

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ: ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ № 2(54) – 2023

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1995 году

Учредитель — учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, экономических, статистических и других данных, а также за использование сведений, не подлежащих открытой публикации. Редакция может публиковать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора.

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» обязательна.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь по печати.

Регистрационное свидетельство № 1081

Журнал включен в список научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований, утвержденный приказом ВАК Республики Беларусь от 4 июля 2005 г. № 101

Подписной индекс в каталоге РУП «Белпочта» — 007922

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

доктор технических наук, профессор
Болодьян И.А.

кандидат психологических наук, доцент
Герасимчик А.П.

кандидат технических наук
Иванов Ю.С. (заместитель
главного редактора)

кандидат физико-математических наук
Кицак А.И.

доктор физико-математических наук
Ксенофонтов М.А.

ответственный редактор

Шумай С.М.

доктор физико-математических наук,
профессор

Лешенюк Н.С.

кандидат биологических наук
Лупей А.Ю.

кандидат физико-математических наук
Сагайдак Д.И.

доктор технических наук
Саечников В.А.

доктор технических наук
Тычино Н.А. (главный редактор)

доктор технических наук
Хасанов И.Р.

кандидат технических наук
Навроцкий О.Д.

ответственный секретарь
Куделевич Ю.А.



EMERGENCY SITUATIONS: PREVENTION AND ELIMINATION

№ 2(54) – 2023

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Founded in 1995

Founder - The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus

The authors of published materials are responsible for the selection and accuracy of the facts; economic, statistical and other data, and for the using of information not subject to open publication. The editors can publish articles in discussion order, without sharing the author's point of view.

Articles submitted for publication in the journal are reviewed.

A link to the journal "Emergency Situations: Prevention and Elimination" is required, when you are reprinting material.

The journal is registered by the Ministry of Information of the Republic of Belarus for Press.

Registration Certificate No. 1081

The journal is included in the list of scientific publications for publishing the results of dissertation research, approved by order of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus of July 4, 2005 No. 101

Subscription index in the catalog of RUE "Belpochta" – 007922

EDITORIAL TEAM:

Grand Ph.D. of Technical Sciences, Professor
Bolodyan I.A.

Ph.D. of Psychological Sciences, associate professor
Gerasimchik A.P.

Ph.D. of Technical Sciences
Ivanov Yu.S. (Deputy Chief Editor)

Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences
Kitsak A.I.

Grand Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences
Ksenofontov M.A.

Responsible Editor
Shumai S.M.

Grand Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences, Professor
Leshenyuk N.S.

Ph.D. of Biological Sciences
Lupey A.Yu.

Ph.D. of Physical and Mathematical Sciences
Sagaidak D.I.

Grand Ph.D. of Technical Sciences
Sayechnikov V.A.

Grand Ph.D. of Technical Sciences
Tychino N.A. (Chief Editor)

Grand Ph.D. of Technical Sciences
Khasanov I.R.

Ph.D. of Technical Sciences
Navrotsky O.D.

Responsible Secretary
Kudelevich Yu.A.



Журнал рекомендован к изданию решением Редакционно-издательского совета учреждения «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь.

Адрес редакции:

220046, г. Минск, ул. Солтыса, 183а.

Телефоны:

(017) 388-97-00

(017) 388-97-39

(017) 388-97-40

Факс: (017) 388-97-01

E-mail: niipb@mchs.gov.by

Ответственный за выпуск — *Куделевич Ю.А.*

Подписано к печати 20.12.2023. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 18,37. Тираж 35 экз. Заказ 094-2023.

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, г. Минск

© *Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, 2023*

The journal is recommended for publication by the decision of the Editorial and Publishing Council of the Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus.

Editorial address:

220046, Minsk, Soltysa st., 183a

Phones:

(017) 388-97-00

(017) 388-97-39

(017) 388-97-40

Fax: (017) 388-97-01

E-mail: niipb@mchs.gov.by

Responsible for the issue — *Kudelevich Yu.A.*

Signed for print 20.12.2023. Format 60 × 84/8. Offset paper.

Digital printing. Print Conv. p.18,37. Circulation 35 copies. Order 094-2023.

Publisher and printing:

The state educational establishment «University of civil protection of the Ministry for emergency situations of the Republic of Belarus»

Certificate of state registration of the publisher, manufacturer, distributor of printed publications No. 1/259 dated 14.10.2016.

Mashinostroiteley st., 25, 220118, Minsk

© *The Establishment «Research Institute of Fire Safety and Emergencies» of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, 2023*

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ.....	9
Гайшун И.В., Безносик Е.А. СОДЕРЖАНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЕДЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, АНАЛИЗ ОПЫТА ВЕДЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ.....	9
Мартыненко Т.М., Смиловенко О.О., Мартыненко И.М., Лосик С.А. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ПОДЪЕМНОГО КРАНА	24
Михеев Е.А., Подболотов К.Б. О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ НА ОДНООСНОЕ СЖАТИЕ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ НАГРЕВЕ	32
Пархомчик Э.А., Лукьянчик Д.П., Маслыко Е.М. О КЛАССИФИКАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА	32
Ходин М.В., Мельникова О.Е. ОБСТАНОВКА С ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ В I ПОЛУГОДИИ 2023 ГОДА.....	45
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПОЖАРОВ И АВАРИЙ	51
Кицак А.И., Лобач Д.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ГЕТЕРОГЕННОГО И ГОМОГЕННОГО ИНГИБИРОВАНИЯ ЧАСТИЦАМИ ОГНЕТУШАЩЕГО ПОРОШКА АКТИВНЫХ ЧАСТИЦ ПЛАМЕНИ В УСЛОВИЯХ ИХ НЕПРЕРЫВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	51
Шавердо О.В., Бирюк В.А., Гасанова Ч.В. ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТЬ СЛИВО-НАЛИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПЕРЕВАЛКЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТОПЛИВА	69
Шавердо О.В., Бирюк В.А., Короткевич С.Г. ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ НАПОЛНЕНИИ АВТОЦИСТЕРН	79
ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ	88
Старовойтов А.А., Кашанкова В.В. ОБ ИЗУЧЕНИИ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРАБОТКИ ШЛЕМА ПОЖАРНОГО С ПОКАЗАТЕЛЯМИ СТОЙКОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ.....	88

Шеремет Т.В. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПО ПЛОТНОСТИ И ВИДУ ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ ОГNETЕРМОСТОЙКИХ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН ИЗ ВОЛОКНА «АРСЕЛОН» НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ДЕФОРМАЦИИ	97
Шумай С.М., Иванов Ю.С., Старовойтов А.А., Шатилов Ю.С. МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБУВИ СПАСАТЕЛЕЙ-ПОЖАРНЫХ.....	106
Матвеев Ю.В., Шатилов Ю.С., Лукьянов А.С., Игнатович Ж.В., Рогачев А.А., Агабеков В.Е. УЛУЧШЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫХ ВОЛОКОН ПУТЕМ ОТДЕЛКИ ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИМИ АНТИПИРЕНАМИ	116
ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ	120
Антонович А.А., Бабаков С.А., Гузарик А.В. СУЩЕСТВУЮЩИЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К МЕТОДАМ ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕНОСНЫХ ОГNETУШИТЕЛЕЙ: ОБЗОР, ОЦЕНКА, ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	106
Гончаров И.Н., Шавель Ю.И., Казябо В.А. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЧАСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО ВСКРЫТИЮ, РАЗБОРКЕ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТУШЕНИЮ ПОДКРОВЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ НА ВЫСОТЕ	128
Кондакова Я.А., Навроцкий О.Д. ОГNETУШАЮЩАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ С МОДИФИЦИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ ПРИ ПОДАЧЕ ПЕНЫ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ.....	107
Никитин В.И. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАДЫМЛЕННОЙ СРЕДЫ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ПИРОЛИЗА В ПЛАМЕННОЕ ГОРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ.	107
Пашкун Т.А., Крамко П.В. АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ ИНЕРЦИОННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ	107
СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	155

CONTENTS

GENERAL ISSUES.....	9
I.V. Gaishun, E.A. Beznosik	
CONTENT AND BASIC PRINCIPLES OF CIVIL DEFENSE, ANALYSIS OF EXPERIENCE IN CIVIL DEFENSE.....	9
T. Martynenko, O. Smilovenko, I. Martynenko, S. Losik.	
COMPUTER MODELING OF THE DESTRUCTION OF THE BOLT CONNECTION OF THE SUPPORT-TURNING DEVICE OF THE HOISTING CRANE.....	24
Y.A. Mikheyev, K.B. Podbolotov	
ABOUT THE METHOD OF DETERMINING THE UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF CELLULAR CONCRETE AT HIGH TEMPERATURE HEATING	32
E.A. Parkhomchik, D.P. Lukyanchyk, E.M. Maslyko	
ABOUT THE CLASSIFICATION OF EMERGENCY SITUATIONS NATURAL AND MAN-MADE.....	39
M.V. Hodin, O.E. Melnikova	
ANALYSIS OF THE EMERGENCY SITUATIONS IN THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE 1ST HALF OF 2023.....	45
PREVENTION EMERGENCY SITUATIONS, FIRES AND ACCIDENTS	51
A.I. Kitsak, D.S. Lobach	
MODELING OF MECHANISMS OF HETEROGENEOUS AND HOMOGENEOUS INHIBITION OF ACTIVE FLAME PARTICLES BY FIRE EXTINGUISHING POWDER PARTICLES UNDER CONDITIONS OF THEIR CONTINUOUS GENERATION	51
O. Shaverdo, V. Biruk, Ch.Ghasanova	
EXPLOSION AND FIRE SAFETY OF DRAINING AND FILLING OPERATIONS WHEN FILLING TANKERS WITH PETROLEUM PRODUCTS	69
O. Shaverdo, V. Biruk, S. Korotkevich	
ANALYSIS OF IGNITION CAUSES OF LIGHT OIL PRODUCTS GAS-VAPOUR MIXTURES BY TANK –TRUCK LOADING.....	79
FIRE EQUIPMENT AND PROTECTIVE EQUIPMENT.....	88
A.A. Starovoitov, V.V. Kashankova	
ABOUT THE SPECIAL ASPECTS OF FIREFIGHTER'S BALLISTIC HELMET DEVELOPING.....	88
T.V. Sheremet	
RESEARCH OF FLAME-RESISTANT KNITTED FABRICS FROM ARSELON FIBER OF DIFFERENT DENSITY AND TYPE OF WEAVING ACCORDING TO RESISTANCE TO DEFORMATION.....	97

S.M. Shumay, Yu.S. Ivanov, A.A. Starovoytov, Yu.S. Shatilov OPERATIONAL TEST METHOD FOR SPECIAL PROTECTIVE FOOTWEAR FOR FIREFIGHTERS.	106
Y.V. Matveenکو, Y.S. Shatilov, A.S. Lukyanov, Zh.V. Ichnatovich, A.A. Rogachev, V.E. Agabekov IMPROVING THE FIRE-RETARDANT PROPERTIES OF FABRICS BASED ON POLYOXADIAZOLE FIBERS BY FINISHING WITH ORGANOPHOSPHORUS FLAME RETARDANTS.....	116
EMERGENCY RELIEF TECHNOLOGIES.....	120
A.A. Antonovich, S.A. Babakov, A.V. Guzarik EXISTING AND INNOVATIVE APPROACHES TO PORTABLE FIRE EXTINGUISHER TESTING METHODS: REVIEW, EVALUATION, OPPORTUNITIES FOR IMPROVEMENT.....	120
I.N. Goncharov, Y.I. Shavel, V.A. Kaziabo ANALYSIS OF THE ROOFING MATERIALS OPENING, REVERSE ENGINEERING WORKS AND ROOF SPACE FIREFIGHTING TECHNOLOGIES.	128
Y.A. Kandakova, O.D. Navrotsky DETERMINATION OF THE SMOKE-GENERATING ABILITY OF CHIPBOARD MATERIALS.....	136
V.I. Nikitin IMPROVEMENT OF TECHNIQUES FOR STUDYING THE DYNAMICS OF CHANGES IN PARAMETERS OF A SMOKE ENVIRONMENT DURING THE TRANSITION OF PYROLYSIS TO FLAME COMBUSTION OF MATERIALS.	143
T.A. Pashkun, P.V. Kramko ANALYSIS OF INERTIA VALUES OF AUTOMATIC FOAM EXTINGUISHING SYSTEMS.....	152
REFERENCE INFORMATION.....	155

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.9-23>

УДК 351.861

Гайшун И.В., Безносик Е.А.

СОДЕРЖАНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЕДЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, АНАЛИЗ ОПЫТА ВЕДЕНИЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

*Главное управление государственной системы предупреждения
и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск*

Целью работы является оценка необходимости реализации мероприятий гражданской обороны, а также порядка их осуществления при ведении военных действий на примере иных стран.

Использованы общенаучные методы исследования, анализа, синтеза, индукции, дедукции, сравнения, обобщения и аналогии.

Приведен обзор методов и принципов реализации мероприятий гражданской обороны, в том числе на примере иных стран и исторического опыта.

Результаты исследований могут быть использованы при переработке нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, планов гражданской обороны.

Ключевые слова: военный конфликт, асимметричная угроза, гражданская оборона, защитные мероприятия, международное гуманитарное право.

Gaishun I.V., Beznosik E.A.

CONTENT AND BASIC PRINCIPLES OF CIVIL DEFENSE, ANALYSIS OF EXPERIENCE IN CIVIL DEFENSE

*Main Directorate of the State System of Prevention and Elimination
of Emergency Situations and Civil Defense of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus, Minsk*

The purpose of the work is to assess the need to implement civil defense measures, as well as the procedure of implementation during military operations using the experience of other countries.

General scientific methods of research, analysis, synthesis, induction, deduction, comparison, generalization and analogy are used.

An overview of the methods and principles of implementing civil defense measures, including experience of other countries and the historical experience, is provided.

The research results can be used in the revision of regulatory legal acts, technical regulatory legal acts and civil defense plans.

Keywords: military conflict, asymmetric threat, civil defense, protective measures, international humanitarian law.

Введение

Опыт ведения военных конфликтов XXI века показывает, что военные действия переносятся в основном в города, на урбанизированную местность.

Это вызвано объективными факторами, характеризующими современные социально-демографические процессы в мире, а также целями, преследуемыми сторонами конфликтов.

В Наставлении сухопутных войск американской армии FM 3-06 «Операции в городе» определяется: «Городские районы являются финансовыми, политическими, транспортными, коммуникационными, индустриальными и социально-культурными центрами. Поэтому они часто становятся театрами для проведения важных военных операций, как боевых, так и не боевых. Не все городские операции сопровождаются боевыми действиями» [1, с. 127].

Например, после войны во Вьетнаме американские вооруженные силы вовлекались в крупные операции в городской местности с частотой в среднем один раз в два года. Только некоторые из этих операций были жестокими и кровопролитными, как в Панаме и Могадишо. Другие представляли собой гуманитарные операции, в том числе на территории самих США в ходе ликвидации последствий стихийных бедствий [2, гл. 6].

Возможно предположить, что армия может столкнуться с противником, который значительно отличается по военной доктрине, организации и вооружению, и при этом очень хорошо использует три компонента городского ландшафта: поле битвы, общество и инфраструктуру и будет применять асимметричные способы ведения боевых действий – будет вестись «асимметричная война».

«Асимметричной войной», согласно определению комитета начальников штабов вооруженных сил США, считается война, в которой одна из сторон имеет значительное превосходство в чем-либо по отношению к другой, которая ведется более слабой стороной путем использования нетрадиционных средств и с целью уменьшения или нейтрализации преимуществ противника.

Зачастую она предполагает применение инновационных технологий или новых средств на базе ограниченных ресурсов по сравнению с теми, которыми располагает более мощный противник.

Пример, так называемая «Вторая Ливанская война», где против высокотехнологичной армии обороны Израиля противостояли вооруженные в основном стрелковым оружием отряды исламской группировки «Хезболла»: боевые действия велись преимущественно на урбанизированной территории юга Ливана [3, с. 12].

В основу ведения асимметричной войны положено понятие асимметричной угрозы, основывающейся на различиях (асимметричности) интересов сторон. Как правило, у противников США под угрозой находится их выживание, тогда как американцы чаще всего преследуют ограниченные цели, не затрагивающие их жизненно важные интересы.

Вследствие этого асимметричная угроза причинения неприемлемого ущерба может удержать США от решительных действий и проведения военной

кампании против региональной державы, которая в таких условиях будет способна достичь поставленной цели.

Кроме того, неконвенциональные подходы, такие как информационные операции и террористические акты, позволяют скрыть источник угрозы, сделать противодействие неэффективным или значительно замедлить ответную реакцию.

Асимметричные угрозы увязываются американскими специалистами со значительной степенью неопределенности в отношении потенциальных источников военных и других угроз, форм и способов ведения войны в будущем [4, с. 42–52].

Сегодня с появлением «оружия шестого поколения» – высокоточных боеприпасов – мы видим, как снова меняются цели войны, планы относительно роли и места населения воюющих сторон.

По опыту войн конца XX-начала XXI веков армия, обладающая высокоточным оружием, не стремится полностью разрушить тыл противника и уничтожить значительную часть его населения. Теперь самому населению также отводится роль разрушительного фактора.

Удары крылатых ракет и управляемых бомб, действия террористических групп и др. должны разрушить на территории противника инфраструктуру городов, системы жизнеобеспечения, коммуникации.

В ходе военных действий могут быть разрушены системы управления, информирования населения на всех уровнях. Насколько это важная задача, показывает тот факт, что в ходе войны 1999 года в Югославии практически не наносились удары по югославской армии. Только несмотря на достигнутые за последние годы договоренности о сокращении ядерных потенциалов, запрещении и уничтожении химического и биологического оружия, вероятность применения этих видов оружия массового поражения в современных войнах и вооруженных конфликтах исключать нельзя.

Продолжаются разработки оружия нового поколения, в том числе на новых физических принципах.

Анализ военных конфликтов последних лет показал, что существенно возрастает экономическое, политическое, информационное и другие воздействия на население.

Гражданская оборона (далее – ГО) изначально была создана как система защиты гражданского мирного населения от «горячей» войны, и это прописано в международных конвенциях.

К примеру, в дополнительном протоколе от 8 июня 1977 г. № 1 к Женевской конвенции от 12 августа 1949 г. о защите гражданского населения во время вооруженных конфликтов ГО рассматривается как выполнение гуманитарных задач, направленных на защиту гражданского населения и оказания ему помощи в устранении последствий военных действий или стихийных бедствий, создание условий для его выживания [5, с. 61-62].

Вместе с тем на ведение ГО нужны новые идеи и взгляды. Необходимость развития и частичного пересмотра мероприятий ГО обусловлена тем, что изменяются способы достижения военно-политических целей, сами военно-

политические цели вооруженных конфликтов становятся другими, что приводит к большим людским и материальным потерям, а также страданиям выжившего мирного населения.

При этом при пересмотре подходов к ведению ГО бесспорно необходимо иметь в виду экологические и гуманитарные катастрофы, которые могут возникнуть в ходе ведения военных действий за различные населенные пункты.

Как показывает опыт вооруженных конфликтов последнего десятилетия, при ведении вооруженной борьбы за населенный пункты возможны не только разрушения или нарушение работы систем обеспечения жизнедеятельности населения и формирование очагов поражения, возникновение чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) вследствие разрушений потенциально опасных объектов (далее – ПОО), но и как следствие массовая гибель гражданского населения.

Учитывая изложенное, актуальность и необходимость реализации мероприятий ГО обусловлены рядом факторов, которые включают в себя оборонительную направленность Военной доктрины Республики Беларусь, а также повышение объемов задач гражданской обороны.

Основная часть

В соответствии с действующим законодательством ГО – это 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 и организуется по административно-территориальному и отраслевому принципам, и осуществляются в соответствии с планами ГО, 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.

Сущность ведения ГО заключается в практической реализации мер по защите населения, материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при ведении военных действий или вследствие этих действий, по проведению аварийно-спасательных и других неотложных работ, по первоочередному обеспечению населения, пострадавшего при ведении военных действий, обеспечению действий сил и мероприятий ГО, восстановлению и поддержанию порядка в районах, пострадавших при ведении военных действий или вследствие их.

В Республики Беларусь ГО поставлен ряд основополагающих задач, а именно: оповещение, обучение, временное отселение, укрытие, санитарная обработка населения, предоставление средств индивидуальной защиты, а также обнаружение и обозначение районов, подвергшихся радиоактивному, химическому, биологическому (бактериологическому) и иному заражению и поддержание общественного порядка в районах, пострадавших от опасностей, возникших при ведении военных действий [6, ст. 3-4].

Опыт служебной деятельности показывает, что в ряде направлений ГО наличие противоречий и вытекающие соответственно из них проблемные

вопросы не позволяют в полной мере реализовывать отдельные задачи ГО, на которых в работе и будет сделан акцент.

С учетом проведенного анализа информации по ведению ГО (по мнению авторов) в ходе современных вооруженных конфликтов дополнительно принципами ведения ГО с учетом государственной важности мероприятий ГО следует считать рациональное сочетание мероприятий ГО с хозяйственными, социальными и оборонными мероприятиями, соответствие характера и объемов мероприятий, способов и методов их реализации стратегическим, оперативным и физико-географическим особенностям каждой области, района или города.

Реализация указанных принципов возможно только при наличии единоначалия в вопросах организации руководства мероприятиями ГО и сочетания обязательного активного участия и инициативы местных исполнительных и распорядительных органов, организаций, общественных объединений и граждан в осуществлении мероприятий ГО.

При этом основными особенностями условий проведения мероприятий ГО являются высокая вероятность ведения вооруженной борьбы в населенных пунктах с использованием оружия, созданного на основе искусственного интеллекта, нанотехнологий, новых физических принципов, а также роботизированных комплексов и оружия, возможность незаконного распространения (перемещения) радиоактивных, химических, биологических и других опасных веществ и материалов, износ технологического оборудования на ПОО.

Учитывая изложенное, задачи ГО являются весьма актуальными. Решать их придется в сложных условиях.

В обеспечении обороноспособности и жизнедеятельности населения ГО выполняет оборонную (решение проблемы сохранения людских ресурсов и военно-экономического потенциала), социальную (обеспечение защиты и жизнедеятельности населения), экономическую (сохранение объектов) функции [7, с. 86-87].

Руководство ГО (на примере административно-территориальной единицы) осуществляет руководитель местного исполнительного и распорядительного органа, являющийся по должности начальником ГО административно-территориальной единицы.

Начальник ГО реализует не только план ГО и создание сил ГО, но и ряд иных задач (строительство, учет, содержание и эксплуатация объектов ГО, проведение мероприятий по временному отселению, укрытию населения, проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ и другие) [6, ст. 9].

Исходя из полномочий, начальник ГО должен быть готовым к действиям по двум основным направлениям.

К первому направлению следует отнести выполнение задач при любых вариантах развертывания военных действий и крупномасштабных террористических актов, в том числе в условиях массированного применения противником современных и перспективных средств поражения, а ко второму – задействование сил и средств ГО для защиты населения и территорий в условиях ЧС природного и техногенного характера, а также при террористических актах.

Для более глубокого понимания порядка и необходимости реализации указанных мероприятий проведен анализ угроз исторического и зарубежного опыта ведения ГО в городах.

Наиболее успешным и показательным (по мнению авторов статьи) историческим опытом ведения ГО в городах является оборона Севастополя [8].

ГО, которая в годы Великой Отечественной войны представляла собой местную противовоздушную оборону, 29 октября 1941 года была в готовности обеспечить ликвидацию последствий вражеских бомбежек и обстрелов в условиях непосредственной обороны города с суши.

Организаторская и практическая работа по проведению защитных мероприятий и ликвидации последствий нападения с воздуха лежала на штабах и службах местной противовоздушной обороны города.

Штаб, как правило, состоял из относительно небольшого числа офицеров и служащих, главным образом специалистов – инженеров, врачей, взрывотехников, химиков и связистов.

Основными направлениями в их работе являлись организация всех подготовительных мероприятий, организация спасательных и аварийно-восстановительных работ, создание системы наблюдения и разведки.

При этом создание системы наблюдения и разведки позволяло быстро определять места возникновения очагов поражения, их количество, характер, объем разрушений [9, 10, с. 42–47]

Следует отметить, что действия местной противовоздушной обороны всегда были тесно связаны с действиями военного командования.

Это взаимодействие начиналось с взаимной информации об обстановке и заканчивалось взаимным оказанием помощи и поддержки в решении оборонных задач.

Наиболее значимыми в защите населения города и объектов народного хозяйства являлись противопожарная, медико-санитарная, аварийно-восстановительная службы, которые выполняли основной объем работ в очагах поражения. Но наряду с ними весьма важными были службы связи и оповещения, охраны общественного порядка, убежищ, маскировки и светомаскировки.

Основными силами медико-санитарной службы являлись отряды первой медицинской помощи, стационарные пункты медицинской помощи, медико-санитарные команды и роты участковых формирований, санитарные дружины и санитарные посты в домоуправлениях и на объектах.

Своевременное выполнение работ по ликвидации очагов поражения, снижения материального ущерба и сохранения города обеспечивала деятельность противопожарной службы. Борьба с пожарами потребовала организационной перестройки противопожарной службы и более широкого привлечения для борьбы с зажигательными авиабомбами самого населения. Пожарная охрана была военизирована, а пожарные караулы переведены на 12–16-часовой рабочий день.

Аварийно-восстановительная служба обеспечивала устранение повреждений оборудования промышленных предприятий, ликвидацию разрушений и повреждений на сетях, станциях водопровода, канализации, предотвращение

затоплений и загазованности убежищ при разрушении зданий, восстановление проездов и мостов, организацию переправы. При этом проведение аварийно-предупредительных мероприятий, направленных на повышение устойчивости систем водоснабжения, канализации, дорожно-мостового хозяйства, в условиях нападения противника с воздуха была проведена до начала войны.

На промышленных предприятиях комплектовались объектовые формирования и аварийно-восстановительные отряды численностью от 150 до 500 человек каждый. Весь личный состав объектовых формирований работал на предприятиях, а после работы находился на казарменном положении, нес дежурство на крышах домов, тушил пожары, спасал раненых и ликвидировал аварии.

В обязательном порядке к участию в группах самозащиты местной противовоздушной обороны на предприятиях, в учреждениях и жилых домах привлекались мужчины (от 16 до 60 лет) и женщины (от 18 до 50 лет).

Немалую роль в деятельности местной противовоздушной обороны играла служба охраны общественного порядка.

Созданные во время войны отряды содействия милиции несли патрульную службу, вели борьбу с нарушителями порядка и уголовными преступниками, способствовали поддержанию жесткого паспортного режима и, главное, обеспечивали в необходимых случаях мобилизацию усилий всего населения на ликвидацию последствий нападения с воздуха. Под массированными налетами авиации формированиям приходилось действовать в условиях сплошных завалов на площади в несколько гектаров городской застройки или бороться с пожарами, одновременно охватившими несколько кварталов.

Аналогичные исторические примеры обороны Москвы, Ленинграда, Новороссийска, Архангельска, Мурманска и других городов указывают на весомую роль, которую играла местная противовоздушная оборона в минимизации последствий применения противником оружия, защите населения и объектов народного хозяйства.

Однако в ее организации и боевой деятельности выявились и некоторые недостатки.

Одним из недостатков являлось не во всех случаях наличие детально разработанного порядка предупреждения населения об опасности нападения с воздуха.

Кроме того, иногда сигнал «Воздушная тревога» подавался даже при появлении фашистских самолетов-разведчиков, что случалось по нескольку раз на день, и это сказывалось на работе предприятий.

Остро стоял вопрос нехватки в некоторых городах убежищ и приходилось срочно строить укрытия простейшего типа.

Ощутимым недостатком можно считать низкую оперативность оказания медицинской помощи пострадавшим из-за отсутствия в штабах местной противовоздушной обороны подвижных подразделений разведки, в результате чего медленно проводился розыск раненых, следовательно, запаздывала и своевременная медицинская помощь [11, с. 101–103].

При проведении анализа зарубежного опыта ведения ГО выявлено, что изменения в характере и способах решения международных конфликтов с применением военной силы, а также методов ведения вооруженной борьбы обу-

славливает общемировую тенденцию пересмотра государствами концепций ГО с ориентацией их на предупреждение и ликвидацию ЧС в мирное время.

Вместе с тем существуют определенные тенденции в развитии ГО большинства европейских государств. Значение мероприятий потеряло остроту, присущую временам «холодной» войны, но необходимость в них не отпала. Систему ГО стремятся сделать более мобильной, позволяющей осуществлять маневр силами и средствами в короткие сроки.

В то же время в большинстве зарубежных государств в последние годы наблюдается ослабление внимания к делам ГО.

Это выражается в ограничении выделении бюджетных ассигнований, свертывании программ (строительство защитных сооружений, производство средств индивидуальной защиты и др.).

Такое положение дел характерно для США, Англии, Франции, ФРГ. Исключение составляет Израиль, который в силу сложившейся военно-политической обстановки вынужден поддерживать высокий уровень готовности системы ГО. Вместе с тем все чаще высказывается мнение, что требуется ГО нового типа, призванная быть эффективной не только в военное, но и мирное время.

Это обусловлено тем, что в последние годы резко возросло число техногенных катастроф и стихийных бедствий. Местные органы власти требуют от руководителей пересмотреть концепцию ГО с целью ориентации ее на участие в предупреждении и ликвидации ЧС в мирное время.

Так, по мнению военно-политического руководства Швейцарии, миллиарды, вкладываемые в ГО, лишь тогда принесут эффект, когда будут четко определены ее задачи на мирное время.

Современные взгляды на проблему защитного строительства в высокоразвитых капиталистических странах Западной Европы в основном совпадают и сводятся к тому, что заблаговременное создание на территории этих стран защитных объектов различного назначения (защитные сооружения, пункты управления и др.) является целесообразным, так как обеспечивает в случае возникновения экстремальных ситуаций военного времени, а также при катастрофах и стихийных бедствиях сохранение жизни людей или существенное снижение возможных потерь среди населения.

Практически во многих странах мира на всех этапах развития ГО особое значение придается созданию сети защитных сооружений.

Наибольших успехов в этом достигли США, ФРГ, Швеция, Швейцария и Израиль. В основу создания системы защитных сооружений здесь положен принцип максимального использования имеющихся подземных сооружений, выработок и естественных полостей. Например, в США, начиная с 1950 г., проводилась широкая кампания по обследованию и приспособлению под укрытия защищенных помещений в имеющихся и строящихся зданиях, заброшенных выработках, шахтах. В итоге в стране зарегистрировано 250 тысяч пригодных под укрытия помещений на 238 млн. мест.

В Израиле в каждом доме (особенно в новостройках) существует безопасная (укрепленная) комната, которая находится в защитном столбе, проходящем

через весь квартирный стояк. Внешне они выглядят как обычная комната и выдают себя только маленьким окном и массивной дверью.

В ряде стран (ФРГ, Великобритании, Дании и Норвегии) для укрытия населения широко применяются подземные сооружения многоцелевого назначения (склады, спортивные сооружения, кафе, кинотеатры и др.), которые в случае необходимости могут быть в самые короткие сроки переоборудованы в убежища.

Во Франции, Италии и Бельгии строительство новых укрытий и убежищ практически не ведется. Обосновывается это тем, что в этих странах большинство строений — каменные с подвальными помещениями, которые в случае необходимости после небольшого дооборудования могут быть использованы в качестве противорадиационных укрытий. Для этих же целей предусматривается использовать туннели, станции метро и т.п.

Эвакуация и рассредоточение как способ защиты рассматривается западными странами, хотя и не без учета местных (для каждой страны) особенностей.

Для многих из них это дело непростое из-за сравнительно небольших территорий и высокой плотности населения, а также насыщенности промышленными предприятиями, тем не менее почти во всех странах в той или иной мере планируется проведение эвакуации из угрожаемых районов (особенно в войне с возможностью применения обычных средств поражения и высокоточного оружия).

Особое мнение по поводу эвакуации населения имеет правительство Великобритании, считая его нерациональным из-за большой плотности населения и равномерного размещения на территории основных промышленных и военных объектов, а также отсутствия сопредельных государств.

Большое внимание уделяется развитию системы оповещения о нападении в США, Канаде, ФРГ, Великобритании, Италии. Основным средством непосредственного объявления тревог в них являются сирены (на территории ФРГ — свыше 20 тысяч, в Великобритании — 18 тысяч). Кроме того, информация чрезвычайного характера доводится с помощью радио и телевидения.

Практически во всех зарубежных странах имеются силы ГО, предназначенные для ликвидации последствий применения противником оружия массового поражения (обычных средств поражения), а также для ликвидации последствий стихийных бедствий, крупных производственных аварий и катастроф.

Принцип привлечения населения для служб в силах ГО различный:

в США, Канаде, Великобритании — добровольный;

в Турции, Бельгии, Норвегии и Нидерландах — добровольный сочетается с обязательным призывом определенных категорий людей.

Как правило, силы ГО в этих странах включают формирования: центрального подчинения, региональные, местные и подразделения самозащиты.

В США, Канаде, ФРГ, Великобритании, Италии и других странах использование частей и подразделений Вооруженных Сил для проведения спасательных и других аварийных работ оформлены законодательно и отражены в планах использования Вооруженных Сил в интересах ГО.

Во всех странах большое внимание уделяется подготовке спасателей в учебных заведениях: в ФРГ – Академия гражданской обороны, во Франции – Институт гражданской обороны, в Великобритании – Колледж гражданской обороны, в Бельгии, Дании, Нидерландах и Греции – национальные школы и центры.

Придается особое внимание проведению учений по ГО. В ходе их население не только наблюдает за действием органов и формирований ГО, но в ряде случаев, например, при организации эвакуации и занятии защитных сооружений и т.п. само участвует в них, знакомясь с установленными на чрезвычайный период сигналами тревоги в практической деятельности сил органов ГО.

Вопрос о финансировании мероприятий ГО занимает одно из важных мест. В связи с тем, что полностью обеспечить все расходы на ГО из федерального бюджета даже очень богатой стране не представляется возможным, принимаются меры по распределению этих расходов на федеральный, местный уровни и частный сектор.

В США 50 % расходов покрывается из местного бюджета, 50 % – из бюджета штатов и местных органов власти. В Швейцарии из федерального бюджета – 46 %, из бюджетов кантонов – 43 %, остальные расходы возлагаются на общественные объединения и население.

В ФРГ, например, принят специальный закон, в соответствии с которым основная часть расходов на мероприятия по подготовке ГО возложена на местные органы.

Примеры финансирования ГО (на душу населения в долларах США в год) следующие: Швейцария – 29; Швеция – 20; Дания, Норвегия, Финляндия – по 9; ФРГ – 6,6; Великобритания – 1,8; США – 0,6 [12, с. 40].

Неотъемлемой частью указанных мероприятий и событий является Международное гуманитарное право.

Международное гуманитарное право представляет собой применяемую в период вооруженных конфликтов систему правовых принципов и норм, содержащихся в международных договорах (соглашениях, конвенциях, протоколах) или являющихся следствием установившихся практики ведения боевых действий.

Цель Международного гуманитарного права – облегчить, насколько это возможно, бедствия и лишения, приносимые боевыми действиями. Его нормы при любых обстоятельствах требуют гуманного обращения во время вооруженных конфликтов с лицами, не принимающими непосредственного участия в боевых действиях, в том числе с теми, кто перестал принимать в них участие вследствие болезни, ранения, задержания или по любой другой причине.

В международной договорной и обычной практике получили закрепление принципы законности, различия, соразмерности, гуманности, военной необходимости.

Безусловно, нормы и принципы международного гуманитарного права не изменяют установленный боевыми уставами порядок организации боевых действий, однако при принятии решения и планировании боевых действий должна приниматься во внимание необходимость их соблюдения [13, гл. II].

При этом последние события на мировой арене, приведшие к череде вооруженных конфликтов различного типа, унесшие жизни сотен тысяч мирных людей и навсегда превративших миллионы людей в перемещенных лиц, показывают необходимость совершенствования организационно-правовых механизмов международного регулирования и реагирования на вышеназванные вызовы, в первую очередь направленных на защиту гражданского населения в кризисных ситуациях.

На сегодняшний день значительная часть международного экспертного сообщества признает актуальность и важность решения данной проблемы, понимая, что базовые основы существующей правовой системы Международного гуманитарного права, в том числе современного «права вооруженных конфликтов», закладывались еще в середине сороковых годов прошлого века как результат юридического осмысления прошедшей Второй мировой и предыдущих войн.

Такой основой, бесспорно, являются Женевские конвенции 1949 года [14].

Статья 3 Женевских конвенций стала настоящим прорывом, так как она распространила принципы Женевских конвенций на немеждународные вооруженные конфликты и отменила некоторые препятствия, связанные с государственным суверенитетом.

Из-за того, что в мире в последнее время преобладают немеждународные (внутренние) вооруженные конфликты, эта статья сохраняет исключительную важность, так как согласно ей стороны и во внутреннем вооруженном конфликте обязаны соблюдать основополагающие права человека. Благодаря тому, что Женевские конвенции 1949 года приняли все государства, общая статья 3 применяется к любому вооруженному конфликту немеждународного характера в любой точке мира [15, ст. 34].

В то же время характер вооруженных конфликтов в Югославии, Ираке, Израиле, Афганистане, Южной Осетии, Йемене, Сирии и Украине свидетельствует, что значительное количество средств поражения используется для нанесения ударов по объектам жизнеобеспечения (электро-, газо-, водоснабжения), транспортным узлам, школам, детским садам, больницам. Уничтожаются объекты исторического наследия, культуры, религии.

К примеру, в Сирии имеют место факты целенаправленного массового уничтожения гражданского населения боевиками антиправительственной оппозиции с использованием химического оружия. Так, 19 марта 2013 года в районе г. Аллепо в результате ограниченного применения химического оружия погибло 15 мирных жителей, около 100 пострадало [16]. Наиболее вероятно, что химическая атака была проведена силами оппозиции с целью создания официального повода для вторжения в Сирию вооруженных сил НАТО.

Существуют проблемы при доставке гуманитарной помощи. В результате этого на территориях воюющих сторон возникают многочисленные очаги поражения, способствующие возникновению гуманитарного кризиса.

Заключение

Таким образом, ГО является важной составляющей оборонных мероприятий, организуемых местными органами власти, что подтверждается в том числе историческим опытом защиты населения и территории. Поэтому ее организация требует серьезной заблаговременной (в мирное время) подготовки, что подтверждается анализом исторического опыта ведения боевых действий.

Полагаем, что дальнейшие исследования в этом направлении могут быть направлены на уточнение нормативных правовых актов в области защиты населения и территории от ЧС природного и техногенного характера, в том числе актуализацию порядка реализации мероприятий ГО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аношкин И.М., Костюкович С.Н., Краснов Е.Ю., Млявый Р.В., Позняк Ф.М. Войны XXI века: формы и способы ведения боевых действий в городских условиях. – Мн.: НИИ ВС РБ, 2007. – 232 с.

2. Попов И. М. Война будущего: взгляд из-за океана. Военные теории и концепции современных США. – Москва: Издательство «АСТ-Астрель», 2004. – 444 с.

3. Асимметрические угрозы национальным интересам США [Электронный ресурс]. – Москва, 2018. Режим доступа: <http://pentagonus.ru/publ/19-1-0-35>. – Дата доступа 13.09.2023

4. Системы борьбы с необитаемыми аппаратами – асимметричный ответ на угрозы XXI века / Р.В. Красильников. – Инфо-да, СПб., 2013. – 106 с. ISBN 978-5-94652-418-9

5. Дополнительный протокол к Женевским конвенциям от 12 августа 1949 года, касающийся защиты жертв международных вооружённых конфликтов [Электронный ресурс]: Принят на дипломатической конференции в Женеве 8 июня 1977 года. Режим доступа: https://www.icrc.org/ru/doc/assets/files/2013/ap_i_rus.pdf – Дата доступа 13.09.2023

6. «О гражданской обороне». Закон Республики Беларусь от 27 ноября 2006 г. № 183-З.

7. Полещук В. Н. и др. Организация выполнения мероприятий гражданской обороны: Методическое руководство. Под общей редакцией Э.Р. Бариева. – Минск: Изд-во Центр сертификации и лицензирования МЧС Республики Беларусь, 2009. – 249 с.

8. Бестужев И. В. Крымская война 1853-1856 гг. – М.: Издательство АН СССР, 1956. – 174 с.

9. История местной противовоздушной обороны в Севастополе [Электронный ресурс]. – Севастополь, 2014. Режим доступа: <https://sevastopol.bezformata.com/listnews/protivovozdushnoj-oboroni-v-sevastopole/24765126/>. – Дата доступа 13.09.2023

10. Доклад начальника местной противовоздушной обороны г. Севастополя техника интенданта В. Малого начальнику 1-го отдела Главного управления Местной противовоздушной обороны НКВД СССР полковнику Баксову о ре-

зультатах налетов немецкой авиации на г. Севастополь в апреле 1942 г. и деятельности команд МПВО по ликвидации их последствий [Электронный ресурс] – Российский государственный военный архив, Ф. 37878, Оп. 1, Д. 416, л. 42-47. Режим доступа: <https://krym.rusarchives.ru/dokumenty/doklad-nachalnika-shtabamestnoy-protivovozdushnoy-oborony-g-sevastopolya-tehnika>. – Дата доступа 13.09.2023

11. Гусев А. В. Местная противовоздушная оборона прифронтовых городов в годы войны, и ее роль в защите населения и объектов от воздушного нападения [Электронный ресурс]. – Вестник Ленинградского государственного университета А.С.Пушкина – 2010. – Т. 4, № 4. – С. 100–107. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mestnaya-protivovozdushnaya-oborona-prifrontovyh-gorodov-v-gody-voyny-i-ee-rol-v-zaschite-naseleniya-i-obektov-ot-vozdushnogo-napadeniya/viewer>. – Дата доступа 13.09.2023

12. Харкевич Л.А. Концептуальные основы в области гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера – Тамбов: ТГТУ, 2009. – 110 с.

13. Наставление по международному гуманитарному праву для вооруженных сил Российской Федерации [Электронный ресурс]: Утверждено Министром обороны Российской Федерации от 08.08.2001. Режим доступа: <https://ukrfkod.ru/zakonodatelstvo/nastavlenie-po-mezhdunarodnomu-gumanitarnomu-pravu-dlja-vooruzhennykh-sil-rossiiskoi/>. – Дата доступа 13.09.2023

14. Женевские конвенции 1949 о защите жертв войны:

Женевская конвенция (I) об улучшении участи раненых и больных в armиях;

Женевская конвенция (III) об обращении с военнопленными;

Женевская конвенция (IV) о защите гражданского населения во время войны;

15. Конвенция о защите культурных ценностей в случае вооруженного конфликта (Заключена в г. Гааге 14.05.1954).

16. Применение химического оружия в Гуте [Электронный ресурс]. – Википедия, 2023. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Применение_химического_оружия_в_Гуте. Дата доступа 13.09.2023.

REFERENCES

1. Anoshkin I.M., Kostyukovich S.N., Krasnov E.YU., Mlyavyj R.V., Poznyak F.M. *Vojny XXI veka: formy i sposoby vedeniya boevykh dejstvij v gorodskih usloviyah*. – Mn.: NII VS RB, 2007. – 232 s.

2. Popov I. M. *Vojna budushchego: vzglyad iz-za okeana. Voennye teorii i koncepcii sovremennyh SSHA*. – Moskva: Izdatel'stvo «AST-Astrel'», 2004. – 444 s.

3. *Asimmetricheskie ugrozy nacional'nym interesam SSHA* [Elektronnyj resurs]. – Moskva, 2018. Rezhim dostupa: <http://pentagonus.ru/publ/19-1-0-35>. – Data dostupa 13.09.2023

4. Sistemy bor'by s neobitaemymi apparatami – asimmetrichnyj otvet na ugrozy XXI veka / R.V. Krasil'nikov. – Info-da, SPb., 2013. – 106 s. ISBN 978-5-94652-418-9

5. Dopolnitel'nyj protokol k ZHenevskim konvenciyam ot 12 avgusta 1949 goda, kasayushchijsya zashchity zhertv mezhdunarodnyh vooruzhyonnyh konfliktov [Elektronnyj resurs]: Prinyat na diplomaticheskoy konferencii v ZHeneve 8 iyunya 1977 goda. Rezhim dostupa: https://www.icrc.org/ru/doc/assets/files/2013/ap_i_rus.pdf – Data dostupa 13.09.2023

6. «O grazhdanskoj oborone». Zakon Respubliki Belarus' ot 27 noyabrya 2006 g. № 183-3.

7. Poleshchuk V. N. i dr. Organizaciya vypolneniya meropriyatij grazhdan-skoj oborony: Metodicheskoe rukovodstvo. Pod obshchej redakciej E.R. Barieva. – Minsk: Izd-vo Centr sertifikacii i licenzirovaniya MCHS Respubliki Belarus', 2009. – 249 s.

8. Bestuzhev I. V. Krymskaya vojna 1853-1856 gg. – M.: Izdatel'stvo AN SSSR, 1956. – 174 s.

9. Istoriya mestnoj protivovozdushnoj oborony v Sevastopole [Elektronnyj resurs]. – Sevastopol', 2014. Rezhim dostupa: <https://sevastopol.bezformata.com/listnews/protivovozdushnoj-oboroni-v-sevastopole/24765126/>. – Data dostupa 13.09.2023

10. Doklad nachal'nika mestnoj protivovozdushnoj oborony g. Sevastopolya tekhnika intendanta V. Malogo nachal'niku 1-go otdela Glavnogo upravleniya Mestnoj protivovozdushnoj oborony NKVD SSSR polkovniku Baksovu o rezul'tatah naletov nemeckoj aviacii na g. Sevastopol' v aprele 1942 g. i deyatel'nosti komand MPVO po likvidacii ih posledstvij [Elektronnyj resurs] – Rossijskij gosudarstvennyj voennyj arhiv, F. 37878, Op. 1, D. 416, l. 42-47. Rezhim dostupa: <https://krym.rusarchives.ru/dokumenty/doklad-nachalnika-shtaba-mestnoy-protivovozdushnoy-oborony-g-sevastopolya-tehnika>. – Data dostupa 13.09.2023

11. Gusev A. V. Mestnaya protivovozdushnaya oborona prifrontovyh gorodov v gody vojny, i ee rol' v zashchite naseleniya i ob"ektov ot vozdushnogo napadeniya [Elektronnyj resurs]. – Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta A.S.Pushkina – 2010. – T. 4, № 4. – S. 100–107. Rezhim dostupa: <https://cyberleninka.ru/article/n/mestnaya-protivovozdushnaya-oborona-prifrontovyh-gorodov-v-gody-voyny-i-ee-rol-v-zaschite-naseleniya-i-obektov-ot-vozdushnogo-napadeniya/viewer>. – Data dostupa 13.09.2023

12. Harkevich L.A. Konceptual'nye osnovy v oblasti grazhdanskoj oborony i zashchity ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera – Tambov: TGTU, 2009. – 110 s.

