.Е. Водопьяновой и Е.С. Старченковой выгорание рассматривается как многомерный конструктор, который определяется совокупностью негативных психологических переживаний и дезадаптивного поведения в связи с продолжительными и интенсивными стрессами общения. Выгорание выступает как ответ на эмоциональную напряженную ситуацию и когнитивную сложность. Ученые рассматривают одновременно категории «профессиональное выгорание» и «психическое выгорание», где эмоциональное выгорание определяется как приобретенный стереотип поведения, который отражается в уменьшении эмоционального проявления как в личной, так и профессиональной сфере. Это имеет положительное отражение, т.к. уменьшение эмоционального реагирования позволяет дозировать и более экономно использовать энергетические ресурсы, и отрицательное отражение, когда выгорание негативно сказывается на профессиональной деятельности и отношениях с коллегами. Недостаточно конструктивные модели поведения чаще всего связаны с низкой устойчивостью в части профессионального стресса, что приводит к выгоранию [1, с. 23].

А.А. Рукавишников понятие «выгорание» относит к разряду психологических явлений, которые наблюдаются у людей, не страдающих психопатологией. Оно выражается в дисфункциональных установках и поведении, а также понижении рабочей мотивации [7, с. 38].

В настоящее время наиболее привычной и используемой является концепция выгорания американских ученых К. Маслач и С. Джексон, которые определили психическое выгорание как синдром, состоящий из эмоционального истощения, деперсонализации и редуциации личностных достижений, возникающих в профессиях социальной сферы. Авторы делают акцент на профессиональном характере синдрома выгорания и рассматривают его как результат профессиональных проблем [8, с. 28].

В контексте профессионального выгорания Т. Кокс и А. Гриффитс полагают, что оно возникнет тогда, когда есть столкновение сильной мотивации профессионала и условий конкретной профессиональной среды, в которой ему приходится работать. То, что выгорание чаще всего встречается в «помогающих» профессиях, авторы объясняют тем, что именно в них происходит столкновение идеалистических установок и высокой мотивации с реальными условиями профессиональной среды. В связи с тем что эти профессии привлекают так называемый чувствующий тип людей, которые хотят «всех вылечить, всем помочь», а реальные условия работы очень тяжелы и насыщены стрессом, это неизбежно приводит к выгоранию [9, с. 33].

Ж. Пфиферлинг и Ф. Эскель определили особенности организаций, которые влияют на развитие симптомов выгорания у сотрудников. Так, авторы утверждают, что даже при выявлении трех из указанных характеристик квалифицируют организацию как «склонную к выгоранию». Имеется в виду:

- постоянный высокий уровень напряжения (стресса);
- загруженность иерархическими взаимодействиями в коллективе;
- ожидание дополнительных усилий от сотрудника с минимальным вознаграждением за это;
- невнимание к этическим и моральным нормам, монотонность работы, ригидность функциональных обязанностей для сотрудников, недостаточное участие сотрудников в процессе принятия решений [9, с. 32].

Современный рынок труда включает ряд направлений деятельности, которые по своей специфике держат сотрудника в состоянии постоянного психологического напряжения и высокой ответственности. Одно из таких направлений – силовые структуры.

Не каждый может стать сотрудником силовой структуры, поскольку к кандидатам на службу предъявляются достаточно высокие требования, начиная с физической подготовки, медицинских показателей, заканчивая определенными личностными особенностями.

Сотрудник сталкивается с тем, что служба в силовых ведомствах имеет свою специфику: необходимость проходить специальную подготовку, периодически участвовать в проверке на профессиональную пригодность, проходить службу в чрезвычайных условиях, связанных с риском, ношение и применение табельного оружия и специальных средств, а самое главное – быть постоянно в состоянии ожидания вызова, даже в свой свободный от службы день.

Опираясь на рассмотренные авторами отличительные факторы риска развития профессионального выгорания, стоит отметить, что также оно характерно для тех, кто длительное время находится в состоянии повышенной ответственности, а это, как правило, типично для управленческой деятельности. Следует признать, что существует большое количество факторов риска развития профессионального выгорания у руководителей, а в большей степени у руководителей силовых ведомств. Работа руководителей силового блока, таких как КГБ, МВД, МЧС, Следственного комитета и т.п., так же как и управленческая деятельность других организаций, подразумевает взаимодействие с людьми (подчиненными, гражданами, подозреваемыми, осужденными, пострадавшими и т.п.).

Работа относится к профессии «человек – человек», эта «помогающая» профессия, «склонная к выгоранию», связана с большим эмоциональным и когнитивным напряжением. Отличием профессиональной деятельности руководителя силового ведомства является полное вовлечение личности в службу, высокая ответственность за принимаемые решения, психологические трудности формирования служебных отношений, способность гибко реагировать на изменения ситуации и задач. Важным является координация служебной деятельности подчиненных сотрудников, делегирование полномочий и контроль, соответственно, результативность и успех коллектива (подразделения) зависит от профессионализма, авторитета и личностных качеств руководителя. Некачественное или несвоевременное выполнение служебных обязанностей сотрудниками является одним из показателей неэффективности управленческих навыков руководителя, его неумения прогнозировать и предвидеть, незнание состояния дел «здесь и сейчас», что может вызывать тревожность и перенапряжение.

К кандидатам на руководящие должности, кроме качеств, которые предъявляются к любому сотруднику силового блока, требования достаточно высокие. Это, как правило: высокая нервно-психическая устойчивость, развитый интеллект, в том числе эмоциональный, критичность мышления, стремление познавать новое, способность стратегически мыслить, развитые коммуникативные и организаторские качества и многое другое, что оценивают ведомственные психологи при согласовании на руководящую должность того или иного сотрудника силового блока.

