

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2023.1-53.9-18>

УДК 614.256

канд. биол. наук Лупей А.Ю., канд. техн. наук Бокуть Л.В.* , Деев Н.А.** ,
канд. физ.-мат. наук Мильман В.А.**

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО НАУЧНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

*Главное управление научной, научно-технической и инновационно-
производственной деятельности аппарата НАН Беларуси, г. Минск,*

**Белорусский национальный технический университет, г. Минск,*

***Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск*

Сформулированы результаты работ по завершенным заданиям подпрограммы «Безопасность человека, общества и государства» государственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства» за 2021–2022 годы. Показана их научная и практическая значимость.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, защита, безопасность.

PhD (Bio.) A.Y. Lupei, PhD (Tech.) L.V. Bokut*, N.A. Deev**,
PhD (Phys. and Math.) V.A. Milman**

RESULTS OF RESEARCHES ON SCIENTIFIC PROVIDING OF SAFE- TY IN EMERGENCY SITUATIONS

Main Department of Scientific, Innovative-Industrial and Scientific-Technical Activities of the NAS of Belarus, Minsk

**Belarusian National Technical University, Minsk*

***The United Institute of Informatics Problems of NAS Belarus, Minsk*

The results of works on complete tasks of the subprogramme «Safety of the person, society and the state» of the state program of scientific researches «Digital and space technologies, safety of the person, society and state» for 2021-2022 years are formulated. The scientific and practical importance is shown.

Keywords: emergency situations, protection, safety.

Введение

Эффективное функционирование государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС), государственной системы пожарной безопасности в Республике Беларусь требуют соответствующего научно-

технического обеспечения. В связи с этим Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь является государственным заказчиком государственных программ, предусматривающих научные исследования и разработки в данной области.

К числу таких программ относится подпрограмма «Безопасность человека, общества и государства» государственной программы научных исследований (ГПНИ) «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства».

Исследования завершённых в 2021–2022 годах заданий подпрограммы относятся к следующим ее направлениям:

- обеспечение пожарной безопасности;
- разработка защитной одежды пожарных и спасателей;
- прогнозирование, моделирование и мониторинг ЧС;
- разработка автоматизированных систем для подготовки пожарных и спасателей.

Ниже приведены наиболее важные результаты научных исследований по завершённым в 2021–2022 годах заданиям подпрограммы «Безопасность человека, общества и государства».

О научно-практических результатах завершённых заданий

В ходе реализации подпрограммы «Безопасность человека, общества и государства» в 2021–2022 годах завершено четыре задания:

- «Разработать комплексную методику расчета предела огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона»;
- «Разработать комплексные методы получения функциональных текстильных материалов для защитной одежды, обладающих огнестойкостью, электропроводностью, свето- и теплоотражающей способностью»;

– «Обоснование требований защиты и эргономики средства индивидуальной защиты рук спасателя и технических решений его производства»;

– «Разработка экспериментального макета тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности».

Указанные задания выполнялись в государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» (далее – УГЗ), учреждении «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (далее – НИИ ПБиЧС) 33 исполнителями, в том числе доктором наук и 14 кандидатами наук.

В ходе выполнения заданий получены научно-практические результаты прикладного характера, ориентированные на использование в республике. По четырем заданиям программы создано 10 новых методов и методик исследований, 2 экспериментальных образца, 5 лабораторных технологий, получено 5 патентов на изобретения.

При этом часть результатов уже нашла практическое применение в виде внедренных разработок. Выполнялось 4 договора на создание научно-технической продукции.

По результатам исследований опубликовано 50 научных статей. Исполнители принимали участие в 12 научно-технических мероприятиях, проводимых в Республике Беларусь и за ее пределами.

Разработка комплексной методики расчета предела огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона

В УГЗ в результате проведенного исследования определена огнестойкость центрифугированных железобетонных колонн, в том числе методом конечных элементов, с использованием программно-вычислительных комплексов Ansys и ЛИРА-САПР.

Для данных конструкций установлено влияние их конструктивно-го исполнения и структурных особенностей на огнестойкость. Получена зависимость коэффициента, учитывающего усиленный прогрев при раскрытии трещин, который изменится в диапазоне 1,00–1,40. Температура начала раскрытия трещин в бетоне составляет 550 С. Исследована закономерность увеличения температур в сечении полых железобетонных конструкций по сравнению со сплошными, которые подвергаются стандартному огневому воздействию. Коэффициент ускорения прогрева центрифугированных железобетонных конструкций за счет неоднородности бетона в поперечном сечении является функцией их толщины.