13. Nastavlenie po mezhdunarodnomu gumanitarnomu pravu dlya vooruzhennyh sil Rossijskoj Federacii [Elektronnyj resurs]: Utverzhdeno Ministrom oborony Rossijskoj Federacii ot 08.08.2001. Rezhim dostupa: <https://ukrfkod.ru/zakonodatelstvo/nastavlenie-po-mezhdunarodnomu-gumanitarnomu-pravu-dlja-vooruzhennykh-sil-rossiiskoi/>. – Data dostupa 13.09.2023

14. Zhenevskie konvencii 1949 o zashchite zhertv vojny: Zhenevskaya konvenciya (I) ob uluchshenii uchasti ranenyyh i bol'nyh v armiyah; Zhenevskaya

konvenciya (III) ob obrashchenii s voennoplennymi; Zhenevskaya konvenciya (IV) o zashchite grazhdanskogo naseleniya vo vremya vojny;

15. Konvenciya o zashchite kul'turnyh cennostej v sluchae vooruzhennogo konflikta (Zaklyuchena v g. Gaage 14.05.1954).

16. Primenenie himicheskogo oruzhiya v Gute [Elektronnyj resurs]. – Vikipediya, 2023. Rezhim dostupa: https://ru.wikipedia.org/wiki/Primenenie_himicheskogo_oruzhiya_v_Gute. Data dostupa 13.09.2023.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.24-31>

УДК 624.078.4:004.94

**канд. физ.-мат. наук Мартыненко Т.М.,
канд. техн. наук, доц. Смиловенко О.О.,
канд. физ.-мат. наук, доц. Мартыненко И.М.*, Лосик С.А.**

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА ПОДЪЕМНОГО КРАНА

*Государственное учреждение «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск
* Белорусский государственный университет, г. Минск*

В статье разработана конечно-элементная модель болтового соединения опорно-поворотного устройства подъемного крана. Численный эксперимент в программном комплексе ANSYS Workbench позволил определить наиболее нагруженные болтовые соединения. Показано, что при возрастающей нагрузке на металлоконструкции поворотной и неповоротной рам крана начинается перекосячивание поворотной рамы, а затем дополнительное нагружение крепящих ее болтов. «Чистый болт» начинает работать как «черный», что ведет к последующему его обрыву.

Ключевые слова: башенный кран, конечно-элементная модель, опорно-поворотное устройство, болтовое соединение, устойчивость.

**Ph.D. in Physics and Mathematics Martynenko T.M.,
Ph.D. in Technology, Associate Professor Smilovenko O.O.,
Ph.D. in Physics and Mathematics Martynenko I.M.*, Losik S.A.**

COMPUTER MODELING OF THE DESTRUCTION OF THE BOLT CONNECTION OF THE SUPPORT-TURNING DEVICE OF THE CRANE

*The State Educational Institution "University of Civil Protection of the Ministry
of Emergency Situations of the Republic of Belarus", Minsk
* Belarusian State University, Minsk*

The finite element model of bolt connection of the support-turning device of the crane is developed. Numerical experiment in the program complex ANSYS Workbench allowed to determine the most loaded bolt connections. It is shown that with increasing load on the metal structures of the rotary and non-rotary frames of the crane the rotary frame begins skewing, and then additional loading of fastening bolts appears. "Clean bolt" begins to work as "black", which leads to its subsequent breakage.

Keywords: tower crane, finite element model, support-turning device, bolt connection, stability.

Введение

Башенный кран – это основная техника для городского строительства и масштабного ремонта. Функция крана состоит в том, чтобы перемещать груз из одной точки площадки в другую. Данное оборудование делает всю строительную площадку опасным производственным объектом. Поворотные строительные краны представляют собой вертикальные башни, наверху которых закреплена стрела. В ходе работ башенный кран может перемещаться и поворачиваться, менять высоту и вылет стрелы для выполнения поставленной задачи. Вращается только поворотная часть крана, связанная с неповоротным опорно-поворотным устройством (далее – ОПУ). Грузы поднимаются при помощи лебедки, каната и крюков.

Эксплуатация башенных кранов на строительных площадках связана с подъемными работами, которые являются одним из основных видов деятельности такого оборудования. Использование кранов для подъема и монтажа конструкций опасно ввиду возможного падения груза, его столкновения с движущимися препятствиями или краном, контакта с высоковольтными линиями электропередач. Потеря устойчивости крана и его опрокидывание может привести к травмам, гибели людей, повреждению зданий. Опрокидывание крана при подъемных работах является одной из наиболее серьезных проблем в строительной отрасли. Таким образом, возникает задача обеспечения безопасной эксплуатации кранов за счет сохранения устойчивости.

Конструкции кранов обычно разрушаются в наиболее нагруженных узлах, в которых при эксплуатации образуются трещины. Трещины могут развиваться медленно (до нескольких лет) или практически мгновенно (при хрупком разрушении). Последнее представляет наибольшую опасность для конструкций, так как происходит без заметной деформации или образования видимых трещин и поэтому трудно диагностируется (рисунок 1).

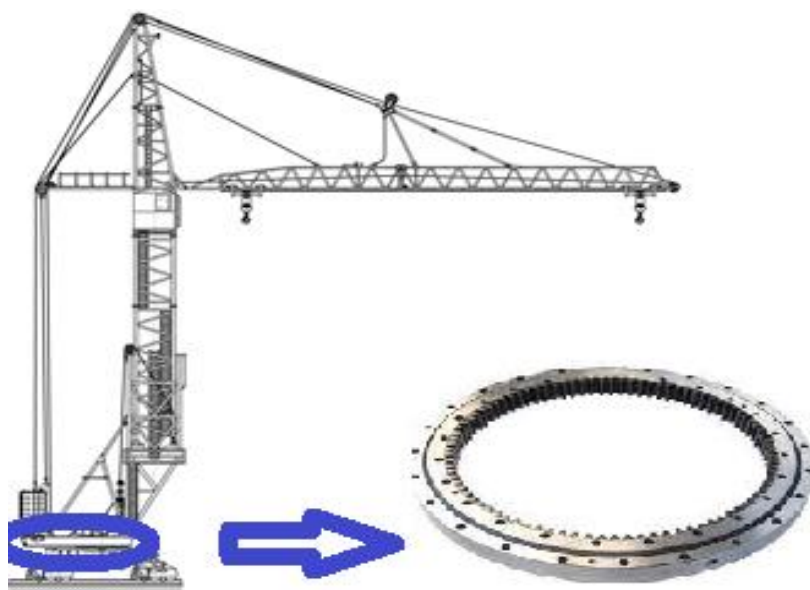


Рисунок 1. – Поворотный кран стреловидного типа с вынесенным ОПУ

Экспертиза аварий выявила, что чаще всего разрушается болтовое соединение внутреннего кольца с ОПУ (для упрощения расчета в модели отсутствуют наружное кольцо). Предельное рабочее усилие для одного болта диаметром 30 мм (площадь сечения по внутреннему диаметру резьбы 561 мм^2) из стали 40Х в многоболтовом соединении на растяжение составит около 15 т [2].

К основным причинам падений башенных кранов относят следующие: нарушение требований к изготовлению основных узлов и металлоконструкций, некачественный монтаж/демонтаж, низкий уровень организации работ, нарушение правил техники безопасности. Другая важная составляющая аварийности – техника изношена до предела. Одной из причин снижения уровня промышленной безопасности подъемных сооружений является большое количество оборудования, отработавшего свой расчетный ресурс.

Наименее надежный узел башенного крана – кольцевая поворотная рама с местами повышенной концентрации напряжений [1]. Целью данной работы является повышение надежности болтового крепления ОПУ.

Экспериментальные исследования

Для создания трехмерной модели крепления ОПУ использован программный комплекс *Autodesk Inventor Professional*, который позволяет работать со сборкой из твердых тел, находящиеся в параметрических зависимостях между собой, и дает возможность варьировать геометрические параметры и виды нагружения конструкции при проведении модельных экспериментов.

ОПУ крепится калиброванными болтами к рамам: поворотной и неповоротной и является, по существу, упорным подшипником качения большого диаметра. В кране имеется 48 болтов, установленных без зазора (рисунок 2), наружный диаметр круга рамы 2500 мм и диаметр окружности установки болтов 2430 мм.



Рисунок 2. – Болтовое соединение

Далее был произведен экспорт данных в ANSYS [3]. Для оценки влияния крепления на работу конструкции выполнен численный эксперимент.

На рисунке 3 приведена объемная модель ОПУ.

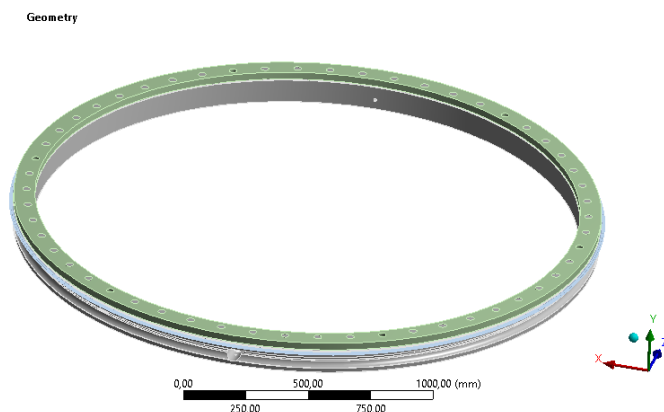


Рисунок 3. – Объемная модель ОПУ

Переходим от тел к конечным элементам, для чего нужно выбрать характерный размер элемента, форму элемента, способы разбиения. Для моделирования объемных сплошных тел *ANSYS Workbench* по умолчанию использует 3D-элементы типа *SOLID187* и *BEAM188*. Конечный элемент (КЭ) *SOLID187* – трехмерный элемент объемного напряженно-деформированного состояния с десятью узлами в форме тетраэдра, при этом каждый узел обладает тремя степенями свободы – три перемещения вдоль осей узловой системы координат. Конечный элемент *BEAM188* – одномерный балочный конечный элемент. Это двухузловой КЭ с линейной, квадратичной или кубической аппроксимацией. Каждый узел обладает шестью степенями свободы: три перемещения в направлениях x , y , z и три угла поворота вокруг осей Ox , Oy , Oz . Элементы *SOLID187* и *BEAM188* возможно использовать как в задачах с линейной постановкой, так и в задачах с нелинейной постановкой с большими деформациями [4]. Конечные элементы имеют произвольную ориентацию в пространстве и обладают свойствами пластичности, ползучести, гиперупругости, изменения жесткости под действием нагрузок [5].

Исследуемая конечно-элементная модель принята в виде тетраэдров и состоит из 68 062 конечных элементов двух основных типов: *SOLID187* (трехмерный элемент объемного НДС с десятью узлами в форме тетраэдра) и *BEAM188* (одномерный балочный конечный элемент) средний «габаритный» размер элемента составлял 1 мм, открытый профиль 5 мм (рисунок 4) [6].

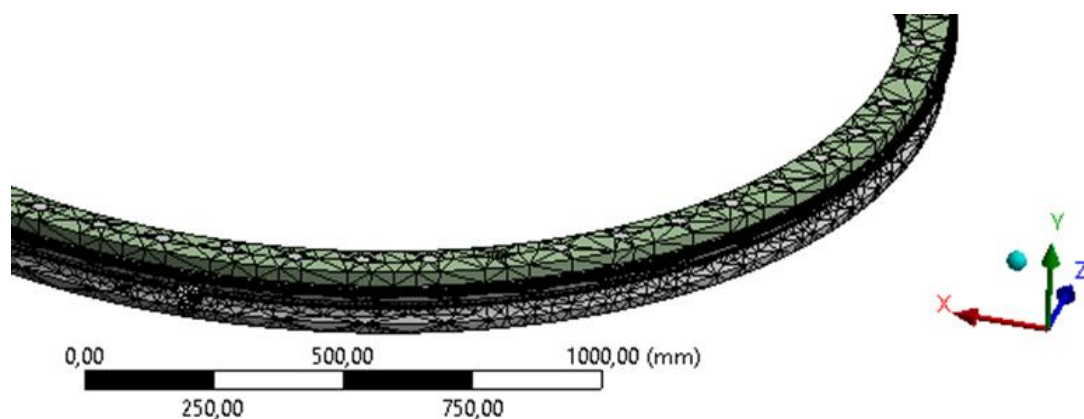


Рисунок 4. – Фрагмент модели ОПУ с нанесенной конечно-элементной сеткой

Кран, предназначенный для строительства 9-10-этажных зданий, имеет следующие характеристики: вылет стрелы – от 10 до 20 м, высота подъема крюка – до 33 м, грузоподъемность – 12,5 т, расстояние от оси вращения крана до центра масс в горизонтальной плоскости меняется от 5,75 м до 13,4 м. Для моделирования приложения удаленной силы и соблюдения равновесия между силой и моментом используем инструмент *Remote Force*.

Для данной конечно-элементной модели проводим статический расчет на прочность каждого болтового соединения. Воспользуемся модулем *Beam Prob*, предназначенным для определения уникального численного параметра каждого из 48 заданных соединений, который не будет перезаписываться и может использоваться для отслеживания в постобработке (таблица 1).

Таблица 1

● Result Summary

Probe: Beams	Axial Force	Shear Force At I	Shear Force At J	Units	Torque	Moment At I	Moment At J	Units	Time (s)
Beam Probe 37	84998	1627,6	1627,6	N	2,6481e-010	2,1775e+005	4,2276e-009	N*mm	1,
Beam Probe 44	84707	1565,2	1565,2	N	-2,3971e-010	2,0939e+005	4,1285e-009	N*mm	1,
Beam Probe 46	77982	1373,4	1373,4	N	-3,9784e-012	1,8373e+005	1,1621e-009	N*mm	1,
Beam Probe 35	77395	1313,	1313,	N	2,8163e-012	1,7565e+005	1,1194e-009	N*mm	1,
Beam Probe 38	67879	1409,	1409,	N	3,5958e-010	1,8849e+005	4,3469e-009	N*mm	1,
Beam Probe 43	67461	1418,9	1418,9	N	1,2241e-010	8,4933e-009	1,8982e+005	N*mm	1,
Beam Probe 42	62545	1386,7	1386,7	N	4,2801e-011	1,8551e+005	1,5608e-009	N*mm	1,
Beam Probe 40	62054	1293,2	1293,2	N	4,7692e-011	1,7301e+005	2,0729e-009	N*mm	1,
Beam Probe 39	62036	1321,	1321,	N	8,3113e-012	1,554e-009	1,7672e+005	N*mm	1,
Beam Probe 41	61759	1340,8	1340,8	N	-1,1414e-011	3,1088e-009	1,7937e+005	N*mm	1,
Beam Probe 34	53631	1340,	1340,	N	8,2607e-012	1,6716e-009	1,7927e+005	N*mm	1,
Beam Probe 47	53480	1346,2	1346,2	N	-8,433e-012	1,6599e-009	1,8009e+005	N*mm	1,
Beam Probe 48	41246	1350,5	1350,5	N	-1,1318e-010	1,8067e+005	6,779e-010	N*mm	1,
Beam Probe 33	41182	1330,7	1330,7	N	1,0832e-010	1,7803e+005	7,025e-010	N*mm	1,
Beam Probe 32	35024	1366,	1366,	N	-1,8548e-011	2,5096e-009	1,8275e+005	N*mm	1,
Beam Probe 49	34663	1291,7	1291,7	N	1,6844e-011	2,4577e-009	1,7281e+005	N*mm	1,
Beam Probe 50	29641	1366,2	1366,2	N	-4,0003e-010	1,8277e+005	1,7287e-009	N*mm	1,
Beam Probe 31	29464	1318,2	1318,2	N	3,8453e-010	1,7634e+005	1,8676e-009	N*mm	1,
Beam Probe 51	23598	1337,5	1337,5	N	5,6559e-011	1,1525e-009	1,7893e+005	N*mm	1,
Beam Probe 30	23538	1342,2	1342,2	N	-5,6105e-011	1,1257e-009	1,7956e+005	N*mm	1,
Beam Probe 29	17104	1336,2	1336,2	N	-3,9207e-010	1,7876e+005	2,5304e-009	N*mm	1,
Beam Probe 52	17072	1354,6	1354,6	N	5,0822e-010	1,8122e+005	2,1774e-009	N*mm	1,
Beam Probe 28	10728	1340,2	1340,2	N	-7,2933e-011	1,343e-009	1,793e+005	N*mm	1,
Beam Probe 53	10723	1342,8	1342,8	N	1,0612e-010	1,3775e-009	1,7964e+005	N*mm	1,
Beam Probe	-3201,3	1319,8	1319,8	N	1,099e-010	1,355e-009	1,7657e+005	N*mm	1,
Beam Probe 26	-3218,5	1322,7	1322,7	N	3,6076e-010	1,7695e+005	1,3484e-009	N*mm	1,
Beam Probe 25	-11303	1303,2	1303,2	N	1,1063e-010	1,635e-009	1,7434e+005	N*mm	1,
Beam Probe 2	-11401	1319,1	1319,1	N	-8,5648e-011	2,0685e-009	1,7647e+005	N*mm	1,

При расчете прочности болтового соединения без зазора не учитывают силы трения в стыке, стержень болта рассчитывают по напряжениям среза. Напряжение смятия в сечении детали при перпендикулярном сечении болта по поверхности контакта распределено по серповидному закону с максимальным значением по линии действия силы. При разбитом болтовом отверстии болт без зазора начинает работать как болт с зазором, момент передается за счет сил трения между фланцем внутреннего кольца и фланцем обечайки.

На основании полученных расчетных данных делаем вывод о том, что болты, равноудаленные от оси вращения крана до вертикальной оси, проходящей через башню, недогружены, а в области примыкания к поворотной раме консоли противовеса и стрелы нагружены неравномерно.

Для определения параметров разрушения болтового соединения моделируем обрыв наиболее нагруженной области болтового крепления (*Beam Probe 37, 44*) опорно-поворотного устройства в растянутой области (таблица 2).

Таблица 2

Probe: Beams	Axial Force	Shear Force At I	Shear Force At J
Beam Probe 38	1,086e+005	1641,7	1641,7
Beam Probe 43	1,0789e+005	1637,	1637,
Beam Probe 46	99945	1262,7	1262,7
Beam Probe 35	99347	1223,4	1223,4

При оборванных 37 и 44 болтах (*Beam Probe 37, 44 Axial Force=0*) моделируем разрушение болтовых соединений в наиболее нагруженной области болтового крепления (*Beam Probe 38, 43*) опорно-поворотного устройства в растянутой области (таблица 3).

Таблица 3

Probe: Beams	Axial Force	Shear Force At I	Shear Force At J
Beam Probe 42	1,3902e+005	1988,4	1988,4
Beam Probe 39	1,3883e+005	1916,	1916,
Beam Probe 46	1,363e+005	1384,3	1384,3
Beam Probe 35	1,3588e+005	1382,8	1382,8
Beam Probe 40	55675	1227,6	1227,6

Продолжаем моделировать разрушение болтовых соединений, имитируя обрыв наиболее нагруженной области болтового крепления (*Beam Probe 39, 42*) опорно-поворотного устройства в растянутой области (таблица 4).

Таблица 4

Probe: Beams	Axial Force	Shear Force At I	Shear Force At J
Beam Probe 40	1,7535e+005	1847,7	1847,7
Beam Probe 41	1,7424e+005	1993,8	1993,8
Beam Probe 46	1,6826e+005	1596,4	1596,4
Beam Probe 35	1,6756e+005	1626,5	1626,5
Beam Probe 34	49066	840,21	840,21

Разрушение болтового крепления опорно-поворотного устройства происходит по наиболее нагруженным болтам *Beam Probe 40, 41, 46, 35*, для материала которых превышен предел текучести. Силы начинают расти, работая на растяжение, и превышают предельно допустимые 15 т.

При возрастающем моменте, созданном противовесом, резко возрастает нагрузка не только на болты ОПУ, но и на металлоконструкции поворотной и неповоротной рам крана, начинается перекося сначала поворотной рамы, а затем и дополнительное нагружение крепящих ее к ОПУ болтов, «чистый болт» начинает работать как «черный», что ведет к последующему его обрыву.

Заключение

Разработана конечно-элементная модель разрушения болтового соединения в программном комплексе *ANSYS Workbench*. В результате компьютерного моделирования получено, что недотянутые болты начинают работать как болты

с зазором; возникают не только сдвиговые напряжения, но и напряжения кручения, связанные с дополнительной затяжкой.

Нормальная сила вызывает изгиб болтов, что приводит к возникновению в них значительных изгибных напряжений, наложенных на растягивающие напряжения от затяжки болтов. Особенно высок уровень таких напряжений в ближайших к моментной нагрузке болтах 35, 40, 41, 46, в которых превышена предельно допустимая сила равная 15 т.

Изгиб болтов приводит к возникновению в ОПУ зон с повышенным уровнем растягивающих контактных напряжений на выходах из отверстий, а также к неравномерному распределению растягивающих напряжений на боковых поверхностях этих отверстий, что вызывает их местное повреждение. При разбитых отверстиях рамы калиброванный болт начинает работать как болт с зазором, что ведет к последующему его обрыву.

ЛИТЕРАТУРА

1. Департамент по надзору за безопасным ведением работ в промышленности Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь: [Электронный ресурс]. URL: <https://gospromnadzor.mchs.gov.by>. – Дата доступа: 29.07.2023.

2. ГОСТ 1759.4-87 «Болты, винты и шпильки. Механические свойства и методы испытаний».

3. Дьяков, И.Ф. К расчету оболочки, укрепленной тонкостенными стержнями / И.Ф. Дьяков, С.А. Чернов // Автоматизация и современные технологии. – 2008. – № 1. – С. 16–20.

4. Басов, К.А. ANSYS в примерах и задачах / К.А. Басов; под общ. ред. Д. Г. Красковского. – М.: Компьютер-Пресс, 2002. – 223 с.

5. Мартыненко, Т.М. Анализ механических характеристик узловых соединений строительных конструкций на основе моделирования в среде ANSYS / Т.М. Мартыненко, О.О. Смиловенко, В.А. Максимович, М.В. Мелюх // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F Строительство. Прикладные науки. – 2023. – С. 39–44.

6. Конструирование зданий и сооружений. Легкие стальные тонкостенные конструкции: учеб. пособие / Н.И. Ватин, Е.Н. Жмарин, В.Г. Куражова, К.Ю. Усанова. – СПб.: Политехн. ун-т, 2012. – 266 с.

REFERENCE

1. Departament po nadzoru za bezopasnym vedeniem rabot v promyshlennosti Ministerstvo po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus': [Elektronnyj resurs]. URL: <https://gospromnadzor.mchs.gov.by>. (29.07.2023).

2. GOST 1759.4-87 «Bolty, vinty i shpil'ki. Mekhanicheskie svojstva i metody ispytanij».

3. D'yakov, I.F. K raschetu obolochki, ukreplennoj tonkostennymi sterzhnyami / I.F. D'yakov, S.A. Chernov // Avtomatizaciya i sovremennye tekhnologii. – 2008. – № 1. – S. 16–20.

4. Basov, K.A. ANSYS v primerah i zadachah / K.A. Basov; pod red. D.G. Kraskovskogo. – M.: Komp'yuter-Press, 2002. – 223 s.

5. Martynenko, T.M. Analiz mekhanicheskikh harakteristik uzlovyh so-edinenij stroitel'nyh konstrukcij na osnove modelirovaniya v srede ANSYS / T.M. Martynenko, O.O. Smilovenko, V.A. Maksimovich, M.V. Melyuh // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. – 2023. – S. 39–44.

6. Konstruirovaniye zdaniy i sooruzhenij. Legkie stal'nye tonkostennyye konstrukcii: ucheb. posobie / N.I. Vatin, E.N. Zhmarin, V.G. Kurazhova i dr. – SPb.: Politekhn. un-t, 2012. – 266 s.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.32-38>

УДК 614.841.332

Михеев Е.А., канд. техн. наук Подболотов К.Б.*

О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ НА ОДНООСНОЕ СЖАТИЕ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ НАГРЕВЕ

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

**Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, г. Минск*

Проведен анализ применяемых при строительстве в несущих и ограждающих конструкциях зданий легких бетонов. Установлено что вопрос огнесохранности конструкций из ячеистых бетонов почти не рассматривался. Разработана методика проведения испытания изделий из керамзитобетона, силикатного бетона, пенобетона и шлакобетона для получения зависимостей кажущейся плотности, усадки и прочности на одноосное сжатие ячеистого бетона (коэффициента условий работы при пожаре) от температуры 20...1000 °С.

Ключевые слова: легкие бетоны, ячеистый бетон, огнесохранность, методика, высокотемпературный нагрев, пожар.

Mikheyev Y.A., Ph.D. in Technology Podbolotov K.B.*

ABOUT THE METHOD OF DETERMINING THE UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH OF CELLULAR CONCRETE AT HIGH TEMPERATURE HEATING

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

**The State scientific institution "Physical-technical institute of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk*

An analysis of lightweight concrete used in the construction of load-bearing and enclosing structures of buildings was carried out. It was established that the issue of fire safety of structures made of cellular concrete is almost not considered. A methodology for testing products made of expanded clay concrete, silicate concrete, foam concrete and slag concrete is developed to obtain the dependences of the apparent density, shrinkage and uniaxial compressive strength of cellular concrete (coefficient of working conditions in case of fire) on temperature 20...1000 °С.

Keywords: lightweight concrete, cellular concrete, fire safety, methodology, high-temperature heating, fire.

Легкий бетон – один из наиболее распространенных материалов, широко применяемый в современное время в несущих и ограждающих конструкциях зданий. К легким относят группу бетонов с объемным весом от 800 до 1800 кг/м³ и отсутствием в структуре крупного и тяжелого заполнителя. Именно благодаря малому весу материал получил свое название. Экологич-

ность, дешевизна, низкая плотность и теплопроводность в сочетании с достаточной прочностью и легкостью в обработке обеспечили указанному строительному материалу повсеместное применение.

Легкие бетоны классифицируются по трем основным критериям:

по назначению – теплоизоляционные, конструкционные, конструкционно-теплоизоляционные;

по структуре (способу получения) – обыкновенные, крупнопористые, ячеистые;

по составу – пенобетон, керамзитобетон, опилкобетон, силикатный бетон и другие.

В строительном комплексе Республики Беларусь легкий бетон прочно занимает одно из ведущих мест, широко применяется не только в массовом строительстве, но и при сооружении уникальных объектов, таких как Национальная библиотека Беларуси, где использованы как блоки из ячеистого бетона, так и армированные стеновые панели. При наличии собственной сырьевой базы и развитого производства, оснащенного современным технологическим оборудованием, производство ячеистого бетона автоклавного твердения стало одним из самых динамично развивающихся отраслей промышленности строительных материалов Республики Беларусь [1].

В рамках изучения легких бетонов выбраны ячеистые бетоны с различными составами, а именно керамзитобетон, силикатный бетон, пенобетон и шлакобетон, которые получили наибольшее распространение среди ячеистых бетонов.

Вместе с высокими эксплуатационными характеристиками ячеистый бетон является неорганическим негорючим материалом, обладающим высокой огнестойкостью. Огнестойкость – это способность строительных конструкций выполнять несущие и ограждающие функции при пожаре. При этом номенклатура испытанных конструкций в Республике Беларусь [2], как правило, включает толстостенные конструкции толщиной 300...400 мм, испытанные под конкретной центрально приложенной нагрузкой, показывающие пределы огнестойкости 90...150 минут и более. Распространить указанные испытания на всю номенклатуру изделий, выпускаемых в Республике Беларусь, не представляется возможным.

При этом в Республике Беларусь действует ТКП EN 1996-1-2 и СТБ EN 12602 [3, 4], включающие аналитические методики по оценке огнестойкости автоклавных ячеистых бетонов. Однако данные, представленные в данных стандартах, несколько ограничены и являются по сути частным случаем теории огнестойкости железобетонных конструкций. Иные литературные источники [5] свидетельствуют о повышении прочности ячеистого бетона при повышенных температурах, а также о значительной усадке в области 700...1000 °С. Вопрос огнестойкости изделий из ячеистого бетона практически не рассматривается [6].

Так, анализ литературных источников и технических нормативных правовых актов показал, что ячеистобетонные блоки являются эффективными строи-

тельными материалами, для оценки огнестойкости и огнесохранности которых необходимо проведение лабораторных экспериментальных исследований.

Для того чтобы понять, какие изменения происходят в структуре материала, как меняются его свойства, т. е. как влияют внутренние факторы на поведение материала в условиях пожара, необходимо хорошо знать сам материал: его происхождение, сущность технологии изготовления, состав, начальную структуру и свойства. Поэтому как внешние, так и внутренние факторы определяют теоретические основы и общие закономерности поведения строительных материалов в условиях пожара [7].

Для оценки механических свойств бетона при пожаре введено понятие стойкости [3, 8]. Под стойкостью в данном контексте понимается совокупность прочностных свойств бетона, способствующих обеспечению нормируемой огнестойкости железобетонных конструкций [8]. В ходе оценки огнестойкости железобетонных конструкций для определения прочности бетона при заданной температуре следует руководствоваться следующей зависимостью:

$$f_{cd}(\theta) = f_{ck} \cdot k_c(\theta), \quad (1)$$

где f_{ck} – нормативное сопротивление бетона сжатию; $k_c(\theta)$ – коэффициент условий работы бетона при пожаре.

Коэффициент условий работы бетона при пожаре $k_c(\theta)$ учитывает изменение сопротивления бетона на осевое сжатие с увеличением температуры. Он характеризует стойкость бетона к нагреву и показывает долю оставшейся прочности бетона на сжатие при заданной температуре от начальной [9, 10]:

$$K_c(\theta) = \frac{f_c(\theta)}{f_c(20)}, \quad (2)$$

где $f_c(\theta)$, $f_c(20)$ – сопротивление бетона сжатию (прочность бетона на сжатие) при температуре нагрева θ и в нормальных (начальных) условиях (при 20 °С).

Следует отметить, что расчетные методы оценки пределов огнестойкости железобетонных конструкций базируются на использовании значений $k_c(\theta)$ для бетонов, уплотненных вибрированием.

В рамках диссертационной работы запланированы лабораторные экспериментальные исследования ячеистых бетонов при высокотемпературном нагреве.

Целью является получение зависимостей кажущейся плотности, усадки и прочности на одноосное сжатие ячеистого бетона (коэффициента условий работы при пожаре) от температуры 20...1000 °С.

Проанализировав существующие методики по оценке механических характеристик бетона при нагреве в зависимости от последовательности проведения элементов испытаний, можно выделить три основные:

нагрев образцов до заданных температур; выдержка при этой температуре для их равномерного прогрева; охлаждение образцов до нормальной температуры; приложение к ним нагрузки до момента разрушения [3, 8, 11, 12, 13];

нагрев и выдержка образцов при заданной температуре; приложение нагрузки к образцам до момента разрушения [3, 8, 11, 12, 13];

нагружение образцов до создания требуемого уровня напряжений; нагрев их с заданной скоростью до момента разрушения [3, 8, 11, 12, 13];

Ввиду отсутствия дорогостоящего оборудования, особенностей изучаемого материала, а также с целью более подробного изучения его физико-механических характеристик после нагрева и его охлаждения (ввиду проводимых исследований материалов конструкций после пожара) испытания образцов будут проводиться с отдельным нагревом до заданной температуры, охлаждением и последующим испытанием на автоматической сжимающе-разрывной испытательной машине [14].

Проведение испытаний запланировано в следующем порядке:

1. Получение изделий из керамзитобетона, силикатного бетона, пенобетона и шлакобетона с заданными физико-механическими характеристиками и геометрическими параметрами.

2. Отбор опытных образцов изделия путем выпиливания.

3. Хранение образцов до набора марочной прочности бетона.

4. Нагрев, выдержка и охлаждение до начальной температуры по заданному режиму опытных образцов.

5. Определение кажущейся плотности и прочности бетона на одноосное сжатие на образцах, не подвергавшихся нагреву (в начальных условиях).

6. Взвешивание образцов после нагрева и оценка их плотности.

7. Определение усадки, прочности на одноосное сжатие (коэффициента условий работы бетона при пожаре) опытных образцов после нагрева (в остывшем состоянии).

8. Обработка экспериментальных данных.

Для определения коэффициента $k_c(\theta)$ в качестве опытных образцов используются фигуры, имеющие место при испытаниях в нормальных условиях. Форма образцов оказывает существенное влияние при замере деформаций, однако относительная прочность цилиндров, призм и кубов, нагруженных после нагрева до температуры 480 °С, оказывается примерно одинаковой [16]. Так, по результатам анализа и согласно [18] в качестве образцов предполагается использование цилиндров.

Нагрев образцов будет происходить до различных температур, первые 4 образца будут нагреты до температуры 200 °С и в дальнейшем охлаждены, другие 4 образца будут нагреты до температуры 400 °С и в дальнейшем охлаждены и так далее с шагом 200 °С до 1000 °С соответственно.

При испытаниях будет происходить повышение температуры в электрической печи со скоростью 120–150 °С/ч, что позволит исключить всевозможные «структурные» факторы: тепловые градиенты, растрескивание. После достижения необходимой температуры в печи образцы будут выдерживаться для равномерного прогрева бетона.

Охлаждение образцов будет проводиться в закрытой печи по инерционному режиму, но не менее 12 часов до температуры (30 ± 10) °С. Измерение массы и размеров образцов на всех этапах испытаний позволит выявить зави-

симости изменения кажущейся плотности и усадки ячеистого бетона при нагреве до высоких температур и последующего охлаждения.

Также планируется установить зависимость изменения коэффициента условия работы бетона после пожара при условии охлаждения испытуемых образцов с помощью огнетушащих веществ (вода). Это позволит максимально смоделировать ситуацию анализа конструкции после пожара.

Исследование особенностей изменения физико-механических свойств ячеистых бетонов, а также их комбинаций с отделочными и теплоизоляционными материалами при пожаре необходимо для объективной оценки возможности дальнейшей эксплуатации строительных конструкций.

Данные исследования помогут установить зависимость показателей кажущейся плотности, усадки и прочности на одноосное сжатие ячеистого бетона (коэффициента условий работы при пожаре) при температуре от 20 до 1000 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудряшов, В.А. Огнестойкость и огнесохранность сжатых конструкций с применением автоклавных ячеистобетонных блоков. Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения / В.А. Кудряшов, Нгуен Тхань Киен, Чан Чунг Хиеу, М.М. Мордич // 10-я Международная науч.-практ. конф., Минск – Могилев, 29–31 мая 2018 г. – 148 с.

2. ТКП 45-2.02-110-2008 (02250). Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости. – Взамен П1-02 к СНБ 2.02.01-98. – Введ. 12.06.2008. – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2008. – 126 с.

3. ТКП EN 1996-1-2-2009 (02250). Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости – Введ. 01.01.2010. – Минск : Минстройархитектуры, 2010. – 100 с.

4. СТБ EN 12602-2020 Изделия армированные из автоклавного ячеистого бетона. – Введ. 06.02.2020. – Минск : Госстандарт, 2020. – 170 с.

5. Галкин, С.Л. Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика / С.Л. Галкин [и др.]. – Минск : Стринко, 2006. – 448 с.

6. Нгуен Тхань Киен Огнестойкость автоклавного ячеистого бетона на основе экспериментальных диаграмм деформирования после высокотемпературного нагрева / В.А. Нгуен Тхань Киен, Кудряшов // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 2 (24).

7. Свойства и поведение строительных материалов в условиях пожара : учеб. пособие / Б.Ж. Битуев [и др.]. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. – 148 с.

8. Полевода, И.И. Огнестойкость изгибаемых железобетонных конструкций из высокопрочного бетона : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / И. И. Полевода. – Минск, 2004. – 202 л.

9. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона : ГОСТ 24452-80. – Введ. 01.01.1982. – М. : Стандартинформ, 2005. – 14 с.

10. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования: курс лекций для студентов строительных специальностей / Н.П. Блещик [и др.] ; под ред. Т.М. Пецольда, В. В. Тура. – Брест : БГТУ, 2003. – 380 с.

11. Husem, M. The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete / M. Husem // Fire Safety Journal. – 2006. – Vol. 41 (2). – P. 155–163.

12. Нисаев, И.П. Бетон при высокотемпературном воздействии / И.П. Нисаев, А.А. Локтев // Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем : сб. трудов Междунар. конф., Москва, 26 мая 2017 г. / Нац. исслед. ун-т «Моск. ин-т электрон. техн.» ; редкол.: В. Л. Горбунов [и др.]. – 2017. – С. 92–97.

13. Прочностные характеристики фибробетона для тоннельных сооружений в условиях высоких температур / В.И. Голованов [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 2. – С. 63–67.

14. Нехань, Д.С. Огнестойкость центрифугированных железобетонных колонн : дис. ... канд. тех. наук : 05.-26.03 / Д.С. Нехань. – Минск, 2022. – 249 с.

REFERENCES

1. Ognestojkost' i ognesohrannost' szhatyh konstrukcij s primeneniem avtoklavnyh yacheistobetonnyh blokov. Opyt proizvodstva i primeneniya yacheistogo betona avtoklavnogo tverdeniya / Kudryashov V.A., Nguen Than' Kien, CHan CHung Hieu, Mordich M.M. // 10-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Minsk – Mogilev, 29–31 maya 2018 g. – 148 s.

2. ТКР 45-2.02-110-2008 (02250). Stroitel'nye konstrukcii. Poryadok rascheta predelov ognestojkosti. – Vzamen P1-02 k SNB 2.02.01-98. – Vved. 12.06.2008. – Minsk : RUP «Strojtekhnorm», 2008. – 126 s.

3. ТКР EN 1996-1-2-2009 (02250). Evrokod 6. Proektirovanie kamennyh konstrukcij. CHast' 1-2.Obshchie pravila opredeleniya ognestojkosti – Vved. 01.01.2010. – Minsk : Ministrojarhitektury, 2010. – 100 s.

4. STB EN 12602-2020 Izdeliya armirovannye iz avtoklavnogo yacheistogo betona. – Vved. 06.02.2020. – Minsk : Gosstandart, 2020. – 170 s.

5. Galkin, S.L. Primenenie yacheistobetonnyh izdelij. Teoriya i praktika / S.L. Galkin [i dr.]. – Minsk : Strinko, 2006. – 448 s.

6. Ognestojkost' avtoklavnogo yacheistogo betona na osnove eksperimental'nyh diagramm deformirovaniya posle vysokotemperaturnogo nagreva / Nguen Than' Kien, Kudryashov V.A. // Vestnik Komandno-inzhenerного института MCHS Respubliki Belarus'. – 2016. – № 2 (24).

7. Svoystva i povedenie stroitel'nyh materialov v usloviyah pozhara : ucheb. posobie / В. ЗН. Bituev, V. M. Rojzman, В. В. Serkov i dr. – М. : Akademiya GPS MCHS Rossii, 2016. – 148 s.

8. Polevoda, I. I. Ognestojkost' izgibaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij iz vysokoprochnogo betona : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.01 / I. I. Polevoda. – Minsk, 2004. – 202 l.

9. Betony. Metody opredeleniya prizmennoj prochnosti, modulya uprugosti i koefficienta Puassona : GOST 24452-80. – Vved. 01.01.1982. – M. : Standartinform, 2005. – 14 s.

10. ZHelezobetonnye konstrukcii. Osnovy teorii, rascheta i konstruiro-vaniya: kurs lekciy dlya studentov stroitel'nyh special'nostej / N. P. Bleshchik [i dr.] ; pod red. T. M. Pecol'da i V. V. Tura. – Brest : BGTU, 2003. – 380 s.

11. Husem, M. The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete / M. Husem // Fire Safety Journal. – 2006. – Vol. 41 (2). – P. 155–163.

12. Nisaev, I. P. Beton pri vysokotemperaturnom vozdejstvii / I. P. Nisaev, A. A. Loktev // Innovacionnye podhody k resheniyu tekhniko-ekonomicheskikh problem : sb. trudov Mezhdunar. konf., M., 26 maya 2017 g. / Nac. issled. un-t «Mosk. in-t elektron. tekhn.» ; redkol.: V. L. Gorbunov [i dr.]. – 2017. – S. 92–97.

13. Prochnostnye harakteristiki fibrobetona dlya tunnel'nyh sooruzhenij v usloviyah vysokih temperatur / V. I. Golovanov [i dr.] // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. – 2017. – № 2. – S. 63–67.

14. Nekhan', D.S. Ognestojkost' centrifugirovannyh zhelezobetonnyh kolonn: dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.-26.03 / D.S. Nekhan'. – Minsk, 2022. – 249 s.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.39-44>

УДК 614.8

канд. воен. наук Пархомчик Э.А., Лукьянчик Д.П., Маслыко Е.М.

О КЛАССИФИКАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

В статье рассматривается порядок классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, произошедших на территории Республики Беларусь.

Ключевые слова: классификация чрезвычайных ситуаций, критерии, признак чрезвычайных ситуаций, ситуация, чрезвычайная ситуация.

Ph.D. in Military Parkhomchik E.A., Lukyanchyk D.P., Maslyko E.M.

ABOUT THE CLASSIFICATION OF NATURAL AND MAN-MADE EMERGENCY SITUATIONS

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

The article describes the procedure for classifying natural and man-made emergency situations that occurred on the territory of the Republic of Belarus.

Keywords: emergency classification, criteria, emergency sign, situation, emergency.

Ежегодно в Республике Беларусь происходит значительное количество чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (далее – ЧС). Как правило, происходящие ЧС оказывают негативное воздействие на социально-экономическую обстановку, приводят к тяжелым последствиям, ликвидация которых требует больших усилий, материальных и финансовых затрат.

В этой связи с целью оперативного принятия решений, а также для скоординированной работы всех органов управлений по ЧС важным направлением является классификация ЧС.

Классификация ЧС – разделение ЧС по классам, группам, видам и уровням в зависимости от сферы их возникновения, характера явлений и процессов, масштаба возможных последствий и других факторов.

В настоящее время в Республике Беларусь классификация ЧС осуществляется на основании Инструкции о классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, утвержденной постановлением МЧС от 19 февраля 2003 г. № 17 (далее – Инструкция) [1].

Ввиду того, что требования, предъявляемые к классификации ЧС, с учетом меняющейся нормативной правовой базы устарели [2], подготовлена новая Инструкция.

Следует отметить, что классификации подлежат все ЧС, которые соответствуют требованиям, определенным статьей 5 Закона Республики Беларусь от 5 мая 1998 г. № 141-З «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (далее – Закон) [3].

Проведенный анализ показал, что аналогичные нормативные правовые акты по классификации ЧС существуют и в других странах СНГ: в Российской Федерации – приказ МЧС России от 05.07.2021 № 429 «Об установлении критериев информации о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера», в Кыргызской Республике – постановление Правительства от 22.11.2018 № 550 «Об утверждении Классификации чрезвычайных ситуаций и критериев их оценки в Кыргызской Республике», в Республике Казахстан – приказ Председателя Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан от 14.04.2015 № 78 «Об утверждении Классификатора чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и информационно-справочных карточек» и т.д.

Классификация ЧС осуществляется по следующим признакам:

- территориальное распространение;
- наличие или угроза гибели людей;
- наличие пострадавших людей;
- причинение вреда окружающей среде;
- причинение значительного материального ущерба;
- нарушение условий жизнедеятельности людей.

Кроме того, для классификации ЧС учитываются обстоятельства, которые возникли в результате ЧС и привели к нарушению условий жизнедеятельности людей, а именно:

отсутствие питьевого водоснабжения, канализации, теплоснабжения (в осенне-зимний период), газо- и электроснабжения при превышении значений, установленных дополнительными критериями;

нарушение технического состояния строительных конструкций жилого здания и отдельных его элементов, в результате которого оно стало непригодно для проживания людей.

Важно отметить, что отнесение ситуации к ЧС осуществляется по алгоритму, представленному на рисунке 1.

Решение по отнесению ЧС к соответствующему классу, группе, виду и уровню осуществляют органы управления по ЧС соответствующего уровня [4].

В ходе переработки Инструкции определен актуальный и исчерпывающий перечень признаков ЧС и критериев их классификации с учетом мнения заинтересованных республиканских органов государственного управления и местных исполнительных и распорядительных органов и действующей нормативной правовой базы (было 73 вида ЧС и 208 критериев, стало 53 вида ЧС и 158 критериев).

Например, 14 видов ЧС и 24 критерия отнесения ситуации к ЧС, относящихся к компетенции Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, были сокращены до 2 видов и 9 критериев с учетом действующих локальных нормативных правовых актов Минприроды, даны соответствующие

ссылки на данные документы. Аналогичные подходы были применены в отношении ЧС, относящихся к компетенции других госорганов.