Дефицит времени на выполнение служебных обязанностей, внушительный объем поступающей информации, повышенные нагрузки в деятельности, нарушение режима труда и отдыха, отсутствие возможности планировать свое личное время, стресс – это все то, с чем сталкивается руководитель силового блока. Это может приводить к черствости и циничности в общении с личным составом, проявляться в неудовлетворенности жизнью и в целом к ухудшению психологического и физического состояния (переутомление, нарушение сна, состояние гнева и т.д.) [10; 11].

Полагаем, профессиональное выгорание руководителя силового блока – это отрицательная динамика между начальным потенциалом личности назначаемого руководителя и теми требованиями и условиями, которые ему предъявляет его профессиональная специфика деятельности, а также один из видов психологической защиты руководителя.

Следует отметить, что неопределенными факторами риска профессионального выгорания в настоящее время являются такие характеристики, как возраст, образование, стаж работы и профессиональный рост. По некоторым данным, профессиональный рост, который повышает социальный статус, – уменьшает степень выгорания. Исследования психолога В. Вестерхауз показали: чем больше стаж, тем меньше степень выгорания [12, с. 47]. Влияние возраста на степень развития выгорания также неоднозначно. Многочисленные исследования доказывают, что чувствительны к выгоранию как молодые люди, так и старшие.

Не определено, влияют личностные качества руководителей силового блока на развитие профессионального выгорания либо, наоборот, выгорание способствует развитию определенных личностных особенностей.

Необходимо подчеркнуть, что в настоящее время во всех силовых ведомствах Республики Беларусь активно проводится работа по сохранению кадрового потенциала, в том числе управленческого ядра и, следовательно, большое внимание уделяется заботе о психосоматическом состоянии каждого сотрудника, включая руководителя.

Заключение

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что служебная деятельность руководителей силовых ведомств имеет внушительное количество факторов риска развития профессионального выгорания, которые могут привести к умственному

и нервно-эмоциональному перенапряжению изменяя внешний и внутренний облик управленца. Требуется дополнительное изучение вопроса раннего определения, предупреждения и коррекции профессионального выгорания управленческого ядра в силовых структурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водопьянова, Н.Е. Синдром выгорания / Н.Е. Водопьянова, Е.С. Старченкова. – СПб.: Питер, 2005. – 258 с.
2. Орел, В.Е. Структурно-функциональная организация и генезис психического выгорания: дис. ... д-ра психол. наук: 19.00.03 / В.Е. Орел. – Ярославль, 2005. – 499 с.
3. Малкина-Пых, И.Г. Экстремальные ситуации: справочник практического психолога / И.Г. Малкина-Пых. – М.: Изд-во «Эксмо», 2005. – 960 с.
4. Изард, К.Э. Психология эмоций / К.Э. Изард. – СПб.: Питер, 1999. – 464 с.
5. Лэнгле, А. Эмоциональное выгорание с позиций экзистенциального анализа / А. Лэнгле // Вопросы психологии. – 2008. – № 2. – С. 3–16. – EDN: МХАУЛТ.
6. Бойко, В.В. Синдром «эмоционального выгорания» в профессиональном общении / В.В. Бойко. – СПб.: Питер, 2015. – 278 с.
7. Ковалев, П.А. Возрастно-половые особенности отражения в сознании структуры собственной агрессивности и агрессивного поведения / П.А. Ковалев. – СПб.: Питер, 1996. – 358 с.
8. Маслач, К. Профессиональное выгорание: как люди справляются / К. Маслач. – СПб.: Питер, 2014. – 514 с.
9. Чутко, Л.С. Синдром эмоционального выгорания. Клинические и психологические аспекты / С.Л. Чутко, Н.В. Козина. – 2-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2014. – 256 с.
10. Сирота, Н.А. Эмоциональное выгорание врачей / Н.А. Сирота [и др.] // Инфекционные болезни: Новости. Мнения. Обучение. – 2017. – № 4. – С. 19–25. – DOI: 10.24411/2305-3496-2017-00063. – EDN: ZITGLF.
11. Федорова Е.М. Основные формы и методы психологической профилактики и коррекции профессиональных деструкций личного состава УИС / Е.М. Федорова // Ведомости уголовно-исполнительной системы. – 2016. – № 4. – С. 34–39. – EDN: WHGTPZ.
12. Молокоедов, А.В. Эмоциональное выгорание в профессиональной деятельности: монография / А.В. Молокоедов, И.М. Слободчиков, С.В. Удович. – 2-е изд. – М.: Левь, 2018. – 250 с.

**Факторы риска развития профессионального выгорания
у руководителей силовых ведомств**

Risk factors for occupational burnout among heads of law enforcement agencies

Шершнева Наталья Владимировна

Академия управления при Президенте
Республики Беларусь, кафедра кадровой
политики и психологии управления,
аспирант

Адрес: ул. Московская, 17,
220007, г. Минск, Беларусь

Email: shersh-natalya@yandex.ru

ORCID: 0009-0002-4543-0234

Natal'ya V. Shershneva

Academy of Public Administration
under the President of the Republic of Belarus,
Chair of Personnel Policy and Psychology
of Management, postgraduate student

Address: Moskovskaya str., 17,
220007, Minsk, Belarus

Email: shersh-natalya@yandex.ru

ORCID: 0009-0002-4543-0234

RISK FACTORS FOR OCCUPATIONAL BURNOUT AMONG HEADS OF LAW ENFORCEMENT AGENCIES

Shershneva N.V.