Выявлено, что зонный метод и метод изотермы 500 С, учитывающие особенности данных конструкций, допустимо применять при оценке их огнестойкости, а игнорирование указанных особенностей приводит к увеличению погрешностей в расчетах, что неприемлемо с точки зрения обеспечения пожарной безопасности. Разработанная

методика расчета пределов огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн учитывает структурные и конструктивные особенности данных изделий путем использования соответствующих поправочных коэффициентов.

Формула расчета температур в сечении железобетонных колонн круглого сечения из ТКП 45-2.02-110 адаптирована для расчета температур в сечении колонн кольцевого сечения, в том числе центрифугированных, подвергаемых стандартному огневому воздействию.

Установлено, что раскрытие швов в местах примыкания гипсовых плит друг к другу и оголение профилей каркаса, на который крепится конструктивная огнезащита, практически не оказывают влияния на прогрев железобетонных конструкций. Шпатлевка, наносимая на стыки плит, а также места установки самонарезающих винтов, растрескивается в первые 5-10 мин испытаний и не защищает места нанесения.

Огнестойкие гипсовые плиты Knauf Fireboard являются эффективным способом обеспечения огнезащиты железобетонных конструкций, позволяют значительно снизить температуру бетона и арматуры в защищаемых конструкциях. Конструктивная огнезащита, выполненная однослойной, сохраняет свою целостность на протяжении 101 мин (для толщины 12,5 мм) и 182 мин (для толщины 20 мм). Ее отслоение от профилей каркаса не происходит.

Для двухслойной огнезащиты, выполненной из двух листов, характерно отделение (отслоение) внешнего (обогреваемого) слоя спустя

более чем 2,5 часа стандартных испытаний.

Конструктивная огнезащита в виде огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard позволяет обеспечивать пределы огнестойкости железобетонных стрележневых конструкций до максимально нормируемых пределов огнестойкости в Республике Беларусь R180.

Разработанная комплексная методика расчета пределов огнестойкости современных конструкций из железобетона (центрифугированных железобетонных колонн, плит, в том числе без сцепления арматуры с бетоном, и др.) учитывает структурные и конструктивные особенности данных конструкций, а также толщину конструктивной огнезащиты [1].

Основными новыми результатами исследования являются:

– методика расчета предела огнестойкости железобетонных центрифугированных колонн;

– методика проведения модельных огневых испытаний современных железобетонных конструкций, защищенных конструктивной огнезащитой;

– методика расчета предела огнестойкости современных железобетонных конструкций с конструктивной огнезащитой;

– комплексная методика расчета предела огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона.

Разработанные методики будут использованы при решении прикладных задач в области оценки огнестойкости современных строительных конструкций из железобетона.

Результаты исследования могут быть использованы в интересах Ми-

нистерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларуси и Министерства архитектуры и строительства, также будут востребованы при выполнении заданий программ прикладных исследований и научно-технических программ.

Разработка комплексных методов получения функциональных текстильных материалов для защитной одежды, обладающих огнестойкостью, электропроводностью, свето- и теплоотражающей способностью

В УГЗ в результате проведенного исследования разработаны условия синтеза новых огнезащитных составов на основе фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония с регулируемыми свойствами, проведены испытания их стабильности и огнезащитной эффективности.

Определены факторы, обуславливающие их огнезащитную эффективность по отношению к текстильным материалам различной природы, используемых для защитной одежды. Установлено, что наиболее высокую огнезащитную эффективность по отношению к полиэфирной и оксодиазольной ткани проявили составы, одновременно содержащие магний и кальций, состоящие из $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с примесью аморфной фазы.

Доказано, что новые высокоэффективные аммонийно-металлофосфатные неорганические огнезащитные композиции содержат коллоидные частицы с размерами 20–50 нм; равномерная хемосорбция этих частиц на поверхности волокон

оксодиазольной ткани обеспечивает устойчивый огнезащитный эффект.

Установлено, что пропитка ткани металлофосфатными замедлителями горения перед нанесением светоотражающего металлосодержащего слоя приводит к снижению тепловыделения и увеличению содержания остаточной массы продуктов термоллиза, а также смещению пламенного горения в сторону более высоких температур [2].

Выявлены пленкообразующие агенты, совместимые с огнезамедлительными композициями и металлосодержащим светоотражающим слоем. Разработан способ нанесения замедлителей горения и пленкообразующих агентов на оксодиазольный тканевый материал. Определено влияние химической природы замедлителей горения и пленкообразующих агентов на качественные характеристики металлизированного покрытия в зависимости от способа его нанесения.