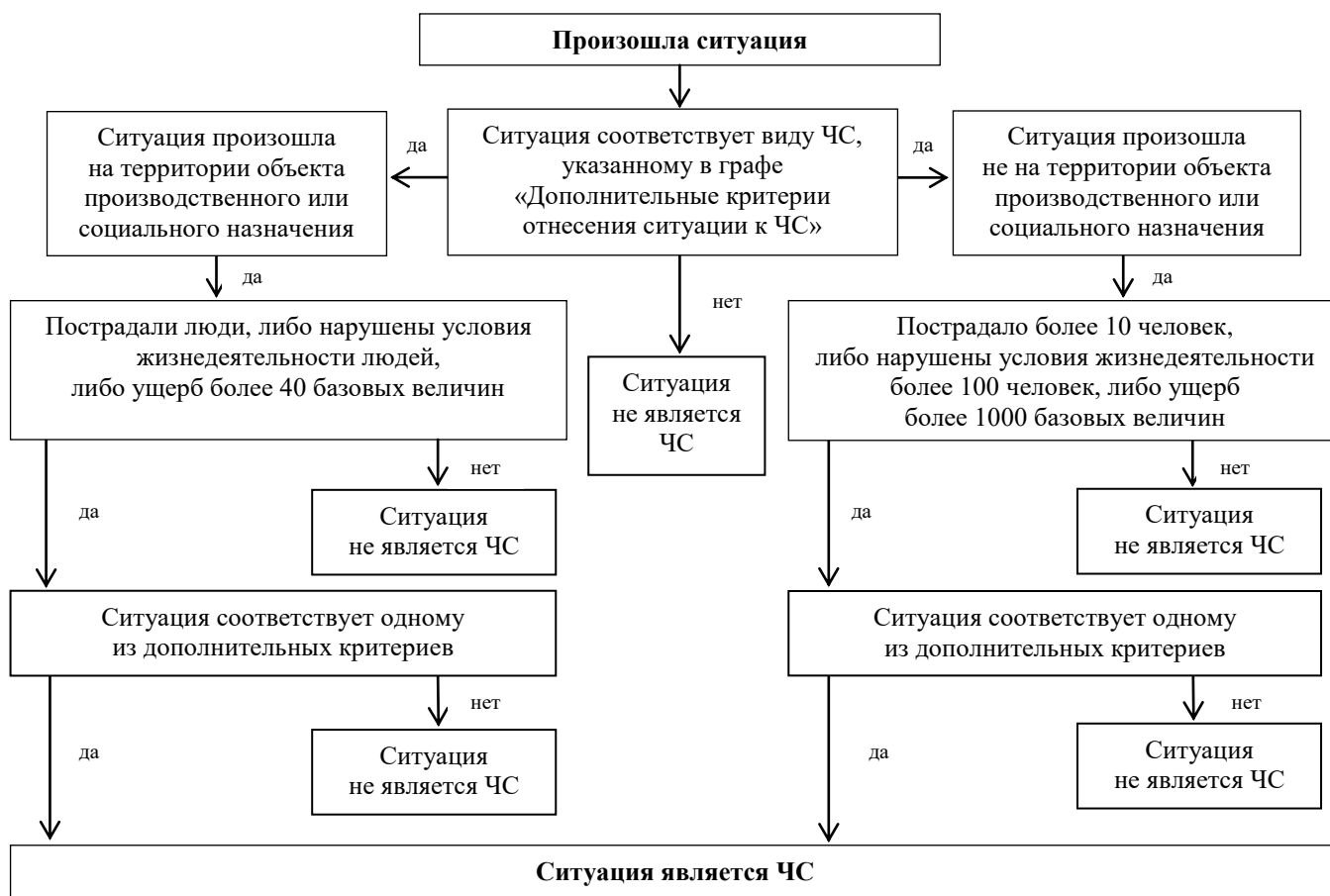


Рисунок 1. – Алгоритм отнесения ситуации к ЧС

Ввиду того, что уровни ЧС определены статьей 5 Закона Республики Беларусь от 5 мая 1998 г. № 141-З «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», в новой редакции Инструкции данные уровни исключены и установлено минимальное значение критерия классификации ЧС, превышение которого позволяет отнести ЧС к определенному классу, группе, виду и уровню.

Определение порогового значения уровня ЧС при установленных фактических или прогнозных значениях последствий ЧС (территориальное распространение ЧС, количество пострадавших людей, количество людей, для которых нарушены условия жизнедеятельности, размер материального ущерба) осуществляется по алгоритму согласно рисунку 2.

В случае, если последствия ЧС могут быть отнесены к разным классам или видам ЧС, окончательное решение относительно ее классификации принимают органы управления по ЧС на том уровне, к которому относится эта ситуация.

На основании изложенного в качестве примера рассмотрим следующую ситуацию.

В результате порывов ветра произошло повреждение крыш 18 производственных и 25 сельскохозяйственных эксплуатирующихся зданий на объектах

Лунинецкого района Брестской области. Материальный ущерб составил более 1000 базовых величин.

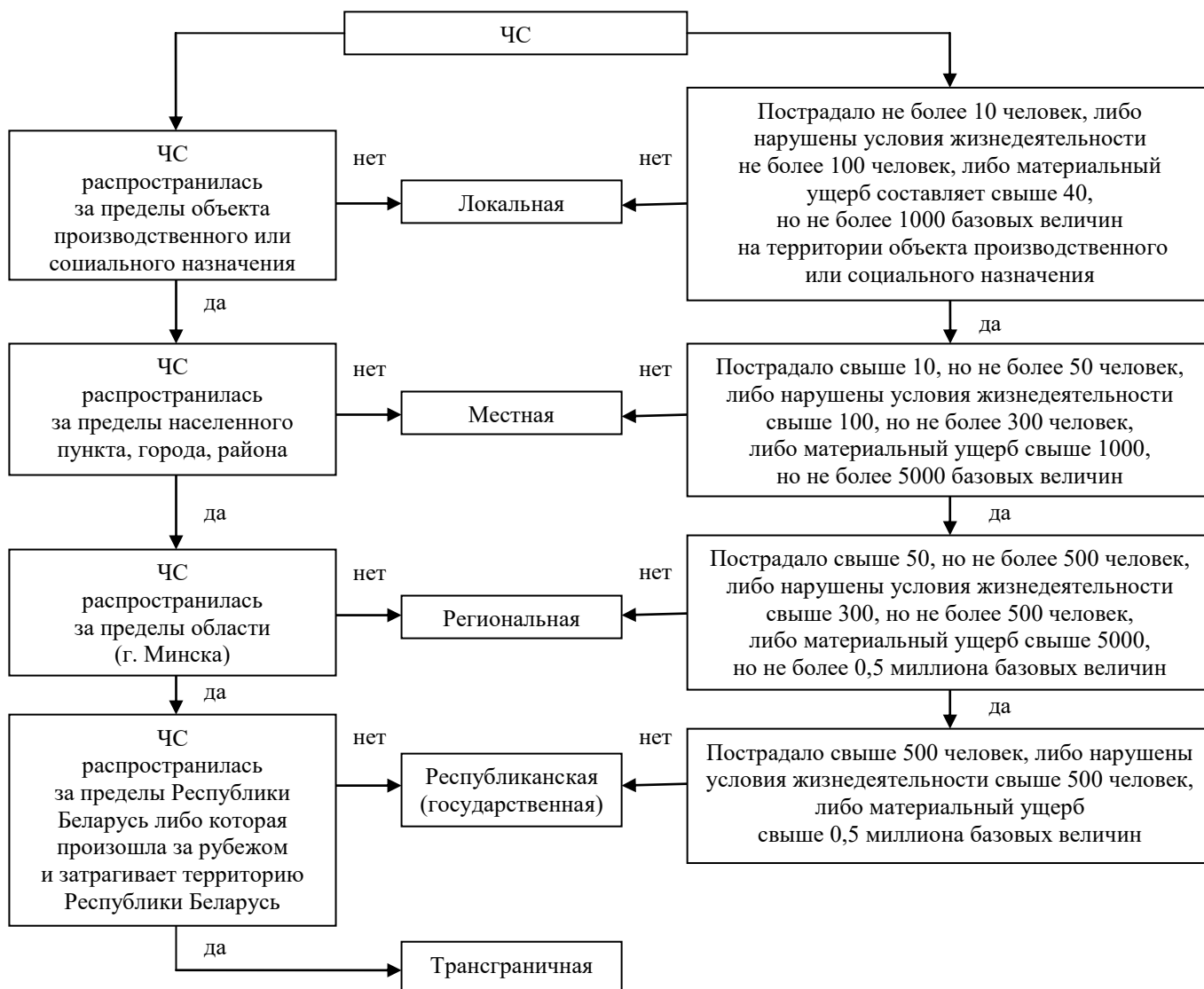


Рисунок 2 – Алгоритм определения порогового значения уровня ЧС при установленных фактических или прогнозных значениях последствий ЧС

Для классификации и отнесения ЧС к соответствующему классу, группе, виду и уровню проверяем данную ситуацию на наличие имеющихся признаков ЧС в соответствии с новой редакцией Инструкции.

Согласно имеющимся данным ситуация может классифицироваться как чрезвычайная, так как имеет признак ЧС «Повреждение (разрушение) крыши эксплуатирующего здания и (или) сооружения или ее отдельных элементов» (код ЧС 20201) и критерий классификации ЧС, которым является материальный ущерб (свыше 40 базовых величин). Кроме того, согласно Закону данная ситуация имеет местный уровень ЧС.

Следует отметить, что данная ситуация будет классифицирована как ЧС только в том случае, если имеется подтверждение на дату возникновения ситуации о прохождении на данной территории неблагоприятных метеорологических явлений.

Таким образом, четкая и единообразная классификация необходима для оперативного принятия и точного исполнения управленческих решений по предупреждению и ликвидации ЧС, а также для скоординированной работы привлекаемых сил и средств организаций, местных исполнительных и распорядительных органов, республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных Совету Министров Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование радиационной, химической и биологической защиты населения Российской Федерации: отчет о НИР (заключ.) / ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); исполн.: Романов Р.В. [и др.]. – М., 2020. – С. 1035.

2. Научно-методическое сопровождение мероприятий по организации обеспечения населения средствами индивидуальной защиты: отчет о НИР (заключ.) / ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); исполн.: Молчанов С.А. [и др.]. – М., 2020. – С. 174.

3. Горбунов, С.В. Состояние и перспективы радиационной, химической и биологической защиты сил МЧС России / С.В. Горбунов, А.С. Старостин, Г.С. Черных // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – Т. 4. № 1(6). – С. 48–60.

4. Кольцов, Г.И. Применение подразделений радиационной, химической и биологической защиты спасательного центра МЧС России / Г.И. Кольцов // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2014. – № 2. – С. 19–23.

5. Черных, Ж.В. Анализ организационно-штатной структуры спасательных центров МЧС России, как основной тактической единицы спасательных воинских формирований МЧС России, и их задача на мирное и военное время / Ж.В. Черных // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2013. – № 2. – С. 87–92.

6. Черных, Г.С. Проблемы и направления совершенствования радиационной, химической и биологической защиты спасательных формирований в системе МЧС России / Г.С. Черных, Е.А. Горячев // Технологии гражданской безопасности. – 2013. – Т. 10. № 3 (37). – С. 50–54.

REFERENCE

1. Romanov R.V., Kosyrev P.N., Novikov O.N., Sadovskij I.L. i dr. Sovershenstvovanie radiacionnoj, himicheskoy i biologicheskoy zashchity nasele-niya Rossijskoj Federacii // Zaklyuchitel'nyj otchet o NIR. – M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2020. – S. 1035.

2. Molchanov S.A., Romanov R.V., Kosyrev P.N. Novikov O.N. i dr. Nauchno-metodicheskoe soprovozhdenie meropriyatij po organizacii obespecheniya naseleniya sredstvami individual'noj zashchity // Zaklyuchitel'nyj otchet o NIR. – M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2020. – S. 174.

3. Gorbunov S.V. Sostoyanie i perspektivy radiacionnoj, himicheskoy i biologicheskoy zashchity sil MCHS Rossii / S.V. Gorbunov, A.S. Starostin,

G.S. CHernyh // Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya. – 2014. – Т. 4. № 1(6). – S. 48–60.

4. Kol'cov G.I. Primenenie podrazdelenij radiacionnoj, himicheskoj i biologicheskoj zashchity spasatel'nogo centra MCHS Rossii / G.I. Kol'cov // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. – 2014. – № 2. – S. 19–23.

5. CHernyh ZH.V. Analiz organizacionno-shtatnoj struktury spasatel'nyh centrov MCHS Rossii, kak osnovnoj takticheskoj edinicy spasatel'nyh vojskih formirovanij MCHS Rossii, i ih zadacha na mirnoe i voennoe vremya / ZH.V. CHernyh // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. – 2013. – № 2. – S. 87–92.

6. CHernyh G.S. Problemy i napravleniya sovershenstvovaniya radiacionnoj, himicheskoj i biologicheskoj zashchity spasatel'nyh formirovanij v si-steme MCHS Rossii / G.S. CHernyh, E.A. Goryachev // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. – 2013. – Т. 10. № 3 (37). – S. 50–54.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.45-50>

УДК 314.48; 614.841.2

Ходин М.В., Мельникова О.Е.

ОБСТАНОВКА С ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ В I ПОЛУГОДИИ 2023 ГОДА

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

Проведен анализ статистических данных о чрезвычайных ситуациях, в том числе пожарах в городах и сельских населенных пунктах Республики Беларусь, произошедших в I полугодии 2023 года, в сравнении с данными за аналогичный период 2022 года.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, пожар, гибель, травмирование, ущерб.

Hodin M.V., Melnikova O.E.

ANALYSIS OF THE EMERGENCY SITUATIONS IN THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE 1ST HALF OF 2023

*The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies"
of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk*

The analysis of statistical data on emergency situations (including fires) in the Republic of Belarus in the 1st half of 2023 in comparison with the data of the same period in 2022 is carried out.

Keywords: emergency situation, fire, death, injury, damage.

Введение

Данный обзорный материал подготовлен на основе сведений ведомственного учета чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) и их последствий (включая техногенные пожары по состоянию на 05.07.2023 [1]) и содержит основные показатели обстановки за I полугодие 2023 года в сравнении с аналогичным периодом 2022 года.

Общие данные

В I полугодии 2023 года в городах и сельских населенных пунктах республики произошло 3062 чрезвычайные ситуации, что на 4,4 % меньше по сравнению с 2022 годом (3204), количество погибших на них людей уменьшилось на 25,3 % (2023 г. – 269, 2022 г. – 360).

В результате ЧС травмировано 290 человек, из них 20 детей; прямой материальный ущерб составил 29 889,1 тыс. руб.; уничтожено 652 строения, 165 единиц техники, 1479 тонн грубых кормов и соломы, погибло 75 голов скота, 1 527 922 головы птиц.

Снижение числа ЧС отмечено в Брестской области на 17,1 % (2022 г. – 520, 2023 г. – 431), Минской – на 5,9 % (749/705), Гомельской – на 5,7 % (489/461), Гродненской – на 5,7 % (385/363), г. Минске – на 1,3 % (160/158).

Рост числа ЧС отмечен в Могилевской области на 10,6 % (386/427) и Витебской на 0,8 % (513/517) (рисунок 1).

ЧС республиканского уровня:
2022 г. – 2; 2023 г. – 0

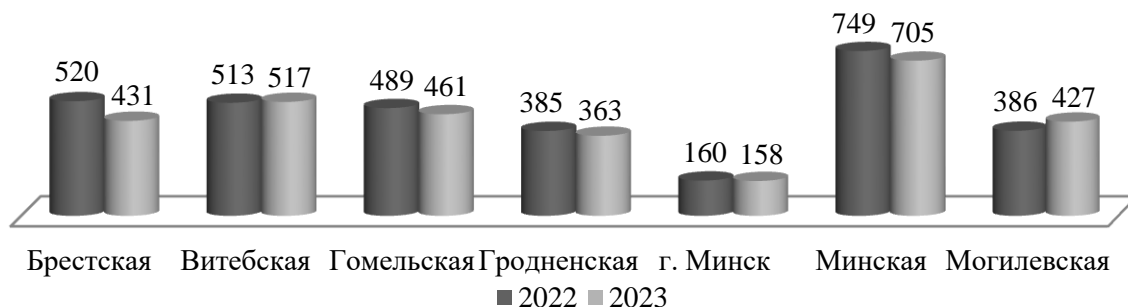


Рисунок 1. – Количество чрезвычайных ситуаций по областям

Показатели по классам чрезвычайных ситуаций

В I полугодии 2023 года произошло 3054 ЧС техногенного характера, что на 4,6 % меньше по сравнению с 2022 годом (3200), в результате которых погибло 269 человек (-25,3 %, 2022 г. – 360), травмировано 290 человек (7,8 %, 2022 г. – 269), в том числе произошло 6 ЧС техногенного характера (без учета пожаров в населенных пунктах) – погибших и травмированных не было.

В I полугодии 2023 года произошло 8 ЧС природного характера (2022 г. – 4), в результате которых погибших и травмированных не было (2022 г. – 5 человек травмировано, в том числе 1 ребенок).

Распределение ЧС по территории возникновения (прохождения) и группам приведены в таблице.

Показатели по пожарам в городах и сельских населенных пунктах

По данным ведомственного учета пожаров [2], обстановка с пожарами в I полугодии 2023 года в Республике Беларусь характеризовалась следующими показателями:

зарегистрировано 3048 пожаров (-4,7 %; 2022 г. – 3199);

погибло 269 человек (-25,3 %; 360), в том числе 4 детей (4);

получили травмы 290 человек (7,8 %; 269);

прямой материальный ущерб составил 23 765,0 тыс. руб. (0,4 %; 23 678,3).

Снижение количества пожаров отмечено в Брестской области на 17,0 % (2022 г. – 518, 2023 г. – 430), Минской – на 6,5 % (749/700), Гомельской – на 6,1 % (489/459), Гродненской – на 5,7 % (385/363), Витебской – на 0,4 % (513/511) и г. Минске – на 0,6 % (159/158).

Рост количества пожаров отмечен в Могилевской области на 10,6 % (386/427).

Снижение числа погибших зарегистрировано в Гомельской области на 47,8 % (2022 г. – 67, 2023 г. – 35), Минской – на 40,0 % (90/54), Витебской –

на 22,6 % (62/48), Могилевской – на 15,2 % (46/39), Гродненской – на 2,6 % (38/37) и г. Минске – на 7,1 % (14/13).

В Брестской области количество погибших осталось неизменным (43/43).

Таблица. – Распределение ЧС

Группы ЧС	Год	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	г. Минск	Минская	Могилевская	Республиканского уровня
ПРИРОДНЫЕ	2022	2							2
	2023		5	2			1		
метеорологические	2022	2							2
	2023								
гелогические	2022								
	2023		2						
гидрологические	2022								
	2023		1	2					
эпизоотии	2022								
	2023		2				1		
ТЕХНОГЕННЫЕ (без пожаров)	2022					1			
	2023	1	1				4		
наличие в окружающей среде вредных веществ выше ПДК	2022								
	2023		1				3		
внезапное разрушение сооружений	2022					1			
	2023								
аварии на системах жизнеобеспечения	2022								
	2023	1					1		
Пожары в городах и сельских населенных пунктах	2022	518	513	489	385	159	749	386	
	2023	430	511	459	363	158	700	427	
ВСЕГО ЧС	2022	520	513	489	385	160	749	386	2
	2023	431	517	461	363	158	705	427	

Относительные показатели, характеризующие обстановку с пожарами, следующие (рисунок 2):

количество пожаров в расчете на 10 тыс. населения – 3,3 (2022 г. – 3,5);
число погибших людей в расчете на 100 тыс. населения – 2,9 (3,9).



Рисунок 2. – Количество пожаров по регионам на 10 тыс. населения

Наибольшее количество пожаров по местам возникновения приходится на жилой фонд 2368 – 77,7 % (2022 г. – 2591) (рисунок 3).



Рисунок 3. – Распределение количества пожаров по основным местам возникновения

Основным местом возникновения пожаров с гибелью людей остается жилой сектор. В I полугодии 2023 года в жилом секторе произошло 238 пожаров с гибелью людей (96,7 % от всех пожаров с гибелью людей), от которых погиб 261 человек (97,0 % от всех погибших). В сравнении с 2022 годом число погибших в жилом секторе уменьшилось на 24,8 % (347).

Причиной 39,1 % пожаров в I полугодии 2023 года было неосторожное обращение с огнем (рисунок 4), при которых погибло 72,5 % от общего числа погибших при всех пожарах.

Снизилось количество пожаров по причинам: «Неосторожное обращение с огнем» (2022 г. – 1146, 2023 г. – 1193), «Нарушение правил устройства и эксплуатации печей» (574/532), «Проявление сил природы» (33/18), «Конструктивный недостаток изделия, устройства» (14/8), «Нарушение технологического регламента (процесса)» (15/9), «Механическое разрушение узлов и де-

талей» (12/9), «Нарушение правил хранения, использования, изготовления и транспортировки веществ и материалов» (7/6), «Пиротехнические изделия» (4/2), «Прочие причины» (24/18).

Увеличилось количество пожаров по причинам: «Нарушение правил устройства и эксплуатации электросетей и электрооборудования» (2022 г. – 822, 2023 г. – 878), «Поджог» (82/103), «Нарушение противопожарных требований при проведении огневых работ» (64/68), «Шалость детей с огнем» (43/51), «Нарушение правил эксплуатации газовых устройств и агрегатов» (32/44).

В I полугодии 2023 года зарегистрировано 246 пожаров с гибелью людей (8,1 % от общего числа пожаров). По сравнению с аналогичным периодом 2022 года количество таких пожаров уменьшилось на 23,1 % (-74, 2022 г. – 320), погибло 269 человек, что на 25,3 % меньше показателя прошлого года (-91, 360). Количество погибших детей в 2023 г. – 4 (2022 г. – 4).

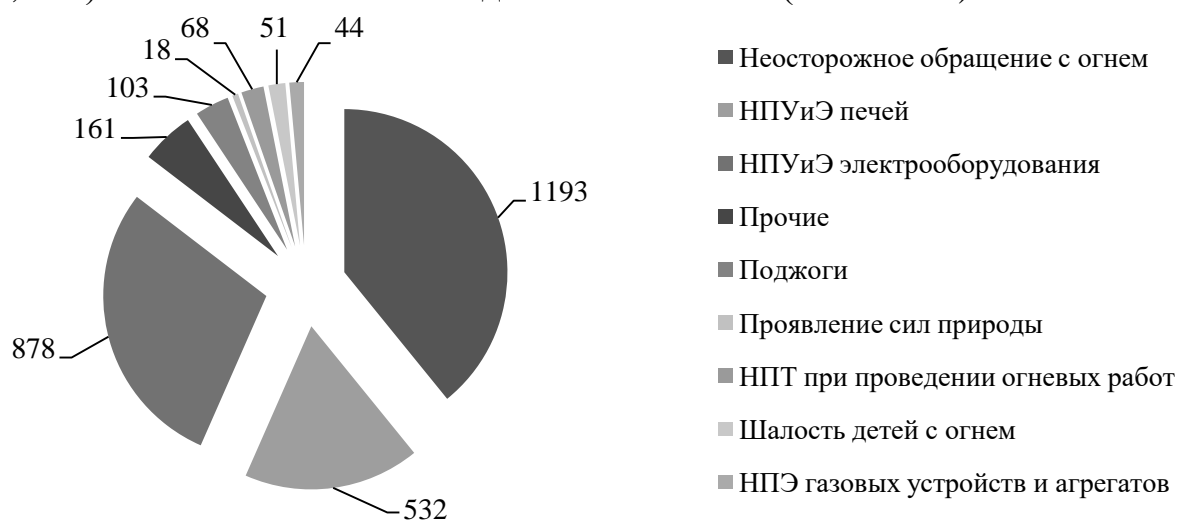


Рисунок 4. – Распределение количества пожаров в зависимости от причин возникновения

Из 269 погибших – 169 (62,8 %) погибло на пожарах, источником зажигания которых явилась непотушенная сигарета, из них 120 находились в состоянии алкогольного опьянения (71,0 %).

По вине лиц, находящихся в состоянии алкогольного опьянения, произошло 325 пожаров, из них 125 привели к гибели людей. 136 человек погибло от пожаров, возникших по вине лиц, находящихся в состоянии алкогольного опьянения.

Обстановка с пожарами в городах

Зарегистрировано 1340 пожаров (4,0 %, в 2022 г. – 1289). Погибло 105 человек (-1,9 %, 107). Среди погибших 1 ребенок (2022 г. – 2).

На пожары в городах пришлось 44,0 % от общего числа пожаров, 39,0 % от числа погибших.

Обстановка с пожарами в сельской местности

Зарегистрировано 1708 пожаров (-10,6 %, в 2022 г. – 1910). Погибло 164 человека (-35,2 %, 253), в том числе 3 детей (2022 г. – 2).

Доля пожаров и погибших при пожарах в сельской местности составила соответственно 56,0 %; 61,0 %.

Относительные показатели обстановки с пожарами в городах и сельской местности в I полугодии 2023 года приведены на рисунке 5.

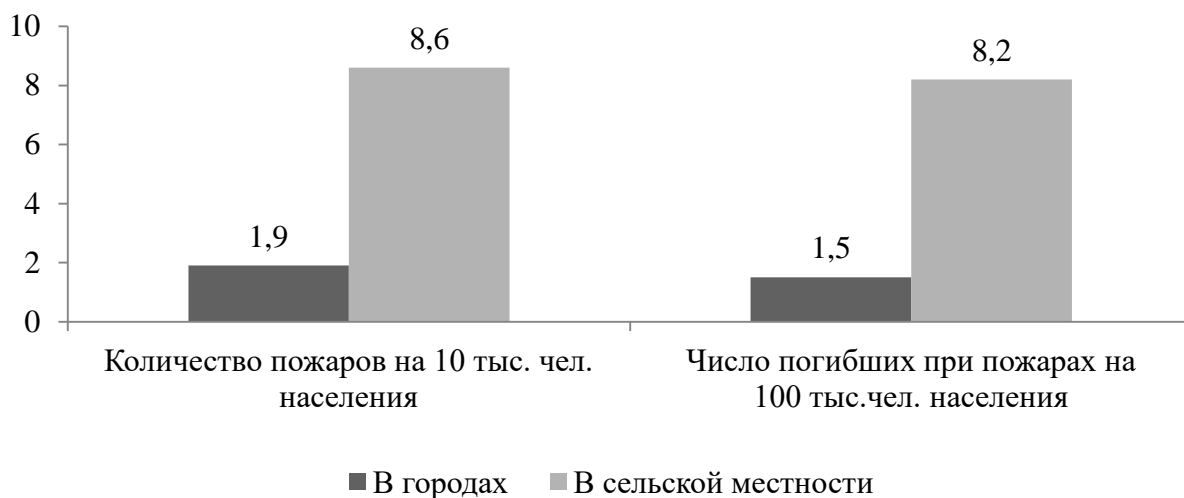


Рисунок 5. – Относительные показатели обстановки с пожарами в городах и сельской местности

ЛИТЕРАТУРА

1. База данных ПК «Учет ЧС» [электронный ресурс] / Систем треб. PostgreSQL 9.6 (дата обращения: 05.07.2023).
2. Об учете пожаров и последствий от них в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь: приказ М-ва по чрезвычайн. Ситуациям Респ. Беларусь, 19 сент. 2019 г., № 282. – Минск: МЧС Респ. Беларусь, 2019. – 70 с.

REFERENCE

1. Baza dannyh PK «Uchet CHS» [elektronnyj resurs] / Sistem treb. PostgreSQL 9.6 (data obrashcheniya: 11.02.2022).
2. Ob uchete pozharov i posledstvij ot nih v organah i podrazdeleniyah po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus' : prikaz M-va po chrezvychajn. Situacijam Resp. Belarus', 19 sent. 2019 g., № 282. – Minsk: MCHS Resp. Belarus', 2019. – 7 s.



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПОЖАРОВ И АВАРИЙ

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.51-68>

УДК 614.841

канд. физ.-мат. наук Кицак А.И., Лобач Д.С.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ГЕТЕРОГЕННОГО И ГОМОГЕННОГО ИНГИБИРОВАНИЯ ЧАСТИЦАМИ ОГNETУШАЩЕГО ПОРОШКА АКТИВНЫХ ЧАСТИЦ ПЛАМЕНИ В УСЛОВИЯХ ИХ НЕПРЕРЫВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности
и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск*

**Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации»
государственного учреждения образования
«Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным
ситуациям Республики Беларусь», д. Светлая Роца*

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования технологии тушения пожара огнетушащими порошками на основе изучения закономерностей физико-химических процессов прерывания цепных реакций горения, в частности, гетерогенного и гомогенного механизмов ингибирования частицами порошка активных центров пламени.

Целью работы является оценка эффективности нестационарных механизмов гетерогенного и гомогенного ингибирования частицами огнетушащего порошка активных частиц пламени с учетом скорости их образования, а также сопоставление их вкладов в результат тушения пожара.

Проведено математическое моделирование механизмов гетерогенного и гомогенного ингибирования частицами огнетушащего порошка активных частиц пламени с учетом скорости их образования.

Получены теоретические зависимости скоростей реакций гетерогенного и гомогенного ингибирования активных частиц пламени от дисперсных характеристик частиц порошка, времени их пребывания в зоне горения и характерных длительностей реакций ингибирования.

Установлено, что условием эффективного ингибирования активных частиц пламени рассматриваемыми механизмами является превышение времени взаимодействия частиц порошка с активными частицами пламени длительностей процессов ингибирования, а также превышение скорости ингибирования активных частиц пламени скорости их образования. Скорость ингибирования активных частиц пламени зависит от размеров частиц огнетушащего порошка. Причем, чем меньше размер частиц порошка, тем больше скорость ингибирования. Такая зависимость наблюдается в явном виде для механизма гетерогенного ингибирования активных частиц пламени и в неявном виде для механизма гомогенного ингибирования через зависимость скорости термообразования радикалов оксидов металлов огнетушащего порошка, участвующих в данном процессе, от размеров частиц порошка.

Наличие двух стадий в реализации механизма гомогенного ингибирования активных частиц пламени (термообразования радикалов оксидов металлов применяемых порошковых веществ и собственно процесса ингибирования) позволяет считать данный механизм восстановления активных частиц более длительным, чем механизм гетерогенного восстановления, а, следовательно, не вносящим существенного вклада в химический процесс тушения пожара.

Ключевые слова: огнетушащий порошок, активные центры пламени, гетерогенное ингибирование пламени, гомогенное ингибирование, скорость образования активных частиц пламени.

Ph.D. in Physics and Mathematics Kitsak A.I., Lobach D.S.*

MODELING OF MECHANISMS OF HETEROGENEOUS AND HOMOGENEOUS INHIBITION OF ACTIVE FLAME PARTICLES BY FIRE EXTINGUISHING POWDER PARTICLES UNDER CONDITIONS OF THEIR CONTINUOUS GENERATION

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

** The branch "Institute of Retraining and Professional Development" of the University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Svetlaya Roshcha*

The relevance of the work is the need to improve the technology of extinguishing fire with extinguishing powders based on the study of the regularity of the physicochemical processes of interrupting chain reactions of oxidation of combustion products, in particular, heterogeneous and homogeneous mechanisms of inhibition of active flame centers by powder particles.

The aim of the work is to evaluate the effectiveness of non-stationary mechanisms of heterogeneous and homogeneous inhibition of active flame particles by fire extinguishing powder particles taking into account the rate of their birth, as well as to compare the contributions of each of the mechanisms to the result of fire extinguishing.

Mathematical modeling of the mechanisms of heterogeneous and homogeneous inhibition of active flame particles by fire extinguishing powder particles, taking into account the rate of birth of active particles of flame, is carried out.

The theoretical dependences of the rates of reactions of heterogeneous and homogeneous inhibition of active flame particles on the dispersed characteristics of powder particles, their residence time in the zone of flame and the characteristic durations of inhibition reactions are obtained.

It is established that the condition for the effective inhibition of active flame particles is an excess of the interaction time of powder particles with active flame particles, as well as an excess of the rate of inhibition of active flame particles of the rate of their birth. The rate of inhibition of active flame particles depends on the size of the extinguishing powder particle. Moreover, the smaller the size of the powder particles, the greater the rate of inhibition. This dependence is observed explicitly for the mechanism of heterogeneous inhibition of active flame particles and implicitly for the mechanism of homogeneous inhibition through

the dependence of the rate of thermal formation of metal oxide radicals of the extinguishing powder involved in this process on the size of the powder particles.

The presence of two stages in the implementation of the mechanism of homogeneous inhibition of active flame particles (thermal formation of metal oxide radicals of the used powder substances and the inhibition process itself) allows us to consider this mechanism of extraction of active particles longer than the mechanism of heterogeneous extraction, and, therefore, it does not significantly contribute to the chemical process of extinguishing a fire.

Keywords: extinguishing powder, active flame particles, heterogeneous inhibition, homogeneous inhibition, inhibition time, the rate of birth active flame particles.

Введение

Одними из основных механизмов тушения пожара огнетушащим порошком являются гетерогенный и гомогенный процессы ингибирования активных частиц пламени, которыми являются атомарный водород, кислород, а также гидроксильные радикалы газифицированного горючего вещества.

Гетерогенное ингибирование заключается в адсорбции поверхностью частиц порошка активных частиц пламени (на центрах адсорбции – поверхностных ионах бездефектной кристаллической решетки частиц порошка либо самих ее дефектах), их рекомбинации с другими активными частицами пламени, достигших этой поверхности, восстановлении (формировании) неактивных частиц (молекул) из родственных или неродственных атомов или радикалов газифицированных компонентом горючего вещества или материала [1].

Процесс гомогенного ингибирования активных центров пламени происходит в объеме зоны горения (реакции окисления) и заключается в связывании их продуктами в виде атомов или радикалов, образующихся при терморазложении солей огнетушащего порошка [1].

Важным условием реализации данных процессов является отдача избыточной энергии рекомбинации активных частиц пламени или кристаллической решетке частиц порошка, как в случае гетерогенного ингибирования, или одной из участвующих в рекомбинации активных частиц, обладающей достаточно широкой полосой поглощения тепловой энергии, при гомогенном ингибировании.

Процессы гетерогенного и гомогенного ингибирования активных частиц пламени приводят к обрыву цепей горения и в конечном результате к снижению тепловыделения.

Изучению эффективности механизмов ингибирования активных частиц пламени посвящено большое число работ [2–12]. В них рассматриваются в основном стационарные режимы реализации данных процессов, т.е. схемы ингибирования, при которых время взаимодействия ингибитора с активными частицами пламени значительно больше времени протекания реакции ингибирования. На практике при тушении пожаров, например, модулями порошкового пожаротушения (далее – МПП) импульсного и кратковременного действия, время пребывания частиц порошка в зоне реакции окисления продуктов горения может равняться или быть примерно равным времени восстановления

активных частиц пламени [13]. Механизмы ингибирования в данном случае протекают в нестационарном режиме.

Изучение данного режима ингибирования пламени частицами огнетушащего порошка имеет большой научный и практический интерес. Научный интерес состоит в установлении закономерностей влияния динамики частиц порошка и их дисперсных свойств на эффективность реализации механизмов ингибирования активных частиц пламени частицами огнетушащего порошка. Практический интерес заключается в возможности применения полученных закономерностей для совершенствования техники и технологии тушения пожаров различных классов МПП, а также улучшения методики контроля их огнетушащей способности. Кроме того, они могут быть использованы для интерпретации результатов тушения пожаров другими огнетушащими средами, в частности, огнетушащими аэрозолями и газами, где данные механизмы также проявляются [14].

В работе [15] проведен анализ эффективности тушения пожара огнетушащим порошком в условиях нестационарности процесса гетерогенного ингибирования частицами порошка активных центров пламени. Оценка эффективности механизма гетерогенного ингибирования частицами порошка активных центров пламени проводилась при конечной средней концентрации активных частиц в зоне реакции окисления без учета рождения новых частиц. Очевидно, более близким к реальной картине ингибирования активных частиц пламени является процесс, в котором наряду с ингибированием частиц происходит образование новых.

Целью настоящей работы является оценка эффективности нестационарных механизмов гетерогенного и гомогенного ингибирования частицами огнетушащего порошка активных частиц пламени с учетом скорости их образования, а также сопоставление вкладов данных механизмов в результат тушения пожара.

Модель механизма гетерогенного ингибирования частицами огнетушащего порошка активных частиц пламени в условиях их непрерывного рождения

Упрощенная модель химического процесса тушения пламени горючего вещества огнетушащим порошком предполагает подачу порошка в зону реакции окисления газифицированных компонентов горючего вещества или материала, формирование в данной зоне слоя огнетушащего порошка, протекание в каналах слоя, а также микрополостях, реакций гетерогенного и гомогенного ингибирования активных частиц пламени за время нахождения частиц порошка

в указанной зоне $t_{\text{int}} = l_{\text{in}} / v$ (l_{int} – эффективная длина области взаимодействия частиц порошка с активными частицами пламени, м; v – скорость частиц порошка в реакционной зоне, м/с).

Будем считать, что реакция гетерогенного ингибирования активных частиц пламени происходит в отдельном канале слоя частиц порошка. Предположим, что канал имеет форму полого, неограниченного в масштабе размеров активных частиц пламени, цилиндра с эквивалентным радиусом R_{eq} , м. Внутри тако-

го условного реактора равномерно по его объему происходит генерация активных частиц пламени с постоянной удельной плотностью C_b , кг/м³с. Рассмотрим динамику изменения концентрации $C = C(t,r)$, кг/м³, активных частиц пламени в данном реакторе в результате реакции восстановления их на его поверхности.

Запишем уравнение диффузии активных частиц пламени внутри реактора при указанных условиях:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} \right) + C_b, \quad (1)$$

где t – текущее время, с; D – коэффициент молекулярной диффузии частиц, м²/с; r – радиальная координата, отсчитываемая от центра канала.

Уравнение (1) записано в предположении малости продольной молекулярной диффузии активных частиц пламени.

Дополним уравнение (1) граничными и начальными условиями [16]:

$$\left(D \frac{\partial C}{\partial r} \right)_{r=R_{\text{eq}}} = - \left(\frac{\gamma u}{4} C \right)_{r=R_{\text{eq}}}; \quad (2)$$

$$\left(\frac{\partial C}{\partial r} \right)_{r=0} = 0; \quad (3)$$

$$C(r, t=0) = C_0; \quad (4)$$

$$C(r=0, t) \neq \infty. \quad (5)$$

Здесь γ – вероятность адсорбции активных частиц поверхностью частицы порошка; u – средняя тепловая скорость активной частицы, м/с; C_0 – исходная концентрация активных частиц пламени, кг/м³.

Условие (2) описывает поток активных частиц на стенку реакционного канала. Условие (3) свидетельствует о конечном значении концентрации активных частиц на оси канала (условие симметрии задачи). Условие (5) указывает на то, что решение (1) должно быть затухающим при больших значениях t .

Для решения уравнения (1) при заданных условиях воспользуемся операционным методом. В частности, применим к уравнениям (1)–(5) интегральное преобразование Лапласа для перехода от уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям. Преобразование Лапласа $L[f(r,t)] = f_L(r,s)$ (изображение) функции $f(r,t)$ выражается следующим уравнением:

$$f_L(r,s) = \int_0^\infty f(r,t) \exp(-st) dt, \quad (6)$$

где s – параметр Лапласа.

Применяя (6) к уравнениям (1)–(5), получим следующие уравнения для изображений $C_L(r,s)$ оригинала функции $C(r,t)$:

$$rC_L''(r,s) + C_L'(r,s) - \frac{rs}{D} \left(C_L(r,s) - \frac{C_b}{s^2} - \frac{C_0}{s} \right) = 0; \quad (7)$$

$$C_L'(r,s) = -\frac{\gamma u}{4D} C_L(r,s); \quad (8)$$

$$C_L'(r,s) = 0; \quad (9)$$

$$C_L(0,0) = \frac{C_0}{s}; \quad (10)$$

$$C_L(0,s) \neq \infty; \quad (11)$$

где $C_L'(r,s) = \frac{dC_L(r,s)}{dr}$.

Общее решение уравнения (7) будем искать в виде [17]:

$$C_L(r,s) - \frac{C_b}{s^2} - \frac{C_0}{s} = AI_0 \left(\sqrt{\frac{s}{D}} r \right) + BK_0 \left(\sqrt{\frac{s}{D}} r \right), \quad (12)$$

где A и B – постоянные, определяемые из граничных условий (8)–(11); I_0 – модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка от чисто мнимого аргумента; K_0 – функция Бесселя второго рода нулевого порядка от чисто мнимого аргумента.

Так как, согласно (9), $C_L(0,s) \neq \infty$, а $K_0 \left(\frac{s}{D} \cdot 0 \right) \rightarrow -\infty$, то коэффициент $B = 0$, тогда

$$C_L(r,s) - \frac{C_b}{s^2} - \frac{C_0}{s} = AI_0 \left(\sqrt{\frac{s}{D}} r \right). \quad (13)$$

Коэффициент A найдем из граничного условия (8). Продифференцировав уравнение (13) по переменной r и подставив в полученное выражение значение $C_L'(r,s)$ из (8), а затем, решая полученное уравнение относительно A , определим

$$A = -\frac{\frac{\gamma u}{4D} \left(\frac{C_b}{s^2} + \frac{C_0}{s} \right)}{\sqrt{\frac{s}{D}} I_1 \left(\sqrt{\frac{s}{D}} R_{eq} \right) + \frac{\gamma u}{4D} I_0 \left(\sqrt{\frac{s}{D}} R_{eq} \right)}, \quad (14)$$

где $I_1(r) = I_0'(r)$.

Учитывая (14), общее решение (13) запишется в следующем виде:

$$C_L(r,s) - \frac{C_b}{s^2} - \frac{C_0}{s} = -\frac{\frac{\gamma u}{4D} \left(\frac{C_b}{s^2} + \frac{C_0}{s} \right) \cdot I_0 \left(\sqrt{\frac{s}{D}} r \right)}{\sqrt{\frac{s}{D}} I_1 \left(\sqrt{\frac{s}{D}} R_{eq} \right) + \frac{\gamma u}{4D} I_0 \left(\sqrt{\frac{s}{D}} R_{eq} \right)}. \quad (15)$$

Перейдем в уравнении (15) от решения задачи для изображения $C_L(r,s)$ непосредственно к решению для оригинала $C(r,t)$. Для этого применим к (15) обратное преобразование Лапласа. Воспользовавшись стандартным приемом

обратного преобразования Лапласа, приведенным, например, в [17], получим для $C(r,t)$ следующее соотношение:

$$C(r,t) = \frac{C_b R_{eq}}{4} \left(\frac{R_{eq}}{D} + \frac{8}{u\gamma} \right) - \frac{C_b r^2}{4D} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{R_{eq}^2}{D\mu_n^2} \left(C_b - \frac{\mu_n^2 D}{R_{eq}^2} C_0 \right) J_0 \left(\mu_n \frac{r}{R_{eq}} \right) \exp \left(-\frac{\mu_n^2 D}{R_{eq}^2} t \right) \quad (16)$$

$$A_n = \frac{2Bi_D}{\left[(1 + Bi_D) Bi_D - \frac{2D}{R_{eq}^2} \mu_n (\mu_n^2 - Bi_D) \right] J_0(\mu_n)}, \quad (17)$$

где $Bi_D = 2Nu_D \frac{k}{\beta} = \frac{\gamma u R_{eq}}{4D}$ – диффузионное число Био, параметр, пропорциональный отношению константы скорости рекомбинации активных частиц пламени $k = \gamma u / 4$ [18] к коэффициенту массообмена $\beta = \frac{2Nu_D D}{R_{eq}}$ [19]; μ_n – корни характеристического уравнения

$$\frac{J_1(\mu)}{J_0(\mu)} = \frac{B}{\mu}, \quad (18)$$

где $\mu = i \sqrt{\frac{s}{D}} R$, а $J_0(\mu)$, $J_1(\mu)$ – функции Бесселя первого рода и соответственно нулевого и первого порядков.

Рассмотрим процесс изменения концентрации $C(r,t)$ активных частиц пламени в результате реакции гетерогенного ингибирования их частицами огнетушащего порошка для двух предельных случаев протекания данной реакции. Для случая, когда параметр $Bi_D \rightarrow 0$, т.е. когда $k \ll \beta$ и когда $Bi_D \rightarrow \infty$, что соответствует неравенству $\beta \ll k$.

Режим реакции ингибирования активных частиц пламени, соответствующий условию $k \ll \beta$, реализуется, когда вероятность адсорбирования γ атома или радикала поверхностью ингибитора при соударении с ней много меньше единицы, т.е. $\gamma \ll 1$. Отмечают [18, 19], что реакция ингибирования в данном случае протекает в кинетической области. Скорость реакции при этом определяется в основном кинетическими процессами на поверхности ингибитора.

Другой режим реакции ингибирования активных частиц пламени может реализоваться в случае, когда вероятность адсорбирования $\gamma \sim 1$, т.е., когда активная частица гибнет при первом же столкновении с поверхностью ингибитора. В данных условиях коэффициент массоотдачи $\beta \ll k$ и эффективность ингибирования ограничивается скоростью диффузии активных частиц к поверхности ингибитора. Область реакции ингибирования, процессы в которой протекают в указанных условиях, называют диффузионной.

Найдем закон изменения концентрации $C(r,t)$ активных частиц пламени в кинетической области реакции их ингибирования, т.е. когда $Bi_D \rightarrow 0$.

При $Bi_D \rightarrow 0$, как следует из (18), к нулю стремится также функция $J_1(\mu)$

и сам параметр μ .

Следовательно, в уравнениях (16) и (17) можно ограничиться первым корнем μ_1 характеристического уравнения (18). Разложив в ряд по μ функции Бесселя $J_1(\mu)$ и $J_0(\mu)$ в соотношении (18) и ограничившись первыми членами разложения, найдем значение для μ_1 :

$$\mu_1 = \sqrt{2Bi_D} \quad (19)$$

Подставив (19) в (16) и (17), получим следующее соотношение для $C(r,t)$ при условии $\mu_1 \rightarrow 0$

$$C_k(r,t) = C_b \left(\frac{R_{eq}^2}{4D} + \frac{2R_{eq}}{\gamma u} \right) - \frac{C_b r^2}{4D} + \tau_k \left(\frac{C_0}{\tau_k} - C_b \right) J_0 \left(\mu_1 \frac{r}{R_{eq}} \right) \exp \left(-\frac{t}{\tau_k} \right), \quad (20)$$

где $\tau_k = \frac{d_{eq}}{\gamma u}$ – время реакции ингибирования [15], величина, обратно пропорциональная константе скорости обрыва цепи реакции окисления продуктов горения, с; $d_{eq} = 2R_{eq}$ – эквивалентный диаметр канала слоя, в котором происходит гетерогенная реакция, м.

Величину d_{eq} можно выразить через характеристики дисперсного слоя огнетушащих частиц. Согласно [20] имеем:

$$d_{eq} = \frac{2F\varepsilon d_p}{3(1-\varepsilon)}, \quad (21)$$

где F – фактор формы частиц (для шарообразных частиц $F = 1$); $\varepsilon = (V - V_0) / V = 1 - \rho_n / \rho_p$ – порозность слоя; V – общий объем, занимаемый слоем частиц порошка, м³; V_0 – объем, занимаемый частицами порошка в слое, м³; ρ_n – насыпная плотность частиц порошка, кг/м³; ρ_p – истинная плотность частиц порошка, кг/м³; d_p – диаметр эквивалентного шара, имеющего тот же объем, что и частица порошка, м.

Оценим величину уменьшения концентрации активных частиц в результате ингибирования их, определив среднее по координате r значение $C_k(r,t)$ по формуле

$$\overline{C_k(r,t)} = \frac{2}{R_{eq}^2} \int_0^{R_{eq}} r C_k(r,t) dr \quad (22)$$

Подставив в (20) выражение (21), получим с учетом $\mu_1 \rightarrow 0$

$$\overline{C_k(r,t)} = C_b \tau_k + \tau_k \left(\frac{C_0}{\tau_k} - C_b \right) \exp \left(-\frac{t}{\tau_k} \right). \quad (23)$$

Скорость реакции ингибирования dm/dt (масса активных частиц, восстанавливаемых в единицу времени) равна

$$\frac{dm}{dt} = kS_{ch} (C_o - \bar{C}_k), \quad (24)$$

где $S_{ch} = 6V(1-\varepsilon) / Fd_p$ – эффективная площадь поверхности каналов, образованных частицами слоя, м² [20].