Purpose. Updating and bringing together views on the term «professional burnout», determining risk factors for the development of professional burnout among heads of law enforcement agencies.

Methods. Phenomenological analysis of the scientific provisions of foreign and domestic and authors.

Findings. The characteristic factors of the professional activity of the head of the enforcement agency affecting the development of professional burnout have been established.

Application field of research. Conducting research in the field of studying the factors of professional burnout of heads of law enforcement agencies will help to carry out primary prevention and secondary prophylaxis in the process of their professional activities.

Keywords: professional burnout, emotions, manager, professional activity, power structure.

(The date of submitting: March 13, 2023)

REFERENCES

1. Vodopyanova N.E., Starchenkova E.S. *Sindrom vygoraniya* [Burnout syndrome]. Saint Petersburg, Piter, 2005, 258 p. (rus)
2. Orel V.E. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya i genezis psikhicheskogo vygoraniya* [Structural and functional organization and genesis of mental burnout]: Grand PhD psychological sci. diss.: 19.00.03. Yaroslavl, 2005. 499 p. (rus)
3. Malkina-Pykh I.G., *Ekstremal'nye situatsii* [Extreme situations]: handbook of practical psychologist. Moscow: Eksmo, 2005. 960 p. (rus)
4. Izard K.E. *Psikhologiya emotsiy* [Psychology of emotions]. Saint Petersburg: Piter, 2008. 464 p. (rus)
5. Lengle A. *Emotsional'noye vygoraniye s pozitsiy ekzistentsial'nogo analiza* [Emotional burnout from the standpoint of existential analysis]. *Voprosy psikhologii*, 2008. No. 2. Pp. 3–16. (rus). EDN: MXAYLT.
6. Boyko V.V. *Sindrom «emocional'nogo vygoraniya» v professional'nom obshchenii* [The syndrome of «emotional burnout» in professional communication]. Saint Petersburg: Piter, 2015, 278 p. (rus)
7. Kovalev P.A. *Vozrastno-polovye osobennosti otrazheniya v soznanii struktury sobstvennoy agressivnosti i agressivnogo povedeniya* [Age-sex characteristics of reflection in the consciousness of the structure of one's own aggressiveness and aggressive behavior]. Saint Petersburg: Piter, 1996, 358 p. (rus)
8. Maslach K. *Professional'noye vygoranie: kak lyudi spravlyayutsya* [Professional burnout: how people cope]. Saint Petersburg: Piter, 2014. 514 p. (rus)
9. Chutko L.S., Kozina N.V. *Sindrom emotsional'nogo vygoraniya. Klinicheskie i psikhologicheskie aspekty* [Syndrome of emotional burnout. Clinical and psychological aspects]. Moscow: MEDpress-inform, 2014. 256 p. (rus)
10. Sirota N.A., Yaltonsky V.M., Yaltonskaya A.V., Moskvichenko D.V. *Emotsional'noye vygoranie vrachey* [Emotional burnout among doctors]. *Infectious diseases: News. Opinions. Training*, 2017. No. 4. Pp. 19–25. (rus). DOI: 10.24411/2305-3496-2017-00063. EDN: ZITGLF.
11. Fedorova E.M. *Osnovnye formy i metody psikhologicheskoy profilaktiki i korrektsii professional'nykh destruktivnykh lichnogo sostava UIS* [Main forms and methods of psychological prevention and correction of professional destructions of the Penal Enforcement System staff]. *Vedomosti ugolovno-ispolnitel'noy sistemy*. 2016. No. 4. Pp. 34–39. (rus). EDN: WHGTPZ.
12. Molokoedov A.V., Slobodchikov I.M., Udovich S.V. *Emotsional'noye vygoranie v professional'noy deyatel'nosti* [Emotional burnout in professional activity]: monograph. Moscow: Lev", 2018. 250 p. (rus)

РАЗВИТИЕ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ И ТВОРЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ СПЕЦИАЛИСТОВ В ПРОЦЕССЕ ИНОЯЗЫЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Ковалева Т.Г., Дементьева Т.Г.

Цель. Раскрыть практическую значимость креативных качеств личности как фактора конкурентоспособности современного специалиста в области безопасности жизнедеятельности. Показать возможности иноязычного образования в развитии творческих способностей и критического мышления взрослой аудитории. Предложить подходы для развития творческого потенциала специалистов средствами иностранного языка.

Методы. Критический анализ теоретических источников по проблеме креативности, обобщение практического опыта развития творческих качеств и критического мышления средствами иностранного языка.

Результаты. Раскрыт образовательный потенциал и доказана эффективность классических и инновационных техник обучения иностранному языку в развитии творческих способностей и критического мышления специалистов, в частности, методов обучения поисковому чтению, переводу, устной и письменной профессиональной коммуникации, социальных технологий.

Область применения исследований. Образовательное пространство современных учреждений, осуществляющих подготовку специалистов в рамках углубленного высшего и дополнительного образования в областях, связанных с проблемами безопасности жизнедеятельности. Педагогика и андрагогика в высшей школе.

Ключевые слова: креативность, коммуникация, профессионально ориентированное обучение, иноязычное общение, педагогические технологии, творческий потенциал.

(Поступила в редакцию 5 апреля 2023 г.)