Наиболее предпочтительным пленкообразователем является Silres BS 45, представляющий собой водную дисперсию негорючего силиконового полимера. Выявлены оптимальные типы полимерных связующих и природа вносимых в их объем замедлителей горения для синтеза металлосодержащего полимерного слоя, наносимого на поверхность текстильных матриц механическими способами.

Определено, что требуемую по ГОСТу суммарную огнестойкость композитного изделия обеспечивают силиконовые и силоксановые смолы и полифосфинатные, триазиновые и аммонийно-полифосфатные антипирены в количестве от 5

до 10 масс. %, допированные порошком алюминия в количестве до 10 масс. %.

Разработана технологическая схема (оптимальные составы растворов и условия обработки на каждой из стадий) многостадийной химической металлизации текстильных подложек путем перемещения текстильной основы через линейку растворов с получением токопроводящего гибкого металлического слоя с коэффициентом отражения видимого и ИК-излучения до 80 %. Доказано, что необходимой огнестойкостью и механической прочностью обладают только силикатные металлизированные ткани.

Установлены технологические особенности формирования металлизированных слоев с использованием системы несбалансированного магнетрона на текстильных материалах с предварительной химической обработкой. Определено оптимальное значение мощности магнетронного разряда для обеспечения удовлетворительной адгезионной прочности покрытий на тканевых материалах с химической пропиткой. Проведена сравнительная оценка физико-механических свойств (адгезионная стойкость, коэффициент трения, износостойкость) металлических покрытий на текстильных материалах с различными видами пропиток.

Установлены режимы активации поверхности тканевых материалов, предварительно обработанных огнезащитными составами и грунтованных полимерными металлосодержащими слоями перед осаждением металлических слоев магнетронным методом. Выявлено, что активация

поверхности образцов вне зависимости от состава плазмообразующей газовой среды обеспечивает наибольшую адгезионную прочность сформированных алюминиевых покрытий в диапазоне мощности магнетрона 7–14 кВт.

Доказано, что в результате высокоэнергетической активации несбалансированным магнетроном на поверхности огнезащищенного текстильного материала формируются активные центры в виде свободных радикалов и новых химически активных функциональных групп, способствующих повышению суммарной адгезии системы к основе. Определены оптимальные режимы магнетронного нанесения финишного металлического слоя на огнезащищенные текстильные подложки с плотным грунтовым металлосодержащим слоем на полимерной основе.

Изготовлены металлизированные различными способами образцы тканей нескольких типов, обработанных оптимальными по эффективности огнезащитными составами, с последующим нанесением металлосодержащих и металлических свето- и теплоотражающих слоев; испытаны их огнестойкость, кислородный индекс, устойчивость к воздействию теплового потока, отражению ИК-излучения и ряд физико-механических свойств.

По результатам испытаний определены оптимальные условия каждой из стадий получения композитного многослойного изделия на текстильной основе и состав огнезащитных агентов.

По результатам исследований и испытаний разработаны лабораторная технологическая инструкция

по проведению огнезащитной обработки тканей с последующим нанесением свето- и теплоотражающего слоя и лабораторный технологический регламент получения композитного огнестойкого текстильного изделия с тепло- и светоотражающим слоем.

Полученные результаты могут быть использованы в интересах Министерства по чрезвычайным ситуациям и Министерства промышленности при разработке новых материалов для защитной одежды спасателей.

Обоснование требований защиты и эргономики средства индивидуальной защиты рук спасателя и технических решений его производства

В НИИ ПБиЧС проведены исследования огнестойких тканей из различных видов волокон, в том числе смесовых тканей.

Результаты исследований позволили произвести обоснованный выбор материалов и конструкции, которые определяют физико-механические показатели средства индивидуальной защиты рук (далее – СИЗР), срок эксплуатации, тактические возможности подразделений при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ (далее – АСР), обеспечивающие безопасность и удобство спасателя.

Разработана новая конструкция СИЗР, которая обеспечивает необходимый комфорт и эргономику. Данная конструкция обеспечивает полную совместимость с имеющейся специальной защитной одеждой пожарного и позволяет свести к мини-

муму риск получения травм при выполнении работ по тушению пожаров и связанных с ними АСР. Разработана технологическая последовательность изготовления СИЗР [3].

Созданный экспериментальный образец СИЗР соответствует основным показателям лучших отечественных и мировых аналогов СИЗР от механических воздействий (рисунок 1).



Рисунок 1 – Экспериментальный образец СИЗР пожарного

Полученные результаты вносят значительный вклад в развитие технологии создания СИЗР, а также позволяют организовать выпуск отечественных СИЗР спасателей, по своим свойствам не уступающих лучшим отечественным и мировым аналогам. Себестоимость полученного образца сопоставима с отечественными аналогами и значительно ниже зарубежных аналогов.