За время взаимодействия t_{int} масса m_k ингибированных частиц будет равна

$$m_k = V\varepsilon(C_o - C_b\tau_k) \left[\frac{t_{int}}{\tau_k} - \left(1 - \exp\left(-\frac{t_{int}}{\tau_k}\right) \right) \right], \quad (25)$$

где $\tau_k = \frac{2F\varepsilon d_p}{3(1-\varepsilon)\gamma u}$.

Проведем оценку концентрации $C_d(r,t)$ активных частиц пламени в диффузионной области реакции их ингибирования, т.е. когда $Bi_D \rightarrow \infty$.

В данном случае, как следует из (18), корни μ_n уравнения (16) будут определяться из характеристического уравнения

$$J_0(\mu) = 0. \quad (26)$$

Для первого корня уравнения (26) $\mu_1 = 2,4$ соотношение (16) переписывается в следующем виде:

$$C_d(r,t) = C_b \frac{R_{eq}^2}{4D} - \frac{C_b r^2}{4D} + \frac{2}{2,4 J_1(2,4)} \tau_d \left(\frac{C_o}{\tau_d} - C_b \right) J_0 \left(2,4 \frac{r}{R_{eq}} \right) \exp \left(-\frac{t}{\tau_d} \right), \quad (27)$$

где $\tau_d = \frac{d_{eq}^2}{23,04D}$ – время реакции ингибирования активных частиц пламени в диффузионной области ее протекания, с.

Среднее по пространству значение концентрации $\overline{C_d(r,t)}$ активных частиц пламени, участвующих в реакции ингибирования их в диффузионной области ее реализации, равно

$$\overline{C_d(r,t)} = 0,7C_b\tau_d + 0,7\tau_d \left(\frac{C_o}{\tau_d} - C_b \right) \exp \left(-\frac{t}{\tau_d} \right), \quad (28)$$

где $\tau_d = \frac{F^2\varepsilon^2 d_p^2}{52(1-\varepsilon)^2 D}$.

Скорость реакции ингибирования $\frac{dm_d}{dt}$ активных частиц пламени в диффузионной области ее реализации равна

$$\frac{dm_d}{dt} = \beta S_{ch} (C_o - \bar{C}_d). \quad (29)$$

Соответственно, масса m_d активных частиц пламени, ингибированных частицами огнетушащего порошка за время t_{int} их пребывания в зоне реакции окисления продуктов горения, будет равна

$$m_d = 0,7N_u V \varepsilon (1 - \varepsilon) \left[(C_0 - 0,7C_b \tau_d) \frac{t_{int}}{\tau_d} - 0,7(C_0 - C_b \tau_d) \left(1 - \exp\left(-\frac{t_{int}}{\tau_d}\right) \right) \right] \quad (30)$$

Анализ эффективности гетерогенного механизма тушения активных частиц пламени огнетушащим порошком

В начале анализа следует отметить, что соотношения для масс ингибированных частиц пламени, полученные в настоящей работе, совпадают при отсутствии процесса непрерывной генерации активных частиц с результатами оценки данных масс, приведенными ранее в работе [15], выполненной на основе феноменологического подхода к процессу гетерогенного ингибирования.

Из выражений (25)–(30) для масс ингибированных активных частиц в кинетической и диффузионной режимах протекания реакции ингибирования следует, что эффективность гетерогенного ингибирования определяется как физико-химическими и дисперсными характеристиками огнетушащего порошка, так и условиями тушения. В частности, процесс обрыва цепей реакции горения частицами огнетушащего порошка происходит тем эффективнее, чем больше время t_{int} их взаимодействия с активными центрами пламени и чем меньше эффективная длительность реакции ингибирования τ_k и τ_d . В предельном случае, когда $t_{int} \gg \tau_k, \tau_d$, масса ингибированных активных частиц пламени будет приближаться к максимуму, формулы (25) и (30) при этом примут следующий вид:

$$m_k = m_0 \left(1 - \frac{C_b}{C_0} \tau_k \right) \frac{t_{int}}{\tau_k}, \quad (31)$$

$$m_d = 0,7N_u m_0 (1 - \varepsilon) \left(1 - 0,7 \frac{C_b}{C_0} \tau_d \right) \frac{t_{int}}{\tau_d}, \quad (32)$$

где $m_0 = \varepsilon V C_0$ – начальная масса активных центров пламени, кг.

Из полученных соотношений следует, что при значительном превышении времени взаимодействия t_{int} длительностей реакции ингибирования τ_k и τ_d масса ингибированных активных частиц пламени при одновременном их рождении определяется в основном соотношением удельных плотностей ингибирования (C_0/τ_k , C_0/τ_d) и рождения (C_b) активных частиц. Если удельная плотность рождения активных частиц больше удельной плотности их ингибирования, то реакция окисления газифицированных компонентов горючего вещества (горение) будет продолжаться.

Время ингибирования τ_k и τ_d , как следует из их определений, отличается функциональной зависимостью от химико-кинетических параметров процесса ингибирования активных частиц и дисперсных характеристик частиц огнетушащего порошка. Особенно существенно их отличие от размера частиц огнетуша-

щего порошка. Если τ_k линейно зависит от эффективного диаметра частиц порошка, то для τ_d наблюдается квадратичная зависимость от данного параметра.

Оценка величины τ_d для атома водорода с молярной массой $\mu = 1 \cdot 10^{-3}$ кг/моль и диаметром $1 \cdot 10^{-10}$ м показала, что она составляет $\tau_d = 1,7 \cdot 10^{-7}$ с при атмосферном давлении $P = 105$ Па, температуре в зоне горения $T = 973$ К, коэффициенте диффузии $D = 4,6 \cdot 10^{-3}$ м²/с, диаметре частиц огнетушащего порошка $d_p = 50$ мкм и их порозности $\varepsilon = 0,8$. Для этого же атома при его средней тепловой скорости $u = 4,5 \cdot 10^3$ м/с, $\gamma = 10^{-3}$ [1] и тех же дисперсных параметрах огнетушащего порошка значение $\tau_k = 3 \cdot 10^{-5}$ с. Сопоставление величин τ_k и τ_d свидетельствует о более быстром процессе ингибирования частицами огнетушащего порошка активных частиц пламени в диффузионной области реакции ингибирования.

Диффузионный режим реакции ингибирования активных частиц пламени может реализоваться при применении для тушения пожара огнетушащих веществ с относительно большим значением $\gamma \sim 10^{-2}$, например, порошков на основе карбонатов натрия при высоких температурах в зоне реакции окисления [1].

Скорости ингибирования активных частиц пламени зависят также от порозности $\varepsilon = 1 - \rho_n/\rho_p$ частиц огнетушащего порошка в зоне реакции окисления продуктов горения, определяемой величиной насыпной плотности ρ_n частиц порошка в данной зоне. Чем больше ρ_n , тем меньше ε и тем быстрее происходит процесс обрыва цепей горения.

Для приведенных значений τ_k и τ_d процесс эффективного ингибирования атома водорода в зоне реакции горения толщиной, например, равной $l = 100$ мкм, будет происходить, как следует из формул (25) и (30), при скорости частиц огнетушащего порошка v , не превышающих значения 3,3 м/с и 58 м/с соответственно для кинетической и диффузионной областей реакции гетерогенного ингибирования.

Модель механизма гомогенного ингибирования активных частиц пламени при непрерывном их рождении

При тушении пламени частицами огнетушащего порошка наряду с гетерогенным механизмом ингибирования активных частиц пламени проявляется и гомогенный механизм ингибирования. Физика данного механизма ингибирования в нестационарном режиме реализации его и при непрерывном рождении активных частиц пламени на настоящее время недостаточно изучена. Отсутствуют также оценки вклада его в результат тушения пожара. В связи с этим актуален анализ закономерностей реализации данного механизма ингибирования активных частиц пламени и его эффективности.

Будем считать, что реакция гомогенного ингибирования активных частиц пламени происходит в отдельном канале слоя огнетушащих частиц, сформировавшегося в зоне реакции окисления продуктов горения. Для данного канала сохраняются все формализованные ранее параметры. Рассмотрим динамику изменения концентрации $C = C(t,r)$, кг/м³, активных частиц пламени в данном канале (реакторе) в результате реакции их гомогенного ингибирования, когда одновременно равномерно по объему канала происходит генерация данных ча-

стиц с удельной плотностью $\omega = \omega(r, t)$, кг/м³с.

Запишем уравнение диффузии активных частиц пламени внутри канала при указанных условиях

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} \right) - k_0 C + \omega, \quad (33)$$

где $k_0 = k_0^g \exp(-E_g / RT_g)$ – константа скорости реакции гомогенного ингибирования, 1/с; k_0^g – предэкспонент реакции, 1/с; E_g – энергия активации реакции ингибирования, ккал/моль; R – универсальная газовая постоянная; T_g – температура горящего газа, К.

Уравнение (31) записано в предположении малости коэффициента продольной молекулярной диффузии активных частиц пламени.

Дополним уравнение (31) граничными и начальными условиями [21]:

$$\left(\frac{\partial C}{\partial r} \right)_{r=R_{eq}} = 0, \quad (34)$$

$$\left(\frac{\partial C}{\partial r} \right)_{r=0} = 0, \quad (35)$$

$$C(r, t=0) = C_0, \quad (36)$$

$$C(0, t) \neq \infty, \quad (37)$$

где C_0 – исходная концентрация активных частиц пламени, кг/м³.

Условие (34) отражает отсутствие потока активных частиц к стенке реактора. Условия (35)–(37) такие же, как условия (3)–(5).

Для решения уравнения (33) воспользуемся конечным интегральным преобразованием Ханкеля [17]:

$$f_H(p, t) = \int_0^R r f(r, t) J_0(pr) dr, \quad (38)$$

где p – корень характеристического уравнения $J'_0(pR) = J_1(pR) = 0$.

Применив данное преобразование к (33), получим с учетом условий (34)–(37) уравнение переноса активных частиц для изображения $C_H(p, t)$ оригинала функции $C(r, t)$:

$$\frac{dC_H(p, t)}{dt} + (Dp^2 + k_0)C_H(p, t) - \omega_H(p, t) = 0 \quad (39)$$

Общее решение данного уравнения можно представить в следующем виде:

$$C_H(p, t) = \left(C_H(p, 0) + \int_0^t \omega_H(p, \theta) \exp[-(Dp^2 + k_0)\theta] d\theta \right) \exp[-(Dp^2 + k_0)t]. \quad (40)$$

Осуществим переход от изображения функции $C_H(p, t)$ к оригиналу $C(r, t)$,

используя соотношение [17]

$$C(r,t) = \frac{2}{R_{eq}^2} C_H(0,t) + \frac{2}{R_{eq}^2} \sum_{n=1}^{\infty} C_H(p_n,t) \frac{J_0(p_n r)}{J_0^2(p_n R_{eq})}, \quad (41)$$

$$\text{где } C_H(0,t) = \left(C_H(0,0) + \int_0^t \omega_H(0,\theta) \exp[-k_0\theta] d\theta \right) \exp[-k_0 t] \quad (42)$$

Осуществляя преобразование (40) с учетом (38), (41) и введя обозначение $\mu_n = p_n R_{eq}$, получим для $C(r,t)$ следующее соотношение:

$$C(r,t) = \frac{2}{R_{eq}^2} \left(C_H(0,0) + \int_0^t \omega_H(0,\theta) \exp[-k_0\theta] d\theta \right) \exp[-k_0 t] + \frac{2}{R_{eq}^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0\left(\frac{\mu_n}{R_{eq}} r\right)}{J_0^2(\mu_n)} \left(C_H(p_n,0) + \int_0^t \omega_H(p_n,\theta) \exp[-(Dp_n^2 + k_0)\theta] d\theta \right) \exp[-(Dp_n^2 + k_0)t] \quad (43)$$

Среднее по пространству значение концентрации $\overline{C(r,t)}$ активных частиц пламени, участвующих в реакции гомогенного ингибирования, будет равно

$$\overline{C(r,t)} = \frac{2}{R_{eq}^2} \left(C_H(0,0) + \int_0^t \omega_H(0,\theta) \exp[-k_0\theta] d\theta \right) \exp[-k_0 t] \quad (44)$$

Рассмотрим случай гомогенного ингибирования активных частиц пламени, когда удельная скорость рождения их постоянная величина, т.е. $\omega = \omega(r,t) = C_b$, кг/м³с. Проведя преобразования в (43), получим для рассматриваемого случая ингибирования следующее соотношение для $\overline{C(r,t)}$:

$$\overline{C(r,t)} = (C_0 - \tau_g C_b) \exp\left(-\frac{t}{\tau_g}\right) + \tau_g C_b, \quad (45)$$

где $\tau_g = 1/k_0$ – время гомогенного ингибирования активных центров пламени, с.

Скорость реакции ингибирования dm/dt (масса активных частиц, восстанавливаемых в единицу времени) равна

$$\frac{dm}{dt} = k_0 V \varepsilon (C_0 - \overline{C(r,t)}) \quad (46)$$

За время взаимодействия t_{int} в зоне реакции окисления продуктов горения частиц огнетушащего порошка с активными частицами пламени масса m_g ингибированных частиц будет равна

$$m_g = V \varepsilon (C_0 - C_b \tau_g) \left[\frac{t_{int}}{\tau_g} - \left(1 - \exp\left(-\frac{t_{int}}{\tau_g}\right) \right) \right] \quad (47)$$

Максимальное значение массы ингибированных частиц пламени за время взаимодействия t_{int} достигается при $t_{\text{int}} \gg \tau_g$ и равно

$$m_g = m_0 \left(1 - \frac{C_b}{C_0} \tau_g \right) \frac{t_{\text{int}}}{\tau_g} . \quad (48)$$

Отличительной особенностью гомогенного механизма ингибирования активных частиц пламени является то, что определяющее его эффективность время τ_g ингибирования частиц пламени не зависит в явном виде от размеров частиц огнетушащего порошка. Однако такая зависимость существует в опосредованном виде через зависимость скорости термообразования радикалов солей огнетушащего порошка, участвующих в процессе гомогенного ингибирования, от размеров частиц порошка. Чем меньше размер частиц, тем больше скорость образования данных радикалов.

Из соотношения (48) следует, что изменение массы ингибированных активных частиц пламени в процессе гомогенного ингибирования происходит по закону, аналогичному полученному при моделировании механизма гетерогенного ингибирования. Эффективность механизма гомогенного ингибирования активных частиц пламени определяется, как и в случае механизма гетерогенного ингибирования, скоростью ингибирования, в частности, значением константы скорости гомогенного ингибирования k_0 . Чем больше k_0 , т.е. чем меньше время ингибирования τ_g , тем большая масса m_g активных частиц может быть ингибирована.

Проведенная оценка значения константы скорости k_0 реакции гомогенного ингибирования активных частиц горячей смеси метана и воздуха для значений $k_0^g = 5,4 \cdot 10^{10}$, 1/с; $E_g = 57$, ккал/моль; $T_g = 1790$, К; $R = 2 \cdot 10^{-3}$ ккал/моль·К, приведенных в работе [3], показала, что $k_0 = 4,3 \cdot 10^3$ 1/с, т.е. время протекания данной реакции τ_g примерно на 1 и 3 порядка больше времени длительности реакции гетерогенного ингибирования активных частиц водорода соответственно для кинетического и диффузионного режимов протекания данной реакции.

Полученный результат вкупе с дополнительным временем, требуемым на формирование активных радикалов солей огнетушащего порошка в результате терморазложения, дает основание полагать, что общая скорость ингибирования активных частиц пламени в процессе их гомогенного ингибирования меньше скорости ингибирования при гетерогенном ингибировании. Отсюда следует, что вклад механизма гомогенного ингибирования активных частиц пламени в процесс тушения пожара, очевидно, меньше вклада механизма гетерогенного ингибирования данных частиц.

Заключение

Проведено математическое моделирование механизмов гетерогенного и гомогенного ингибирования частицами огнетушащего порошка активных частиц пламени с учетом скорости их рождения.

Получены теоретические зависимости скоростей реакций гетерогенного и гомогенного ингибирования активных частиц пламени от дисперсных характеристик частиц порошка, времени пребывания их в зоне горения и характерных длительностей реакций ингибирования.

Анализ данных зависимостей позволил выявить, что концентрации активных частиц пламени уменьшаются в процессе их восстановления по одинаковому экспоненциальному закону для обоих механизмов ингибирования. При этом скорость уменьшения активных частиц определяется соотношением времени пребывания частиц порошка в зоне реакции окисления продуктов горения и характерных длительностей прерывания цепных реакций горения. Условием эффективного восстановления активных частиц пламени рассматриваемыми механизмами ингибирования является превышение времени взаимодействия частиц порошка с активными частицами пламени длительностей процессов ингибирования, а также превышение скорости ингибирования активных частиц пламени скорости их рождения.

Отличительной особенностью рассматриваемых механизмов ингибирования активных частиц пламени является зависимость времени прерывания цепей горения механизма гетерогенного ингибирования от размеров частиц огнетушащего порошка и отсутствие такой зависимости в явном виде для механизма гомогенного ингибирования активных частиц. Очевидно, такая зависимость для процесса гомогенного ингибирования существует в опосредованном виде через зависимость скорости термообразования радикалов оксидов металлов огнетушащего порошка, участвующих в данном процессе, от размеров частиц порошка.

Наличие двух стадий в реализации механизма гомогенного ингибирования активных частиц пламени (термообразования радикалов солей огнетушащего порошка веществ и собственно процесса ингибирования), приводящих к увеличению времени ингибирования активных частиц, позволяет считать данный механизм восстановления активных частиц более длительным, чем механизм гетерогенного восстановления, а, следовательно, не вносящим существенного вклада в химический процесс тушения пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Краснянский, М.Е. Порошковая пожаровзрывозащита / М.Е. Краснянский. – Донецк: Общество книголюбов, 1994. – 152 с.
2. Анцупов, Е.В. Оценка вклада в ингибирование пламени гомогенного и гетерогенного механизма / Е.В. Анцупов // Горение и плазмохимия. – 2012. – Т. 10, № 4. – С. 262–267.
3. Губин, Е.И. Ингибирование газовых пламен порошковыми составами / Е.И. Губин, И.Г. Дик, А.Ю. Крайнов // Физика горения и взрыва. – 1989. – Т. 25, № 2. – С. 57–62.
4. Крайнов, А.Ю. О пределах распространении пламени по запыленному газу / А.Ю. Крайнов, В.А. Шаурман // Физика горения и взрыва. – 1997. – Т. 33, № 4. – С. 14–20.
5. Dexu, D. Experimental study on fire extinguishing properties of compound superfine powder / D. Dexu, P. Xuhai, H. Min // Procedia Engineering. – 2018. –

Vol. 211. – P. 142-148. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.126.

6. Guomin, Z. Fire-extinguishing efficiency of superfine powders under different injection pressures / Z. Guomin, X. Guangji, J. Shuang, Z. Qingsong, L. Zhongxian // International Journal of Chemical Engineering. – 2019. – No. 4. – P. 1-7. DOI: 10.1155/2019/2474370.

7. Huang, X. Experimental study on fire-extinguishing performance of ammonium phosphate subnanometer powder / X. Huang, L. Liu, X Zhou // Fire Science. – 2011. – Vol. 20, No. 4. – P. 200–205.

8. Chung-Hwei, S. The assessment of fire suppression capability for the ammonium dihydrogen phosphate dry powder of commercial fire extinguishers / S. Chung-Hwei, C. Chan-Cheng, L. Horng-Jang, W. Shiuan-Cheng // Procedia Engineering. – 2014. – Vol. 84. – P. 485-490. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.459.

9. Ye, Y. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K-powder fire extinguishing agent / Y. Ye, H. Zhivue, Z. Lingshuang, D. Zhiming, C. Xiaomin // Fire and Materials. – 2018. – Vol. 42. – P. 336–344. DOI: 10.1002/fam.2500.

10. Hangchen, L. Experimental study on the optimum concentration of ferrocene in composite ultrafine dry powder / L. Hangchen, D. Dexu, G. Xinxin, H. Min, P. Xuhai // Fire Technology. – 2020. – Vol.56. – P. 913-936. DOI: 10.100/s10694-019-00912-x

11. Gurchumelia, L. Thermal Inhibition of Flame Propagation / L. Gurchumelia, G. Bezarashvili, R. Tsanova // Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. Physical Chemistry– 2019. – Vol. 13, No 3. – P. 50-53.

12. Ye, Y. A novel hot aerosol extinguishing agent with high efficiency for Class B fires / Y. Ye, D. Zhiming, H. Zhivue // Fire and Materials. – 2019. – Vol. 43. – P. 84–91. DOI: 10.1002/fam.2671

13. Баратов, А.Н. Горение – Пожар – Взрыв – Безопасность / А.Н. Баратов – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 364 с.

14. Козаков, А.В. Пожаротушение в наноразмерах / А.В. Козаков, А.В. Попов, С.Ю. Хатунцева, Д.В. Бухтояров // Материалы XXXIV Международной науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы пожарной безопасности». – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – С. 206–211.

15. Кицак А.И. Эффективность тушения пожара огнетушащим порошком общего назначения при нестационарном взаимодействии частиц порошка с горящим веществом / А.И. Кицак // Вести НАН Беларуси. Сер. физико-технических наук. – 2020. – Т. 65, № 4. – С. 476–487.

16. Гершензон Ю.М. Реакции гибели активных частиц на стенке в струевых условиях / Ю.М. Гершензон, В.Б. Розенштейн, А.Н. Спасский, А.Н. Коган // Доклады Академии наук СССР. Физическая химия. – 1972. – Т. 205, № 4. – С. 871–874.

17. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 592 с.

18. Семенов, Н.Н. Цепные реакции / Н.Н. Семенов. – М.: Наука, 1986. – 535 с.

19. Франк-Каменецкий, Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д.А. Франк-Каменецкий. – М.: Наука, 1987. – 502 с.

20. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

21. Гершензон Ю.М. Гомогенные реакции первого порядка в условиях ламинарного течения / Ю.М. Гершензон, В.Б. Розенштейн, А.Н. Спасский, А.Н. Коган // Доклады Академии наук СССР. Физическая химия. – 1972. – Т. 205, № 3. – С. 624–627.

REFERENCES

1. Krasnyansky M.E. Poroshkovaya pojarovzryvozaschita [The Powder fire and explosion protection], Doneck, Society of book lovers, 1994, 152 p (in Russian).

2. Antsupov E. V. Otsenka vklada v ingibirovanie plameni gomogenogo i geterogenogo mekhanizma [Assessment of the contribution of homogeneous and heterogeneous mechanism to flame inhibition]. Gorenje i plazmokhimiya = Combustion and plasmochemistry, 2012, vol.10, № 4, pp 262-267 (in Russian).

3. Gubin E.I., Dik I.G., Krainov A.Y. Ingibirovanie gazovih plamen poroshkovimi sostavami [Inhibition of gas flames by powder formulations]. Fizika gorenija i vzriva = Physics of combustion and explosion, 1989, vol. 25 № 2, pp. 57-62 (in Russian).

4. Krainov A.Y., Sheurman V.A. Oh predelah rasprostranenia plameni po zapilenomu gazu [On the extent of flame propagation through dusty gas]. Fizika gorenija i vzriva = Physics of combustion and explosion, 1997, vol. 33, № 4, pp. 14-20 (in Russian).

5. Dexu D., Xuhai P., Min H.. Experimental study on fire extinguishing properties of compound superfine powder. Procedia Engineering, 2018, Vol. 211, pp 142-148. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.12.126.

6. Guomin, Guangji X., Shuang J., Qingsong Z., Zhongxian L. Fire-extinguishing efficiency of superfine powders under different injection pressures, International Journal of Chemical Engineering, 2019, № 4, pp 1-7. DOI: 10.1155/2019/2474370.

7. Huang X., Liu L., Zhou X. Experimental study on fire-extinguishing performance of ammonium phosphate subnanometer powder // Fire Science. – 2011. – Vol. 20, № 4, pp 200–205.

8. Chung-Hwei S., Chan-Cheng C., Horng-Jang L., Shiuan-Cheng W. The assessment of fire suppression capability for the ammonium dihydrogen phosphate dry powder of commercial fire extinguishers. Procedia Engineering, 2014, vol. 84, pp 485-490. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.459.

9. Ye Y., Zhivue H., Lingshuang Z., Zhiming D., Xiaomin C. Study on the relationship between the particle size distribution and the effectiveness of the K-powder fire extinguishing agent. Fire and Materials, 2018, vol. 42, pp 336-344. DOI: 10.1002/fam.2500.

10. Hangchen L., Dexu D., Xinxin G., Min H., Xuhai P. Experimental study on the optimum concentration of ferrocene in composite ultrafine dry powder. Fire Technology, 2020, vol.56, pp 9130–936. DOI: 10.1007/s10694-019-00912-x.

11. Gurchumelia L., Bezarashvili G., Tsanova R. Thermal Inhibition of Flame Propagation Bull. Georg. Natl. Acad. Sci. Physical Chemistry, 2019, vol. 13, № 3,

pp 50–53.

12. Ye Y, Zhiming D., Zhivue H. A novel hot aerosol extinguishing agent with high efficiency for Class B fires. *Fire and Materials*, 2019, vol. 43, pp 84-91. DOI: 10.1002/fam.2671.

13. Baratov A.N. *Gorenie – Pojar – Vzriv – Bezopasnost'* [Combustion - Fire - Explosion - Safety]. Moscow, FGU VNIPO MCHS ROSSII, 2003, 364 p (in Russian).

14. Kozakov A.B., Popov A.B., Khatuntsev C.Y., Bukhtoyarov D.V. *Pojarotushenie v nanorazmerakh* [Fire fighting in nanoscale]. *Materiali 34 mejdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Aktualnie problemi pojarnoi bezopasnosti"* [Materials of the 34 International scientific and practical conference "Actual problems of fire safety"]. Moscow, FSI VNIPO Ministry of Emergency Situations, 2022, pp 206-211 (in Russian).

15. Kitsak A.I. *Effectivnost tushenya pojara ognetushashim poroshkom obshego naznacheniya pri nestatsionarnom vzaimodeistvii chastits poroshka s goryashim veshestvom* [The effectiveness of extinguishing a fire with a general-purpose extinguishing powder with non-stationary interaction of powder particles with a burning substance]. *Vesti NAN Belarusi. Seria fiziko-tekhnicheskikh nauk = National Academy of Sciences of Belarus, Ser. of Physical and Technical Sciences*, 2020, vol. 65, № 4, pp 476-487 (in Russian).

16. Gershenzon Y.M., Rozenshtein A. H., Spasskii A.N., Kogan A.N. *Reaktsii gibeli chastits na stenke v struevikh usloviyakh* [Reactions of death of active particles on the wall under jet conditions]. *Dokladi akademii nauk SSSR. Fizicheskaya khimiya = Reports of the USSR Academy of Sciences. Physical chemistry*, 1972, vol. 205, № 4, pp 871-874. (in Russian).

17. Luikov A.V. *Teorya teploprovodnosti* [Theory of thermal conductivity]. Moscow, "Visshaya shkola", 1967. 592 p. (in Russian).

18. Semenov H.H. *Tsepnie reaktsii* [Chain reactions]. – Moscow, "Nauka", 1986. – 535 p. (in Russian).

19. Frank-Kameneckii D.A., *Diffuziya i teploperedacha v himicheskoi promishlennosti* [Diffusion and heat transfer in chemical kinetics]. – Moscow, "Nauka", 1987. – 502 p. (in Russian).

20. Kasatkin A.G. *Osnovnie processi i apparati himicheskoi tehnologii* [Basic processes and devices of chemical ltechnology]. – Moscow, OOO TID "Alliance", 2004. – 753 p. (in Russian).

21. Gershenzon Y.M., Rozenshtein A.H., Spasskii A.N., Kogan A.N. *Gomodennie reaktsii pervogo poryadka v usloviyakh laminarnogo techeniya* [Homogeneous first-order reactions under laminar flow conditions]. *Dokladi akademii nauk SSSR. Fizicheskaya khimiya = Reports of the USSR Academy of Sciences. Physical chemistry*, 1972, vol. 205, no. 3, pp 624–627. (in Russian).



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.69-78>

УДК 662.75/.76:614.83

Шавердо О.В., канд. техн. наук, доц. Бирюк В.А., Гасанова Ч.В.

ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТЬ СЛИВО-НАЛИВНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПЕРЕВАЛКЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ТОПЛИВА

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск

Данная работа посвящена исследованию проблемных вопросов обеспечения безопасности сливо-наливных операций при наполнении автоцистерн нефтепродуктами.

Приведена статистическая информация об объемах производства и потребления нефтепродуктов, дана характеристика основных этапов транспортировки нефтепродуктов и способов слива-налива в автоцистерны.

Проведен анализ пожарной опасности, рассмотрены основные причины пожаров и взрывов при наполнении автоцистерн нефтепродуктами.

Обозначены пути снижения взрывопожароопасности сливо-наливных операций.

Ключевые слова: перевозка опасных грузов, нефтепродукты, пожар, взрыв, сливо-наливные операции

Ph.D. in Technology, Associate Professor Biruk V.A., Shaverdo O.V., Ghasanova Ch.V.

EXPLOSION AND FIRE SAFETY OF DRAINING AND FILLING OPERATIONS WHEN FILLING TANKERS WITH OIL PRODUCTS

The State Educational Institution "University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus", Minsk

This paper considers a study of problem issues by ensuring the safety of tank-truck draining and filling operations.

Statistics of the amount of production and consumption of oil products, characteristics of the main stages of oil products transportation and methods of tank-truck draining and filling is provided.

An analysis of fire danger, as well as key reasons of explosions and fires in cases tank-truck draining and filling, is considered.

Ways for reducing explosion and fire hazard during tank-truck draining and filling operations are outlined.

Keywords: transportation of dangerous goods, oil products, fire, explosion, tank-truck draining and filling operations.

Введение

В последние десятилетия мировой рынок нефтепродуктов стал одним из самых значимых мировых товарных рынков. Крупные масштабы торговли нефтепродуктами объясняются в первую очередь высоким уровнем спроса как

для конечного потребления, так и для дальнейшего использования нефтепродуктов в качестве сырья в различных отраслях промышленности.

Республика Беларусь активно вовлечена в мировой рынок нефтепродуктов. Объем нефтепереработки в Беларуси в 2020 году составил 313 тысяч баррелей в день, занимая 0,4 % мировой нефтепереработки.

Производственные мощности в Беларуси составляют 520 тысяч баррелей в сутки, что составляет 0,5 % от мировых производственных мощностей. В 2017-2018 годах в Беларуси были увеличены нефтеперерабатывающие мощности на 60 тысяч баррелей в сутки.

В Беларуси функционируют два нефтеперерабатывающих завода: Мозырский и Новополоцкий. Мозырский НПЗ является предприятием топливного профиля, введен в эксплуатацию в 1975 году. Мощность нефтепереработки Мозырского НПЗ составляет 280 тысяч баррелей в сутки, а глубина переработки – около 85 %, выход светлых нефтепродуктов – 67 %. Новополоцкий НПЗ является предприятием топливно-масляного профиля, введен в эксплуатацию в 1963 году. Мощность нефтепереработки составляет 240 тысяч баррелей в сутки, а глубина переработки – 92 %, выход светлых нефтепродуктов – до 73 %.

Белорусские НПЗ работают в большей степени на импортируемой из России нефти, так как запасов белорусской нефти не хватает для удовлетворения внутреннего спроса на нефтепродукты.

По данным опубликованных отчетов Национального статистического комитета Республики Беларусь [1], динамика потребления автомобильного бензина и дизельного топлива в нашей стране является положительной и представлена на рисунках 1 и 2.

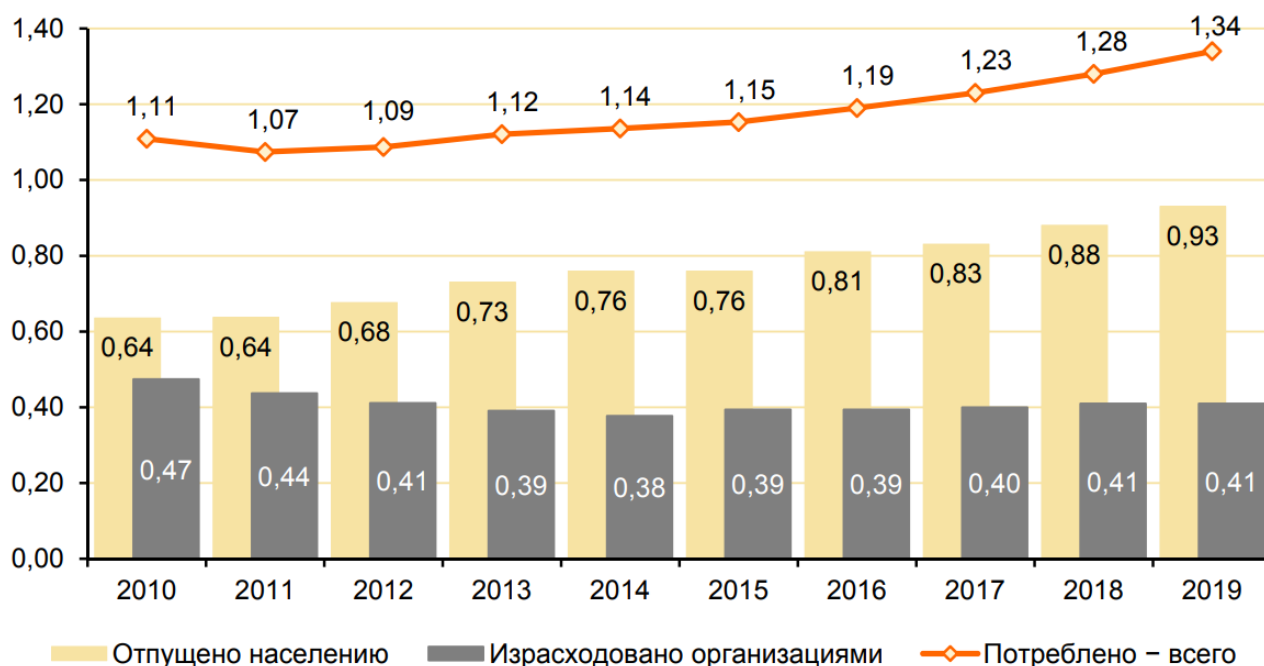


Рисунок 1. – Динамика потребления бензина автомобильного в Республике Беларусь (млн. т)

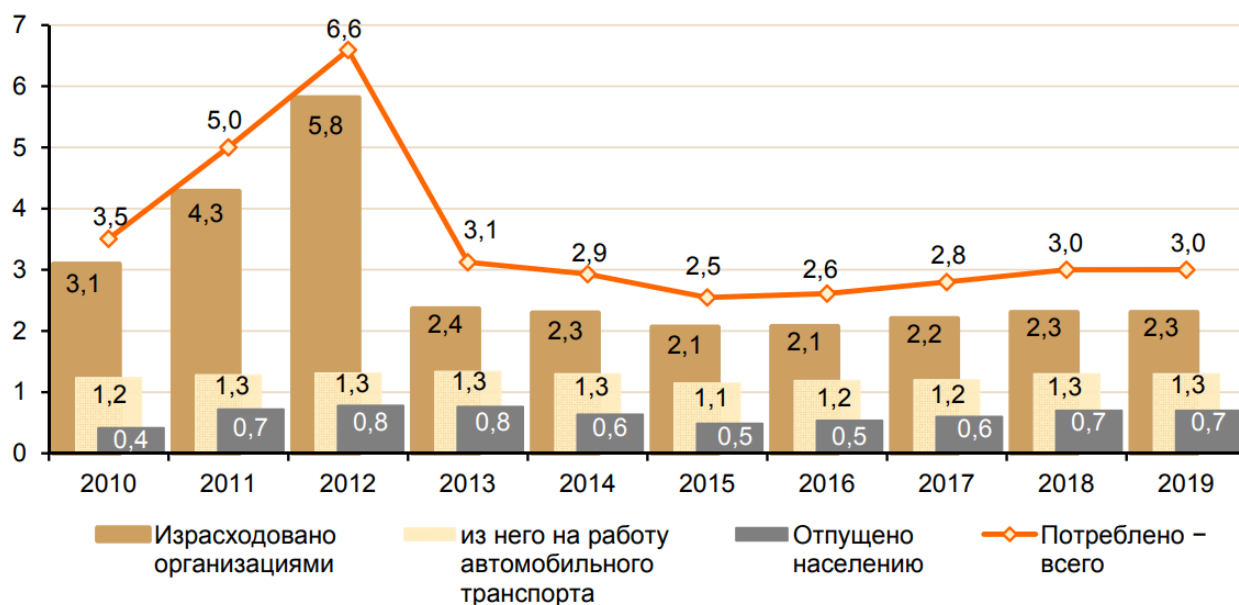


Рисунок 2. – Динамика потребления дизельного топлива в Республике Беларусь (млн. т)

Возрастающие потребности в нефтепродуктах у населения и организаций вызывают необходимость перевозить огромное количество опасных грузов автомобильным, железнодорожным, воздушным и водным транспортом. Два этих фактора привели к тому, что через нашу страну пролегает большое количество магистралей и путей, по которым двигаются транспортные средства, перевозящие опасные грузы. Объем перевезенных опасных грузов через таможенную границу Республики Беларусь составляет около 12,5 млн. т, из них около 2,5 млн. т – автомобильным транспортом.

Как показывает практика, около 30 % аварийных ситуаций происходит у отправителя грузов при осуществлении операций по наполнению автоцистерн, 25 % происшествий происходит при перевозке в автоцистернах и столько же при сливе топлива на нефтебазах или автозаправочных станциях. Кроме того, пожароопасные ситуации имеют место при обслуживании спецтранспорта и во время перемещения пустых автоцистерн. Для снижения рисков пожароопасности и негативного влияния на окружающую среду разрабатываются специальные требования, которые являются обязательными для исполнения перевозчиками нефтепродуктов.

Деятельность в области перевозки таких опасных грузов регламентируется как международным, так и национальным законодательством. Международное право состоит в основном из документов, принимаемых под эгидой Организации Объединенных Наций. Одним из важнейших международных документов, регулирующих вопросы перевозки опасных грузов автомобильным транспортом, является Соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов от 30 сентября 1957 года (ДОПОГ) [3], к которому Республика Беларусь присоединилась постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 ноября 1992 г. № 721. Национальное законодательство гармонизировано с международными нормами. В Республике Беларусь принят Закон Республики Беларусь от 6 июня 2001 г. № 32-З «О перевозке опасных грузов» [4], а также

ряд подзаконных актов, регламентирующих взаимоотношения в области перевозки опасных грузов (правила, инструкции и т.д.).

Основная часть

Этапы перевозки нефтепродуктов

Перевозка нефтепродуктов состоит из нескольких этапов. Как правило, это загрузка железнодорожных цистерн на нефтеперерабатывающем заводе; перевозка опасного груза железнодорожным транспортом; слив опасного груза в резервуары на нефтебазе; загрузка опасного груза в автоцистерны; доставка на АЗС.

Как мы видим, с момента добычи до непосредственного использования нефтепродукты подвергаются большому количеству перевалок (перегрузок). Слив-налив нефтепродуктов является основной операцией технологического цикла транспортировки различных видов моторных топлив и производится с помощью специальных установок, стояков налива, насосов. Все эти устройства обеспечивают пожаровзрывобезопасность и наименьшее загрязнение окружающей среды, однако не исключают потери транспортируемого продукта.

Налив нефтепродуктов в автоцистерны производится на наливных пунктах, в том числе наливных эстакадах.

Налив нефтепродуктов осуществляется с помощью специально предназначенных для этой цели установок, насосов. Именно эти приспособления слива-налива нефтяной продукции обеспечивают наибольшую пожаробезопасность и наименьший ущерб окружающей среде.

В Республике Беларусь применяют два способа налива – верхний и нижний. При верхнем наливании в начале наполнения топливо может подаваться в емкость свободнопадающей струей. Это приводит к образованию статического заряда на поверхности жидкости. При нижнем наливании также возможно образование статического заряда за счет трения слоев жидкости о стенки емкости.

Основным видом потерь нефтепродуктов, безусловно, являются потери от испарения, на долю которых приходится около 75 %. По оценкам специалистов, поступление углеводородов при испарении нефтепродуктов в атмосферу составляет от 20 до 100 млн. т ежегодно, причем около 9 млн. т из них выпадает обратно с осадками.

Отечественный и зарубежный опыт по проведению сливо-наливных операций при загрузке транспортных средств нефтепродуктами свидетельствует, что взрывы при их проведении наносят сильный ущерб, могут иметь катастрофические последствия, сопровождаться гибелью людей и большими материальными потерями.

В Республике Беларусь и Российской Федерации имели место инциденты при проведении операций по наполнению автомобильных цистерн нефтепродуктами. В мировой практике в последние годы было зафиксировано несколько серьезных аварий с автоцистернами, перевозящими опасные грузы 3-го класса, повлекшие за собой значительные человеческие жертвы.

Анализ причин взрывов автоцистерн

Опыт эксплуатации автоцистерн при перевозке нефтепродуктов свидетельствует, что до 80 % аварий происходит во время проведения сливо-наливных операций. Главными причинами этих аварий являются следующие: несоблюдение правил эксплуатации технологического оборудования (в соответствии с их технологическими схемами); правил техники безопасности при работе с нефтепродуктами; использование неисправных устройств по отводу статического электричества (либо неиспользование таковых); использование нештатного (неомедленного) инструмента при монтаже (демонтаже) оборудования; проведение сливо-наливных работ во время грозы; подача нефтепродукта в цистерну «падающей» струей; пользование электрофонарями не во взрывозащищенном исполнении, отсутствие искрогасителей на автоцистернах при въезде на территорию объектов с хранением нефтепродуктов и т.п.

Отечественная и зарубежная статистика свидетельствует о высоком уровне риска возникновения чрезвычайных ситуаций при перевалке нефтепродуктов.

Так, 06.02.2015 в г. Белоярский произошел взрыв паров нефтепродуктов при наполнении автоцистерны дизельным топливом. Автомобиль не был заглушен.

22.04.2015 в п. Первомайский Щекинского района Тульской области при наполнении автоцистерны топливом на территории нефтебазы ООО «Россервис» произошло ее возгорание, пламя перешло на всю площадь автомобиля и цистерны. В результате разрушения цистерны произошел разлив топлива, что привело к пожару и гибели одного человека.

23.05.2016 во время выполнения работ по наполнению автоцистерны дизельным топливом на территории комплексной автозаправочной станции РУП «Белоруснефть-Минскавтозаправка», расположенной в г. Минске, произошло возгорание паров нефтепродуктов. В результате этого водитель получил тяжкие телесные повреждения. Предположительно возгорание могло произойти от разряда статического электричества, возникшего в автоцистерне при наполнении ее дизельным топливом, в результате выдавливания паров остатков бензина.

24.11.2016 на складе хранения нефтепродуктов в Тракторозаводском районе г. Волгограда прогремел взрыв паровоздушной смеси при наливке в автоцистерну дизельного топлива бензовоза марки КАМАЗ. В результате ЧП пострадавший работник нефтяной компании «Роснефть» получил ожог 30 % тела.

31.07.2019 на объекте «Нефтегазовый комплекс г. Брест» (ИООО «ЛУКОЙЛ Белоруссия») произошло возгорание опасного груза во время проведения наливной операции в автомобильную цистерну, находящуюся на топливной рампе.

Как показал анализ аварийных ситуаций, характерны следующие виды развития аварийных процессов:

- взрывы газопаровоздушных смесей в объеме цистерны;
- разлитие взрывопожароопасных жидкостей.

При этом наиболее опасными являются взрывы газопаровоздушных смесей в корпусе цистерны, для реализации которых необходимо наличие двух факторов (рисунок 3):

- критическая величина концентрации паровоздушной смеси (2–6 об. %), которая образуется при наливе бензина в начальный момент;
- присутствие детонатора.

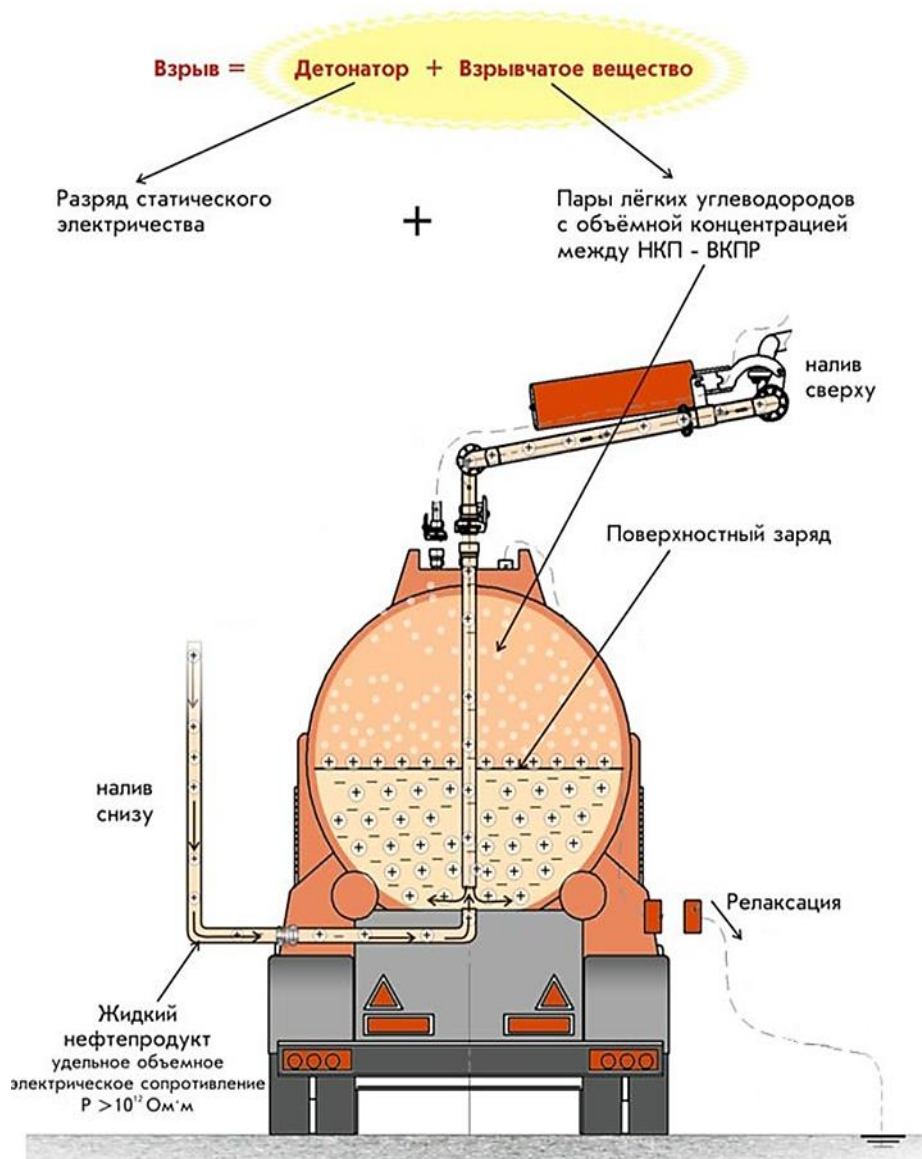


Рисунок 3. – Условия образования взрывоопасных паровоздушных смесей при разных способах налива нефтепродуктов [2]

Основным источником зажигания в этом случае чаще всего является статического электричество. Так, в процессе движения с продуктом или без него автоцистерна может приобрести электростатический потенциал до величины пробойного напряжения воздуха $3 \cdot 10^6$ В/м и при касании заземленным проводником корпуса автоцистерны. На расстоянии 1 мм достаточно потенциала (напряжения) 3000 В, чтобы возник искровой разряд.