Введение

Слово «творчество», стало активно употребляться в русском языке с начала XIX в. Первоначально оно использовалось в среде поэтов и писателей, а значение и форма этого термина ассоциировались со словом «творец» в церковнославянском смысле. Любопытно, что А.М. Горький предлагал молодым писателям заменить слово «творчество» на слово «работа», т.к. создание литературного произведения, по его мнению, представляет собой длительный кропотливый процесс, начинающийся с наблюдения фактов реальной жизни, их анализа и осмысления, и ничего сверхъестественного или связанного с творцом в этом процессе нет¹.

Современный тематический словарь науки и техники [1] дает определение слову «творчество» как «деятельность людей, направленная на создание нового, никогда ранее не бывшего; способность человека из известного, имеющегося в действительности материала создавать в процессе труда новую реальность, отвечающую многообразным общественным потребностям». Ключевыми моментами в понятии творчества являются идеи целенаправленной деятельности на появление чего-то нового, что будет отвечать нуждам общества или самой личности.

В условиях технологического прогресса креативные личности и процесс творчества приобретают более конкретные очертания инноваций, способствующих движению общества вперед. Научные инновации двигают цивилизацию, и эти инновации невозможны без творчества. Развитие творческих способностей человека является важнейшим фактором прогресса науки, техники, социальных форм.

¹ История слов. Творчество [Электронный ресурс] // Словари и энциклопедии на Академике: academic.ru. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/wordhistory/198/ТВОРЧЕСТВО>. – Дата доступа: 18.03.2023.

Как справедливо утверждают эксперты, «креативность является источником любого роста, новых технологий, новых услуг и новых решений для старых проблем, определяющих разницу между компанией, которая будет процветать, и компанией, которая скоро окажется мертвее, чем катушечные магнитофоны» [2, с. 116]. Интеллектуальные способности кадров являются одним из шести необходимых ресурсов для успеха предприятия. К числу таких способностей относят: «(а) синтетическую способность видеть проблемы по-новому и выходить за пределы привычного мышления, (б) аналитическое умение распознавать, за какими идеями стоит следовать, а за какими нет, и (в) практическое контекстуальное умение убеждать других... в ценности своих идей» [3, с. 88].

Основная часть

Познание загадочных механизмов творчества и развитие творческих способностей человека неизменно находились в фокусе внимания педагогов, психологов, социологов, экономистов. Экономисты рассматривают способность к творчеству как движущую силу экономического роста и пишут о формировании нового социального класса – креативного, суть которого состоит в наличии творческого начала. «Если вы ученый или инженер, архитектор или дизайнер, писатель, художник или музыкант, если творчество – важнейший элемент вашей работы в сфере бизнеса, образования, здравоохранения, права или любой другой области, значит, вы тоже принадлежите к креативному классу» [4, с. 21]. Творческие личности, способные критически осмысливать ситуацию и принимать нетривиальные решения, особенно нужны в сферах, связанных со спасением жизни и здоровья людей в чрезвычайных ситуациях.

Многолетние исследования креативности позволили конкретизировать это понятие, выделив такие аспекты, как способность к обобщению, уверенность в себе и отсутствие боязни пойти на риск; самодисциплина, сосредоточенность, трудолюбие, наличие определенного опыта и жизненных впечатлений [4, с. 44–45]. Имеется опыт конкретизации базовых навыков, свойственных креативным людям. Так, в число таких навыков входят следующие:

- когнитивный – способность усваивать знания, анализировать информацию и решать задачи;
- коммуникативный – способность поддерживать коммуникацию с другими людьми;
- социальный интеллект – способность работать на достижение поставленной цели совместно с другими людьми [4, с. 216].

Работая над поиском путей создания креативного общества, ученые подчеркивают, что в числе стратегий движения к такому обществу должна быть система образования, которая не подавляет, а стимулирует творческие способности обучающихся от начального до финального этапа обучения.

Педагоги и методисты не обходят вниманием вопросы развития творческих способностей учащихся на разных уровнях образования. Уточняется понятие творческого потенциала личности как меры реализации ее творческих возможностей и сил в образовательной практике². Исследуется роль видов искусства и их взаимосвязь с творческой проектной деятельностью³. Уточнен терминологический аппарат проблемы одаренности и таланта личности, описаны экспериментальные подходы к творческому развитию личности одаренного студента [5, с. 312].

В целях настоящей статьи особый интерес представляют идеи развития творческого потенциала взрослой аудитории средствами конкретных учебных дисциплин. Таких исследований не так уж много. Так, предложена модель развития творческого потенциала

² Адакин, Е.Е. Теория и методика развития творческого потенциала студентов вуза: автореф. дис. д-ра пед. наук: 13.00.08 / Е.Е. Адакин; Кемеровский гос. ун-т. – Кемерово, 2006. – 46 с.

³ Командышко, Е.Ф. Педагогический потенциал искусства в развитии учащейся молодежи: интегративный подход: автореф. дис. д-ра пед. наук: 13.00.02 / Е.Ф. Командышко; Ин-т худож. образования Рос. акад. образования. М., 2011. – 48 с.

студентов педагогических специальностей с учетом междисциплинарного подхода⁴. Проанализирован процесс развития и проявления творческого потенциала курсантов военно-инженерного института в ходе научно-исследовательской деятельности⁵. Обоснованы пути повышения результативности развития творческого потенциала студентов средствами математики⁶. Разработана инновационная модель развития интеллектуально-творческого потенциала курсантов военного вуза в процессе иноязычного образования на базе электронного учебника⁷.

Современная жизнь насыщена коммуникативным взаимодействием, в том числе взаимодействием на иностранных языках в профессиональной области. Именно поэтому потребность в специалистах, обладающих развитой иноязычной компетенцией, продолжает расти, и, как следствие, растет спрос на образовательные услуги в сфере обучения иностранным языкам. Современные взрослые обучающиеся ожидают практических и быстрых результатов изучения иностранного языка, поэтому требования к технологиям и методикам обучения в настоящее время весьма высоки.