Экспериментальный образец СИЗР и технологическую последовательность изготовления рекомендовано оставить у разработчика – НИИ ПБиЧС – с целью повышения эргономических показателей по результатам апробации в органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям.

Разработка автоматизированных систем для подготовки пожарных и спасателей

В УГЗ разработан экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности. Проведены исследования влияния эффектов обратной тактильной связи на обучающихся [4].

В состав экспериментального макета тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности, представленного на рисунке 2, входит следующее оборудование: VR-костюм обратной тактильной связи Teslasuit; VR-шлем Oculus Quest 2; два ручных VR-контроллера Oculus Touch для VR-шлема; бэпак ZOTAC VR GO; головной персо-

нальный компьютер с операционной системой Windows 10 Pro; монитор (телевизор) для вывода информации о прохождении симуляции обучаю-

щимся и визуализации в реальном времени данного процесса; средства беспроводной связи (Wi-Fi роутер и Wi-Fi адаптер).

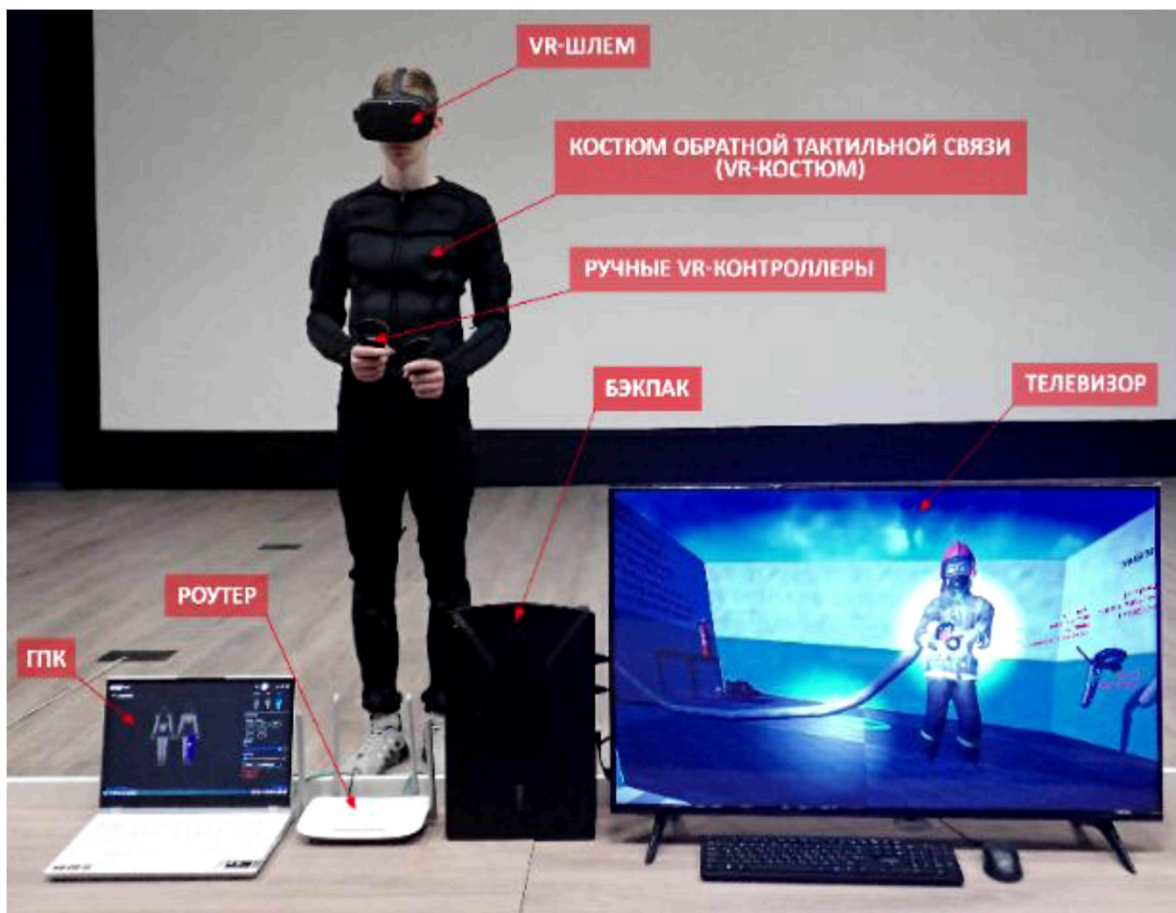


Рисунок 2 – Состав экспериментального макета тренажера

Экспериментальный макет тренажера предназначен для автоматизации образовательного процесса подготовки специалистов аварийно-спасательных служб посредством погружения их в виртуальную реальность. Макет позволяет создать для обучающихся условия, имитирующие ЧС, которые крайне сложно воссоздать в реальности, и позволяет им в короткие сроки получить опыт и практические навыки действий в ЧС. Кроме того, применение технологий виртуальной реальности в образовательном процессе позволяет моделировать широкий спектр ЧС с использованием одного и того

же оборудования. Система предназначена для использования на настольном ПК с подключенным к нему специальным оборудованием.