При исследованиях электризации нефтепродуктов на стадии наполнения цистерн и влиянии сопротивления заземленного проводника на величину электростатического заряда обнаружены характерные признаки подобных явлений [5]:

1. Величина электростатического заряда в объеме нефтепродукта определяется его электропроводностью.

2. Величина накопленного суммарного электрического заряда на цистерне не зависит от электропроводности цистерны, определяется только электрическим сопротивлением ее заземления.

Суммарный электростатический заряд объема нефтепродукта, находящегося в цистерне, передается в течение определенного времени на металлическую оболочку цистерны и далее стекает на землю. Принято, что данный процесс подчиняется некоторой экспоненциально-временной зависимости. Вид ожидаемой экспериментальной зависимости пока не установлен. На стенках реальной емкости, находящейся в длительной эксплуатации с целью транспорта или хранения продуктов с разной вязкостью и другими свойствами, всегда остаются твердые остатки в виде пленки, затрудняющей быструю утечку электростатических зарядов. Таким образом, гарантированного (с вероятностью $\approx 100\%$) способа устранения электростатических зарядов из нефтепродуктов при их наливке, сливе и хранении пока не найдено.

В этой связи приходится обращать внимание на другие факторы возникновения взрывов, а именно: кроме источника электростатических разрядов для возникновения взрывного процесса необходимо наличие взрывоопасного вещества или формирование пожаровзрывоопасной среды (далее – ПВС) при технологических операциях. Приходится признать, что примеси легких углеводородных фракций (далее – ЛУФ) всегда присутствуют в определенных концентрациях в составе паровоздушных смесей над зеркалом нефтепродукта в технологических емкостях, магистралях и регулировочной аппаратуре.

Состав ЛУФ может быть разным и зависит от вида используемого нефтепродукта. При перегрузке и хранении бензина ЛУФ состоят в основном из пропана, бутана, пентана, гексана и их изомеров. При перегрузке нефти кроме указанных компонентов в состав ЛУФ входят метан, этан, бензол и другие примеси.

Количество (концентрация) ЛУФ в ПВС зависит от состава компонентов и температуры окружающей среды и продукта. Степень летучести компонентов и пожароопасность для каждого вида нефтепродукта определяется температурой вспышки в закрытом тигле и величиной давления насыщенных паров по Рейду. Доля каждого компонента в ПВС подчиняется закону Дальтона, по которому сумма парциальных давлений компонентов равна общему давлению в системе. При наполнении цистерн давление равно атмосферному.

Методы снижения взрывопожароопасности сливо-наливных операций

Обеспечение безопасности на объектах перевалки нефтепродуктов достигается совокупностью мероприятий как технологического характера, так и проведением организационно-технических мероприятий.

Вместе с тем анализ выявленных нарушений показывает, что типовыми причинами принудительных приостановок эксплуатации транспортных средств, перевозящих опасные грузы (нефтепродукты), являются:

около 85 % – нарушения технического (в том числе организационно-технического) характера (непрохождение гостехосмотра, несвоевременное проведение периодических и промежуточных проверок цистерн, эксплуатация автоцистерн после истечения установленного (разрешенного) по результатам технического диагностирования срока эксплуатации, неисправности специального оборудования и элементов крепления цистерн, неисправности электрооборудования и средств защиты от статического электричества, неисправности элементов шасси транспортных средств);

около 10 % – нарушения, связанные с документацией (отсутствие эксплуатационной документации, отсутствие (истечение срока действия) маршрутов перевозки опасных грузов, отсутствие (истечение срока действия) свидетельств о допуске транспортных средств к перевозке опасных грузов);

около 5 % – нарушения, связанные с отсутствием подготовленных в установленном порядке (прошедших обучение и проверку знаний) специалистов и персонала, занятого перевозкой опасных грузов.

Анализ существующих теорий возникновения электростатических зарядов при наливе автоцистерн, а также исследований в области образования взрывоопасных паровоздушных смесей показал, что контролировать этот процесс и влиять на его развитие на практике очень сложно. Однако для обеспечения взрывопожаробезопасности налива нефтепродуктов рекомендуется придерживаться следующих обязательных условий:

налив открытой струей должен быть исключен (наливная труба должна находиться в контакте с дном цистерны);

скорость налива в начальный момент должна быть не более 1-1,2 м/с (время налива на данной скорости должно быть достаточно, чтобы зеркало продукта скрыло полностью выходные окна наливного наконечника);

наличие в котле цистерны каких-либо выступающих конструкций, балок или прутьев, расположенных параллельно или с наклоном к зеркалу продукта, недопустимо;

обязательно внешнее заземление автоцистерны с помощью устройства, контролирующего величину сопротивления переходного контакта клещей заземления с металлической частью котла цистерны;

одежда и обувь обслуживающего персонала должна быть антистатической; автомобиль должен быть технически исправен, двигатель заглушен, работа любого электроприбора исключается, зажигание выключено, электропроводка исправна;

инструменты, применяемые при работе, должны иметь покрытие, исключаящее искрообразование при контакте или соударении с металлическими или заземленными частями установки и автоцистерны.

Соблюдение вышеуказанных мероприятий позволяет существенно снизить вероятность возникновения искрового разряда и, как следствие, риска возникновения чрезвычайных ситуаций при проведении сливо-наливных операций.

Заключение

В данной работе проведен анализ производства нефтепродуктов в Республике Беларусь, установлена положительная динамика глубины переработки и выхода светлых нефтепродуктов, что приводит к увеличению объемов их транспортировки, включая перевозку автомобильным транспортом.

Установлено, что слив-налив нефтепродуктов является самой опасной технологической операцией ввиду наличия в объеме автоцистерны взрывоопасных газопаровоздушных смесей и присутствия детонатора. Вместе с тем до конца не изучено изменение состава паровоздушной смеси в процессе наполнения автоцистерны, а также механизм возникновения электростатического заряда как на стенках котла цистерны (с учетом отложений нефтепродукта), так и над зеркалом жидкого топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетический баланс Республики Беларусь – 2020 / Статистический сборник // Национальный статистический комитет Республики Беларусь (Белстат). – Минск: 2020. – 151 с.
2. Кобылкин, Н.И. Анализ и экспериментальное исследование причин взрывов цистерн и резервуаров при перегрузке нефтепродуктами / Н.И. Кобылкин, Б.Е. Гельфанд // Проблемы управления рисками в техносфере. – Из-во СПб. ун-та гос. противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, 2009. – С. 33–38.
3. Европейское Соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ).
4. О перевозке опасных грузов [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь от 6 июня 2001 г. № 32-З: в ред. Закона Респ. Беларусь от 12 июля 2013 г. № 62-З // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022.
5. Тютяев, А.В. Исследования причин воспламенения газовой смеси нефтепродуктов при заполнении резервуаров дизельным топливом / А.В. Тютяев, А.С. Должиков, И.С. Зверева // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-4. – С. 873–876.

REFERENCES

1. Energeticheskiy balans Respubliki Belarus' – 2020 / Statisticheskiy sbornik // Nacional'nyj statisticheskiy komitet Respubliki Belarus' (Bel-stat). – Minsk: 2020. – 151 s.
2. Kobyлкиn, N. I. Analiz i eksperimental'noe issledovanie prichin vzryvov cistern i rezervuarov pri peregruzke nefteproduktami / N. I. Ko-byлkin, B. E. Gel'fand // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. – Iz-vo SPb. un-ta gos. protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii im. Geroya Rossijskoj Federacii generala armii E.N. Zinicheva, 2009. – S. 33–38.
3. Evropejskoe Soglashenie o mezhdunarodnoj dorozhnoj перевозке опасных грузов (DOPOG).

4. О перевозке опасных грузов [Elektronnyj resurs]: Zakon Resp. Belarus' ot 6 iyunya 2001 g. № 32-Z: v red. Zakona Resp. Belarus' ot 12 iyulya 2013 g. № 62-Z // Konsul'tantPlyus. Belarus' / ООО «YUrSpektr», Nac. centr pravovoj inform. Resp. Belarus'. – Minsk, 2022.

5. Tyutyayev, A.V. Issledovaniya prichin vosplamneniya gazovozdushnoj smesi nefteproduktov pri zapolnenii rezervuarov dizel'nyim toplivom / A.V. Tyutyayev, A.S. Dolzhikov, I.S. Zvereva // Fundamental'nye issledovaniya. – 2013. – № 6-4. – S. 873–876.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.79-87>

УДК 665.612:614.83

**Шавердо О.В., канд. техн. наук, доц. Бирюк В.А.,
канд. техн. наук Короткевич С.Г.**

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ СВЕТЛЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ НАПОЛНЕНИИ АВТОЦИСТЕРН

*Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск*

Данная работа посвящена исследованию причин воспламенения паровоздушной смеси светлых нефтепродуктов при наполнении автоцистерн.

Приведена характеристика пожарной опасности бензина и дизеля, экспериментальным путем исследован процесс взаимного поглощения паров светлых нефтепродуктов при смене видов перевозимого в автоцистерне топлива, а также условия возникновения взрывоопасных концентраций в процессе налива нефтепродуктов.

Изучен процесс возникновения искрового разряда статического электричества с учетом конструкции автоцистерны, предложены мероприятия по предотвращению его опасных проявлений.

Разработаны предложения по снижению опасности паровоздушных смесей при наполнении автоцистерн нефтепродуктами.

Ключевые слова: автоцистерна, светлые нефтепродукты, паровоздушная смесь, давление насыщенных паров, концентрационный предел взрываемости, электростатический потенциал.

**Ph.D. in Technology, Associate Professor Biruk V.A., Shaverdo O.V.,
Ph.D. in Technology Korotkevich S.G.**

ANALYSIS OF CAUSES OF IGNITION OF GAS-VAPOUR MIXTURES OF LIGHT OIL PRODUCTS DURING TANK –TRUCK FILLING

*The State Educational Institution "University of Civil Protection of the Ministry
of Emergency Situations of the Republic of Belarus", Minsk*

This paper considers the analysis of causes of ignition of light oil products' gas-vapour mixtures during tank-truck filling.

Characteristics of the fire hazard of gasoline and diesel are given. The process of mutual absorption of light oil product vapors when changing the types of oil product transported in a tank-truck, as well as conditions for the occurrence of explosive concentrations during the filling, are experimentally studied.

The influence of the tank-truck interior structures on the process of occurrence of a static electricity flash-over is studied. Measures for the prevention of its dangerous cases are proposed.

Proposals for the reduction of gas-vapour mixtures danger during tank-truck filling are worked out.

Keywords: tank-truck, light oil products, gas-vapour mixture, saturated vapor pressure, explosive concentration limit, electrostatic potential.

Введение

С момента производства до непосредственного использования нефтепродукты подвергаются более чем 20 стадиям «перевалки». Непосредственную опасность при сливо-наливных операциях представляют потери от испарений нефтепродуктов при эксплуатации парка автоцистерн.

В ходе каждой сливо-наливной операции на 1 м³ переливаемого бензина в атмосферу испаряется 1,1–1,4 м³ паровоздушной смеси, в каждом кубометре которой в зависимости от времени года и температуры окружающей среды содержится от 1 до 3,6 л высокооктанового бензина, который при определенных условиях может представлять определенную опасность [1].

Продукты нефтепереработки относятся к числу пожароопасных веществ. Пожароопасность светлых нефтепродуктов оценивается температурами вспышки и воспламенения. В таблице 1 представлены сравнительные характеристики пожаро- и взрывоопасных свойств нефтепродуктов в соответствии с ГОСТ 12.1.044.

Таблица 1. – Характеристики пожаро- и взрывоопасных свойств нефтепродуктов

Вещество	Температура, °С		Предел воспламенения с воздухом			
			температурный, °С		концентрационный, % (по объему)	
	вспышки	самовоспламенения	нижний	верхний	нижний	верхний
Бензины:						
автомобильный АИ-92	-39	255	-39	-8	0,76	5,03
автомобильный АИ-95	-36	300	-36	-7	0,79	5,16
Дизельное топливо:						
зимнее	48	240	69	119	-	-
летнее	71	310	62	100	-	-
Керосин тракторный	27	250	27	69	1,40	7,5
Уайт-спирит	33-36	227	33	68	-	-

Температурой вспышки называется температура, при которой пары нефтепродукта, нагреваемого в определенных стандартных условиях, образуют с окружающим воздухом взрывчатую смесь и вспыхивают при поднесении к ней пламени. Температура вспышки зависит от фракционного состава нефтепродуктов. Чем ниже пределы перегонки нефтепродукта, тем ниже и температура вспышки. В среднем температура вспышки бензинов находится в пределах от –30 до –40 °С, керосинов 30–60 °С, дизельных топлив 30–90 °С и нефтяных масел 130–320 °С. По температуре вспышке можно судить о наличии примесей более низкокипящих фракций в тех или иных товарных или промежуточных нефтепродуктах.

Температурой самовоспламенения называется температура, при которой нагретый нефтепродукт в контакте с воздухом воспламеняется самопроизвольно без внешнего пламени. Температура самовоспламенения нефтепродуктов зависит и от фракционного состава, и от преобладания углеводородов того или

иного класса. Чем ниже пределы кипения нефтяной фракции, тем она менее опасна с точки зрения самовоспламенения. Температура самовоспламенения уменьшается с увеличением среднего молекулярного веса нефтепродукта. Тяжелые нефтяные остатки самовоспламеняются при 300–350 °С, а бензины только при температуре выше 500 °С. При появлении внешнего источника пламени (огня или икры) положение резко меняется, и легкие нефтепродукты становятся взрыво- и пожароопасными.

Основная часть

При анализе пожаровзрывоопасности нефтепродуктов на этапе слива-налива автоцистерны необходимо рассматривать возникновение взрывоопасных концентраций летучих углеводородных фракций в паровоздушной смеси при совокупном влиянии целого ряда условий. Состав летучих углеводородных фракций может быть разным и зависит от вида используемого нефтепродукта. При перегрузке и хранении бензина они состоят в основном из пропана, бутана, пентана, гексана и их изомеров.

Во всех нефтепродуктах давление насыщенных паров (равновесная устойчивая концентрация паров над поверхностью жидкости) зависит от температуры, увеличивается с ее повышением и сравнивается с атмосферным давлением в начале кипения.

Температура вспышки – это температура, при которой давление (концентрация) паров жидкости настолько высоко, что они вспыхивают при наличии провоцирующего источника. Данная концентрация находится между нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости (далее – НКПВ и ВКПВ). Можно сказать, что температура вспышки при наличии провоцирующего источника – это значение, которое связывает давление и концентрацию насыщенных паров, находящихся в пределах НКПВ и ВКПВ.

Давление насыщенного пара чистого вещества P_H является однозначной функцией температуры. Для ЛВЖ и некоторых ГЖ давление насыщенного пара чистого вещества определяется по формуле Антуана:

$$\lg P = A - \frac{B}{(t + C_A)},$$

где P – давление насыщенного пара, кПа; A , B , C_A – константы формулы Антуана; t – температура, °С.

Однако формулу Антуана некорректно использовать для определения давления насыщенного пара нефтепродуктов, так как их состав представлен нефтяной фракцией парафиновых углеводородов.

Имеется множество формул для пересчета давления насыщенных паров нефтяных фракций с одной температуры на другую, однако чаще пользуются графическими методами. Наиболее распространенными являются графические методы определения по номограммам $P_t = f(t_{ж})$ [2].

Графические зависимости давления и объемной концентрации насыщенных паров бензина и дизельного топлива от температуры (рисунки 1-2) показа-

ли, что бензины обладают высокой эмиссией паров, которые опасны при любых температурах, но концентрация их всегда выше верхнего концентрационного предела взрывоопасности.

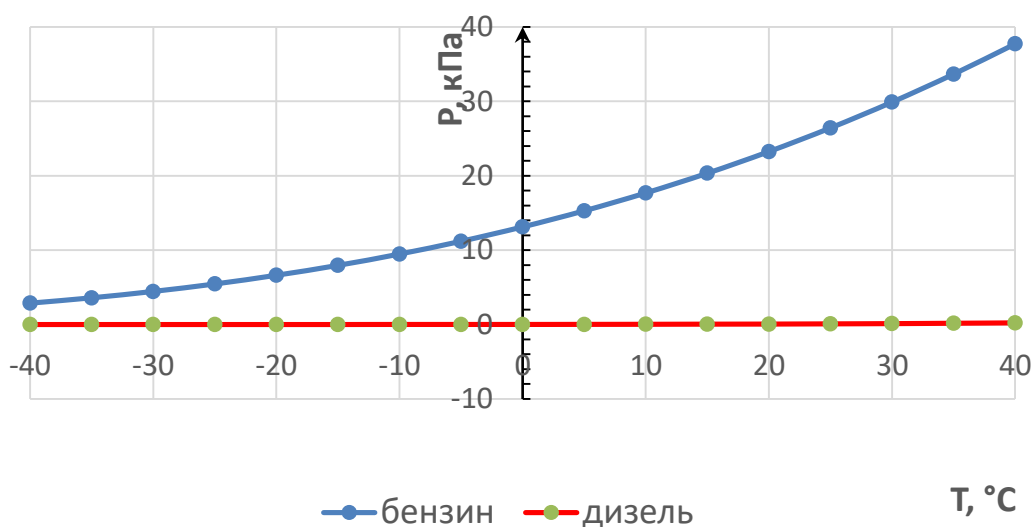


Рисунок 1. – Зависимость давления насыщенных паров нефтепродуктов от температуры

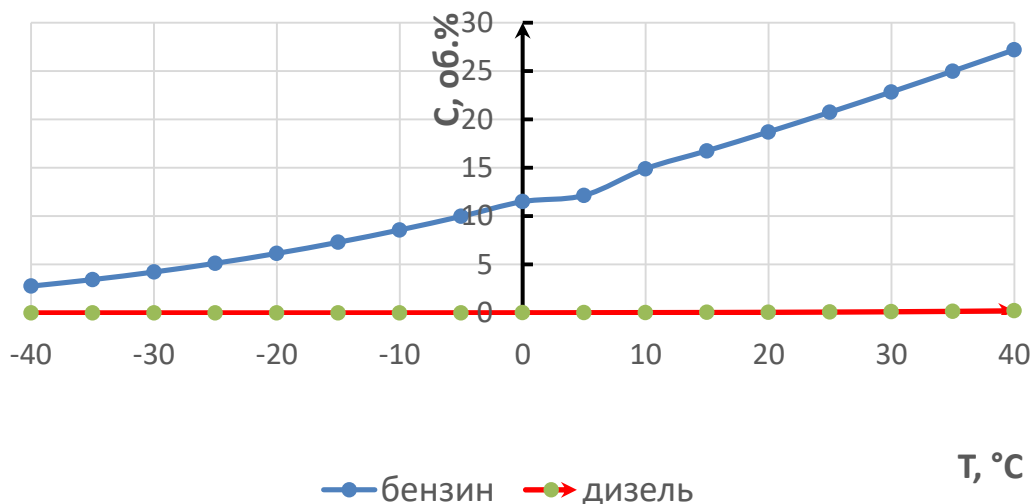


Рисунок 2. – Зависимость объемной концентрации насыщенных паров нефтепродуктов от температуры

Дизтопливо обладает низкой эмиссионной способностью и его пары практически безопасны при температурах окружающей среды, т.е. концентрация их всегда ниже нижнего концентрационного предела.

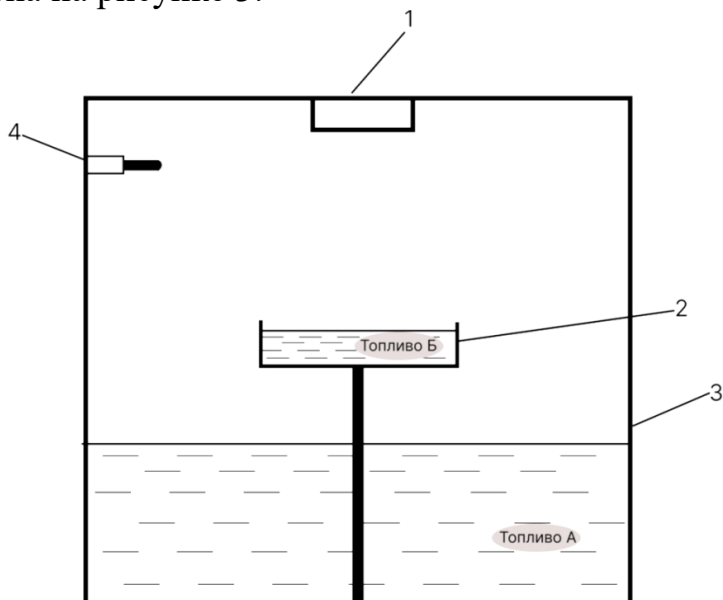
Измерения концентрации паров в емкостях, где хранится или перевозится бензин, показало, что после его слива из емкости концентрация паров в ней зависит от температуры окружающей среды и находится в пределах от 15 % до 50 % объемных. При операции слива бензина из емкости концентрация паров снижается в начальной стадии слива, но впоследствии с течением времени восстанавливается за счет сохранившихся остатков и пленки на стенках. Если в емкости пары полностью отсутствовали и туда залили бензин, то за короткий промежуток времени концентрация паров в объеме пересекает взрывоопасный

концентрационный диапазон между нижним концентрационным пределом горения около 2 об.% и верхним концентрационным пределом горения около 6 об.% и достигает равновесного значения при текущей температуре.

Дизельное топливо всех марок имеет температуру вспышки выше +40 °С. Величина давления насыщенных паров по Рейду составляет 10–13 мм.рт.ст. Практически концентрация паров может достичь уровня свыше 2 % (т.е. попасть во взрывоопасную область) только при температуре более 40 °С. В рабочем диапазоне температуры от -10 °С до +40 °С пары дизтоплива безопасны.

В реальных условиях транспортировки нефтепродуктов часто бывает, что в одной и тот же автоцистерне перевозится попеременно бензин и дизельное топливо. При этом происходят сложные физико-химические процессы эмиссии и поглощения нефтепродуктов, сопровождающиеся поглощением и (или) выделением растворенных в них летучих газовых соединений, которые при наличии провоцирующего источника способны воспламенятся [3].

Были проведены экспериментальные исследования по поглощению паров светлых нефтепродуктов с использованием лабораторной установки, схема которой представлена на рисунке 3.



1 – газоанализатор; 2 – емкость для топлива Б;
3 – емкость для топлива А; 4 – источник зажигания

Рисунок 3. – Схема лабораторной установки

В каждую емкость попеременно наливались разные виды нефтепродуктов. Исследовались паровоздушные смеси (далее – ПВС) бензина АИ-95 и дизельного топлива.

Эксперимент проводился при нормальных условиях при постепенном увеличении количества бензина. Концентрация паров бензина первые 120 мин увеличивалась с 0 % до 15 %, после чего проводилось добавление дизельного топлива.

Установлено, что при добавлении дизельного топлива в емкость происходит абсорбция паров бензина. При этом наблюдается резкое снижение концентрации паров в течение короткого интервала времени до взрывоопасной области, что при наличии источника возгорания может приводить к взрыву (рисунок 4).

Во всех остальных комбинациях ПВС никаких изменений концентрации паров не наблюдалось.

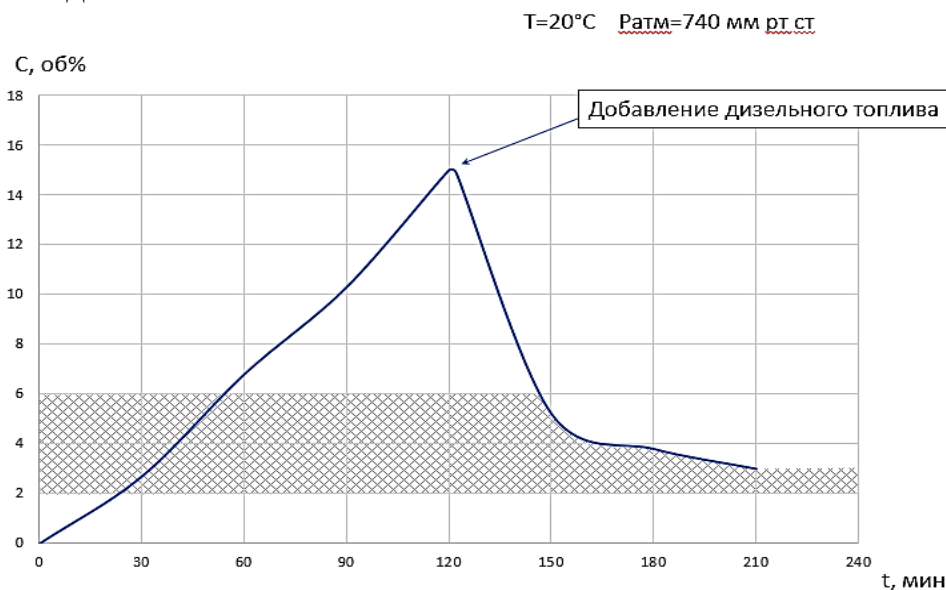


Рисунок 4. – Зависимость объемной концентрации паров газовой смеси от продолжительности эксперимента

Экспериментальными исследованиями по поглощению паров бензина выявлено, что дизтопливо является хорошим абсорбентом паров бензина и применяется в качестве последнего в установках для утилизации паров. В опытах установлено, что для улавливания (извлечения) летучих углеводородов из 1 м³ ПВС с концентрацией до 50 % достаточно 20–25 л дизельного топлива с условием развитого контакта, т.е. наличия большой поверхности соприкосновения дизтоплива и ПВС.

Степень улавливания летучих углеводородных фракций такова, что их остаточная доля в ПВС после контакта с дизельным топливом устанавливается в пределах (2–10) об.%. Такие пределы соответствуют взрывоопасной концентрации паров бензина 2 %–6 %.

Таким образом, при наливке дизельного топлива в емкость, где ранее находился бензин, и концентрация его паров была выше пределов взрывоопасности после поступления дизельного топлива, концентрация паров снижается и может достичь пределов взрывоопасности. Взрывоопасная концентрация паров бензина при наливке дизельного топлива в емкость поддерживается в течение длительного времени в процессе налива и хранения. Вероятность возникновения электростатического разряда в промежутке времени стадии наполнения довольно высока. Замечено что часто взрывы происходят при температуре окружающей среды ниже 0 °С. Это объясняется тем, что при такой температуре концентрация паров бензина не достигает максимальных значений и летучие углеводородные фракции быстрее поглощаются. Процесс абсорбции более эффективно происходит при низкой температуре.

В случае наливания бензина в емкость после того, как в ней было дизельное топливо, и концентрация паров оставалась ниже 2 % в начальный момент наполнения концентрация паров увеличивается и довольно быстро проходит через пределы взрывоопасности. Как правило, в начальный момент наливание

производится с малой скоростью (менее 1 м/с), которая является безопасной для образования электростатических зарядов.

В случае наполнения бензином емкости, в которой ранее был бензин, концентрация паров, ранее бывшая не взрывоопасной, при поступлении дополнительной порции бензина остается такой же.

В случае наполнения дизельным топливом емкости, в которой и ранее находилось дизельное топливо, концентрация паров там остается низкой и не взрывоопасной при дополнительном поступлении дизельного горючего.

Что касается источников детонации ПВС во взрывоопасной концентрации, то чаще всего является статическое электричество [4]. Так, в процессе движения с продуктом или без него автоцистерна может приобрести электростатический потенциал до величины пробойного напряжения воздуха $3 \cdot 10^6$ В/м и при касании заземленным проводником корпуса автоцистерны. На расстоянии 1 мм достаточно потенциала (напряжения) 3000 В и возникнет искровой разряд.

При существующих теориях возникновения статического электричества, как признаются сами экспериментаторы, практические результаты образующейся объемной плотности электрических зарядов могут отличаться от расчетной в 10 раз. Поэтому процесс образования электростатических зарядов при наливе автоцистерн, а также возникновение электрических искровых или коронных разрядов в настоящее время не контролируем и повлиять на него невозможно. С небольшой степенью достоверности можно утверждать и придерживаться следующих обязательных условий:

налив открытой струей должен быть исключен (наливная труба должна находиться в контакте с дном цистерны);

скорость налива в начальный момент должна быть не более 1–1,2 м/с (время налива на данной скорости должно быть достаточно, чтобы зеркало продукта скрыло полностью выходные окна наливного наконечника);

наличие в котле цистерны каких-либо выступающих конструкций, балок или прутьев, расположенных параллельно или с наклоном к зеркалу продукта, недопустимо;

обязательно внешнее заземление автоцистерны с помощью устройства, контролирующего величину сопротивления переходного контакта клещей заземления с металлической частью котла цистерны;

одежда и обувь обслуживающего персонала должна быть антистатической; автомобиль должен быть технически исправен, двигатель заглушен, работа любого электроприбора исключается, зажигание выключено, электропроводка исправна;

инструменты, применяемые при работе, должны иметь покрытие, исключаящее искрообразование при контакте или соударении с металлическими или заземленными частями установки и автоцистерны.

Соблюдение вышеуказанных мероприятий позволит исключить вероятность возникновения искрового разряда и снизит величину риска возникновения чрезвычайных ситуаций при проведении сливо-наливных операций при транспортировке нефтепродуктов.

Заключение

Проведенные в данной работе исследования позволили установить, что при наполнении автоцистерн светлыми нефтепродуктами происходит их интенсивное испарение с образованием газопаровоздушных смесей. Состав таких смесей постоянно меняется и зависит от многих факторов: уровня и способа наполнения, наличия и величины отложений на стенках котла автоцистерны, вида перевозимого топлива и т.д.

Статистика взрывов и пожаров при проведении сливо-наливных операций показала, что наибольшую опасность представляет процесс наполнения емкости дизельным топливом, в которой до этого длительное время перевозился бензин. Экспериментальные исследования показали, что при добавлении дизельного топлива происходит интенсивная абсорбция паров бензина, находящихся в цистерне. При этом наблюдается резкое снижение концентрации паровоздушной смеси в течение короткого интервала времени до взрывоопасной области, что при наличии источника возгорания может приводить ко взрыву.

Источником детонации смесей во взрывоопасной концентрации чаще всего являются искровые разряды статического электричества. Несмотря на ряд мер по устранению источника зажигания, принятых техническими нормативно-правовыми актами, по результатам проведенных исследований рекомендуется ввести категорический запрет на наполнение автоцистерн разными видами топлива без соответствующей предварительной подготовки (промывка, пропаривание и (или) рекуперация паров).

ЛИТЕРАТУРА

1. Козыдло, М.В. Проблемы обеспечения безопасности перевозки нефтепродуктов видами транспорта / М.В. Козыдло // Активизация интеллектуального и ресурсного потенциала регионов. – 2018. – С. 192–196.
2. Кирсанов, Ю.Г. Расчетные и графические методы определения свойств нефти и нефтепродуктов : учеб. пособие / Ю.Г. Кирсанов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 136 с.
3. Сучков, В.П. Инциденты при перевозке нефтепродуктов автоцистернами: анализ причин и последствий / В.П. Сучков, Р.Ш. Хабибуллин // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2004. – № 4. – С. 11–13.
4. Тютяев, А.В. Исследования причин воспламенения газовой смеси нефтепродуктов при заполнении резервуаров дизельным топливом / А.В. Тютяев, А.С. Должиков, И.С. Зверева // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-4. – С. 873–876.

REFERENCES

1. Kozydlo, M.V. Problemy obespecheniya bezopasnosti perevozki nefteproduktov vidami transporta / M.V. Kozydlo // Aktivizaciya intellektual'nogo i resursnogo potenciala regionov. – 2018. – S. 192–196.
2. Kirsanov, YU.G. Raschetnye i graficheskie metody opredeleniya svojstv nefiti i nefteproduktov : ucheb. posobie / YU.G. Kirsanov. – Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2014. – 136 s.

3. Suchkov, V.P. Incidenty pri perevozke nefteproduktov avtocister-nami: analiz prichin i posledstvij / V.P. Suchkov, R.SH. Habibullin // Transport i hranenie nefteproduktov. – 2004. – № 4. – S. 11–13.

4. Tyutyayev, A.V. Issledovaniya prichin vosplamneniya gazovozdushnoj smesi nefteproduktov pri zapolnenii rezervuarov dizel'nym toplivom / A.V. Tyutyayev, A.S. Dolzhikov, I.S. Zvereva // Fundamental'nye issledovaniya. – 2013. – № 6-4. – S. 873–876.



ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.88-96>

УДК 614.891.1

Старовойтов А.А., Кашанкова В.В.

ОБ ИЗУЧЕНИИ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРАБОТКИ ШЛЕМА ПОЖАРНОГО С ПОКАЗАТЕЛЯМИ СТОЙКОСТИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

В статье рассматриваются актуальные вопросы разработки шлема пожарного с показателями стойкости к воздействию регламентированных средств поражения для оснащения органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, шлем, средства индивидуальной бронезащиты, испытания.

Starovoitov A.A., Kashankova V.V.

ABOUT THE SPECIAL ASPECTS OF FIREFIGHTER'S BALLISTIC HELMET DEVELOPING

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

The article deals with the actual problems of firefighter's ballistic helmet developing for equipping bodies and departments of emergency situations of the Republic of Belarus.

Keywords: personal protective equipment, helmet, body armor facilities, testing.

Введение

Для обеспечения защиты личного состава органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям при тушении пожаров и выполнении аварийно-спасательных и других неотложных работ предназначен целый комплекс средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ).

Неотъемлемой частью этого комплекса является шлем (каска) пожарного (далее – шлем). Шлем – СИЗ пожарного, обеспечивающее защиту головы от воды, механических, тепловых, химических, неблагоприятных климатических воздействий и поражения электрическим током при тушении пожаров, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и проведении аварийно-спасательных работ [1]. Следует отметить, что зарубежные спасатели имеют СИЗ головы различного исполнения: для тушения пожаров в зданиях и сооружениях, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, тушения лесных пожаров и т.д. Подобное деление в зависимости от области применения позволяет максимально обеспечить комфортность работы спасателя в различных условиях.

В современном мире пожарным часто приходится сталкиваться с ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций и тушением пожаров, возникших в результате террористических актов, нападений и массовых беспорядков с применением огнестрельного оружия [2]. В таких ситуациях огромное значение имеет защита от огнестрельного оружия. В настоящий момент в мире отсутствуют СИЗ головы, которые совмещают две функции – противопульную стойкость и устойчивость к опасным факторам пожара и чрезвычайных ситуаций. В середине 2023 года в США появились публикации об актуальности разработки подобного изделия в их регионе [2].

Таким образом, создание специализированного СИЗ головы для проведения аварийно-спасательных работ (в том числе при тушении пожаров) является актуальной научно-практической задачей и позволит обеспечить спасателей современными средствами защиты, обеспечивающими защиту не только от механических повреждений и других опасных факторов чрезвычайных ситуаций, но и от поражающего действия пуль патронов стрелкового оружия (Бр1) [3], что значительно расширяет область их применения.

Изучение особенностей изготовления и тенденций развития средств индивидуальной бронезащиты

Институтом с начала 2023 года проводились работы по изучению возможности изготовления шлема с показателями стойкости к воздействию регламентированных средств поражения. В рамках исследований изучены история и тенденции развития бронешлемов, технологии их изготовления и номенклатура применяемых материалов, требования технических нормативных правовых актов, особенности воздействия огнестрельного оружия на организм человека, а также методы определения противопульной стойкости и заброневого воздействия при непробитии защитной структуры.

Установлено, что в настоящее время в зависимости от применяемого для изготовления материала шлемы можно разделить на тканево-полимерные, металлические и комбинированные [4]. При этом базовым элементом при производстве практически всех средств индивидуальной бронезащиты (далее – СИБ) являются тонковолокнистые материалы на основе арамидных [5, 6] и сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых волокон (далее – СВМПЭ).

Из тканево-полимерных материалов возможно изготовление шлема с минимальной массой с сохранением защитных свойств на высоком уровне. При этом используются самые современные арамидные ткани и термопластичные пленочные связующие. Изделие формируется при помощи технологии горячего прессования. Такой шлем обычно имеет многослойную структуру: корпус изготавливается из пары жестких слоев (внешний и внутренний), а между ними добавляется бронезащитная ткань. Материал состоит из специально раскроенных и почти не скрепленных между собой кусков баллистической ткани. Это позволяет усилить защитные характеристики слоя. В некоторых видах шлемов арамидную ткань пропитывают связующим веществом, которое затвердевает после полимеризации. Такие СИЗ имеют степень защиты ниже, чем аналогичные без пропитки. К недостаткам тканево-полимерного шлема можно

отнести большую толщину защитной композиции, что делает их объемными и не очень удобными в носке.

Для обеспечения высокого уровня бронезащиты при изготовлении бронешлемов может использоваться металлическая броня (алюминий, титан, сталь, сплавы) или комбинации из полимерных и металлических компонентов. Металлические и комбинированные бронешлемы обычно используются для защиты сотрудников спецслужб, участвующих в штурмовых операциях. К таким шлемам предъявляются более высокие требования в плане защиты. Преимуществом среди таких шлемов обладает шлем, изготовленный из титановых сплавов. Данные материалы достаточно легкие, что позволяет увеличивать толщину защитного слоя при сохранении массы.

Комбинированные шлемы – это современный вид СИБ с высокой степенью защиты. Корпус такого изделия состоит из двух слоев:

лицевой – из легких сплавов;

тыльный – из арамидных тканей с полимерными прослойками или полиэтиленовых материалов.

Толщина защитного слоя из металла зависит от класса защиты бронешлема и подбирается с учетом максимальной энергоемкости и жесткости слоя, в котором разрушается и деформируется пуля. Для изготовления такого шлема разработана специальная технология штамповки металлической оболочки, которая позволяет избежать утончения материала на затылочной части изделия [4].

В зависимости от применяемого для изготовления бронешлема материала используются следующие технологии производства [7, 8, 9]:

штамповка (металлический шлем);

технология горячего прессования – «препреговая» (тканево-полимерный шлем);

технология термопластичного прессования квазигомогенных многослойных пленочных структур – «пленочная» технология (тканево-полимерный шлем);

технология, которая включает элементы «препреговой» технологии в сочетании с «сухими» слоистыми тканевыми арамидными пакетами – «смешанная» (тканево-полимерный шлем).

«Препреговая» технология достаточно проста: ткань, пропитанную полимерным связующим (смолой), укладывают в несколько слоев в форму, заготовку прессуют при определенной температуре, связующее полимеризуется и твердеет, от прессованной оболочки обрезают облой.

Суть «пленочной» технологии заключается в том, что слои баллистической ткани прокладываются тонкой термопластичной пленкой. Затем пакет закладывается в прессформу, нагревается, прессуется и охлаждается. Пленка расплавляется и соединяет слои ткани. После охлаждения получается жесткая гомогенная оболочка корпуса шлема. Пленка, размягчаясь, не смачивает нити ткани, оставляя им практически полную свободу предельной упругой деформации. В связи с этим стойкость такой композиции выше, чем у разработанной по «препреговой» технологии.

«Смешанная» технология включает элементы препреговой в сочетании с «сухими» слоистыми тканевыми арамидными пакетами. Наружные тканевые слои защитной структуры пропитываются полимерным термореактивным связующим, а внутренние слои остаются сухими. Такая структура разработана ЗАО ЦВМ «Армоком» и получила название «дискретно тканевая структура» (далее – ДТС) [10].

Каждая из представленных технологий имеет свои достоинства и недостатки. Начиная с 2000 года на территории Российской Федерации используются в основном тканево-полимерные бронешлемы, изготавливаемые и по пленочной технологии, и по технологии ДТС примерно в одинаковых количествах [8]. На сегодняшний день не представляется возможным сделать вывод о том, какая из технологий предпочтительнее, поскольку для этого необходимо провести сравнительные испытания шлемов, изготовленных по обеим технологиям, по методикам отечественных и зарубежных стандартов.

В рамках проводимой работы установлены основные перспективные направления в развитии бронешлемов [4, 11]:

- уменьшение массы и снижение стоимости с сохранением необходимых защитных свойств;

- обеспечение возможности оснащения дополнительным навесным оборудованием (системами связи, наблюдения, коммуникации, принудительной вентиляции, защиты от отравляющих веществ);

- усиление противоосколочной стойкости;

- минимизация заброневой контузионной травмы;

- использование современных технологий и материалов;

- разработка бронированных лицевых щитков с высокими эксплуатационными характеристиками.

Подбор и исследование пакетов материалов и технологии изготовления шлема пожарного бронированного

На основании проведенного анализа и с учетом наметившихся тенденций проведены работы по изучению возможности разработки отечественного образца корпуса шлема пожарного бронированного, а именно: подбор пакета материалов, обеспечивающего необходимые защитные свойства; испытание пакетов материалов на стойкость к воздействию регламентированных средств поражения; на основании результатов предварительных испытаний его доработка; повторные испытания пакета материалов; изготовление опытного образца каски и его испытание.

Следует отметить, что технология изготовления бронешлемов строго засекречена производителями. Информация, представленная в патентах и иных источниках информации, весьма ограничена и недостаточна для воспроизведения технологии производства. В связи с этим осуществлены выбор и закупка основных материалов, а технология изготовления пакетов и образцов корректировалась в ходе работы, на основании результатов испытаний, экономичности их раскройки и компоновки. Параметры температуры и давления прессования, способ нанесения и пропитки слоев, вид связующего и прочие специфические особенности под-

бирались с учетом свойств материалов и особенностей их взаимодействия в пакете, а также с учетом результатов испытаний. Конструкция корпуса шлема соответствовала конструкции модели шлема пожарного-спасателя 028-2021. При этом обязательным являлось выполнение следующих условий [3, 12–20]:

- непробитие корпуса (Бр 1 – 9×18 мм);
- остаточная деформация до 22 мм;
- оптимальное сочетание массы, защитных свойств и стоимости изделия.

Испытания проводились на базе ЧУП «Республиканский спортивно-стрелковый клуб» ДОСААФ, а также на войсковом стрельбище 120-й отдельной гвардейской механизированной Рогачёвской Краснознамённой, орденов Суворова и Кутузова бригады. По образцам из пакета материалов производилось по одному выстрелу в лобную, боковую и затылочную части из 9-мм пистолета Макарова при расстоянии до мишени 5 м.

После проведения ряда испытаний различных пакетов материалов (арамидное волокно с различным количеством и направлением ориентации слоев, пропитанное и не пропитанное связующим компонентом; СВМПЭ; СВМПЭ в сочетании с арамидным волокном с различным количеством и направлением ориентации слоев обоих материалов) для изготовления шлема выбрана композитная броня – СВМПЭ в сочетании с арамидным волокном. Данное сочетание проявило себя наилучшим образом при неоднократных испытаниях как в пакете материалов, так и в готовом образце каски. Затем был проведен ряд испытаний готового образца из выбранного пакета при различном количестве и вариантах ориентации слоев двух основных материалов. По результатам испытаний сделан вывод о целесообразности изготовления тканево-полимерного корпуса шлема с числом слоев полиэтилена не менее 15, арамидного волокна – не менее 23.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить влияние состава пакета материалов, количества слоев отдельных составляющих, их расположения и соединения на защитные свойства разрабатываемого СИБ. На основании установленных закономерностей подобраны наиболее подходящая структура, компоновка и технология, применимые к имеющейся на вооружении модели шлема. Результаты проведенных исследований являются основой для дальнейшего изучения возможности применения полученного образца корпуса шлема в условиях высоких температурных воздействий с последующей разработкой и постановкой на производство шлема для проведения аварийно-спасательных и иных работ, не связанных с тушением пожаров, с показателями стойкости к воздействию регламентированных средств поражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каски пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний = Каскі пажарныя. Агульныя тэхнічныя патрабаванні. Метады выпрабаванняў: ГОСТ 30694-2021. – Введ. 01.04.2022. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Беларус. гос. ин-т стандартиза-

ции и сертификации, 2022. – 30 с.

2. The US is seeking a firefighter helmet that protects against flames and bullets / Popular Science [Электронный ресурс]. – 2023. Mode of access: <https://www.popsci.com/technology/firefighter-helmet-bullet-resistant> – Date of access: 27.10.2023.

3. Бронешлемы. Классификация. Термины и определения : ГОСТ Р 57560-2017. – Введ. 01.01.2019. – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: Стандартинформ, 2019. – 12 с.

4. Современные бронешлемы: материалы и перспективы развития / Сфера [Электронный ресурс]. – 2023. Режим доступа: <https://sfera-nt.ru/article/sovremennye-broneshlemy-materialy-i-perspektivy-razvitiya>. – Дата доступа: 27.10.2023.

5. Арамидная ткань из нити СВМ (Русар) / Текстильный холдинг «Спецтехноткань» [Электронный ресурс]. – 2004. Режим доступа: <https://izol.pro/stati/aramidnaya-tkan-iz-niti-svm-rusar>. – Дата доступа: 27.10.2023.

6. Супер-нити НПП «ТЕРМОТЕКС» / Polimery.ru [Электронный ресурс]. – 2006. Режим доступа: https://www.polimery.ru/letter.php?n_id=1309&cat_id=3. – Дата доступа: 27.10.2023.

7. Современные бронешлемы. Защитные структуры и технологии изготовления / Defense.media [Электронный ресурс]. – 2023. Режим доступа: https://dfnc.ru/spec_zashita/sovremennye-broneshlemy-zashchitnye-struktury-i-tekhnologii-izgotovleniya. – Дата доступа: 27.10.2023.

8. Технологии создания отечественных и зарубежных бронешлемов / Сетевое издание «Информационное агентство «Пенза-пресс» [Электронный ресурс]. – 2007. Режим доступа: <https://www.penza-press.ru/otjehjstvjennykh-i-zarubjezhnykh-bronjeshljevov.dhtm>. – Дата доступа: 27.10.2023.