Образовательные технологии обладают специфическими особенностями по сравнению с технологиями производственными. Как известно, одна из основных черт эффективной технологии, в том числе педагогической, ее воспроизводимость [6, с. 150]. Педагогическая технология также воспроизводится, но с определенными особенностями, поскольку на входе и на выходе технологического процесса находятся живые люди, личности, со своими психологическими особенностями, жизненным опытом, эмоциями, настроением. Процесс обучения иностранному языку со стороны преподавателя и процесс изучения со стороны обучающегося целиком и полностью являются творческими, т.к. создаются новые знания и отношения, новая языковая картина мира в воображении обучающегося. Так, усвоение иностранной лексики – это расширение границ старых и формирование новых понятий, в том числе связанных с профессией; работа с аутентичными иностранными источниками – это познание иной и достраивание собственной языковой картины мира. Даже такое прозаичное на первый взгляд дело, как изучение грамматики иностранного языка представляет собой определенные аналитико-синтетические мыслительные операции, которые влияют на развитие и образование новых нейронных связей в мозгу человека. Изучение иностранного языка связано со всеми аспектами психической деятельности человека: памятью, мышлением, эмоциями, воображением. Именно благодаря воображению в сознании человека создаются новые целостные образы путем переработки чувственного и смыслового восприятия, и это творческий процесс. Воображение формируется в процессе творческой деятельности и именно на основе творчества строятся определенные методики обучения иноязычному говорению, например лингво-психологический тренинг [7].

Иностранный язык, как музыка и математика, с одной стороны, подчинен строгим структурным законам и правилам, но с другой стороны, использование этих правил и законов неразрывно связано с личностными качествами человека, его кругозором, образованием, психическими особенностями и творческими способностями. Следовательно, процесс

⁴ Тамочкина, О.А. Развитие творческого потенциала студентов в процессе профессиональной подготовки: автореф. дис. канд. пед. наук: 5.8.7 / О.А. Тамочкина; Саратовский нац. исслед. гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского. – Саратов, 2021. – 24 с.

⁵ Тишин, С.А. Развитие творческого потенциала курсантов военно-инженерного вуза в научно-исследовательской деятельности: автореф. дис. канд. пед. наук: 13.00.08 / С.А. Тишин; Сиб. гос. ун-т путей сообщ. – Новосибирск, 2012. – 24 с.

⁶ Маркевич, О.В. Системное развитие творческого потенциала студентов технического вуза средствами высшей математики: автореф. дис. канд. пед. наук: 13.00.08 / О.В. Маркевич; Комсомольск-на-Амуре гос. пед. ун-т. – Комсомольск-на Амуре, 2006. – 22 с.

⁷ Романчук, В.О. Развитие интеллектуально-творческого потенциала курсантов военного вуза в процессе иноязычного образования: автореф. дис. канд. пед. наук: 13.00.01 / В.О. Романчук; Елец. гос. ун-т им. И.А. Бунина. – Елец, 2016. – 22 с.

обучения иностранному языку должен быть как технологичным, стандартизованным, так и открытым для языкового и речевого творчества.

Обучение иностранному языку специалистов – это работа со взрослыми зрелыми людьми. Освоение иноязычной речи связано с определенной личностной перестройкой и ломкой некоторых установившихся стереотипов, что не всегда быстро и легко дается взрослым обучающимся. Как считают ученые, «область обучения взрослых людей, ее методология, включенная в общую науку об обучении человека – педагогику (как ни странно это звучит, но лучшего названия не придумали), и по сей день остается достаточно слабо разработанной» [7, гл. 7]. Существует определенный раздел возрастной психологии, называемый термином «акмеология» (в греческом языке слово «акмэ» означало период наивысшего расцвета личности). Психологии зрелой личности уделяется немало внимания, и вопросы обучения такой личности получили освещение в разделе педагогики, именуемой андрагогика. Обучение развившейся личности на принципах андрагогики должно строиться с приоритетами самореализации и самоуправления, учета жизненного опыта обучающегося, актуальности и практической значимости результатов обучения для достижения определенных целей, детерминированности социальными, временным и пространственным факторами, взаимодействия педагога и обучающегося на всех этапах обучения [8, с. 76].

Инновационное иноязычное образование – это такая организация учебной деятельности, в результате которой у обучающихся стимулируется и развивается активный, творческий подход к постановке задач и решению проблем, формируется коммуникативная компетентность, которая приводит к успешной межкультурной социальной и профессионально-деловой коммуникации. Компетенции наиболее эффективно формируются посредством технологий, способствующих в процессе иноязычного обучения вовлечению обучающихся в поиск, принятию решений, разрешению проблем.

Предмет «Иностранный язык» обладает значительным потенциалом для развития творческих способностей взрослых обучающихся и в то же время предоставляет возможности для проявления таких способностей. Рассмотрим некоторые из видов учебной деятельности, в наибольшей степени стимулирующей творческие способности и критическое мышление обучающихся.