Предполагается использовать экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности в образовательном процессе УГЗ.

Заключение

Большинство описанных выше научных исследований будут продолжены в 2023 году в рамках подпрограммы «Безопасность человека, общества и государства» государ-

ственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства» на 2021–2025 годы.

Полученные результаты найдут применение в практической работе МЧС, что позволит повысить эффективность мероприятий по предупреждению, мониторингу и ликвидации ЧС. Реализация результатов исследований по разработке технологий, систем, программных и технических средств, новых материалов позволит заменить используемые или предполагаемые к использованию импортные аналоги, что снизит затраты на их приобретение за рубежом от 1,5 до 5 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полевода, И.И., Жамойдик, С.М., Нехань, Д.С. Модельные огневые испытания железобетонных центрифугированных колонн с конструктивной огнезащитой / И.И. Полевода, С.М. Жамойдик, Д.С. Нехань // Вестник УГЗ МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5. – № 3. – С. 289–299.

2. Рева, О.В., Богданова, В.В., Шукело, З.В., Назарович, А.Н., Кобец, О.И. Синтез и исследование огнезащитных свойств новых металлофосфатных замедлителей горения для текстильных материалов, используемых в защитной одежде / О.В. Рева, В.В. Богданова, З.В. Шукело, А.Н. Назарович, О.И. Кобец // Вестник УГЗ МЧС Беларуси. – 2021. – Т. 5. – № 4. – С. 402–417.

3. Шатилов, Ю.С., Цедик, Н.В., Старовойтов, А.А., Лукьянов, А.С. Доработка конструкции средств индивидуальной защиты рук спасателя

и проведение испытаний разработанных образцов с целью определения оптимальной модели / Ю.С. Шатилов, Н.В. Цедик, А.А. Старовойтов, А.С. Лукьянов // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2021. – № 2(49). – С. 171–177.

4. Полевода, И.И. Экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности для подготовки спасателей-пожарных / И.И. Полевода [и др.] // Вестник УГЗ МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6. – № 3. – С. 339–360.

REFERENCES

1. Polevoda, I.I., ZHamojdik, S.M., Nekhan', D.S. Model'nye ognevye ispytaniya zhelezobetonnyh centrifugirovannyh kolonn s konstruktivnoj ognezashchitoj / I.I. Polevoda, S.M. ZHamojdik, D.S. Nekhan' // Vestnik UGZ MCHS Belarusi. – 2021. – Т. 5. – № 3. – S. 289–299.

2. Reva, O.V., Bogdanova, V.V., SHukelo, Z.V., Nazarovich, A.N., Kobec, O.I. Sintez i issledovanie ognezashchitnyh svojstv novyh metallofosfatnyh zamedlitelej goreniya dlya tekstil'nyh materialov, ispol'zuemyh v zashchitnoj odezhde / O.V. Reva, V.V. Bogdanova, Z.V. SHukelo, A.N. Nazarovich, O.I. Kobec // Vestnik UGZ MCHS Belarusi. – 2021. – Т. 5. – № 4. – S. 402–417.

3. SHatilov, YU.S., Cedik, N.V., Starovojtov, A.A., Luk'yanov, A.S. Dorabotka konstrukcii sredstv individual'noj zashchity ruk spasatelya i provedenie ispytaniy razrabotannyh obrazcov s cel'yu opredeleniya opti-

mal'noj modeli / YU.S. SHatilov, N.V. Cedik, A.A. Starovojtov, A.S. Luk'yanov // CHrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya. – 2021. – № 2(49). – S. 171–177.

4. Polevoda, I.I. Eksperimental'nyj maket trenazhera s imitaciej effektorov fizicheskikh vozdeystvij v usloviyah virtual'noj real'nosti dlya

podgotovki spasatelej-pozharnyh / I.I. Polevoda [i dr.] // Vestnik UGZ MCHS Belarusi. – 2022. – T. 6. – № 3. – S. 339–360.