9. Как делают самый прочный в мире войсковой шлем / Научно-популярный журнал «Композитный мир» [Электронный ресурс]. – 2021. Режим доступа: <https://compositeworld.ru/articles>. – Дата доступа: 27.10.2023.

10. История создания отечественных полимерных бронешлемов / ООО «Дзен Платформа» [Электронный ресурс]. – 2015. Режим доступа: <https://dzen.ru/a/XKGDbxhDDQCzHq2Y>. – Дата доступа: 27.10.2023.

11. Бронешлемы: тенденции развития / Сфера [Электронный ресурс]. – 2023. Режим доступа: <https://sfera-nt.ru/article/broneshlemy-tendentsiirazvitiya>. – Дата доступа: 27.10.2023.

12. Заброневая контузионная травма / Википедия: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – 2023. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>. – Дата доступа: 27.10.2023.

13. Бронеодежда. Классификация и общие технические требования : ГОСТ Р 50744-95. – Введ. 01.07.1995. – Москва: Госстандарт, 1995. – 20 с.

14. Боевые огнестрельные ранения черепа и головного мозга / Издательство «Медиа Сфера» [Электронный ресурс]. – 1998. Режим доступа: <https://www.mediasphera.ru/issues/zhurnal-voprosy-nejrokhirurgii-imeni-n-n-burdenko/2021/5/1004288172021051124>. – Дата доступа: 27.10.2023.

15. Разработка критериев травмобезопасности головы, защищенной бронешлемом / Техносфера [Электронный ресурс]. – 2023. Режим доступа: <https://tekhnosfera.com/razrabotka-kriteriev-travmobeзопасnosti-golovy-zaschischennoy-broneshlemom>. – Дата доступа: 27.10.2023.

16. Бронеодежда. Методы испытаний : ГОСТ Р 55623-2013. – Введ. 01.01.2015. – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: Стандартинформ, 2019. – 11 с.

17. Бронеодежда. Классификация и общие технические требования : ГОСТ 34286-2017. – Введ. 01.03.2019. – Москва: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Стандартинформ, 2018. – 12 с.

18. Методы оценки взаимодействия поражающих элементов со средствами индивидуальной бронезащиты и выработка системы критериев их стойкости / Научная электронная библиотека Elibrary.ru [Электронный ресурс]. – 2000. Режим доступа: elibrary_30310916_47888772.pdf. – Дата доступа: 27.10.2023.

19. Проблема прогнозирования тяжести заброневой контузионной травмы при испытании бронешлемов / Научная электронная библиотека Elibrary.ru [Электронный ресурс]. – 2000. Режим доступа: elibrary_29855289_37398202.pdf. – Дата доступа: 27.10.2023.

20. Эффективные способы снижения заброневой контузионной травмы и критерии формирования медицинских требований к конструированию средств индивидуальной бронезащиты / Научная электронная библиотека Elibrary.ru [Электронный ресурс]. – 2000. Режим доступа: elibrary_50734833_51574685.pdf. – Дата доступа: 27.10.2023.

REFERENCES

1. Kaski pozharnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy = Kaski pazharnyya. Agul'nyya tekhnichnyya patrabavanni. Metady vyprabavannyay: GOST 30694-2021. – Vved. 01.04.2022. – Minsk: Mezghos. sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii: Belorus. gos. in-t standartizacii i sertifikacii, 2022. – 30 s.

2. The US is seeking a firefighter helmet that protects against flames and bullets / Popular Science [Electronic resource]. – 2023. Mode of access: <https://www.popsci.com/technology/firefighter-helmet-bullet-resistant> – Date of access: 27.10.2023.

3. Broneshlemy. Klassifikaciya. Terminy i opredeleniya : GOST R 57560-2017. – Vved. 01.01.2019. – Moskva: Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii: Standartinform, 2019. – 12 s.

4. Sovremennye broneshlemy: materialy i perspektivy razvitiya / Sfera [Elektronnyj resurs]. – 2023. Rezhim dostupa: <https://sfera-nt.ru/article/sovremennye-broneshlemy-materialy-i-perspektivy-razvitiya>. – Data dostupa: 27.10.2023.

5. Aramidnaya tkan' iz niti SVM (Rusar) / Tekstil'nyj holding «Spectekhnotkan'» [Elektronnyj resurs]. – 2004. Rezhim dostupa: <https://izol.pro/stati/aramidnaya-tkan-iz-niti-svm-rusar>. – Data dostupa: 27.10.2023.

6. Super-niti NPP «TERMOTEKS» / Polimery.ru [Elektronnyj resurs]. – 2006. Rezhim dostupa: https://www.polimery.ru/letter.php?n_id=1309&cat_id=3. – Data dostupa: 27.10.2023.

7. Sovremennye broneshlemy. Zashchitnye struktury i tekhnologii izgotovleniya / Defense.media [Elektronnyj resurs]. – 2023. Rezhim dostupa: https://dfnc.ru/spec_zashita/sovremennye-broneshlemy-zashchitnye-struktury-i-tekhnologii-izgotovleniya. – Data dostupa: 27.10.2023.

8. Tekhnologii sozdaniya otechestvennyh i zarubezhnyh broneshlemov / Setevoe izdanie «Informacionnoe agentstvo «Penza-press» [Elektronnyj resurs]. – 2007. Rezhim dostupa: <https://www.penza-press.ru/otjehjestvjennykh-i-zarubjezhnykh-bronjeshljevov.dhtm>. – Data dostupa: 27.10.2023.

9. Kak delayut samyj prochnyj v mire vojskovoju shlem / Nauchno-populyarnyj zhurnal «Kompozitnyj mir» [Elektronnyj resurs]. – 2021. Rezhim dostupa: <https://compositeworld.ru/articles>. – Data dostupa: 27.10.2023.

10. Istoriya sozdaniya otechestvennyh polimernyh broneshlemov / OOO «Dzen Platforma» [Elektronnyj resurs]. – 2015. Rezhim dostupa: <https://dzen.ru/a/XKGDbxhDDQCzHq2Y>. – Data dostupa: 27.10.2023.

11. Broneshlemy: tendencii razvitiya / Sfera [Elektronnyj resurs]. – 2023. Rezhim dostupa: <https://sfera-nt.ru/article/broneshlemy-tendentsiirazvitiya>. – Data dostupa: 27.10.2023.

12. Zabronevaya kontuzionnaya travma / Vikipediya: svobodnaya enciklopediya [Elektronnyj resurs]. – 2023. Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org>. – Data dostupa: 27.10.2023.

13. Broneodezhda. Klassifikaciya i obshchie tekhnicheskie trebovaniya : GOST R 50744-95. – Vved. 01.07.1995. – Moskva: Gosstandart, 1995. – 20 s.

14. Boevye ognestrel'nye raneniya cherepa i golovnogo mozga / Izdatel'stvo «Media Sfera» [Elektronnyj resurs]. – 1998. Rezhim dostupa: <https://www.mediasfera.ru/issues/zhurnal-voprosy-nejrokhirurgii-imeni-n-n-burdenko/2021/5/1004288172021051124>. – Data dostupa: 27.10.2023.

15. Razrabotka kriteriev travmobeзопасnosti golovy, zashchishchennoj broneshlemom / Tekhnosfera [Elektronnyj resurs]. – 2023. Rezhim dostupa: <https://tekhnosfera.com/razrabotka-kriteriev-travmobeзопасnosti-golovy-zaschishchennoj-broneshlemom>. – Data dostupa: 27.10.2023.

16. Broneodezhda. Metody ispytanij : GOST R 55623-2013. – Vved. 01.01.2015. – Moskva: Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii: Standartinform, 2019. – 11 s.

17. Broneodezhda. Klassifikaciya i obshchie tekhnicheskie trebovaniya : GOST 34286-2017. – Vved. 01.03.2019. – Moskva: Mezhgosudarstvennyj sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii: Standartinform, 2018. – 12 s.

18. Metody ocenki vzaimodejstviya porazhayushchih elementov so sredstvami individual'noj bronezashchity i vyrabotka sistemy kriteriev ih stojkosti / Nauchnaya elektronnaya biblioteka Elibrary.ru [Elektronnyj resurs]. – 2000. Rezhim dostupa: elibrary_30310916_47888772.pdf. – Data dostupa: 27.10.2023.

19. Problema prognozirovaniya tyazhesti zabronevoj kontuzionnoj travmy pri ispytanii broneshlemov / Nauchnaya elektronnaya biblioteka Elibrary.ru [Elektronnyj resurs]. – 2000. Rezhim dostupa: elibrary_29855289_37398202.pdf. – Data dostupa: 27.10.2023.

20. Effektivnye sposoby snizheniya zabronevoj kontuzionnoj travmy i kriterii formirovaniya medicinskih trebovanij k konstruirovaniyu sredstv individual'noj bronezashchity / Nauchnaya elektronnyaya biblioteka Elibrary.ru [Elektronnyj resurs]. – 2000. Rezhim dostupa: elibrary_50734833_51574685.pdf. – Data dostupa: 27.10.2023.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.97-105>

УДК 614.891.3

Шеремет Т.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПО ПЛОТНОСТИ И ВИДУ ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ ОГНЕТЕРМОСТОЙКИХ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН ИЗ ВОЛОКНА «АРСЕЛОН» НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ДЕФОРМАЦИИ

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

Проведение исследований различных по плотности и виду переплетения огнетермостойких трикотажных полотен из волокна «Арселон» на устойчивость к деформации с целью определения необходимой структуры материала, которая будет обеспечивать при эксплуатации защитные свойства подшлемника пожарного.

Ключевые слова: тепловой поток, деформация полотна, огнетермостойкий трикотаж, подшлемник пожарного.

Sheremet T.V.

RESEARCH OF FLAME-RESISTANT KNITTED FABRICS FROM ARSELON FIBER OF DIFFERENT DENSITY AND TYPE OF WEAVING ACCORDING TO RESISTANCE TO DEFORMATION

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

Conducting studies of flame-resistant knitted fabrics made from Arcelon fiber of different density and type of weaving according to resistance to deformation in order to determine the necessary structure of the material, which will ensure the protective properties of a firefighter balaclava during operation.

Keywords: heat flow, fabric deformation, flame-resistant knitwear, firefighter balaclava.

Введение

Обеспечение безопасной работы пожарных-спасателей заключается в правильно подобранном комплекте защитной экипировки с заданными защитными свойствами.

Помимо защитных свойств, выбор материалов специальной защитной одежды должен учитывать их влияние на качество выполняемой работы, комфорт пользователя, гигиенические характеристики, срок службы, особенности эксплуатации, ухода и обслуживания, требования корпоративной идентификации и, наконец, стоимость. Выбор, основанный только на защитных свойствах или только на стоимости, может не найти одобрения у пользователя или даже привести к несчастному случаю.

В связи с этим необходимо комплексно подходить к вопросу разработки и исследованиям. Защитные свойства подшлемника пожарного напрямую зависят от эксплуатационных свойств как подтверждение выбора трикотажа в качестве основы материала.

В отличие от ткани трикотаж не сковывает движение, обладает высокой гибкостью/эластичностью, сохраняет нужную форму и размер, имеет высокие эргономические свойства, что играет важную роль и обеспечивает эффективную защиту и удобство использования подшлемника пожарным-спасателем.

Однако в случае с деятельностью пожарных-спасателей некоторые качества трикотажного полотна сказываются отрицательными моментами на защитные свойства подшлемника пожарного. Например, воздухопроницаемость (способность материалов пропускать воздух под влиянием перепада давления воздуха), которая является одним из важнейших параметров, так как определяет свойства конечного продукта, а в случае деятельности пожарного, где он подвергается высоким температурам, это скорее ослабляющий фактор.

Область практического применения исследований представляет собой возможность обоснования структуры (вида переплетения, плотности, толщины) огнетермостойкого трикотажного полотна для подшлемника пожарного либо в других средствах индивидуальной защиты (далее – СИЗ) на производствах с повышенными температурами.

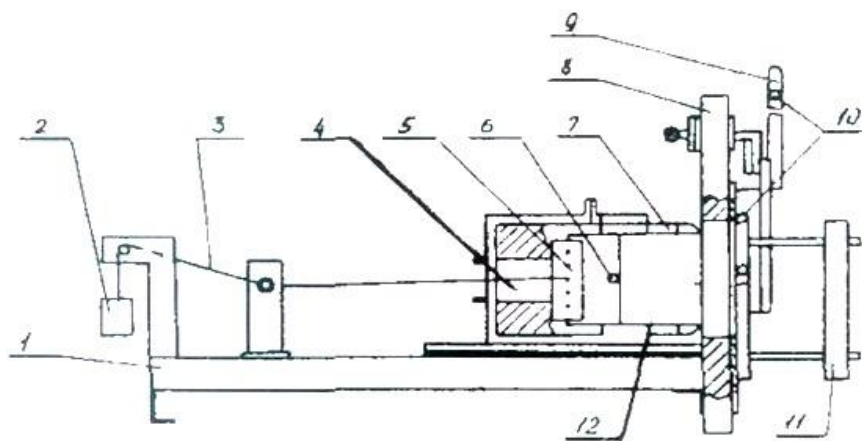
Основная часть

В рамках исследований по теме диссертационной работы «Обоснование оптимальных технических решений производства подшлемника пожарного и определение требований по его защитным свойствам» наработаны опытные образцы трикотажных полотен из волокна «Арселон» различной плотности и видов переплетения.

Опытные образцы подвергались испытаниям по разработанной методике испытаний защитных свойств подшлемника пожарного [1]. Один из видов испытания на теплофизические свойства – устойчивость к воздействию теплового потока. Испытания проводились на установке по определению устойчивости к тепловому потоку (рисунок 1).

Опытный образец размером 220×70 мм закрепляли на рабочем участке установки с помощью зажимов и устройства натяжения. Поднимали заслонку и выдерживали образец под действием теплового потока установленной плотности в течение 240 с. Измеряли плотность теплового потока, прошедшего через испытуемый образец, и температуру на внутренней поверхности образца. За температуру на внутренней поверхности принимали среднеарифметическое значение показаний трех термопар.

Результаты испытаний изложены в таблице 1.



1 – платформа; 2 – груз; 3 – нити; 4 – датчик измерения плотности теплового потока; 5 – зажим; 6 – термопара; 7 – держатель пробы; 8 – экран; 9 – защитная заслонка; 10 – система охлаждения; 11 – радиационная панель; 12 – проба
Рисунок 1. – Установка по определению устойчивости к тепловому потоку

Таблица 1. – Результаты испытаний

Наименование образца	Значение теплового потока (на обратной стороне образца), кВт/м ²	Значение температуры (на обратной стороне образца), °С
1-й образец трикотажное полотно арселон/хлопок с плотностью 225 г/м ² (комбинированное)	2,7	55
2-й образец арселоновое трикотажное полотно с плотностью 352 г/м ² (переплетение ластик 1×1)	2,5	53
3-й образец арселоновое трикотажное полотно с плотностью 521 г/м ² (переплетение ластик 1×1)	2,3	52
4-й образец арселоновое трикотажное полотно с плотностью 190 г/м ² (кулирная гладь)	2,6	54

Из данных в таблице можно сделать следующие выводы:

- полученные значения теплового потока и температуры на обратной стороне образцов схожи между собой, имеют незначительное расхождение, учитывая тот факт, что различия плотности материала образцов № 2 и 3 превышают на 50–70 % плотности образца № 4 и примерно на 30–40 % образца № 1;
- методология самого испытания определила, что при установке пробы с помощью зажимного устройства опытные образцы деформируются (растяги-

ваются), тем самым поры между петлями увеличивают свою площадь, за счет чего снижается устойчивость к плотности проходящего теплового потока через поры образца.

Исследования по оценке показателей трикотажных полотен, влияющих на формоустойчивость подшлемника пожарного

При изготовлении и особенно при эксплуатации полотна испытывают на многократно повторяющееся растяжение, которое вызывает изменение структуры материала и приводит к ухудшению его свойств.

В процессе многократного растяжения полотен происходит переориентирование элементарных звеньев структуры в зависимости от вектора приложенной силы. Процесс постепенного изменения структуры и свойств материала вследствие его многократной деформации называется утомлением. В результате утомления материала появляется усталость – нарушение или ухудшение свойств материала, не сопровождающееся существенной потерей массы.

С учетом того, что подшлемник пожарного эксплуатируется при каждом боевом выезде на ликвидацию пожара, сохраняя свою форму с плотным прилеганием к поверхности головы пожарного, существует необходимость определения устойчивости материала подшлемника к деформации его структуры.

При проведении исследований проводились испытания для четырех видов трикотажных полотен различной структуры (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика испытываемых образцов

Номер образца	Переплетение	Поверхностная плотность, г/м ²
1-й	комбинированное	255
2-й	ластик 1+1	352
3-й	ластик 1+1	521
4-й	кулирная гладь	190

В соответствии с [2] определена толщина всех исследуемых образцов. Испытания по определению разрывной нагрузке полотен проводились по стандартной методике согласно [3].

Для определения многоцикловых характеристик деформации образцов применялся прибор пульсатор ПН-5, предназначенный для испытания на многократное растяжение текстильных материалов. На приборе обеспечиваются синусоидальный закон растяжения и бесступенчатый выбор остаточной циклической деформации. Прибор снабжен электронным счетчиком числа циклов растяжения.

Измерения остаточной деформации производятся специальной линейкой, на которой имеется две шкалы. На верхней шкале устанавливается половина хода верхнего зажима. Нижняя шкала служит для отсчета остаточной деформации по кромке нижнего зажима. В таблице 3 приведены рекомендуемые условия испытания.

Для всех образцов значения статической нагрузки принимались равные 0,1 % от разрывной нагрузки, принятые значения приведены в таблице 4.

Рассчитанные значения амплитуды растяжения, равные 5 % от разрывного удлинения, приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Рекомендуемые условия испытания

Параметры испытаний	Единица измерения	Величины параметров
Зажимная длина	мм	100
Ширина полоски	мм	50
Статическая нагрузка	в процентах от разрывной нагрузки	0,05
Предварительное натяжение	в процентах от разрывной нагрузки	0,05
Амплитуда растяжения	в процентах от разрывного растяжения	5
Частота	удлинения циклов в минуту	100
Периоды релаксации: – быстрообратимой остаточной циклической деформации	с	1-2
– медленнообратимой остаточной циклической деформации	мин	20–30
Число циклов растяжения	–	10 000
Число образцов	–	1

Таблица 4 – Значения статической нагрузки

Параметры испытаний	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Разрывная нагрузка по вертикали, Н	323	787	732	281
Статическая нагрузка, гс	30	70	70	30
Разрывная нагрузка по горизонтали, Н	237	260	370	234
Статическая нагрузка, гс	30	35	40	30

Испытания велись до заданного числа растягивающих циклов. Через 100 и 1000 циклов, а также по окончании испытания (10 000 циклов) по шкале прибора регистрируют величину удлинения образца $l_{o,ц}$ и рассчитывают остаточную циклическую деформацию при растяжении $\epsilon_{o,ц}$ (%) по формуле

$$\epsilon_{o,ц} = l_{o,ц} \times 100 / L_o, \quad (1)$$

где L_o – зажимная длина образца, мм.

После 10 000 циклов испытаний на многократное растяжение и снятие нагрузки с образца в нем возникают обратные релаксационные процессы деформации. Результатом этого может явиться сокращение длины образца, т. е. уменьшение величины остаточной циклической деформации.

Для определения быстро обратимой остаточной циклической деформации длину образца измеряли сразу после снятия нагрузки на образец (1-2 с). Для определения медленно обратимой остаточной циклической деформации период

отдыха составил 30 мин. После этого сопоставили величины остаточной циклической деформации для различных образцов.

Графики роста остаточной циклической деформации трикотажных полотен вдоль столбиков и рядов представлены на рисунках 2 и 3.

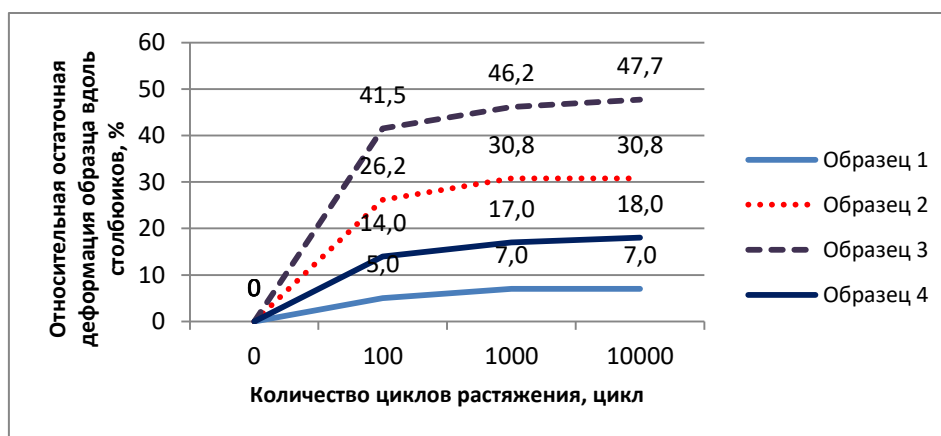


Рисунок 2. – График роста остаточной циклической деформации трикотажных полотен вдоль столбиков

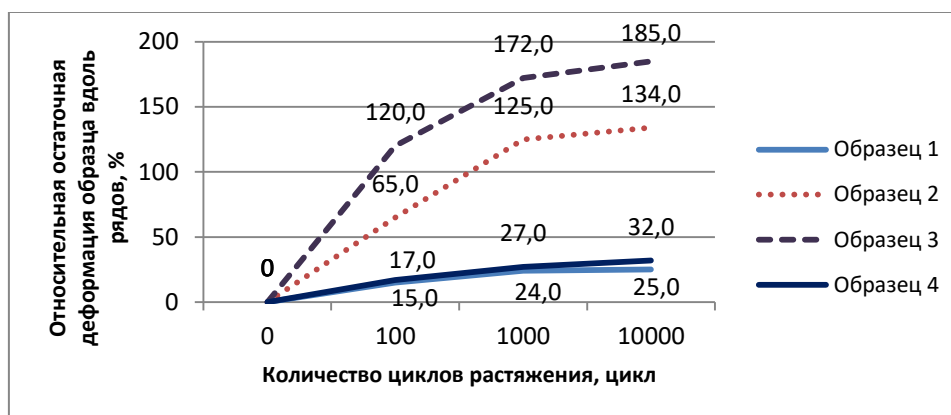


Рисунок 3. – График роста остаточной циклической деформации трикотажных полотен вдоль рядов

Как видно из рисунков, наименьший рост остаточного удлинения у образца № 4. Образцы № 3 и 4 значительно накапливают остаточное удлинение, особенно в направлении рядов.

Увеличение усилия при циклическом воздействии приводит к увеличению общей и остаточной деформации. После каждого цикла, независимо от их числа, остаточная деформация растет: проба после каждого нагружения несколько увеличивает свои размеры. В конечном счете при значительном числе циклов нагружения растяжение доходит до предельного.

С увеличением плотности и степени заполнения ткани и трикотажа растут связанность их элементов и выносливость к многократным растяжениям. Материалы, характеризующиеся однородностью и устойчивостью связей, обладают большей выносливостью.

На рисунках 4 и 5 в виде круговых диаграмм показаны доли деформации быстрообратимой, медленнообратимой и необратимой остаточной деформации

в образцах вдоль столбиков и рядов при снятии статической нагрузки после 10 000 циклов нагружения.

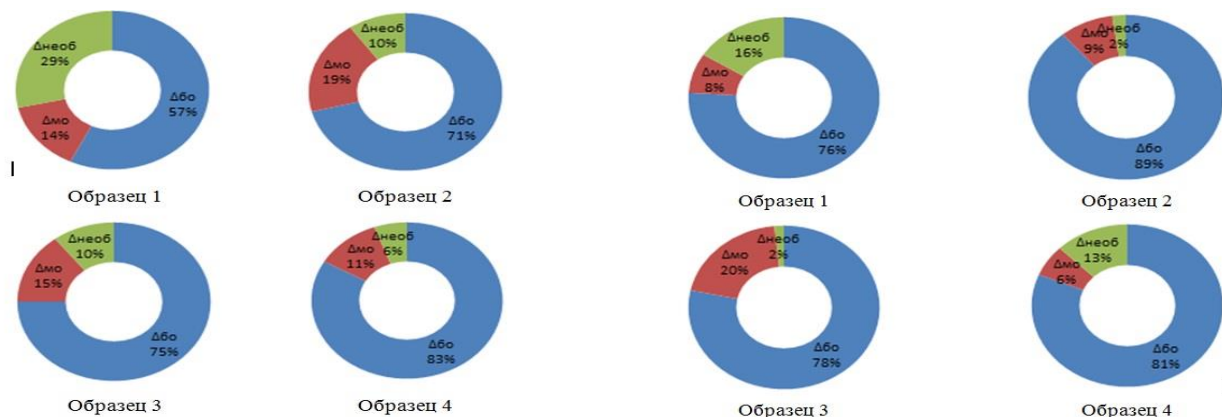


Рисунок 4. – Доли остаточной циклической деформации после снятия нагрузки по вертикали

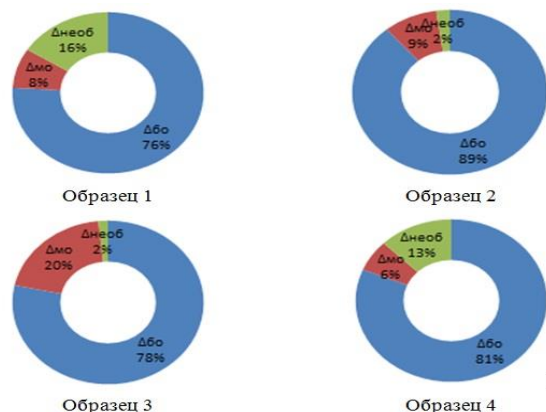


Рисунок 5. – Доли остаточной циклической деформации после снятия нагрузки по горизонтали

Вдоль петельных столбиков наибольшая доля быстрообратимой деформации у образца № 4 (кулирная гладь), наименьшая – у образца № 1 (комбинированное переплетение).

Вдоль петельных рядов доля быстрообратимой деформации у всех образцов высока. При этом наименьшей необратимой относительной деформацией обладают образцы № 2 и 3 (переплетения ластик 1+1).

Однако при сопоставлении приведенных данных необходимо учитывать тот факт, что полная остаточная циклическая деформация образца № 2 по горизонтали составляет 40 %, что в 6,7 раза меньше значения соответствующего показателя для образца № 4. В связи с этим представляет интерес сравнения абсолютных значений остаточной деформации.

При сравнении абсолютных значений можно отметить, что остаточная необратимая деформация полотен переплетения «ластик» (образцы № 2 и 3) по вертикали существенно превышает необратимую деформацию образцов № 1 и 4. При этом минимальной остаточной необратимой деформацией характеризуется образец переплетения «кулирная гладь». Остаточная необратимая деформация по горизонтали всех образцов различается незначительно, при этом у образцов № 2 и 3 она минимальна [4–6].

Заключение

По результатам проведенных исследований установлено, что на устойчивость к плотности проходящего теплового потока через поры образца влияет структура материала (виды переплетения, плотности, толщины).

В связи с этим проводились дополнительные исследования для определения многоцикловых характеристик деформации четырех видов трикотажных полотен различной структуры.

Исследования включали: выбор оборудования; описание рекомендуемых условий испытаний; определения значения статической нагрузки; испытания

остаточной циклической деформации трикотажных полотен вдоль столбиков и рядов; измерения доли остаточной циклической деформации после снятия нагрузки по вертикали и горизонтали.

С увеличением плотности и степени заполнения ткани и трикотажа растут связанность их элементов и выносливость к многократным растяжениям. Материалы, характеризующиеся однородностью и устойчивостью связей, обладают большей выносливостью.

На основании проведенных исследований, а также при комплексном подходе к значению эксплуатационных характеристик и защитных теплофизических свойств лучшие показатели показал образец № 4 (переплетение кулирная гладь). На основании полученных результатов принято решение использовать для дальнейших исследований трикотажного полотна подшлемника пожарного переплетение кулирная гладь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеремет, Т.В. Защитные свойства подшлемника пожарного / Т.В. Шеремет, О.Д. Навроцкий, Н.М. Дмитракович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2019. – № 2(46). – С. 207–214.
2. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины: ГОСТ 12023-2003. Межгосударственный стандарт. – Введ. 01.12.2005. – 8 с.
3. Полотна трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных: ГОСТ 8847-85. Государственный стандарт СССР. – Введ. 01.01.1987 – 21 с.
4. Жихарев, А.П. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности. / А.П. Жихарев, Д.Г. Петропавловский, С.К. Кузин, В.Ю. Мишаков. – Москва : Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
5. Шалов, И.И. Технология трикотажа / И.И. Шалов, А.С. Далидович, Л.А. Кудрявин. – Москва : Легпромбытиздат, 1986. – 376 с.
6. Поспелов, Е.П. Двухслойный трикотаж / Е.П. Поспелов. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 208 с.

REFERENCES

1. SHeremet, T.V. Zashchitnye svojstva podshlemnika pozharnogo / T.V. SHeremet, O.D. Navrockij, N.M. Dmitrakovich // CHrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya. – 2019. – № 2(46). – S. 207–214.
2. Materialy tekstil'nye i izdeliya iz nih. Metod opredeleniya tolshchiny: GOST 12023-2003. Mezhhgosudarstvennyj standart. – Vved. 01.12.2005. – 8 s.
3. Polotna trikotazhnye. Metody opredeleniya razryvnyh harakteristik i rastyazhimosti pri nagruzkah, men'she razryvnyh: GOST 8847-85. Gosudarstvennyj standart SSSR. – Vved. 01.01.1987 – 21 s.
4. ZHiharev, A.P. Materialovedenie v proizvodstve izdelij legkoj promyshlennosti. / A.P. ZHiharev, D.G. Petropavlovskij, S.K. Kuzin, V.YU. Mishakov. – Moskva : Izdatel'skij centr «Akademiya», 2004. – 448 s.
5. SHalov, I.I. Tekhnologiya trikotazha / I.I. SHalov, A.S. Dalidovich, L.A. Kudryavin. – Moskva : Legprombytizdat, 1986. – 376 s.

6. Pospelov, E.P. Dvuhslojnyj trikotazh / E.P. Pospelov. – Moskva : Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1982. – 208 s.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.106-115>

УДК 685.34; 614.8.086

**Шумай С.М., канд. техн. наук Иванов Ю.С., Старовойтов А.А.,
Шатилов Ю.С.**

МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБУВИ СПАСАТЕЛЕЙ-ПОЖАРНЫХ

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

Проведена оценка функциональности специальной защитной обуви, связанной с необходимостью обеспечения безопасности при работе, ее комфортности в носке и эргономичности.

Эксплуатационные испытания специальной защитной обуви включали в себя непосредственно эксплуатационные испытания и опытную носку при тушении пожаров и выполнении аварийно-спасательных работ, не связанных с тушением пожара, а также лабораторные исследования. Результаты эксплуатационных испытаний позволили определить конструкцию обуви с улучшенными эксплуатационными свойствами по влагонепроницаемости и стойкости к механическим повреждениям.

Результаты проведенных исследований использованы при разработке образцов ботинок кожаных специальных пожарных облегченной конструкции, предназначенных для защиты ног пожарного от механических воздействий, теплового потока, агрессивных сред и воды, а также от неблагоприятных климатических воздействий при проведении работ по тушению пожаров и аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: специальная защитная обувь спасателя-пожарного, экипировка, методика, эксплуатационные испытания.

**Shumay S.M., Ph.D. in Technology Ivanov Yu.S., Starovoytov A.A.,
Shatilov Yu.S.**

OPERATIONAL TEST METHOD FOR SPECIAL PROTECTIVE FOOTWEAR FOR FIREFIGHTERS

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

An assessment of the functionality of special protective boots according to the need of safety ensurance, wearing comfort and ergonomics during work is made.

Operational tests of special protective footwear included direct operational tests and experimental wear during extinguishing fires and performing emergency rescue operations that not related to fire extinguishing, as well as laboratory studies. The results of operational tests make it possible to determine the design of footwear with improved performance properties in terms of moisture resistance and resistance to mechanical damage.

The results of the research is used in the development of samples of leather special protective boots for firefighter of lightweight design, designed to protect the firefighter's feet from mechanical influences, heat flow, aggressive environments

and water, as well as from adverse climatic influences during firefighting and emergency operations.

Keywords: special protective footwear for firefighters, equipment, methods, operational tests.

Введение

Опыт ликвидации чрезвычайных ситуаций последнего времени показывает, что успех боевой работы достигается не только за счет создания и оснащения органов и подразделений высокоэффективными образцами пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательной техники, но и путем совершенствования экипировки спасателя-пожарного, комплектов взаимосвязанных элементов его защиты от различных опасных факторов, а также вспомогательного оборудования.

В настоящее время в структуре МЧС создаются новые специальные подразделения, оснащение которых требует разработки новых модификаций предметов экипировки с учетом специфики выполняемых ими задач, решаемых с ее помощью: маневренностью; повышением уровня обеспечиваемой ею комфортности и удобством эксплуатации пожарно-технического вооружения и аварийно-спасательной техники в любых климатических условиях применения. Анализ показывает, что без совершенствования всех составляющих экипировки спасателя-пожарного решение поставленных задач будет трудновыполнимым.

Для реализации данной задачи разработана Концепция создания перспективной экипировки пожарного-спасателя (далее – Концепция), целью которой является объединение наработок в области увеличения производительности и эффективности отдельно взятого спасателя на основе современных технологических достижений с помощью использования спасателем-пожарным усовершенствованной специальной защитной одежды и снаряжения [1].

Концепция предполагает оснащение спасателя-пожарного специальной экипировкой, которая оптимизирует эффективность проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, уменьшит физическую и психологическую нагрузку, сведет стресс и риски человеческого фактора во время чрезвычайной ситуации к минимуму и в целом направлена на повышение уровня готовности органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь к действиям по обеспечению эффективного реагирования на чрезвычайные ситуации.

Концепция основана на соблюдении трех принципов (составляющих):

1 – защита – применение средств индивидуальной защиты (далее – СИЗ) с установленными требованиями безопасности и соответствующих данным требованиям;

2 – эргономичность – применение СИЗ с улучшенными антропометрическими и гигиеническими свойствами;

3 – экономичность – обеспечение необходимой функциональности при заданных ограничениях на стоимость создания и эксплуатации.

Соблюдение указанных принципов направлено на повышение эффективности ликвидации чрезвычайных ситуаций путем решения следующих задач:

- снижение нагрузки на спасателя за счет уменьшения массы СИЗ, расширения размерного ряда, использования конструкции СИЗ, не мешающей выполнению работ;
- расширение защитных функций отдельных СИЗ;
- снижение объемов вывозимого снаряжения;
- внесение изменений в тактику ликвидации чрезвычайных ситуаций с учетом особенностей новых СИЗ для обеспечения более безопасных условий работы спасателя-пожарного.

Для оценки качества и возможности применения современных элементов экипировки спасателей-пожарных в соответствующих технических нормативных правовых актах определены технические требования, которые должны подтверждаться результатами лабораторных испытаний. Вместе с тем лабораторные испытания зачастую не позволяют в полном объеме оценить эксплуатационные характеристики элементов экипировки и их возможное поведение в боевых условиях. Такого рода оценку позволяют, как правило, сделать результаты эксплуатационных испытаний. Проведение эксплуатационных испытаний элементов экипировки спасателей-пожарных является важным элементом оценки ее защитных свойств.

Функциональность защитной экипировки связана с необходимостью обеспечения безопасности при работе, ее комфортности в носке и эргономичности. Специальная защитная обувь спасателя-пожарного как элемент защитной экипировки может оказывать на стопу значительную тепловую нагрузку. Анализ показателей качества, предъявляемых к кожаной обуви, показал, что наиболее важными эксплуатационными характеристиками специальной защитной обуви спасателей-пожарных будут являться ее защитные свойства.

Основными показателями для проведения опытной эксплуатации обуви спасателя-пожарного будут являться эргономичность (удобство и скорость надевания, комфорт при выполнении специальных заданий), а также обеспечение основных защитных свойств при выполнении работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций: влагозащитные, теплозащитные свойства и защита от механических повреждений.

Эксплуатационные испытания в свою очередь дополняют характеристики обуви, определенные при проведении лабораторных исследований, и позволят оценить качество обуви в условиях реальной эксплуатации.

Основная часть

Эксплуатационные испытания специальной защитной обуви проводятся в два этапа и включают в себя эксплуатационные испытания и непосредственно опытную носку при тушении пожаров и выполнении аварийно-спасательных работ, не связанных с тушением пожара.

Испытания проводят в рамках практико-теоретических занятий, тактико-специальных занятий, а также во время несения боевого дежурства работниками органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям.

Для проведения испытаний допускаются лица, имеющие практический опыт проведения испытаний или тушения пожаров, со стажем работы в органах

и подразделениях Министерства по чрезвычайным ситуациям не менее трех лет и допущенные по состоянию здоровья

Эксплуатационные испытания проводятся в целях:

- определения фактических защитных и эргономических свойств специальной защитной обуви;
- установления с целью дальнейшей корректировки конструктивных особенностей специальной защитной обуви, снижающих эргономические и защитные свойства;
- сравнения специальной защитной обуви различных марок и производителей.

Испытания проводят путем выполнения работниками комплекса упражнений (работ). Последовательность их выполнения определяют в соответствии с программой испытаний.

Этапы выполнения эксплуатационных испытаний включают в себя:

- предварительный осмотр;
- удобство надевания;
- комфортность и удобство при выполнении работ и упражнений;
- оценка водонепроницаемости;
- устойчивость к воздействию открытого пламени (имитация нахождения в очаге пожара);
- устойчивость к прокалыванию.

При предварительном осмотре дается оценка конструктивной составляющей обуви, а также оценка на предмет отсутствия острых и жестких краев и других элементов, способных привести к повреждению кожи и вызвать дискомфорт при носке.

Удобство надевания проводится согласно нормативу № 1 по пожарной аварийно-спасательной подготовке и боевому развертыванию для работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Дается оценка удобству и скорости надевания обуви, которое должно выполняться без посторонней помощи. Фиксируется время надевания каждой пары. Каждый задействованный работник должен выполнить норматив на время три раза. В отчете указываются все три результата времени надевания обуви, а также фиксируются замечания работника по удобству надевания и комфортности.

Оценка комфортности и удобства при выполнении работ и упражнений дается по результатам выполнения:

- спокойная ходьба – 2 мин;
- ходьба с переноской груза – 5 мин;
- подъем по штурмовой лестнице на 4-й этаж учебной башни (каждый испытуемый выполняет упражнение по 2 раза);
- норматив № 10 «Сбор и выезд отделения по сигналу «Тревога» (каждый испытуемый выполняет упражнение по 2 раза);
- боевое развертывание (упражнение выполняется 3 раза).

По результатам испытаний проводится анкетирование и дается общая оценка комфортности обуви.

Испытание по оценке водонепроницаемости обуви заключается в прохождении испытателем определенного количества шагов в ванне, заполненной водой до установленной глубины. Водонепроницаемость оценивают визуальным и органолептическим способами. Если проникновение воды произошло, обозначают его местоположение и площадь.

Испытательное оборудование – горизонтальная водонепроницаемая ванна (рисунок 1).

Ванна должна быть оснащена по краям платформами, находящимися выше уровня воды и позволяющими испытателю делать разворот для следующего прохода. Длина ванны должна быть достаточной для того, чтобы испытатель мог сделать 10 нормальных шагов в воде между платформами. Ширина ванны – не менее 0,6 м.

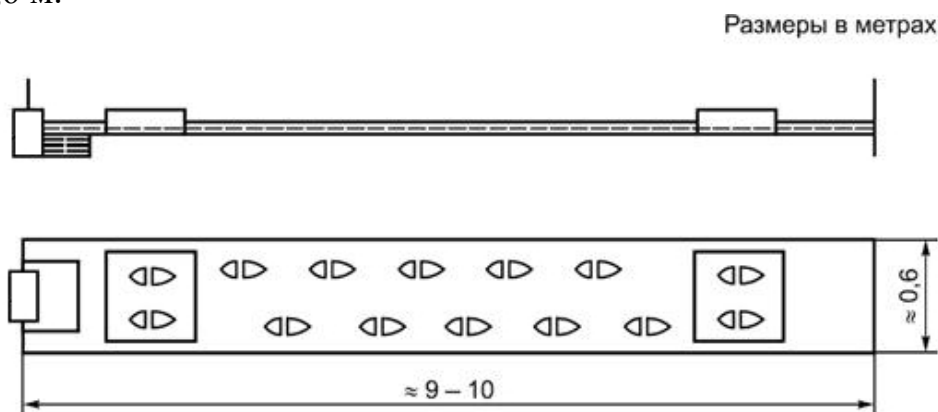
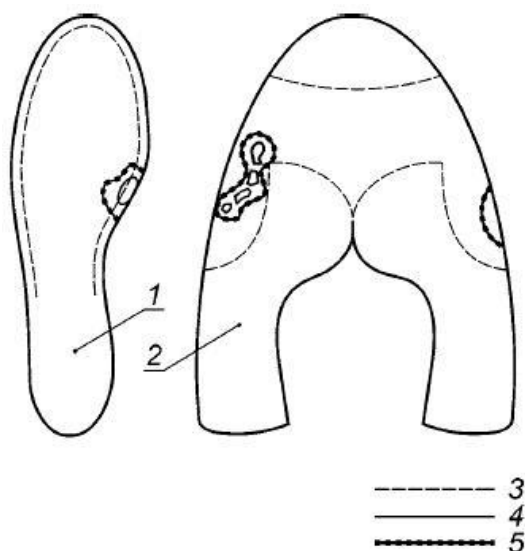


Рисунок 1. – Схема горизонтальной водонепроницаемой ванны

Платформы размещают в ванне так, чтобы испытатель сделал 11 шагов нормальной длины от одного конца до другого (т.е. так, чтобы каждая нога наступала на дно ванны пять раз). Заполняют ванну водой на глубину (30 ± 3) мм. Убеждаются, что обувь абсолютно сухая. Для предотвращения захлестывания воды внутрь на верхнюю часть обуви надевают водонепроницаемые рукава.

Испытатель проходит в воде расстояние, равное 100 длинам ванны, используя платформы для разворота. Испытатель идет в медленном темпе с предпочтительной скоростью один шаг в секунду. После прохождения расстояния, равного 100 длинам ванны, испытатель выходит из ванны, аккуратно снимает обувь. Затем тщательно исследуют внутреннюю поверхность обуви (визуально и органолептически) для выявления признаков проникновения воды. Если проникновение произошло, обозначают его местоположение и площадь (рисунок 2 показывает примерную форму обозначения) для каждого испытуемого образца. Повторяют испытание с другими образцами.



1 – стелька; 2 – верх СИЗНП; 3 – швы на верхе СИЗНП и стельке;
4 – место проникновения; 5 – область намокания

Рисунок 2. – Пример обозначения места проникновения и области намокания

Устойчивость обуви к воздействию открытого пламени (имитация нахождения в очаге пожара).

В квадратном металлическом поддоне с толщиной стенок $(5 \pm 0,5)$ мм, внутренней длиной борта (500 ± 5) мм, высотой борта $(5 \pm 0,5)$ мм имитируется очаг пожара при помощи бруса деревянного, сечением (40 ± 1) мм, длиной (480 ± 5) мм – 12 шт. на 1 испытание. В поддон укладывают брус и заливают бензином в количестве 3 л на 1 испытание. Содержимое поддона поджигают и выдерживают (300 ± 1) с.

Испытатель поочередно левой и правой ногой вступает внутрь поддона на (5 ± 1) с в течение (300 ± 5) с.

Дается оценка комфортности нахождения в условиях имитации очага пожара. Фиксируются повреждения обуви (при их наличии).

Устойчивость обуви к прокалыванию.

Из пиломатериала обрезного шириной (275 ± 5) мм, толщиной (25 ± 1) мм и длиной $(1\ 000 \pm 5)$ мм и гвоздей диаметром $(4 \pm 0,2)$ мм, длиной (50 ± 5) мм с конической шляпкой в количестве 72 шт. на 1 испытание изготавливают доску испытательную согласно схеме, представленной на рисунке 3.

Испытатель, поочередно левой и правой ногой становится на испытательную доску в течение (300 ± 5) с.

Дается оценка комфортности при проведении испытания. Фиксируют повреждения обуви.

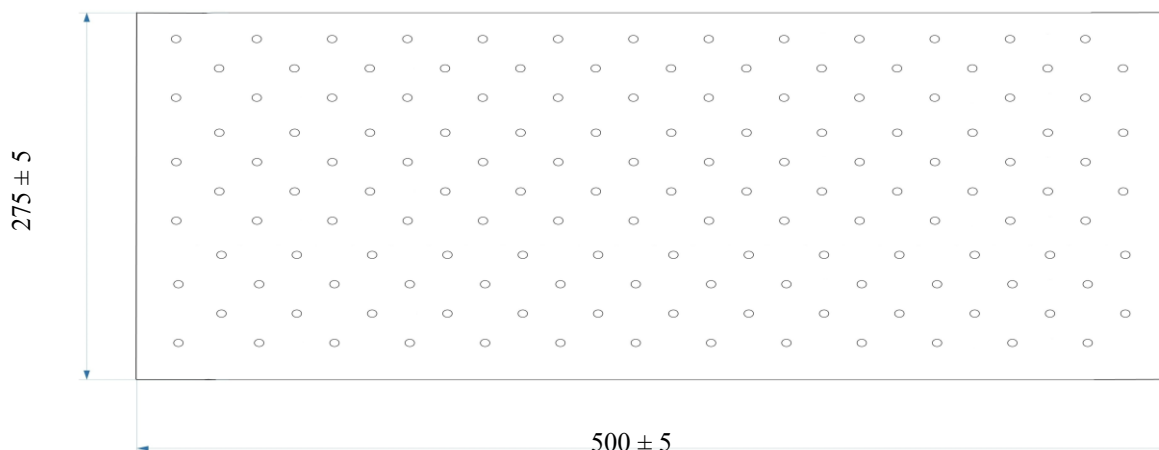


Рисунок 3. – Схема изготовления испытательной доски для определения устойчивости СИЗНП к прокалыванию

Методика опытной носки в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям заключается в следующем. Пара обуви выдается работнику ОПЧС для несения боевого дежурства. В процессе эксплуатации оцениваются следующие параметры: удобство бега, удобство подъема/спуска по лестничному маршу, удобство ходьбы с оборудованием, удобство приседания/принятия положения стоя на колене, удобство подъема по выдвижной лестнице/автолестнице, водонепроницаемость. Результаты опытной носки оцениваются путем анкетирования испытателей.