1. Работа с аутентичными материалами на иностранном языке, представляющими интерес для научного исследования магистранта, адъюнкта, аспиранта. Этот процесс включает несколько этапов. В первую очередь обучающийся должен найти источник, отвечающий теме его научного исследования. Для выполнения этой работы необходимо определить ключевые термины и, задав эти термины в поисковое поле на иностранном языке, критически просмотреть предлагаемые в Интернете источники. Такая деятельность развивает навыки просмотрового и поискового чтения и умение определить, в какой степени источник отвечает профессиональным интересам обучающегося. Следующий шаг – это перевод текста-источника на родной язык. Ни для кого не секрет, что перевод в настоящее время выполняется с помощью электронных программ, таких как Google-переводчик, Yandex-переводчик, DeepL. Полученный текст перевода необходимо отредактировать с учетом специфики профессиональной деятельности обучающегося с подключением информационных ресурсов: двуязычных, многоязычных, толковых словарей, словарей синонимов, энциклопедий, тезаурусов (Multitran, DWDS, Wiki). Во многих случаях словари не дают однозначного русскоязычного соответствия, тогда обучающийся должен обратиться к своему профессиональному опыту и проанализировать терминологию, которую он использует в работе. Например, словарь Multitran предлагает несколько вариантов перевода немецкого термина *Katastrophenschutz*: 'МЧС; предупреждение чрезвычайных ситуаций и ликвидация их последствий, гражданская оборона, служба по борьбе со стихийными бедствиями, организация и ее деятельность, предназначенные для анализа, планирования, распределения и координации ресурсов по подготовке, реагированию, ослаблению отрицательного воздействия и восстановлению ущерба, нанесенного экологической катастрофой, природного

или антропогенного характера; служба предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций'. Выбор необходимого значения требует от обучающегося определенных мыслительных усилий и воображения, понимания тематики и смысла источника, а также обращения к опыту своей профессиональной деятельности.

2. Формирование глоссария и словаря терминологической лексики на основании иноязычного текста-источника. По мере изучающего чтения и перевода иноязычной статьи обучающийся должен составить объемный пользовательский словарь и глоссарий терминов. Эта работа связана в первую очередь с определением границ термина, исключением слов общего употребления, минимизацией общенаучных терминов. Обучающийся анализирует отредактированный текст перевода и принимает решение, какие лексические единицы являются терминологичными в рамках определенной тематики. Например, английское слово *active* само по себе не является термином, как и слова *system*, *protection*, однако словосочетание *active fire protection system* – это термин, хорошо понятный специалистам в области пожарной безопасности и переводится как 'активная система противопожарной защиты'. Создание переводческих эквивалентов и толкований терминологических словосочетаний представляет собой мыслительный процесс, требующий языкового творчества и знания своего дела.

3. Подготовка резюме научной статьи. Резюме представляет собой вторичный текст, воспроизводящий основное содержание научной статьи с фокусированием внимания на информации, наиболее значимой для читателя. Резюме как вид учебной деятельности включает элементы субъективной оценки содержания статьи с точки зрения ее теоретической или практической значимости. Резюме как вторичный текст представляет собой новый продукт, создание которого демонстрирует способность обучающегося критически мыслить и оформлять свои идеи на иностранном языке.

4. Подготовка презентации на иностранном языке по тематике научного исследования требует от обучающегося осмысления основных положений своей научной работы с целью их внятного представления для аудитории. Текст доклада должен быть информативен, лаконичен, терминологически выверен, стилистически и грамматически корректен. Подготовка такой презентации требует критического подхода к выбору вариантов дизайнерского и языкового оформления текста, а для ее озвучивания требуются навыки публичного выступления на иностранном языке, умения контактировать с аудиторией, психологическая уравновешенность и смелость в преодолении языкового барьера.

5. Технология языковых проектов. В процесс групповой работы над проектом интегрируются креативные техники, например мозговой штурм, метод параллельного мышления [9, с. 184–189]. Разработка индивидуальных проектов позволяет реализовать принципы самостоятельности и практической значимости. Каждый индивидуальный проект дает взрослому человеку возможность самовыражения и свободы в выборе темы, технического и лингвистического оформления своей идеи.

6. Социальные технологии, включая дебаты, деловые игры, драматизацию. Эти технологии и их эффективность в обучении специалистов подробно описаны в более ранних публикациях [10]. Драматизация позволяет развивать творческое мышление и воображение обучающихся. Изучение иностранного языка через театр затрагивает эмоции, позволяет развивать артистические качества перевоплощения, улучшать дикцию, позволяет соединять иностранные языковые коды с языком тела и жестов, что дает синергетический эффект. «Выбор темы спектакля, написание сценария, распределение ролей, репетиционный период, подготовка декораций, подбор музыкального фона – все это сближает, увлекает, стимулирует» [11].

7. Ассоциативные техники, открытые задания различных уровней творчества. По утверждению психологов, у взрослых обучающихся запоминание предъявляемого материала осуществляется опосредованно, на основе умения создать новые связи, привлечь воображение, создавая новые образы. Существуют методы акустических, зрительных ассоциаций, ассоциаций по смежности, по контрасту и др. Ассоциативные техники обращены

к творческому потенциалу зрелой личности, они придают процессу обучения иностранному языку игровой характер, что обеспечивает более быстрое и легкое запоминание значительного объема иностранной лексики и усвоение грамматических закономерностей [12].