Рисунок 4. – Эксплуатационные испытания обуви

С целью выбора улучшенной конструкции специальной защитной обуви и оценки ее эргономических показателей организовано изготовление опытной партии в количестве двенадцати пар ботинок мужских с завышенными берцами специальных защитных пожарных производства ООО «Управляющая компания холдинга «Белорусская кожевенно-обувная компания «Марко», их опытная эксплуатация в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям и проведение лабораторных испытаний на соответствие требованиям [2].

Данные исследования позволили выявить как положительные свойства разработки, так и отрицательные.

При предварительном осмотре установлено наличие выступающих элементов, а именно петель для дополнительной фиксации шнурков, что снижает обеспечение безопасности работника при аварийно-спасательных работах (разборка завалов, расчистка маршрутов, устройство проездов к завалам и т.д.).

По удобству надевания замечания испытателей отсутствовали.

Оценка комфортности и удобства при выполнении работ и упражнений выявила необходимость уменьшения обхвата обуви в районе голени для лучшего прилегания обуви и лучшей фиксации на ноге.

Оценка водонепроницаемости опытных образцов по методике эксплуатационных испытаний показала наличие протекания воды примерно у половины испытанных полупар.

Испытания на устойчивость к воздействию открытого пламени (имитация нахождения в очаге пожара) и проколу образцы обуви выдержали без замечаний.

Результаты опытной носки представлены на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5. – Результаты эксплуатационных испытаний специальной защитной обуви



Рисунок 6. – Результаты опытной носки специальной защитной обуви при выполнении основных видов работ спасателя-пожарного

Установлено (по мнению большинства респондентов), что обувь удобна при выполнении основных видов работ, однако «водонепроницаемость», как и при эксплуатационных испытаниях, оказалась проблемным показателем. Также из рисунка 6 видно, что в большинстве случаев изделие вызывает повышенную потливость ног, в нем жарко, что не позволяет чувствовать себя комфортно на протяжении всей дежурной смены.

Результаты проведенных эксплуатационных испытаний позволили осуществить доработку конструкции ботинок специальных защитных пожарных, а также внести некоторые изменения в техпроцесс изготовления данного вида обуви.

Заключение

По отзывам, полученным в ходе эксплуатационных испытаний, а также результатам испытаний на соответствие [2] сделаны следующие выводы:

- в модели необходимо уменьшить обхват обуви в районе голени для лучшего прилегания обуви и лучшей фиксации на ноге;
- минимизировать наличие выступающих элементов для обеспечения безопасности работника при аварийно-спасательных работах (разборка завалов, расчистка маршрутов, устройство проездов к завалам, и т.д.);
- улучшить водонепроницаемые свойства обуви;
- увеличить внутренний безопасный зазор в носочной части обуви при деформации в момент удара.

Результаты опытной эксплуатации, включающей в себя эксплуатационные испытания и опытную носку при тушении пожаров и выполнении аварийно-спасательных работ, не связанных с тушением пожара, позволили определить конструкцию обуви с улучшенными эксплуатационными свойствами по влаго-непроницаемости и стойкости к механическим повреждениям.

По результатам исследований совместно с УП «Вердимар» подготовлено техническое описание на ботинки кожаные специальные пожарных модель 490011 (ТО ВУ 29119354.064-2020) облегченной конструкции, предназначенные для защиты ног пожарного от механических воздействий, теплового потока, агрессивных сред и воды, а также от неблагоприятных климатических воздействий при проведении работ по тушению пожаров и аварийно-спасательных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, Ю.С. Концепция создания перспективной экипировки пожарного-спасателя / Ю.С. Иванов, О.Д. Навроцкий, Я.А. Романенко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2017. – № 1(41). – С. 138–142.
2. Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная защитная пожарных. Общие технические условия: СТБ 2137-2010. – Введ. 01.10.2010. – Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь: БелГИСС, 2010. – 20 с.

REFERENCES

1. Ivanov, YU.S. Konceptiya sozdaniya perspektivnoj ekipirovki pozharnogo-spasatelya / YU.S. Ivanov, O.D. Navrockij, YA.A. Romanenko // CHrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya. – 2017. – № 1(41). – S. 138–142.

2. Sistema standartov bezopasnosti truda. Obuv' special'naya zashchitnaya pozharnyh. Obshchie tekhnicheskie usloviya: STB 2137-2010. – Vved. 01.10.2010. – Gosudarstvennyj komitet po standartizacii Respubliki Belarus': BelGISS, 2010. – 20 s.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.116-119>

УДК 677.4; 661.174.

**канд. хим. наук Матвеев Ю.В., Шатилов Ю.С.*,
канд. техн. наук Лукьянов А.С.***, канд. хим. наук Игнатович Ж.В.,
д-р техн. наук, чл.-кор. Рогачев А.А., д-р хим. наук, акад. Агабеков В.Е.**

УЛУЧШЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫХ ВОЛОКОН ПУТЕМ ОТДЕЛКИ ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИМИ АНТИПИРЕНАМИ

Институт химии новых материалов НАН Беларуси, г. Минск

** Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск*

*** Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты*

Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск

Исследованы различные методы улучшения адгезии поверхности полиоксадиазольных волокон. Проведена огнезащитная отделка образцов ткани «Арселон». Испытания обработанных образцов на устойчивость к воздействию открытого пламени показали, что время остаточного тления после 5 стирок составляет 0 с.

Ключевые слова: защитная одежда, фосфорорганические соединения, полиоксадиазольные волокна, антипирены, активация поверхности.

**Ph.D. in Chemistry Matveenko Y.V., Shatilov Y.S.*,
Ph.D. in Technology Lukyanov A.S.***, Ph.D. in Chemistry Ihnatovich Zh. V.,
Grand Ph.D. in Technology, Corresponding Member Rogachev A.A.,
Grand Ph.D. in Chemistry, Agabekov V.E.**

IMPROVING THE FIRE-RESISTANT PROPERTIES OF FABRICS BASED ON POLYOXADIAZOLE FIBERS BY FINISHING WITH ORGANOPHOSPHORUS FLAME RETARDANTS

*Institute of Chemistry of New Materials of the National Academy of Sciences
of Belarus, Minsk*

**The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies"
of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk*

***The State Educational Institution "University of Civil Protection of the Ministry
of Emergency Situations of the Republic of Belarus", Minsk*

Various methods for improving the surface adhesion of polyoxadiazole fibers are studied. Fire-resistamat finishing of Arcelon fabric samples is carried out. Tests of treated samples for resistance to open flame show that the residual smoldering time after 5 washes is 0 s.

Keywords: protective clothing, organophosphorus compounds, polyoxadiazole fibers, flame retardants, surface activation.

Ткани из волокна «Арселон»® обладают уникальными свойствами: высокая износостойкость, кислородный индекс не менее 28, сохранение свойств после многократных стирок, устойчивость к истиранию, сопротивление раздиранию, высокие разрывные характеристики, возможность постоянного применения при температуре 300 °С, отсутствие плавления, уровень равновесной влажности как у тканей из хлопка либо вискозы (11-12 %) [1]. Использование ткани из волокна «Арселон» для изготовления защитной одежды ограничивается ввиду наличия остаточного тления – неактивной формы горения материалов, медленно распространяющейся по текстильному полотну после удаления источника открытого пламени.

Для предотвращения тления ткани из волокна «Арселон» путем активации процесса карбонизации полимеров и образования препятствующего доступу кислорода смолообразного остатка применяют преимущественно фосфорсодержащие соединения. Для текстильных материалов антипирены добавляют в материалы для отделки ткани или волокна. Наиболее безопасными являются фосфор- и фосфоразотсодержащие антипирены, поэтому они наиболее широко используются в производстве модифицированных полиэфирных, гидратцеллюлозных и некоторых других волокон. В настоящее время выпуск ряда антипиренов, содержащих фосфор и хлор в своем составе, прекращен ввиду их токсичности и экологической опасности.

Ряд эксплуатационных свойств фосфорорганических соединений улучшается при переходе к полимерным или олигомерным соединениям. Важным преимуществом полимерных соединений является их пластичность, необходимая для формирования устойчивых покрытий на поверхности ткани или волокна.

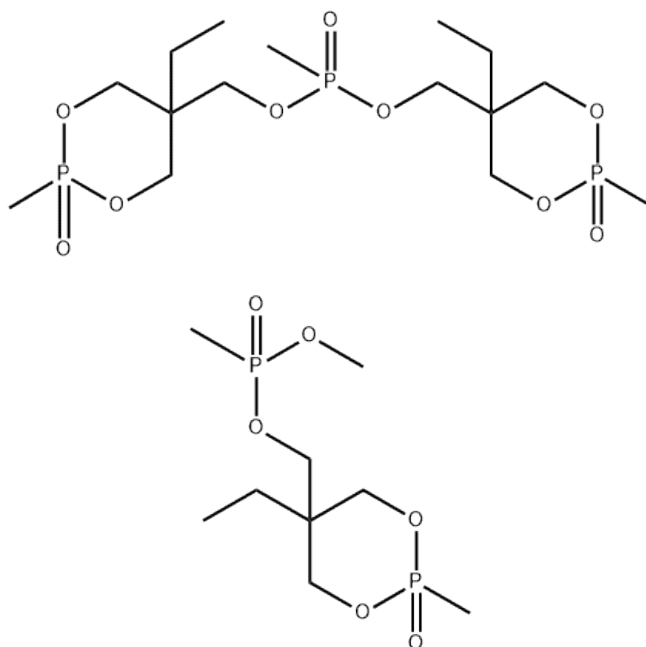


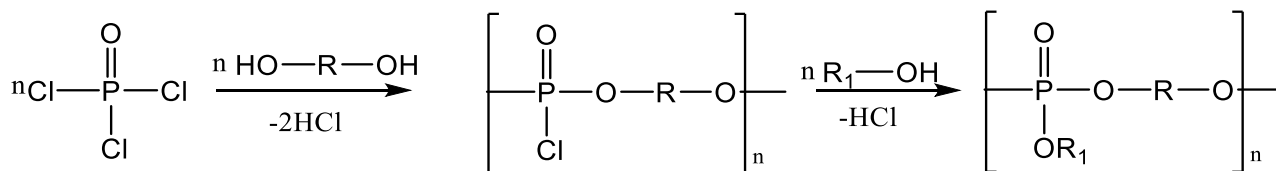
Рисунок. – Структурная формула Antiblaze CU-CT (фосфоновая кислота)

Среди современных антипиренов значительное количество (Antiblaze CU-CT; Rhodia AMGARD CT, Pekoflam THA; Clariant Aflammit PE и др.) представлено полимерными или олигомерными эфирами фосфорной или фосфоновых

кислот с высоким содержанием (до 24 %) фосфора. Циклические эфиры, например, RekoFlam PES, при нанесении способны или образовывать полимеры или ковалентно присоединяться к гидроксигруппам в составе обрабатываемого материала. Немаловажным преимуществом полимерных фосфатов является их пониженная относительно мономерных соединений токсичность для человека и окружающей среды [2].

Коммерчески доступные фосфорсодержащие антипирены неэффективны для поверхностной обработки полиоксиадиазольных волокон, не имеющих в своем составе полярных групп, полученное покрытие неустойчиво к мокрым обработкам (стиркам).

Для огнезащитной отделки тканей на основе полиоксиадиазольных волокон получали полимерные и олигомерные фосфаты взаимодействием хлороксида фосфора с диолами, затем с одноатомными спиртами для формирования линейных полимеров [3].



Полученные соединения наносили на поверхность тканей растворными и безрастворными методами. Обработанные ткани показали отсутствие остаточного тления, но после мокрых обработок огнезащитный эффект ослабевал (после 5 стирок время остаточного тления обработанных образцов составляло 21–38 с). С целью закрепления полученных олигомерных эфиров на волокне изучали способы как улучшения адгезии антипирена, так и его фиксации на поверхности.

Для улучшения адгезии поверхность ткани активировали химическими и физическими методами. Наибольшая устойчивость покрытия наблюдалась при активации поверхности ткани барьерным разрядом. Одним из наиболее перспективных и современных методов модификации поверхности полимеров является воздействие низкотемпературной плазмы, которое позволяет изменить свойства поверхностей этих материалов в широких пределах и значительно расширить области их использования. Воздействие плазмы на поверхность полимера позволяет изменять в основном его контактные свойства (смачивание, адгезию к тонким слоям металла, наносимого как с помощью вакуумного распыления, так и другими методами, способность к склеиванию, адгезию используемых при печати красителей и т.п.) [4]. Как правило, улучшение адгезионных свойств полимеров под воздействием плазмы связано не только с очисткой поверхности от различного рода загрязнений, но и с образованием гидрофильных групп различной химической природы, обеспечивающих высокие адгезионные свойства модифицированных поверхностей [5].

Для фиксации антипирена поверхность ткани обрабатывали основным ацетатом алюминия, мочевино- и меламинформальдегидными смолами, галогенсодержащими полимерами. При обработке результатов было определено, что

устойчивое к мокрым обработкам покрытие формируется посредством комплексной трехступенчатой обработки:

- активация поверхности в плазме барьерного разряда;
- нанесения антипирена (олигомерные эфиры фосфорной кислоты);
- нанесения фиксирующего состава на основе фторкаучуков.

Проведена огнезащитная отделка образцов ткани «Арселон», в результате которой получен «Арселон ФФ». Полученный материал испытан в лаборатории центра испытаний учреждения «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Испытания обработанных образцов согласно СТБ 1971-2009 после пяти циклов стирки по ГОСТ 30157.1-95 на устойчивость к воздействию открытого пламени (время остаточного горения, с/время остаточного тления, с) показали, что время остаточного тления составляет 0 с. Свечение кромки материала также не зафиксировано (протокол испытаний от 04.09.2023 № 04-52/885).

ЛИТЕРАТУРА

1. Перепелкин, К.Е. Химические волокна: развитие производства, методы получения, свойства, перспективы / К.Е. Перепелкин. – Санкт-Петербург, 2008.
2. Environmental and health screening profiles of phosphorous flame retardants The Danish Environmental Protection Agency / C.Lassen, M. Warming, A. Brinch, J. Z. Burkal, J. Kjølholt, S. H. Mikkelsen. – 2016.
3. Kosolapoff, G.M.Organophosphorus compounds / G.M. Kosolapoff. – Wiley, 1950.
4. Кутепов, А.М. Вакуумно-плазменное и плазменно-растворное модифицирование полимерных материалов / А.М. Кутепов, А.Г. Захаров, А.И. Максимов. – М.: Наука, 2004. – 496 с.
5. Wrobel, A. Effect of Plasma Treatment on Structure and Properties of Polymer Fabric / A. Wrobel, M. Kryszewski, W. Rakowski // Polymer. – 1978. – V. 19. – № 8. – P. 908–912.

REFERENCES

1. Perepelkin, K.E. Himicheskie volokna: razvitie proizvodstva, metody polucheniya, svojstva, perspektivy / K.E.Perepelkin. – Sankt-Peterburg, 2008.
2. Environmental and health screening profiles of phosphorous flame retardants The Danish Environmental Protection Agency / C.Lassen, M. Warming, A. Brinch, J. Z. Burkal, J. Kjølholt, S. H. Mikkelsen. – 2016.
3. Kosolapoff, G.M.Organophosphorus compounds / G.M. Kosolapoff. – Wiley, 1950.
4. Vakuumno-plazmennoe i plazmenno-rastvornoe modifitsirovanie polimernykh materialov / A.M. Kutepov, A.G. Zaharov, A.I. Maksimov. – M.: Nauka, 2004. – 496 s.
5. Wrobel, A. Effect of Plasma Treatment on Structure and Properties of Polymer Fabric / A. Wrobel, M. Kryszewski, W. Rakowski // Polymer. – 1978. – V. 19. – № 8. – P. 908–912.



ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.120-127>

УДК 614.845

Антонович А.А., Бабаков С.А., Гузарик А.В.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К МЕТОДАМ ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕНОСНЫХ ОГNETУШИТЕЛЕЙ: ОБЗОР, ОЦЕНКА, ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

В статье приведен обзор положений технических нормативных правовых актов Республики Беларусь, Российской Федерации, а также международных и европейских стандартов, регламентирующих испытания переносных огнетушителей. Проведен сравнительный анализ существующих и инновационных подходов к методам испытания переносных огнетушителей, по итогам которого дана оценка актуальности существующих методов испытаний и предложены инновационные подходы к проведению испытаний переносных огнетушителей.

Ключевые слова: огнетушитель, методы испытаний, технические нормативные правовые акты, международные стандарты, инновационные подходы.

Antonovich A.A., Babakov S.A., Guzarik A.V.

EXISTING AND INNOVATIVE APPROACHES TO PORTABLE FIRE EXTINGUISHER TESTING METHODS: REVIEW, EVALUATION, OPPORTUNITIES FOR IMPROVEMENT

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

The article provides a review of technical regulatory legal acts of the Republic of Belarus, the Russian Federation, as well as international and European standards regulating of the testing of portable fire extinguishers. A comparative analysis of existing and innovative approaches to testing methods for portable fire extinguishers is carried out. Based on the results of the analysis, the relevance of existing test methods is assessed. Innovative approaches to testing portable fire extinguishers are proposed.

Keywords: fire extinguisher, test methods, technical regulations, international standards, innovative approaches.

Введение

Пожары по-прежнему остаются одной из наиболее серьезных угроз для безопасности людей и имущества. Сегодня создаются и совершенствуются системы и средства тушения пожаров на ранней стадии. Наряду с автоматическими установками пожаротушения совершенствуются и первичные средства пожаротушения, среди которых наиболее распространены огнетушители.

Для подтверждения надежности и эффективности огнетушителей проводятся испытания на их соответствие требованиям национальных и международных технических нормативных правовых актов.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом существует ряд стандартных методов испытаний огнетушителей. Однако с развитием технологий и появлением новых материалов, совершенствованием огнетушащих составов возникает вопрос актуальности действующих методов испытаний огнетушителей и необходимости применения инновационных. К тому же появляются разработки огнетушителей в новом конструктивном исполнении, которые отличаются от существующих геометрическими параметрами.

В статье мы рассмотрим и сравним действующие национальные и зарубежные технические нормативные правовые акты, регламентирующие испытания переносных огнетушителей, а также проанализируем существующие инновационные методы испытаний продукции различного назначения, которые можно предложить для использования при проведении испытаний огнетушителей для повышения их эффективности.

Обзор положений национальных и зарубежных технических нормативных правовых актов, устанавливающих требования к методам испытаний переносных огнетушителей

В Республике Беларусь методы испытаний переносных огнетушителей установлены в СТБ 11.13.04-2009 «Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная техника. Огнетушители переносные. Общие технические условия». Настоящий стандарт распространяется на переносные огнетушители с полной массой не более 20 кг, предназначенные для тушения пожаров классов А, В и С (классификация пожаров по ГОСТ 27331) и пожара класса Е (электрооборудования, находящегося под напряжением). Стандарт не распространяется на огнетушители специального назначения (ранцевые, авиационные, для тушения лесных пожаров, для тушения пожаров класса D и др.).

В стандарте дается классификация переносных огнетушителей, определяются общие технические требования к огнетушителям, правила приемки, методы их испытаний, требования безопасности, требования по эксплуатации, техническому обслуживанию, перезарядке, транспортированию и хранению. Стандарт также устанавливает требования к структуре условного обозначения огнетушителей (приложение А (обязательное)), этикетке переносного огнетушителя (приложение Б (рекомендуемое)), порядку проведения огневых испытаний огнетушителей (приложение В (обязательное)).

Для контроля соответствия переносных огнетушителей требованиям указанного стандарта проводят приемо-сдаточные, периодические, типовые и испытания на надежность, включающие определение массы огнетушащего вещества (далее – ОТВ), давления в распылителе и эффективности тушения.

Приемо-сдаточные испытания проводят с целью принятия решения о пригодности огнетушителей к поставке потребителю. Периодические испытания проводят не реже одного раза в три года на 25 образцах, прошедших приемо-

сдаточные испытания, с целью контроля стабильности качества продукции и возможности продолжения выпуска изделия.

Типовые испытания проводят при внесении изменений в конструкцию, технологию изготовления применяемых ОТВ или комплектующих изделий и смене их поставщиков, способных повлиять на основные параметры и работоспособность огнетушителя. Испытания на надежность проводят не реже одного раза в три года [1].

В Российской Федерации методы испытаний переносных огнетушителей установлены в ГОСТ Р 51057-2001 «Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний», за рубежом – в международном стандарте ISO 7165:2017 «Противопожарная безопасность. Переносные огнетушители. Характеристики и конструкция» и европейском стандарте DIN EN 1866-1-2007 «Огнетушители мобильные. Часть 1. Характеристики, работа и методы испытания».

Проведя анализ указанных технических нормативных правовых актов, мы сделали вывод о схожести установленных ими методов испытаний переносных огнетушителей на работоспособность, прочность, проверку массы ОТВ, стойкости огнетушителя к наружной и внутренней коррозии, давления в распылителе, продолжительность подачи ОТВ и времени работы и т.д. Есть ряд незначительных отличий в подходах к порядку проведения испытаний огнетушителей, которые для наглядности мы отразили в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. – Способы и условия тушения модельного очага класса А [1, 3, 6]

Параметры	СТБ 11.13.04-2009	ГОСТ Р 51057-2001	ISO 7165:2017
Ограничение работы оператора	С удобного для оператора расстояния, зависящего от длины струи ОТВ	Начальное расстояние до очага 0,5–1,5 м. Кроме одной из сторон поверхности штабеля	Начальное расстояние 1,8 м. Кроме одной из сторон поверхности штабеля
Условия тушения модельного очага	Отсутствие повторного возгорания в течение 10 мин	Отсутствие повторного возгорания в течение 10 мин	Отсутствие открытого пламени и повторного воспламенения в течение 15 мин
Требуемое количество положительных испытаний	2 из 3	2 из 3	2 из 3 в одной серии
Общее количество испытаний	3	3 параллельных	Не регламентируется

Таблица 2. – Способы и условия тушения модельного очага класса В [1, 3, 6]

Параметры	СТБ 11.13.04-2009	ГОСТ Р 51057-2001	ISO 7165:2017
Ограничение работы оператора	Начальное расстояние равно минимальной длине струи ОТВ	Начальное расстояние до очага ($2 \pm 0,5$) м	Начальное расстояние 1,5 м. Не допускается наступать на противень
Вид топлива	Бензин	Бензин	Алифатический жидкий углеводород

В качестве принципиальных отличий можно отметить следующие подходы: в нашем и российском стандартах модельные очаги пожара класса С и D не стандартизованы, а для тушения пожаров класса С рекомендуется использовать порошковые и газовые огнетушители, предназначенные для тушения пожара класса В, в международном стандарте установлены методы испытаний по тушению пожаров класса С, Д, Е.

Вывод: анализ существующих методов испытания огнетушителей в Республике Беларусь показывает, что существует необходимость их актуализации и разработки новых методов, учитывающих современные технологии и материалы, используемые в производстве огнетушителей.

Инновационные подходы к методам испытаний огнетушителей

Рассмотрим несколько инновационных подходов, которые, по нашему мнению, можно применить при актуализации методов испытания переносных огнетушителей.

1. Использование виртуальных симуляций

Этот подход позволяет моделировать различные сценарии пожаров и проверять эффективность огнетушителей в виртуальной среде. Виртуальные симуляции позволяют учесть и изменять различные условия возникновения пожара, такие как тип пожара, окружающая среда и другие факторы, которые могут влиять на эффективность огнетушителя.

Преимущества этого подхода включают его точность, возможность проведения большего количества испытаний и более низкую стоимость по сравнению с традиционными физическими испытаниями. Недостатком этого подхода является его зависимость от правильного моделирования и калибровки симуляций.

Такие подходы уже применяются при проведении испытаний летательных аппаратов (комплекс симуляции полета), симуляторов проведения медицинских операций.

Такие программные комплексы, как ANSYS или Abaqus Unified FEA обеспечивают точность расчетов испытаний прототипов: реальные испытания во всех подробностях воспроизводятся «в цифре». Объем вычислений, безусловно, потребует применять самые высокопроизводительные системы. Однако в итоге появляется возможность сэкономить огромное количество времени и средств, которые пришлось бы расходовать на физические испытания. Притом уровень точности программных комплексов сегодня уже настолько вы-

сок, что продукция, проходившая исключительно виртуальное тестирование, уверенно получает сертификаты соответствия стандартам качества и безопасности.

Наконец, с помощью симуляции возможно производить и «бета-тестирование» товаров, готовящихся к серийному выпуску. Сложность задачи тут заключается в том, что все возможные сценарии эксплуатации того или иного изделия в реальных условиях предусмотреть почти невозможно. Но это не значит, что конечные пользователи не найдут тот самый способ использования новой разработки, который окажется для нее фатальным.

2. Применение дистанционных методов испытаний

Этот подход предусматривает установку камер и датчиков, которые позволяют наблюдать и анализировать процесс тушения пожара с помощью огнетушителя на расстоянии. Такие методы могут быть использованы для изучения эффективности огнетушителя в реальных условиях пожара.

Преимущества этого подхода включают его безопасность для испытателей, возможность наблюдения и анализа в режиме реального времени, а также возможность повторного просмотра и детального анализа результатов. Недостатком этого подхода является его зависимость от качества установленных камер и датчиков.

Для примера можно привести бесконтактные радарные уровнемеры и вибрационные сигнализаторы, которые позволяют дистанционно выполнять частичное контрольное испытание на технологическом процессе в системах обеспечения безопасности (SIS) при измерениях уровня жидкости в резервуарах. Данный метод экономит время, значительно сокращает период вывода технологического объекта из процесса, уменьшает риск случайных разливов, а также устраняет необходимость персоналу подниматься на резервуары с угрозой подвергнуться воздействию технологической среды, а, следовательно, позволяет повысить безопасность.

3. Применение робототехники

Роботы могут быть использованы для проведения испытаний огнетушителей в опасных и недоступных для человека местах. Они могут демонстрировать эффективность огнетушителя в различных сценариях пожара и предоставлять детальные данные о процессе тушения.

Преимущества этого подхода включают его безопасность, возможность работы в экстремальных условиях и высокую точность данных. Однако недостатком этого подхода является его высокая стоимость и сложность в управлении и программировании роботов.

Инновационные подходы к методам испытания огнетушителей представляют собой важную область исследований в области пожарной безопасности. Использование виртуальных симуляций, дистанционных методов наблюдения и робототехники позволяют более точно и безопасно определить эффективность огнетушителей. Однако каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор подходящего метода зависит от конкретных условий и требований испытаний огнетушителей.

Преимущества и недостатки действующих и инновационных подходов к методам испытания огнетушителей

1. Преимущества действующих подходов

Надежность и проверенная эффективность: стандартные подходы имеют длительную историю использования и соответствуют установленным нормам и требованиям. Это позволяет обеспечить надежность и эффективность испытаний огнетушителей.

Широкое применение: стандартные подходы широко применяются в промышленности и имеют широкую поддержку со стороны профессионалов. Это обеспечивает согласованность и сопоставимость результатов испытаний.

Доступность и низкая стоимость: стандартные подходы обычно доступны и не требуют дорогостоящего оборудования или специализированных навыков.

2. Недостатки действующих подходов

Ограниченная гибкость и адаптивность: действующие подходы могут быть ограничены в своей способности адаптироваться к новым ситуациям или требованиям. Это может быть проблемой, особенно с учетом быстро меняющейся технологической среды.

Ограниченное количество параметров для анализа: действующие подходы могут ограничивать количество параметров, которые могут быть изучены и анализированы. Это может привести к недостаточной информации о поведении огнетушителей в различных сценариях пожаров.

3. Преимущества инновационных подходов

Большая гибкость и адаптивность: инновационные подходы позволяют более гибко адаптироваться к новым требованиям и ситуациям. Это позволяет более точно и эффективно изучать поведение огнетушителей в различных условиях.

Более полный анализ параметров: инновационные подходы могут предоставить более полную информацию о различных параметрах, которые могут влиять на эффективность огнетушителей. Это может помочь в дальнейшем улучшении и развитии огнетушителей.

4. Недостатки инновационных подходов

Недостаток нормативной базы: инновационные подходы могут не обладать подробными нормативными указаниями или требованиями, что может вызвать проблемы в обеспечении согласованности и сопоставимости результатов.

Высокая стоимость и сложность: некоторые инновационные подходы могут быть дорогостоящими и требовать специализированного оборудования или экспертизы. Это может ограничить их применение в реальных условиях.

Вывод: все представленные теоретические выкладки требуют практического экспериментального подтверждения, а пока лишь подытожим – действующие сегодня подходы обладают надежностью, широким применением и доступностью, но ограничены гибкостью и адаптивностью. Инновационные подходы обладают большей гибкостью и адаптивностью, но могут быть ограничены недостатком нормативной правовой базы и высокой стоимостью внед-

рения. Оптимальный выбор подхода зависит от конкретных требований и условий испытаний огнетушителей.

Направления для совершенствования методов испытаний огнетушителей

Совершенствование методов испытаний огнетушителей может включать как изменения в существующих стандартах, так и внедрение новых технологий и подходов.

1. Разработка более реалистичных сценариев испытаний

Вместо традиционных упрощенных сценариев следует учитывать различные факторы, такие как тип пожара, окружающая среда, материалы, используемые в помещении, и др. Это позволит более точно определить эффективность огнетушителя в реальных условиях.

2. Внедрение новых технологий и инновационных подходов

Например, использование виртуальных симуляций, дистанционных методов наблюдения и робототехники может значительно улучшить процедуры испытаний огнетушителей. Эти подходы позволяют более точно и безопасно определить эффективность огнетушителей в различных сценариях пожара.

3. Учет различных типов огнетушителей и классов пожаров

Различные огнетушители могут иметь разные характеристики и эффективность в борьбе с различными классами пожаров. Поэтому необходимо разработать методы испытаний, которые учитывают это разнообразие и позволяют определить наиболее эффективный огнетушитель для каждого класса пожара.

4. Улучшение методов анализа и оценки результатов испытаний

Для более надежной оценки результатов испытаний огнетушителей рекомендуется улучшение методов анализа и оценки. Это может включать использование более точных и чувствительных измерительных инструментов, разработку стандартных процедур анализа данных и учет статистических показателей. Такой подход позволит получить более объективную и надежную информацию об эффективности огнетушителей.

Рекомендации для улучшения процедур испытаний огнетушителей включают разработку более реалистичных сценариев, внедрение новых технологий и инновационных подходов, учет различных типов огнетушителей и классов пожаров, а также улучшение методов анализа и оценки результатов испытаний. Эти рекомендации помогут повысить эффективность и надежность испытаний огнетушителей.

Заключение

В результате анализа существующих методов испытаний выявлены основные проблемные вопросы: данные методы требуют актуализации, невозможность применения для новых и инновационных огнетушителей. Для решения этих проблем предлагается актуализировать существующие и разработать новые методы испытания, учитывающие современные технологии и материалы, используемые в производстве огнетушителей.

Разработка и оптимизация методов испытания огнетушителей на основе анализа и сравнения, действующих и инновационных подходов, изучения ми-

рового опыта, предложений производителей, подкрепленных результатами научных исследований и экспериментов, является важным шагом для повышения эффективности и безопасности огнетушителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная техника. Огнетушители переносные. Общие технические условия : СТБ 11.13.04-2009. – Введ. 01.09.2009. – Минск, 2009. – 40 с.

2. Анализ нормативного регулирования порошковых составов и огнетушителей России и за рубежом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ecochim.ru/publications/poroshkovie_sostavi/. – Дата доступа: 25.10.2023.

3. ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. – Введ. 01.07.2002 г. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002.

4. DIN EN 1866-1-2007 Огнетушители мобильные. Часть 1. Характеристики, работа и методы испытания.

5. DIN EN 1866-2-2014 Переносные огнетушители. Часть 2. Требования к конструкции, баростойкости и механическим испытаниям огнетушителей с максимально допустимым давлением, равным или ниже 30 бар которые соответствуют требованиям EN 1866-1. Немецкая версия EN 1866-2:2014.

6. ISO 7165:2017 Противопожарная безопасность. Переносные огнетушители. Характеристики и конструкция.

REFERENCES

1. Sistema standartov pozharnoj bezopasnosti. Pozharnaya tekhnika. Ognetchushiteli perenosnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya : STB 11.13.04-2009. – Vved. 01.09.2009. – Minsk, 2009. – 40 s.

2. Analiz normativnogo regulirovaniya poroshkovyh sostavov i ognetchushitelej Rossii i za rubezhom [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://ecochim.ru/publications/poroshkovie_sostavi/. – Data dostupa: 25.10.2023.

3. GOST R 51057-2001. Tekhnika pozharnaya. Ognetchushiteli perenosnye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. – Vved. 01.07.2002 g. – M.: IPK Izd-vo standartov, 2002.

4. DIN EN 1866-1-2007 Ognetchushiteli mobil'nye. CHast' 1. Harakteri-stiki, rabota i metody ispytaniya.

5. DIN EN 1866-2-2014 Perenosnye ognetchushiteli. CHast' 2. Trebovaniya k konstrukcii, barostojkosti i mekhanicheskim ispytaniyam ognetchushitelej s maksimal'no dopustimym davleniem, ravnym ili nizhe 30 bar kotorye sootvetstvuyut trebovaniyam EN 1866-1. Nemeckaya versiya EN 1866-2:2014.

6. ISO 7165:2017 Protivopozharnaya bezopasnost'. Perenosnye ognetchushiteli. Harakteristiki i konstrukciya.



Гончаров И.Н., Шавель Ю.И., Казябо В.А.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЧАСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО ВСКРЫТИЮ, РАЗБОРКЕ КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТУШЕНИЮ ПОДКРОВЕЛЬНЫХ ПРОСТРАНСТВ НА ВЫСОТЕ

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

Данная работа посвящена проблематике проведения работ по вскрытию и разбору кровельных материалов на высоте при пожарах в подкровельных пространствах.

Приведен анализ основных способов вскрытия и разборки кровель, применяемых в настоящее время, изучены специализированные технические средства для проведения подобных работ, проанализирована возможность установки и применения дополнительных устройств на пожарных автоподъемниках для расширения их тактических возможностей при тушении подкровельных пространств.

Ключевые слова: кровля, пожарный автоподъемник, ствол-пробойник, инструмент, огнетушащее вещество, пожар.

Goncharov I.N., Shavel Y.I., Kaziabo V.A.

ANALYSIS OF TECHNICAL SOLUTIONS IN PART OF PERFORMANCE OF WORKS ON OPENING, DISASSEMBLING ROOFING MATERIALS AND EXTINGUISHING UNDER-ROOF SPACE AT HEIGHTS

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

This article is about the problems of carrying out of roofing materials opening and disassembling at height in cases roof space fires.

An analysis of the main methods of opening and disassembling roofs is given. Specialized technical means for carrying out such work are studied. The possibility of installing and using additional devices on fire trucks to expand tactical capabilities when extinguishing under-roof spaces is analyzed.

Keywords: roofing, aerial ladder platform, puncturing nozzle, tools, fire-fighting agents, fire.

Введение

Основная проблематика тушения подкровельного пространства заключается в сложности подачи огнетушащих веществ (далее – ОТВ) непосредственно в зону горения.

Проанализировав отечественный и зарубежный опыт, необходимо отметить, что в своем большинстве работы по вскрытию (разборке) кровельных ма-

териалов на высоте осуществляются личным составом подразделений при помощи высотной аварийно-спасательной техники как с непосредственным выходом личного состава на кровельную поверхность, так и с откидных площадок (пола люльки) пожарных автолестниц и автоподъемников.

В ходе проработки применения для вскрытия и разборки кровель отдельных устройств промышленного назначения рассмотрен вариант оборудования высотной пожарной аварийно-спасательной техники грузозахватными грейферами (рисунок 1).

Грейфер представляет собой устройство в виде двух или более челюстной хватательной системы, служащей для захватывания различного рода материалов, — песка, земли, горных пород, лома металлов и т. п. Грейферами, как правило, оборудуются грузоподъемные краны, механические и гидравлические экскаваторы.



а

б

а – грейфер лепестковый; б – грейферы для перемещения и сноса

Рисунок 1. – Гидравлические грейферы

В первом приближении рассматривалась возможность установки подобных устройств на пожарных автоподъемниках, имеющих в отличие от пожарных автолестниц большую грузоподъемность и маневровое колено на стреле.

Для использования на пожарных подъемниках как наиболее подходящие рассматривались гидравлические грейферы на жестком шарнирном соединении, способные создавать необходимое давление при врезании в различные кровельные материалы и строительные конструкции.

Однако в ходе изучения технологий демонтажных работ на высоте выявлен ряд ограничений, препятствующий использованию пожарных автоподъемников в данном направлении.

Недостаточная грузоподъемность стрел.

Максимальная грузоподъемность стрел современных пожарных автоподъемников варьируется в пределах 300...550 кг. При этом собственная масса наименьших грейферов легкого типа составляет 300...450 кг. Учитывая малый запас по грузоподъемности, а также тот факт, что при работе демонтируемые

конструкции могут иметь различные конфигурации и массы, нагрузки на стрелу автоподъемника могут принимать критические значения.

Опасные опрокидывающие моменты.

Работа по демонтажу на высоте характеризуется захватом и высвобождением/вырыванием кровельных и других строительных конструкций, закрепленных как между собой, так и с основными несущими элементами зданий и сооружений. Процесс захвата и резкого высвобождения элементов строительных конструкций сопровождается возникновением амплитудных колебаний стрелы автоподъемника, что способствует увеличению динамических нагрузок на стрелу и возникновению опасных опрокидывающих моментов.

Необходимость дополнительных систем безопасности.

В связи с рисками потери динамической устойчивости, связанными с возникновением амплитудных колебаний стрелы пожарного автоподъемника, возникает необходимость дополнительного оснащения указанной техники высоконадежными предохранительными устройствами как пассивной, так и активной защиты. Такие системы позволяют отслеживать и анализировать в режиме реального времени положение рабочих инструментов, нагрузку, действующую на них, устойчивость машины. При возникновении критических ситуаций система автоматически блокирует перемещение стрелы, обеспечивая защиту как оператора, так и техники в целом. Одновременно с этим возникает риск блокировки автоподъемника в непосредственной близости от очага пожара, что может повлечь его повреждение или уничтожение в результате воздействия повышенных температур или обрушения строительных конструкций.

Ограниченная мобильность.

Еще одним из моментов, ограничивающих применение пожарных автоподъемников для демонтажных работ на высоте, является их производство на базовых автомобильных колесных шасси, устойчивость которых при работе обеспечивается аутригерами. Работа на аутригерах не позволяет оперативно убрать пожарный автоподъемник из опасной зоны при падении демонтируемых элементов с рабочей высоты, что может привести к травмированию личного состава, повреждению автоподъемника.

Наиболее целесообразно применение на пожарных коленчатых подъемниках специальной пробивной иглы (рисунок 2). Пробивная игла представляет собой разбираемое оборудование, которое устанавливается на спасательную люльку подъемника либо на маневровое колено стрелы подъемника/пеноподъемника.

Конструкция оборудования обеспечивает быстрое проникновение в подкровельное пространство (пробивание крыш и других конструкций) и имеет следующие характеристики:

- пробой прямым ударом;
- импульсная сила 10 кН (около 1000 кг);
- электروهидравлическое управление;
- диаметр подключаемого рукава 65 мм;
- расход воды 1000 л/мин (16,7 л/с);
- максимальная скорость пробивающей головки около 100 км/ч;

доступно беспроводное управление.



а – установленная в люльке; б – установленная на маневровом колене

Рисунок 2. – Пробивная игла

Для проведения демонтажных работ на высоте в мировой практике применяются специальные экскаваторы, оборудованные высоконадежными системами безопасности (рисунок 3).



Рисунок 3. – Демонтажный экскаватор

Машины этого типа построены на базе гусеничного экскаватора и имеют ряд конструктивных особенностей. Ключевое отличие – мощные стрелы с грузоподъемностью до 5 тонн. Для удобства и безопасности работы на экскаватор устанавливается кабина с регулируемым углом наклона и верхним остеклением. Для обеспечения высокой устойчивости используется увеличенный противовес, вследствие чего модели, способные выполнять демонтажные работы на высоте 30-45 метров, имеют собственную массу 80–90 тонн. Некоторые экскаваторы оснащаются раздвижной ходовой частью (гусеницы могут увеличивать колею, обеспечивая лучшую устойчивость).

Одним из вариантов организации тушения подкровельного пространства является использование пожарных пробивных стволов. Данные стволы предназначены для механического ударного вскрытия (раздвигания) легких строительных конструкций и подачи ОТВ в подкровельное пространство, а также скрытые полости внутри строительных конструкций с различными видами утеплителя. Приведение в рабочее положение ствола возможно как с выходом на кровлю, так и непосредственно из люльки автолестницы (автоподъемника) либо откидной площадки (в зависимости от конструктивного исполнения люльки) с обеспечением необходимых мер безопасности.



Рисунок 4. – Ствол-пробойник

В зарубежных странах для тушения подкровельного пространства применяются установки пожаротушения с возможностями гидроабразивной резки конструкций из высокопрочных материалов, а также подачи тонко распыленной струи воды. Наиболее известной является установка ColdCutCobra. Пример работы с установкой пожаротушения ColdCutCobra показан на рисунке 5, ее технические характеристики приведены в таблице.



Рисунок 5. – Применение установки пожаротушения ColdCutCobra

Таблица. – Тактико-технические характеристики установки ColdCutCobra

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1.	Рабочее давление на выходе из насоса, атм	280–300
2.	Расход воды, л/мин	56–60
3.	Расход пенообразователя, л/мин	4
4.	Расход абразива при резке, кг/мин	4,2
5.	Скорость подачи воды на выходе из ствола, м/с	200
6.	Объем емкости для абразива, л	10 или 20
7.	Объем емкости для пенообразователя, л	10 или 23
8.	Длина рукавной катушки, м	80
9.	Вес установки E300/H300, кг	750/450
10.	Габаритные характеристики ствола:	
а) ствол для резки и «проколов»		
	– длина, ширина, высота, мм	1320×100×420
	– диаметр сопла, мм	2,3
	– масса, кг	5,6
б) ствол для «проколов»		
	– длина, ширина, высота, мм	900×100×420
	– диаметр сопла, мм	1,6
	– масса, кг	5
11.	Линейная скорость резки, см/мин	
	– углеродистая сталь толщиной 2 мм	34
	– углеродистая сталь толщиной 12 мм	5
12.	Время проникновения, с	
	– углеродистая сталь толщиной 3 мм	5–10
	– углеродистая сталь толщиной 10 мм	30–40
	– бетон М300 толщиной 200 мм	100

Применение данных установок повышает безопасность личного состава, участвующего в пожаротушении, а также исключает приток кислорода в зону горения за счет незначительного отверстия, которое образуется в результате резки. При этом в зону горения попадает тонкораспыленная вода в виде тумана, которая в процессе испарения образует водяной пар, а тот, в свою очередь, эффективно охлаждает горячие газы, снижая общую температуру пожара. Существенным недостатком указанных установок является их высокая стоимость.

В подразделениях МЧС широкое применение при тушении пожаров получила размещаемая на пожарных аварийно-спасательных автомобилях установка высокого давления Limens (не предназначена для гидроабразивной резки). Данная установка состоит из двигателя внутреннего сгорания, насоса высокого давления, бака для воды, бака для пенообразователя, шланга высокого давления, ствола для подачи огнетушащих веществ (рисунок 6).

Важно отметить, что применение пробивных стволов и установок пожаротушения высокого давления (в том числе с возможностями гидроабразивной резки) наиболее эффективно при дополнительном применении ручного механизированного аварийно-спасательного инструмента.



Рисунок 6. – Установка высокого давления Limens в насосном отсеке автомобиля быстрого реагирования

Заключение

На основании проведенного анализа основных способов вскрытия и разборки кровель, применяемых в настоящее время специализированных технических средств для проведения подобных работ, наиболее целесообразным является применение:

пробивных ручных и автоматических стволов (в том числе установленных на пожарные автоподъемники);

специальной техники на гусеничном ходу для демонтажных работ на высоте и прицепа для ее транспортировки;

пожарных автоподъемников/пеноподъемников, оборудованных пробивными стволами на вершине маневровой стрелы или в спасательной люльке;

ручного механизированного аварийно-спасательного инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://fire-declaration.ru/novosti/normy-po-pozharotusheniyu-ekspluatiruemyh-krovel-zhilyh-i-obshchestvennyh-zdaniy-i-nadzemnyh.php> – Дата доступа: 01.11.2023.

2. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: https://brmaster.ru/catalog/ustanovki_pozharotusheniya/ustanovki_pozharotusheniya_s_gidro_abrazivnoy_rezkoy – Дата доступа: 08.11.2023.

3. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://les-kontrakt.by/p91346635-grejfernyj-zahvat-gidravlicheskiy.html> – Дата доступа: 10.11.2023.

4. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://bautehnik.by/obzor-luchshih-gusenichnyh-jekskavatorov-2021-goda/> – Дата доступа: 10.11.2023.

REFERENCES

1. Natsionalnyiy Internet-portal Respubliki Belarus [Elektronnyiy resurs]. – 2023. – Rezhim dostupa: <https://fire-declaration.ru/novosti/normy-pozharotusheniya-ekspluatiruemyh-krovel-zhilyh-i-obshchestvennyh-zdaniy-i-nadzemnyh.php> – Data dostupa: 01.11.2023.

2. Natsionalnyiy Internet-portal Respubliki Belarus [Elektronnyiy resurs]. – 2023. – Rezhim dostupa: https://brmaster.ru/catalog/ustanovki_pozharotusheniya/ustanovki_pozharotusheniya_s_gidro_abrazivnoy_rezkoy – Data dostupa: 08.11.2023.

3. Natsionalnyiy Internet-portal Respubliki Belarus [Elektronnyiy resurs]. – 2023. – Rezhim dostupa: <https://les-kontrakt.by/p91346635-grejfernyj-zahvat-gidravlicheskiy.html> – Data dostupa: 10.11.2023.

4. Natsionalnyiy Internet-portal Respubliki Belarus [Elektronnyiy resurs]. – 2023. – Rezhim dostupa: <https://bautehnik.by/obzor-luchshih-gusenichnyh-jekskavatorov-2021-goda/> – Data dostupa: 10.11.2023.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.136-142>

УДК 614.842.615

Кондакова Я.А., Навроцкий О.Д.*

ОГНЕТУШАЩАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ С МОДИФИЦИРУЮЩИМИ ДОБАВКАМИ ПРИ ПОДАЧЕ ПЕНЫ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

**Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты*

Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск

В работе экспериментально в соответствии со стандартизированной методикой определены время тушения и время повторного воспламенения модельного очага пожара пеной низкой кратности при ее подаче на поверхность изопропилового спирта, проведены исследования влияния модифицирующих добавок в составе пенообразователей на их огнетушащие свойства.