Заключение

Использование инновационных и классических образовательных технологий и методических приемов с конечной целью обучения специалистов иноязычной коммуникации направлено в числе прочего на развитие критического мышления, умения обосновать свою точку зрения, формулировать аргументы и контраргументы, продуцировать логически связанную и целостную монологическую речь по темам, касающимся профессиональной деятельности. Посредством инновационных социальных технологий (ситуативных и деловых игр, различных форм дискуссий, драматизации) воссоздаются условия и обстоятельства реального общения, в которых можно проигрывать разные сценарии и тренироваться в диалогическом и полифоническом коммуникативном взаимодействии, подключая воображение, догадку, умение перевоплощаться. В таких условиях снимается языковой барьер и активизируется речетворческая способность обучающихся. Рациональная комбинация классических и инновационных технологий обучения иноязычной коммуникации дает возможность опираться на имеющиеся и развивать далее креативные качества личности, которые необходимы специалистам, работающим в условиях чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасова, Н.А. Философия науки и техники: тематический словарь-справочник: учеб. пособие для студентов всех специальностей / Н.А. Некрасова, С.И. Некрасов. – М.: МИИТ, 2009. – 424 с.
2. Браун, С. Игра. Как она влияет на наше воображение, мозг и здоровье / С. Браун, К. Воган; пер. с англ. Т. Мамедовой. – Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2015. – 187 с.
3. Sternberg, R.J. The Nature of Creativity / R.J. Sternberg // Creativity Research Journal. – 2006. – Vol. 18, No. 1. – P. 87–98. – DOI: 10.1207/s15326934crj1801_10.
4. Флорида, Р. Креативный класс / Р. Флорида; пер. с англ. Н. Яцюк. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. – 373 с.
5. Рыбалка, В.В. Психология развития творчески одаренной личности: науч.-метод. пособие / В.В. Рыбалка. – Киев: Информационные системы, 2011. – 391 с.
6. Колеченко, А.К. Энциклопедия педагогических технологий: пособие для преподавателей / А.К. Колеченко. – СПб.: КАРО, 2008. – 367 с.
7. Румянцева, И.М. Психология речи и лингвопедагогическая психология: новые технологии обучения иностранным языкам. Психолингвистика. Лингвopsихология. Лингвопедагогика. Акмеология и онтогенез. Психотерапия в обучении. Интегративный лингвopsихологический тренинг / И.М. Румянцева. – М.: ПЕР СЭ, Логос, 2004. – 320 с.
8. Змеев, С.И. Андрагогика: основы теории, истории и технологии обучения взрослых / С.И. Змеев. – М.: ПЭР СЭ, 2007. – 272 с.
9. Дементьева, Т.Г. Инновационные технологии в обучении иноязычному общению (из опыта использования проектной технологии) / Т.Г. Дементьева // Инновации в обучении иностранным языкам: опыт, проблемы, перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 дек. 2012 г.: в 2 ч. – Минск: МГЛУ, 2013. – Ч. 1. – С. 184–189.
10. Ковалева, Т.Г. Современные технологии иноязычного образования специалистов в сфере безопасности жизнедеятельности / Т.Г. Ковалева, Т.Г. Дементьева // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 251–260. – DOI: 10.33408/2519-237X. 2021.5-2.251. – EDN: DOHRVE.
11. Дементьева, Т.Г. Использование технологии драматизации при обучении иностранному языку / Т.Г. Дементьева // Замежные мовы. – 2016. – № 1. – С. 34–37. – EDN: ТВYWZC.
12. Ковалева, Т.Г. Творческие задания как средство развития коммуникативной компетенции в сфере профессиональных интересов обучающихся [Электронный ресурс] / Т.Г. Ковалева // Общественные и гуманитарные науки: материалы 86-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 янв. – 12 февр. 2022 г. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 181–184. – Url: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/48418>.

**Развитие критического мышления и творческих способностей
специалистов в процессе иноязычного образования**

**Development of critical thinking and creative abilities
of specialists in the process of foreign language education**

Ковалева Татьяна Григорьевна

кандидат филологических наук, доцент
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», кафедра современных
языков, профессор

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

Email: kova77@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8513-5662

Tatyana G. Kovaleva

PhD in Philological Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Modern Languages, Professor

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

Email: kova77@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8513-5662

Дементьева Татьяна Георгиевна

кандидат филологических наук, доцент
Институт повышения квалификации
и переподготовки кадров Минского
государственного лингвистического
университета, кафедра интенсивного
обучения иностранным языкам, доцент

Адрес: ул. Захарова, 21, корпус Б,
220034, г. Минск, Беларусь

Email: tania-dementieva@rambler.ru

Tatyana G. Dement'eva

PhD in Philological Sciences, Associate Professor
Institute for Advanced Studies and Retraining
of Minsk State Linguistic University,
Chair of Intensive Foreign Languages
Instruction, Associate Professor

Address: Zakharova str., 21, build. B,
220034, Minsk, Belarus

Email: tania-dementieva@rambler.ru

DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING AND CREATIVE ABILITIES OF SPECIALISTS IN THE PROCESS OF FOREIGN LANGUAGE EDUCATION

Kovaleva T.G., Dement'eva T.G.

Purpose. To reveal the practical significance of the creative qualities of a person as a factor in the competitiveness of a modern specialist in the field of life safety. To show the possibilities of foreign language education in the development of creative abilities and critical thinking of an adult audience. To suggest approaches for developing the creative potential of specialists by means of a foreign language.

Methods. Critical analysis of theoretical sources on the problem of creativity, generalization of practical experience in the development of creative qualities and critical thinking by means of a foreign language.

Findings. The educational potential and the effectiveness of classical and innovative techniques of teaching a foreign language in the development of creative abilities and critical thinking of specialists is revealed. In particular, methods of teaching search reading, translation, oral and written professional communication, and social technologies, is proved.

Application field of research. The educational space of modern institutions that train specialists in the framework of in-depth higher and additional education in areas related to life safety problems. Pedagogy and andragogy in higher education.

Keywords: creativity, communication, professionally oriented education, foreign language communication, pedagogical technologies, creative potential.

(The date of submitting: April 5, 2022)

REFERENCES

1. Nekrasova N.A., Nekrasov S.I. *Filosofiya nauki i tekhniki: tematicheskiy slovar'-spravochnik: uchebnoe posobie dlya studentov vseh spetsial'nostey* [Philosophy of science and technics dictionary reference: teaching manua for students of all specilaities]. Moscow: MIIT, 2009. 424 p. (rus)
2. Brown S., Vogan K. *Igra. Kak ona vliyaet na nashe voobrazhenie, mozg i zdorov'e* [Play: How it Shapes the Brain, Opens the Imagination, and Invigorates the Soul]: translated from English T. Mamedova. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 2015. 187 p. (rus)
3. Sternberg R.J. The Nature of Creativity. *Creativity Research Journal*, 2006. Vol. 18, No. 1. Pp. 87–98. DOI: 10.1207/s15326934crj1801_10.
4. Florida R. *Kreativnyy klass* [The Rise of the Creative Class – Revisited]: translated from English N. Yatsyuk. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 2016. 373 p. (rus)
5. Rybalka V.V. *Psikhologiya razvitiya tvorcheskoi odarennoy lichnosti* [Phsycology of the development of talented personality]: scientific and methodological manual. Kiev: Informatsionnye sistemy, 2011. 391 p. (rus)
6. Kolechenko A.K. *Entsiklopediya pedagogicheskikh tekhnologiy* [Encyclopedia of educative technologies]: guide for teachers. Saint Petersburg: KARO, 2008. 367 p. (rus)
7. Rumyantseva I.M. *Psikhologiya rechi i lingvopedagogicheskaya psikhologiya: novye tekhnologii obucheniya inostrannym yazykam. Psikholingvistika. Lingvopsikhologiya. Lingvopedagogika. Akmeologiya i ontogenez. Psikhoterapiya v obuchenii. Integrativnyy lingvo-psikhologicheskiy trening* [Psychology of speech and linguo-pedagogical psychology: new technologies for teaching foreign languages. Psycholinguistics. Linguistic psychology. Linguistic pedagogy. Acmeology and ontogeny. Psychotherapy in education. Integrative linguo-psychological training]. Moscow: PER SE, Logos, 2004. 320 p. (rus)
8. Zmeev S.I. *Andragogika: osnovy teorii, istorii i tekhnologii obucheniya vzroslykh* [Andragogy: bases of theory, history and technology of instructing the adults]. Moscow: PER SE, 2007. 272 p. (rus)
9. Dement'eva T.G. *Innovatsionnye tekhnologii v obuchenii inoyazychnomu obshcheniyu (iz opyta ispol'zovaniya proektnoy tekhnologii)* [Innovative technologies in teaching foreign languages (from the experience of using project technology)]. *Proc. Intern. scientific-practical conf. «Innovatsii v obuchenii inostrannym yazykam: opyt, problemy, perspektivy»*, Minsk, December 19–20, 2012: in 2 parts. Minsk: MGLU, 2013. Part 1. Pp. 184–189. (rus)
10. Kovaleva T.G., Dement'eva T.G. *Sovremennye tekhnologii inoyazychnogo obrazovaniya spetsialistov v sfere bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti* [State-of-the-art technologies of foreign language education of

- specialists in the sphere of life safety]. *Journal of Civil Protection*, 2021. Vol. 5, No. 2. Pp. 251–260. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2021.5-2.251. EDN: DOHRVE.
11. Dement'eva, T.G. Ispol'zovanie tekhnologii dramatzatsii pri obuchenii inostrannomu [Implementation of the technology of dramatization in teaching foreign language]. *Zamezhnyya movy*, 2016. No. 1. Pp. 34–37. (rus). EDN: TBYWZC.
 12. Kovaleva, T.G. Tvorcheskie zadaniya kak sredstvo razvitiya kommunikativnoy kompetentsii v sfere professional'nykh interesov obuchayushchikhsya [Creative tasks as a way of development of communicative competence in the sphere of professional interests of students]. *Proc. 86th scientific and technical conf. of faculty staff, researchers and graduate students «Obshchestvennye i gumanitarnye nauki», January 31 – February 12, 2022*. Minsk: BGTU, 2022. Pp. 181–184. (rus). Url: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/48418>.

**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 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).

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»;
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты»;
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем пожарной автоматики и противодымной защиты»;
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Промышленная безопасность»;
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности предприятий химической промышленности, хранения и переработки зерна, аммиачных и хлораторных установок»;
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности при обращении пиротехнических изделий»;
- «Безопасность горных работ»;
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения в медицинских целях);
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения, в целях отличных от медицинских);
- «Основы обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (для лиц, участвующих в обеспечении ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации объектов использования атомной энергии);
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Охрана труда»;
- «Противодействие коррупции»;
- «Защита от чрезвычайных ситуаций».

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

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты»;
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)»;
- «Защита от чрезвычайных ситуаций»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей».

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 легкобросываемых конструкций»;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Порядок проектирования пассивной противопожарной защиты зданий различного назначения»;
- «Оптимизация затрат на обеспечение требований пожарной безопасности на основании расчетных методов»;
- «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/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 +37517 340-71-89,
ФБЖ: тел. +37517 340-69-55, факс +37517 340-35-58, email: fpipk@ucp.by.

Дополнительная информация размещена на сайте университета: <http://ucp.by>
в разделе «Повышение квалификации»

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 7, № 2, 2023

Подписано в печать 24.05.2023.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 14,41. Уч.-изд. л. 13,21.
Тираж 35 экз. Заказ 040-2023.

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.