Ключевые слова: пенообразователь, пена низкой кратности, водорастворимая горючая жидкость, огнетушащая эффективность, модифицирующие добавки.

Kandakova Y.A., Navrotsky O.D.

FIRE EXTINGUISHING EFFECTIVENESS OF FOAMING AGENTS WITH MODIFYING ADDITIVES WHEN SUPPLYING FOAM OF LOW EXPANSION TO THE SURFACE OF WATER-SOLUBLE FLAMMABLE LIQUIDS

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

** The State Educational Institution "University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus", Minsk*

In this work, the time of extinguishing with low-expansion foam applied to the surface of isopropyl alcohol and the time of re-ignition of a model fire are experimentally determined in accordance with a standardized methodology. Studies of the influence of modifying additives in the composition of foaming agent on the fire extinguishing properties are carried out.

Keywords: foaming agent, low expansion foam, water soluble flammable liquid, fire extinguishing efficiency, modifying additives.

Введение

Согласно статистическим данным, в Республике Беларусь ежегодно происходит большое количество техногенных чрезвычайных ситуаций, из которых

большую часть составляют пожары. В настоящее время для ликвидации горения многих видов пожаров широко используются пенообразователи, которые являются одним из наиболее эффективных и удобных огнетушащих веществ.

В Республике Беларусь имеется более 50 крупных предприятий химической промышленности, использующих в технологическом цикле водорастворимые жидкие углеводороды (спирты, кетоны и др.), являющиеся пожароопасными горючими жидкостями.

Для тушения растворимых в воде жидкостей, например, этилового спирта, используют пенообразователи целевого назначения, эффективность которых достигается за счет введения в состав пенообразователя полимерных добавок, которые увеличивают устойчивость пены путем образования толстой полимерной пленкой между пеной и спиртом [1].

Определение огнетушащей эффективности пенообразователей является важным этапом в процессе разработки новых и совершенствования существующих средств пожаротушения. С этой целью были проведены исследования эффективности тушения водорастворимых горючих жидкостей пенообразователями с модифицирующими добавками.

Конструкция испытательной установки и условия проведения испытаний

Методика, позволяющая определить время тушения и время повторного воспламенения модельного очага водорастворимой горючей жидкости (ацетона) пеной низкой кратности при ее подаче на поверхность горючей жидкости, изложена в приложении Е [2].

Испытательная установка включает в себя следующие сборочные единицы, узлы и комплектующие (рисунок 1):

- генератор пены низкой кратности (позиция А);
- противень для горючей жидкости (позиция В);
- экран отбойник для пены (позиция С);
- тигель для определения времени повторного воспламенения (позиция D);
- штатив для крепления пеногенератора (позиция Е);
- устройство для подачи раствора пенообразователя (огнетушитель, насос) (позиция F).

Основные составляющие установки:

1. Генератор воздушно-механической пены низкой кратности производительностью не менее $1,7 \text{ дм}^3 \cdot \text{мин}^{-1}$ при давлении $(0,70 \pm 0,02) \text{ МПа}$.

2. Штатив для крепления пеногенератора и противня, обеспечивающий его устойчивое положение при перепадах рабочего давления.

3. Круглый противень внутренним диаметром $(565 \pm 5) \text{ мм}$. Высота противня $(150 \pm 5) \text{ мм}$, толщина стенок $(1,2 \pm 0,2) \text{ мм}$. Дно противня – коническое, высота конуса $(30 \pm 5) \text{ мм}$.

4. Экран-отбойник, обеспечивающий 100%-ное попадание образующейся воздушно-механической пены в противень.

5. Цилиндрический тигель для определения времени повторного воспламенения диаметром $(155 \pm 5) \text{ мм}$, высотой $(160 \pm 5) \text{ мм}$, толщиной стенок $(1,2 \pm 0,2) \text{ мм}$ с металлической рукояткой.

6. Герметичная емкость для рабочего раствора пенообразователя объемом (30 ± 1) дм³, изготовленная из коррозионно-стойкого материала или с внутренним антикоррозионным покрытием, выдерживающая внутреннее давление до 1 МПа.

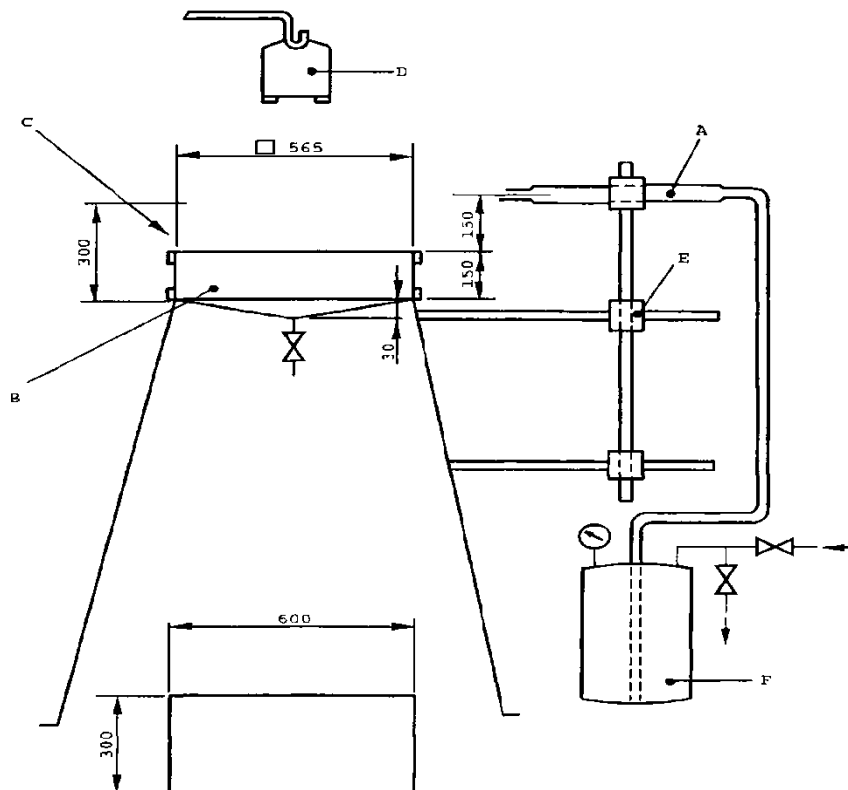


Рисунок 1. – Установка для определения огнетушащей эффективности пены низкой кратности

Сущность метода заключается в определении времени тушения горючей жидкости пеной низкой кратности, подаваемой в модельный очаг площадью 0,25 м².

При выполнении измерений и испытаний должны соблюдаться условия, изложенные в таблице 1.

Таблица 1 – Условия выполнения измерений и испытаний

Наименование показателя	Значение показателя
Температура окружающего воздуха, °С	20...25
Температура топлива, °С	15...25
Температура пенообразователя, °С	15...25
Относительная влажность воздуха, %	40...95
Атмосферное давление, кПа	84...100
Скорость ветра, м/с	0...3
Наличие осадков	нет

Розжиг горючей жидкости проводится при помощи факела.

Определение времени тушения и времени повторного воспламенения модельного очага изопропилового спирта пеной низкой кратности при подаче на поверхность горючей жидкости

Пенообразователь по [3] является пенообразователем общего назначения и для тушения водорастворимых горючих жидкостей не применяется. Однако в составе указанного пенообразователя применяются фторированные добавки, которые защищают пену от разрушения при ее контакте с водорастворимой горючей жидкости. Таким образом, при добавлении в состав по [3] модифицирующих добавок (полимеры, полисахариды и др.) ожидается образование устойчивой пленки на границе раздела фаз «горючее – пена», в результате чего пена становится устойчивой к действию спирта длительное время.

Вместе с тем для сравнительного анализа и более объективной оценки эффективности тушения водорастворимых горючих жидкостей пенообразователями с модифицирующими добавками проведены испытания уже существующих на рынке спиртостойких пенообразователей.

Все испытания проводились в соответствии с условиями, указанными в таблице 1. Для проведения исследований использовались образцы пенообразователей, описание которых приведено в таблице 2.

В серии испытаний в качестве горючего использовался изопропиловый спирт ТУ ВУ 100138463-002.2007 (изопропиловый спирт – растворимая в воде горючая жидкость, для тушения которой требуется специальный спиртостойкий пенообразователь).

Таблица 2. – Описание исследуемых образцов пенообразователей

Опытный образец	Наименование образца	Примечание
Образец № 1	Промышленный пенообразователь типа AFFF/AR	Применяется для тушения водорастворимых горючих жидкостей (спирты, кетоны и др.)
Образец № 2	Состав по патенту [3]	Применяется для тушения водонерастворимых горючих жидкостей (бензин, дизтопливо и др.)
Образец № 3	Состав по патенту [3] с добавлением 0,916 % ксантановой камеди (косметической)*	
Образец № 4	Состав по патенту [3] с добавлением 0,681 % ксантановой камеди (пищевого сорта)*	
* растворимые в пенообразователе полимерные вещества в соответствии с положениями [4]		

Результаты определения времени тушения и времени повторного воспламенения модельного очага пожара опытными образцами пенообразователей при тушении изопропилового спирта приведены в таблице 3. Контроль площади горения модельного очага пожара после повторного воспламенения осуществлялся визуально и с помощью видеофиксации.

Таблица 3 – Результаты определения огнетушащей способности исследуемых образцов

Опытный образец	Расход раствора пенообразователя, дм ³ /мин	Время тушения, с	Время повторного воспламенения, с	Время распространения пламени на площади после повторного воспламенения, с	
				На 50 % площади	На 100 % площади
Образец № 1	1,74	34	738	760	774
Образец № 1	2,52	28	168	247	271
Образец № 2	1,74	Разрушение пены при контакте с горючим			
Образец № 3	1,74	80	187	209	240
Образец № 4	1,74	108	124	166	188

На основании результатов испытаний, приведенных в таблице 3, видно, что при тушении изопропилового спирта (водорастворимой горючей жидкости) образец № 1 обладает хорошей огнетушащей эффективностью. При этом пена, полученная из образца № 2, полностью разрушается при контакте с горючей жидкостью (изопропиловым спиртом).

Для повышения устойчивости образца № 2 к действию спирта использовали добавки водорастворимого полимера: ксантановая камедь косметическая и ксантановая камедь пищевого сорта. Указанные полимеры хорошо растворимы в воде и нерастворимы в спирте.

При тушении изопропилового спирта пена, полученная из образцов № 3 и 4, незначительно разрушается при контакте с горючей жидкостью. Согласно полученным результатам (таблица 3) можно сделать вывод, что указанные образцы обладают хорошей огнетушащей эффективностью при тушении изопропилового спирта. При введении в пенообразователь ксантановой камеди из пены при контакте ее со спиртом на границе раздела «пена-спирт» образуется нерастворимая в спирте полимерная пленка. Образующаяся пленка предохраняет пену от разрушения.

Таким образом, использование в составе пенообразователя по [3] полимерных добавок (образцы № 3 и 4) приводит к устойчивости пены, полученной из пенообразователя, к действию спиртов.

Также стоит отметить, что при горении горючего в тигле наблюдалось разрушение пены возле стенок тигля (рисунок 2) под воздействием высокой температуры, образованной при нагревании стенок тигля. В месте, где пена разру-

шилась, наблюдался скорый переход пламени из тигля на поверхность горючего в противне (рисунок 3).



Рисунок 2 – Разрушение пены от высокотемпературного воздействия при горении тигля в модельном очаге пожара



Рисунок 3 – Воспламенение горючего в модельном очаге пожара

Заключение

В работе проведены испытания по определению времени тушения и времени повторного воспламенения модельного очага изопропилового спирта пеной низкой кратности, полученной из пенообразователей с модифицированными добавками, при ее подаче на поверхность горючей жидкости. По результа-

там, полученным при проведении испытаний, установлено, что добавленные в состав пенообразователя по [3] полимерные (модифицирующие) добавки: ксантановая камедь косметическая и ксантановая камедь пищевого сорта повысили устойчивость пенообразователя к действию изопропилового спирта (водорастворимой горючей жидкости). Концентрация полимерных добавок была выбрана с учетом положений [4].

На основании полученных результатов испытаний определено, что следует провести вторую серию испытаний, которая будет направлена на снижение концентрации в составе пенообразователя по [3] фторированных добавок, которые являются дорогостоящими, и определение эффективной концентрации полимерных (модифицирующих) добавок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тербнев, В.В. Пожарная тактика. Основы тушения пожаров: учеб. пособие / В.В. Тербнев, А.В. Подгрушный. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 322 с.
2. Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016. – Взамен СТБ ГОСТ Р 50588-99; введ. 12.08.2016. – Минск, Госстандарт, 2016. – 42 с.
3. Пенообразователь для тушения пожаров: пат. 17905 Респ. Беларусь / О.Д. Навроцкий, В.К. Емельянов. – Оpubл. 28.02.2014.
4. Кондакова, Я.А. Пенообразователь для тушения водорастворимых горючих жидкостей / Я.А. Кондакова, О.Д. Навроцкий, И.Ю. Иванов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 2. – С. 211–218.

REFERENCES

1. Terebnev, V.V. Pozharnaya taktika. Osnovy tusheniya pozharov: ucheb. posobiye / V.V. Terebnev, A.V. Podgrushnyy – M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2012. – 322 p. (rus)
2. Veshchestva ognetushashchiye. Penobrazovateli dlya tusheniya pozharov. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya. Metody ispytaniy: STB 2459-2016. – Vza-men STB GOST R 50588-99; vved. 12.08.2016. – Minsk, Gosstandart, 2016. – 42 p. (rus)
3. Penobrazovatel' dlya tusheniya pozharov pat. 17905 Resp. Belarus' / O.D. Navrotskiy, V.K. Yemel'yanov. – Opubl. 28.02.2014. (rus)
4. Kondakova, YA.A. Penobrazovatel' dlya tusheniya vodorastvorimyykh goryuchikh zhidkostey / YA.A. Kondakova, O.D. Navrotskiy, I.YU. Ivanov // Vest-nik Universiteta grazhdanskoy zashchity MCHS Belarusi. – 2022. – T. 6, № 2. – P. 211–218 (rus)



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.143-151>

УДК 614.849

Никитин В.И.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАДЫМЛЕННОЙ СРЕДЫ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ПИРОЛИЗА В ПЛАМЕННОЕ ГОРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

Мультикритериальные пожарные извещатели успешно применяются во всем мире в связи с их способностью обнаруживать пожар с низкой вероятностью ложных срабатываний. Существующие методы контроля работоспособности мультикритериальных пожарных извещателей не предусматривают проверку их характеристик в условиях перехода тления в пламенное горение. Целью работы являлось усовершенствование методики исследования параметров окружающей среды при переходе от тления (пиролиза) в пламенное горение для моделирования тестового пожара при проверке качества работы мультикритериальных пожарных извещателей.

Описано, каким образом доработана методика проведения эксперимента, позволяющая одновременно исследовать динамику изменения параметров задымленной среды при переходе пиролиза в пламенное горение материалов.

Проведены натурные эксперименты и исследованы условия перехода от тления к пламенному горению материалов.

Ключевые слова: мультикритериальные пожарные извещатели, методы контроля, работоспособность, переход тления в пламенное горение.

Nikitin V.I.

IMPROVEMENT OF TECHNIQUES FOR STUDYING THE DYNAMICS OF CHANGES IN PARAMETERS OF A SMOKE ENVIRONMENT DURING THE TRANSITION OF PYROLYSIS TO FLAME COMBUSTION OF MATERIALS

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

Multi-criteria fire detectors are successfully used throughout the world due to their ability to detect fire with a low probability of mistake. Existing methods for monitoring the performance of multi-criteria fire detectors do not provide checking their characteristics under conditions of transition from smoldering to flaming combustion. The goal of the work is improving the methodology for studying environmental parameters during the transition from smoldering (pyrolysis) to flaming combustion to simulate a fire when checking the quality of operation of multi-criteria fire detectors.

Improved experimental methodology, that allow study the dynamics of changes in the parameters of a smoke-filled environment during the transition of pyrolysis to flame combustion of materials is described.

Full-scale experiments and the conditions for the transition from smoldering to flaming combustion of materials were studied are carried out.

Keywords: multi-criteria fire detectors, control methods, operability, transition of smoldering to flame combustion.

В работах [1, 2] описаны важность и необходимость исследования различных типов горения и прежде всего переходного процесса от тления к пламенному горению материалов для оценки работоспособности мультисенсорных пожарных извещателей обнаруживать пожары на ранней стадии их развития.

В работах [2, 3, 4] описана методика и переходной процесс от тления к пламенному горению материалов, склонных к указанному процессу.

Исследовались образцы древесины толщиной 2 мм. Воспламенение происходило при нагревании плитки до 600 °С.

Однако при попытках повторения и однозначного воспроизведения переходного процесса от тления к воспламенению было установлено, что его не всегда возможно воспроизвести однозначно с переходом к воспламенению.

При использовании образцов деревянных брусков схожих размеров (толщиной 2–2,5 мм) зачастую наблюдался только процесс тления с последующим полным истлением без пламенного горения.

Для стабилизации и однозначного воспроизведения в лабораторных условиях переходного процесса от тления к пламенному горению необходимо усовершенствование методики проведения эксперимента.

Посредством изучения литературных источников [5], описывающих поведение материалов, склонных к воспламенению и тлению, определено, что для однозначного воспламенения, помимо источника зажигания, наличия достаточного количества горючего материала, необходимо и наличие в достаточном количестве окислителя при горении целлюлозосодержащих материалов – кислорода, содержащегося в воздухе.

Следовательно, при нагреве исследуемых образцов необходим дополнительный приток воздуха, содержащий кислород для горения.

Данный приток воздуха предусмотрели в эксперименте с помощью специального устройства для его подачи. Устройство представляет собой прямоугольный блок, внутри которого расположен вентилятор.

На выходе из устройства направление воздушного потока регулируется с помощью секторной пластины, разделяющей и направляющей воздушные потоки. Размеры так называемого «выходного отверстия» для выхода воздушного потока из устройства составили в эксперименте 180 мм на 45 мм.

В усовершенствованной методике проведения эксперимента устройство подачи воздуха устанавливается таким образом, чтобы расстояние от центра плитки до края выхода воздушного потока из устройства подачи воздуха (до сопла) составляло (500 ± 20) мм.

Измеренная скорость воздуха над плиткой в среднем составляет 1,06 м/с, на выходе из вентилятора – 3,24 м/с.

Для проведения экспериментов по усовершенствованной методике подготовлены следующие образцы:

I. Три комплекта брусков из древесины хвойных пород (сосна) размерами $3 \times 10 \times 75$ мм (10 шт.).

II. Хлопковые фитили, используемые при моделировании стандартного тестового пожара ТП-3 по [6] или [7], длиной (800 ± 10) мм (3 шт.) и общей массой 8,24 г.

III. Хлопковые диски диаметром 56 мм каждый (50 шт.), по 10 шт. в стопке массой 25,44 г.

IV. Брусочки из древесины хвойных пород (сосна) размерами $10 \times 15 \times 75$ мм (8 шт.) общей массой 34,18 г.

Эксперимент I. При проведении эксперимента с нагревом трех комплектов деревянных брусков размерами $3 \times 10 \times 75$ мм установлено следующее.

Справочно. Данные образцы со схожими размерами (толщиной 2 мм) [2, 3, 4] использовались при воспроизведении переходного процесса от тления к пламенному горению. Но добиться стабильности переходного процесса от тления к пламенному горению не удалось согласно результатам дополнительно проведенных натуральных экспериментов. Образцы периодически просто истлевали на нагревательной плитке без пламенного горения.

Воспламенение образцов по усовершенствованной методике достигало стабильности. Начало воспламенения в разных экспериментах (для первого, второго и третьего комплекта деревянных образцов) происходило от начала нагрева плитки в следующих значениях по времени: 530, 630 и 690 с при температуре плитки 367, 377 и 487 °С соответственно.

Период пламенного горения составил около 20 с при загорании образцов древесины. Но образцы загорались не одновременно. Зачастую некоторые образцы загорались, когда другие уже начинали затухать на плитке (почти после полного прогорания).

Таким образом, процесс можно охарактеризовать как не совсем стабильным и однозначным.

Можно сделать вывод, что не хватило горючей массы для однозначного наблюдения и поддержания во времени пламенного горения.

Эксперимент II. При исследовании поведения образцов древесины с размерами $10 \times 15 \times 75$ мм наблюдался более стабильный переходной процесс от тления к пламенному горению.

Воспламенение образцов произошло практически одновременно (в течение 5 с) при температуре на поверхности плитки 458 °С.

Период пламенного горения составил 26 с (рисунок 1).

Эксперимент III. При проведении эксперимента с использованием образцов древесины размерами $30 \times 10 \times 75$ мм также наблюдался стабильный переходной процесс от тления к пламенному горению.

Воспламенение произошло при температуре плитки 453 °С. При этом все образцы воспламенились в течение 1-2 с.

Период пламенного горения составил уже более длительный период: с 613 по 728 с и составил 115 с (около 2 мин) (рисунок 2).

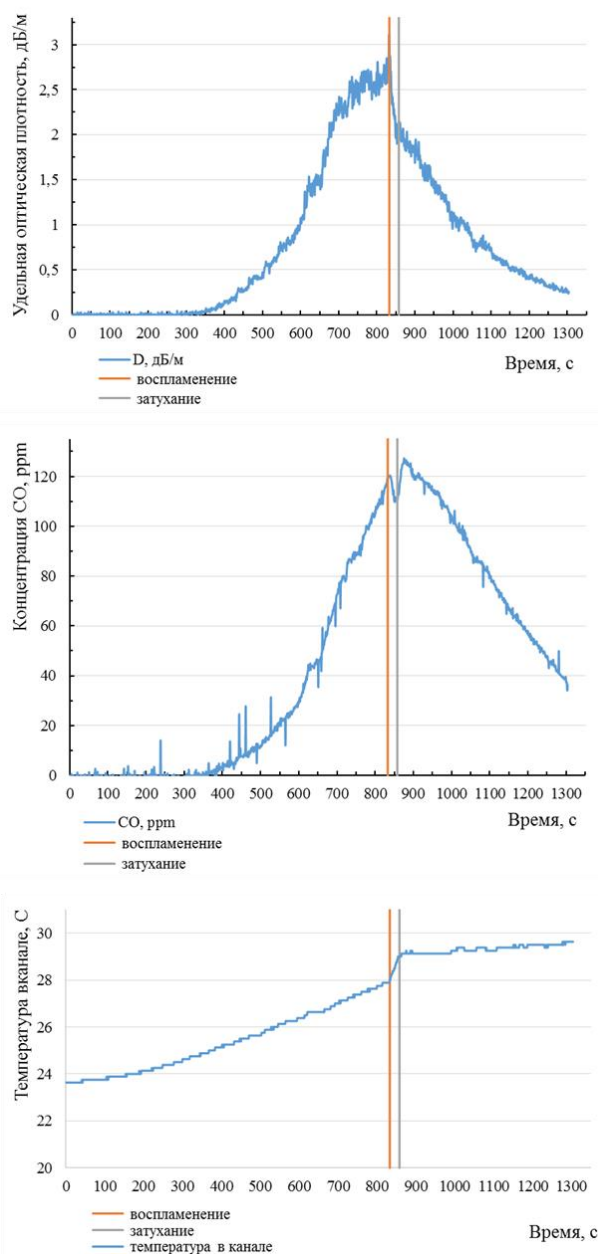


Рисунок 1 – Изменение контролируемых параметров при нагревании образцов древесины с размерами 10×15×75 мм

Детальный анализ графиков изменения концентрации (плотности) дыма, угарного газа, температуры в измерительном канале будет приведен в отдельной статье.

В результате исследования образцов древесины в настоящее время можно сделать вывод, что для реализации стабильного переходного процесса и его оценки во времени необходима более большая масса деревянных образцов. Соответственно, необходимо повторить эксперименты с брусками больших размеров (с большей горючей массой).

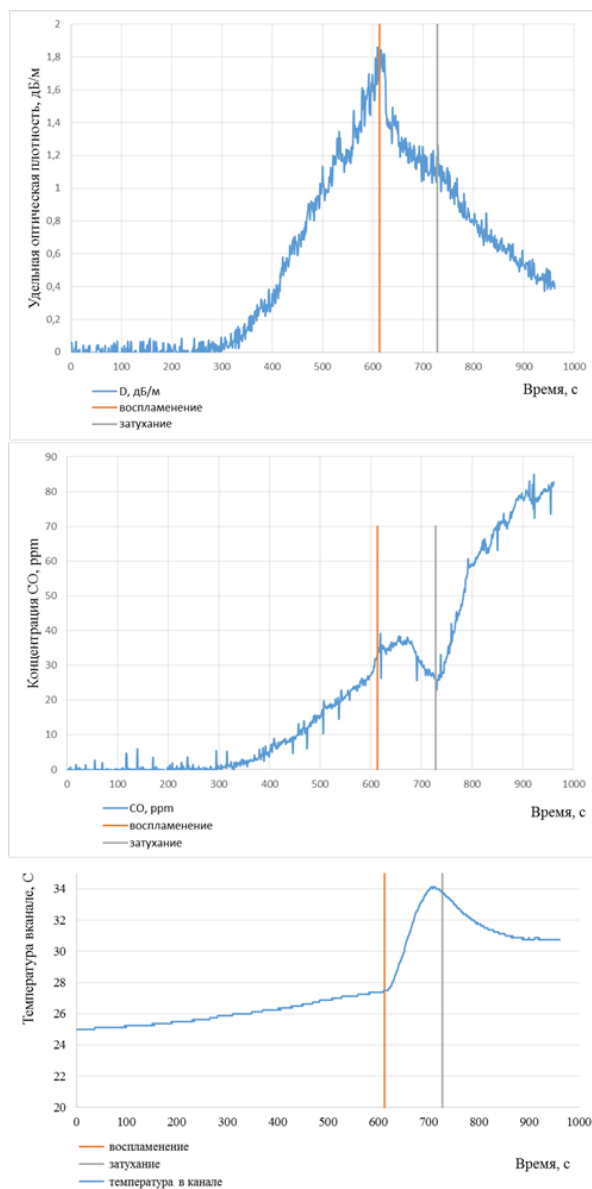


Рисунок 2 – Изменение контролируемых параметров при нагревании образцов древесины с размерами 30×10×75 мм

Эксперимент IV. При исследовании образцов хлопковых фитилей при их нагреве на плитке установлено, что пламенного горения не наблюдалось.

Наблюдалось свечение с дальнейшим полным истлением образцов хлопковых фитилей при температуре до 377 °С на 450 с (7,5 мин) от начала нагрева плитки (рисунок 3).

Как видно из графика, переходной процесс от тления хлопковых фитилей к их пламенному горению отсутствует. Соответственно, на графике не наблюдается характерного для переходного процесса резкого изменения в сторону уменьшения удельной оптической плотности и концентрации угарного газа и увеличения температуре в канале.

Следовательно, образцы хлопковых фитилей, используемые в стандартном тестовом пожаре ТП 3, моделирующим только тлеющий процесс, для оценки работы мультикритериальных извещателей в данном случае не подходят.

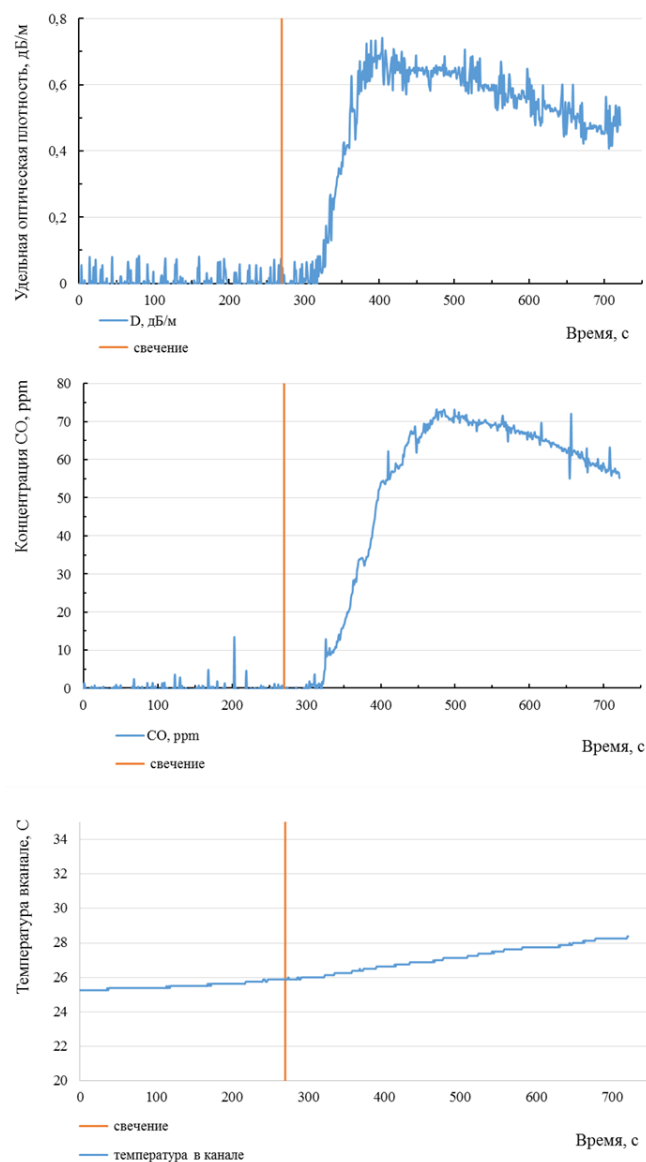


Рисунок 3 – Изменение контролируемых параметров при нагревании образцов хлопковых фитилей длиной 800 мм

Эксперимент V. При исследовании хлопковых дисков наблюдался стабильный переходной процесс от тления к пламенному горению.

Воспламенение произошло при температуре на плитке 407 °С, период пламенного горения составил 73 с (с 583 по 660 с с начала нагрева) (рисунок 4).

При анализе изменения значений концентрации угарного газа заметно резкое снижение его концентрации с одновременным снижением удельной оптической плотности. При этом спустя 10–15 с снова наблюдается увеличение концентрации угарного газа при продолжающемся спаде удельной оптической плотности. Температура в канале резко увеличивается и постепенно снижается.

При этом для образцов из древесины характерно более плавное изменение контролируемых параметров.

Таким образом, исследован переходной процесс с различными образцами материалов, склонных к переходу от тления к воспламенению.

Исследованные резкие изменения контролируемых параметров будут служить основой для определения перехода процесса от тления к пламенному горению.



Рисунок 4 – Изменение контролируемых параметров при нагревании образцов хлопковых дисков

Для дальнейшего создания специального тестового пожара для контроля способности мультисенсорных (мультикритериальных) извещателей обнаруживать пожары с переходом от тления к пламенному горению материалов необходим детальный анализ проведенных экспериментов с соответствующими выводами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин В.И. Контроль работоспособности мультикритериальных пожарных извещателей // VII Международная науч.-практ. конф. «Чрезвычайные

ситуации: предупреждение и ликвидация», посвященная 60-летию создания первого в Республики Беларусь научного подразделения в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров, г. Минск, 1-3 ноября 2016 года. – С. 294–304.

2. Антошин, А.А. Методика исследования динамики параметров задымленной среды при переходе пиролиза в пламенное горение / А.А. Антошин, В.И. Никитин // Приборы и методы измерений. – 2019. – Т. 10. № 4. – С. 271–280.

3. Антошин, А.А. Тестовый пожар на основе древесины, моделирующий условия перехода тления в пламенное горение / А.А. Антошин, В.И. Никитин // Материалы 11-й Международной науч.-технич. конф. Приборостроение – 2018. – Минск (БНТУ). – С. 497–499.

4. Никитин, В.И. Контроль работоспособности мультисенсорных пожарных извещателей / В.И. Никитин // Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: противодействие современным вызовам и угрозам: сборник научных трудов международной науч.-практ.конф., Минск, 2017. – М.: УГЗ. – С. 158–160.

5. Киреев, А.А. Исследование повторного воспламенения древесины обработанной гелеобразующими огнетушащими составами / А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности.– 2009.– Вып. 25. – С. 65–72.

6. СТБ 11.16.03-2009 Система стандартов пожарной безопасности. Системы пожарной сигнализации. Извещатели пожарные дымовые точечные. Общие технические условия.

7. ГОСТ 34698-2020 Извещатели пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.

REFERENCES

1. Nikitin V.I. Kontrol rabotosposobnosti multikriterialnyh pozharnyh izveshatelej//VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Chrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya», posvyashennaya 60-letiyu sozdaniya pervogo v Respubliki Belarus nauchnogo podrazdeleniya v oblasti preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij i pozharov, g. Minsk, 1-3 noyabrya 2016 goda. – S. 294–304.

2. Antoshin A.A., Nikitin V.I. Metodika issledovaniya dinamiki parametrov zadymlennoj sredy pri perehode piroliza v plamennoe gorenje //Pribory i metody izmerenij 2019. – T.10. №4. – S. 271–280.

3. Antoshin A.A., Nikitin V.I. Testovyy pozhar na osnove drevesiny, modeliruyushij usloviya perehoda tleniya v plamennoe gorenje // Materialy 11-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii Priborostroenie. – 2018. – Minsk (BNTU). – S. 497–499.

4. Nikitin V.I. Kontrol rabotosposobnosti multisensornyh pozharnyh izveshatelej / Preduprezhdenie i likvidaciya chrezvychajnyh situacij: protivodejstvie sovremennym vyzovam i ugrozam. Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Minsk : UGZ, 2017. – S. 158–160.

5. Kireev A.A., Bondarenko S.N. Issledovanie povtornogo vosplamneniya

drevesiny obrabotannoj geleobrazuyushimi ognetushashimi sostavami // Problemy pozharnoj bezopasnosti. – 2009. – Vyp. 25. – S. 65–72.

6. STB 11.16.03-2009 Sistema standartov pozharnoj bezopasnosti. Sistemy pozharnoj signalizacii. Izveshateli pozharnye dymovye tochechnye. Obshie tehniche-skie usloviya.

7. GOST 34698-2020 Izveshateli pozharnye. Obshie tehniche-skie trebovaniya. Metody ispytaniy.



DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.2-54.152-154>

УДК 614.841

Пашкун Т.А., Крамко П.В.

АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ ИНЕРЦИОННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск

Проектирование систем пожарной безопасности является наиболее важным вопросом в области защиты общества от пожаров. С помощью технических средств противопожарной защиты (в том числе роботизированных установок автоматического пожаротушения) становится возможным раннее обнаружение пожара и его ликвидация на начальном этапе и, как следствие, защита людей и материальных ценностей от воздействия опасных факторов пожара.

Ключевые слова: роботизированная установка пожаротушения, инерционность роботизированной установки пожаротушения, пожарный робот, контролируемая зона пожарного робота.

Pashkun T.A., Kramko P.V.

ANALYSIS OF INERTIA VALUES OF AUTOMATIC FOAM EXTINGUISHING SYSTEMS

The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk

The design of fire safety systems is the most important issue in the field of fires protection. With the help of technical means of fire protection (including robotic fire extinguishing systems), it becomes possible to detect a fire earlier and eliminate it at the initial stage, and as a result, to protect people and property from the fire hazards.

Keywords: robotic fire extinguishing system, inertia of a robotic fire extinguishing system, fire robot, fire robot controlled zone.

Введение

Инерционность – это одно из важнейших свойств установки пожаротушения, обеспечивающее быстрое и эффективное тушение пожара в замкнутом пространстве.

Инерционность установки пожаротушения гарантирует эффективность работы в любых условиях и при любых изменениях в окружающей среде. Это особенно важно при возникновении пожара, когда быстрое и точное реагирование системы на изменения в окружающей атмосфере может спасти жизни и предотвратить значительные материальные убытки. Чем быстрее установка сможет сработать, тем меньше вероятность усиления пламени и распространения огня на другие объекты или оборудование.

Основная часть

Основным преимуществом автоматических систем пожаротушения является возможность непосредственно воздействовать на пожар в месте его возникновения и таким образом избегать распространения пламени и большего ущерба от пожара.

Установка пожаротушения автоматическая (УП) [1]: установка пожаротушения, обеспечивающая подачу (выпуск) огнетушащего вещества при поступлении управляющего сигнала от системы пожарной сигнализации либо собственных технических средств обнаружения возгорания без участия человека, а также передачу сигнала о пожаре во внешние цепи.

Роботизированная установка пожаротушения (РУП) [2]: комплекс автоматических устройств, включающий два и более пожарных робота (ПР), систему определения координат загорания и устройство программного управления комплексом, соединенных информационным каналом связи, и предназначенный для тушения и локализации пожара.

Инерционность установки пожаротушения [3]: время срабатывания без учета времени задержки выпуска огнетушащего вещества (ОТВ).

Инерционность РУП: время от момента подачи сигнала о пожаре от системы пожарной сигнализации до момента начала подачи огнетушащего вещества (с интенсивностью не ниже нормативной) в защищаемую зону.

Инерционность установки пожаротушения существенно зависит от:

типа установки пожаротушения;

способа пуска;

протяженности трубопроводов;

времени выхода на режим отдельных элементов установки (насосов, устройств управления и т. п.).

В соответствии с требованиями пункта 6.10.6 [3] для спринклерных установок пожаротушения время от момента срабатывания спринклерного оросителя, установленного на воздушном трубопроводе, до начала подачи воды из него не должно превышать 180 с.

Также согласно пункту 7.4 [3] для установок пожаротушения пенной высокой кратности оборудование, длину и диаметр трубопроводов необходимо выбирать из условия, что инерционность УП пеной высокой кратности не должна превышать 180 с.

В руководстве по эксплуатации на РУП общая инерционность системы составляет не более 180 с.

При проведении проверки способности РУП обеспечивать ликвидацию возможных очагов возгорания на объекте и ее работоспособности при установленных условиях эксплуатации путем проведения испытаний значение инерционности РУП составило:

испытание № 1 – 64 с;

испытание № 2 – 64 с;

испытание № 3 – 93 с (один из ПР потратил дополнительное время для проверки тепловой энергии и ультрафиолетового излучения, исходящего от солнца, попавшего в зону сканирования извещателя наведения ПР).

Полученные в результате испытаний значения инерционности РУП в 2-3 раза лучше значения, установленного в пунктах 6.10.6 и 7.4 [3] и руководстве по эксплуатации на установку.

Заключение

Исходя из полученных при проведении испытаний значений инерционности роботизированной установки пожаротушения можно сделать вывод об эффективности данной установки перед иными установками пенного пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технический регламент Евразийского экономического союза. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения. ТР ЕАЭС 043/2017. Введ. 01.01.2020. – Минск, Госстандарт, 2017. – 24 с.

2. Техника пожарная. Установки пожаротушения роботизированные. Общие технические требования. Методы испытаний. ГОСТ Р 53326-2009. Введ. 18.02.2009. – Москва, Стандартинформ, 2009. – 18 с.

3. Пожарная автоматика зданий и сооружений: СН 2.02.03-2019. Введ. 16.08.2020. – Минск, Минстройархитектуры, 2020. – 99 с.

REFERENCES

1. Tekhnicheskij reglament Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza. O trebovaniyah k sredstvam obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i pozharotusheniya. TR EAES 043/2017. Vved. 01.01.2020. – Minsk, Gosstandart, 2017. – 24 s.

2. Tekhnika pozharnaya. Ustanovki pozharotusheniya robotizirovannye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. GOST R 53326-2009. Vved. 18.02.2009. – Moskva, Standartinform, 2009. – 18 s.

3. Pozharnaya avtomatika zdaniy i sooruzhenij: SN 2.02.03-2019. Vved. 16.08.2020. – Minsk, Minstrojarhitektury, 2020. – 99 s.



СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Информация Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций «О приобретении печатных изданий по пожарной безопасности»

НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси предлагает следующие печатные издания:

технические кодексы установившейся практики;
журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация»
(формат А4; периодичность выпуска издания — 2 раза в год);
материалы конференций, семинаров и иную справочно-информационную
и методическую литературу

В журнале «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» публикуются статьи, представляющие научный интерес в области пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, материалы научно-практических конференций, семинаров, симпозиумов.

УСЛОВИЯ ПРИОБРЕТЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ИЗДАНИЙ:

- 1. Направить заявку в адрес отдела научно-технической информации и выставочной деятельности (тел./факс: (017) 388-97-01, 388-97-00, 388-97-40), в которой указать банковские реквизиты, адрес, контактный телефон, факс.**
- 2. После получения счета-фактуры перечислить указанную в ней сумму на расчетный счет ВУ27АКВВ36329283000165500000
ОАО «АСБ Беларусбанк», АКВВВУ2Х
220005, г. Минск, пр-т Независимости, 56
УНП 101114857, ОКПО 37438168
(получатель — НИИ ПБиЧС), при этом НДС учитывать не следует.**

СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Редакционный совет института приглашает ученых и специалистов в качестве авторов научно-технического журнала и просит при представлении материалов руководствоваться следующими правилами.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. Статья представляется в редакцию в двух экземплярах, распечатанная на лазерном или струйном принтере на писчей бумаге формата А4, а также в электронном варианте – текстовые редакторы Word 2003, 2007 под Windows, для **формул – в формульном редакторе Math Type**. Основной текст статьи набирается шрифтом типа Times, размер символов 14 п., одинарный интервал, абзацный отступ 1,0 см, поля: левое – 3, правое – 1, верхнее – 2, нижнее – 2. Формулы – размер символов 14 п.

2. Статья должна иметь индекс **УДК** (универсальная десятичная классификация).

3. К статье о результатах работ, выполненных в научно-технической организации, должно прилагаться: сопроводительное письмо организации за подписью руководителя, заверенное гербовой печатью; **рецензия** научного работника; **акт экспертизы** об отсутствии в работе сведений, составляющих государственную тайну; **Ф.И.О. авторов (полностью), научное звание, ученая степень авторов, название статьи, аннотация, ключевые слова на английском и русском языках.**

Для работ, в состав авторских коллективов которых входят академики и член-корреспонденты, предоставление рецензий не требуется.

Материал в журнал необходимо подписать всем авторам, указать полное название учреждения, где выполнена работа, а также почтовый адрес, номер телефона (служебный и домашний) и электронный адрес (e-mail) ответственного лица. Название научной статьи и фамилии авторов также должны быть переведены на английский язык.

4. Весь иллюстративный материал (кроме диаграмм MS Exel, MS Graph) предоставляется в виде отдельных файлов с разрешением не менее 300 dpi, содержащих номер рисунка с расширением, указывающим на формат используемого файла (*1.TIF, *2.JPEG и т.д.), а также (или) в форме отпечатанных фотографий. Каждый рисунок должен иметь название, которое помещается под рисунком. Если в тексте более одного рисунка, то они нумеруются арабскими цифрами (например «Рисунок 2.»). Номер помещается перед названием. Подрисуночные подписи набираются шрифтом гарнитуры основного текста, размер символов – 13 п. Таблицы вставляются в текст, имеют название и заголовки всех граф.

5. Размерности всех величин, используемых в тексте, должны соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

6. Литература приводится общим списком в конце статьи. Ссылки на литературу в тексте идут по порядку и обозначаются цифрой в квадратных скобках. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-84.

Литература на английском языке набирается по тем же правилам, что и русскоязычная. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. **Список источников дополнительно должен быть переведен на латиницу.**

7. Поступившие в редакцию научные статьи направляются на рецензирование специалистам. Основным критерием целесообразности публикации является новизна и информативность статьи. Если по рекомендациям рецензента статья возвращается автору на доработку, а переработанная рукопись вновь рассматривается редколлегией, датой поступления считается день получения редакцией ее окончательного варианта. После рассмотрения материалов редколлегией статьи не по профилю журнала авторам не возвращаются.

8. Набор формул и буквенных обозначений. Прямо () набираются: греческие и русские буквы; математические символы (\sin , \lg , ?); символы химических элементов (C, Cl, CHCl_3); цифры (римские и арабские); векторы, индексы (верхние и нижние), являющиеся сокращениями слов. Курсивом (~) набираются: латинские буквы - переменные, символы физических величин (в том числе и в индексе). Жирным шрифтом набираются: векторы (стрелки сверху не ставятся), а также слова и цифры, которые нужно выделить. Буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения.

9. В случае представления двух или более статей одновременно необходимо указать желательный порядок их размещения.

10. Авторы должны избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статьи.

11. Объем статьи не должен превышать 10 страниц (включая таблицы, список литературы и иллюстрации), количество иллюстраций – не больше пяти. Принимаются краткие сообщения до трех страниц.

12. Редакция оставляет за собой право на редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

№ п/п	Нормативно-технический документ, печатное издание
ТЕХНИЧЕСКИЕ КОДЕКСЫ УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ	
1.	ТКП 247–2010 (02300) Противодымная защита путей эвакуации из платформенных залов станций метрополитена. Правила расчета
2.	ТКП 253–2010 (02300) Автозаправочные станции. Пожарная безопасность. Нормы проектирования и правила устройства
3.	ТКП 254–2010 (02300) Пожарная безопасность атомных станций. Общие технические требования
4.	ТКП 260-2010 (02300) Приспособление объектов коммунально-бытового назначения для санитарной обработки людей, специальной обработки одежды и подвижного состава автотранспорта
5.	ТКП 268-2010 (02300) Обеспечение населения в чрезвычайных ситуациях
6.	ТКП 295–2011 (02300) Пожарная техника. Огнетушители. Требования к выбору и эксплуатации
7.	ТКП 311–2011 (02300) Световая маскировка. Общие положения
8.	ТКП 316–2011 (02300) Система технического обслуживания и ремонта автоматических установок пожаротушения, систем противодымной защиты, пожарной сигнализации, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией. Организация и порядок проведения работ
9.	ТКП 334–2011 (02300) Приемка в эксплуатацию законченных строительством защитных сооружений гражданской обороны
10.	ТКП 364–2011 (02300) Автоматические установки пожаротушения. Правила производства и приемки работ
11.	ТКП 365–2011 (02300) Системы пожарной сигнализации. Правила производства и приемки работ
12.	ТКП 368–2012 (02300) Организация планирования и порядок проведения временного отселения населения, эвакуации материальных и историко-культурных ценностей в безопасные районы
13.	ТКП 474–2013 (02300) Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
14.	ТКП 475–2013 (02300) Применение средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, необходимых для эвакуации людей в случае возникновения пожара
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ	
15.	Научно-технический журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» № 2 (48)-2020
16.	Научно-технический журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» № 1 (49)-2021
17.	Научно-технический журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» № 2 (50)-2021
18.	Научно-технический журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» № 1 (51)-2022
19.	Научно-технический журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» № 2 (52)-2022
20.	Научно-технический журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» № 1 (53)-2023
21.	Практическое пособие для руководителей субъектов хозяйствования «Обеспечение пожарной безопасности на объектах субъектов хозяйствования»