



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал  
**Вестник**  
**Университета гражданской защиты**  
**МЧС Беларуси**  
**(Journal of Civil Protection)**  
**Том 5, № 4, 2021**

**Редакционная коллегия:**

*главный редактор:*

**Полевода**

**Иван Иванович**

кандидат технических наук,  
доцент

*зам. главного редактора:*

**Гончаренко**

**Игорь Андреевич**

доктор физико-математических наук,  
профессор

**Платонов**

**Александр Сергеевич**

кандидат физико-математических  
наук, доцент

**Редакционный совет:**

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

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

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

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

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

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

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

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

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

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

(017) 341-32-99

Сайт Университета гражданской защиты: [www.ucsp.by](http://www.ucsp.by)

Email редакции: [vestnik@ucsp.by](mailto:vestnik@ucsp.by)

**ISSN 2519-237X (print)**

**ISSN 2708-017X (online)**

© Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

### Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

**Суриков А.В., Калантарли А.Т., Рябцев В.Н., Лихоманов А.О.** Влияние алгоритма взаимодействия автоматических установок пожаротушения и противодымной вентиляции на время блокирования эвакуационных путей и эффективность локализации пожара в помещениях высокостеллажного хранения..... 387

**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..... 402

**Латушкина С.Д., Посылкина О.И., Артемчик А.Г.** Исследование особенностей формирования металлопокрытий методом магнетронного распыления на огнезащитных тканевых материалах..... 418

### Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)

**Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Суцев С.П., Малаева Н.С.** Калибровка модели геoinформационной системы «Экстремум» для оценки потерь от землетрясений... 427

**Пастухов С.М., Османов Х.С., Бузук А.В.** Лабораторные исследования уровня режима каскада гидроузлов Азербайджанской Республики..... 447

**Сережкин В.Н.** Оценка вероятности отказа вызова в системе массового обслуживания..... 458

**Спринджук М.В., Берник В.И., Бэтгэрэл Б., Владыко А.С., Титов Л.П., Скрягина Е.М., Скрягин А.Е., Яцкевич Н.В., Кончиц А.П., Климук Д.А., Калаша Н.И., Кудин А.С., Глинская Т.Н., Солодовникова В.В.** Коронавирусная пандемия: факты распространения и эволюции опасной инфекции и технологии противостояния... 466

### Разное (обзоры)

**Адиева О.С., Каркин Ю.В., Новицкий В.В.** Специфика работы по формированию культуры безопасности жизнедеятельности у детей с особенностями психофизического развития..... 497

**Хроколов В.А.** Пожарная охрана Беларуси в межвоенный период и в начале Великой Отечественной войны..... 514

Правила предоставления статей..... 523

## CONTENTS

### Fire and industrial safety (technical sciences)

- Surikov A.V., Kalantarli A.T., Ryabtsev V.N., Likhomanov A.O.** Influence of the algorithm of interaction of automatic extinguishing systems and heat and smoke vents on the time of blocking emergency exits and the efficiency of fire localization in high-rack storage warehouses ..... 387
- Reva O.V., Bogdanova V.V., Shukelo Z.V., Nazarovich A.N., Kobets O.I.** Synthesis and investigation the flame-retardant properties of new metallophosphate burning retardants for textile materials used in protective clothing ..... 402
- Latushkina S.D, Posylkina O.I., Artemchik A.G.** Investigation of the features of the metal coatings formation by magnetron sputtering on fire-proof fabric materials ..... 418

### Safety in emergencies (technical sciences)

- Frolova N.I., Gabsatarova B.P., Suchshev S.P., Malaeva N.S.** Calibration of the model of the geoinformation system «Extremum» for estimating earthquake losses. .... 427
- Pastukhov S.M., Osmanov X.S., Buzuk A.V.** Laboratory studies of the level mode of the cascade of hydraulic units of the Republic of Azerbaijan. .... 447
- Serezhkin V.N.** Estimation of the probability of a call failure in a queuing system ... 458
- Sprindzuk M.V., Bernik V.I., Batgerel B., Vladyko A.S., Titov L.P., Skrahina A.M., Skryahin A.E., Yatskevich N.V., Konchits A.P., Klimuk D.A., Kalosha N.I., Kudin A.S., Glinskaya T.N., Solodovnikova V.V.** Coronavirus pandemic: facts of the spread and of old dangerous infection and technology of confrontation ..... 466

### Miscellaneous (reviews)

- Adieva O.S., Karkin Y.V., Novitsky V.V.** The specifics of the formation of life safety culture in children with special psychophysical development ..... 497
- Khrokolov V.A.** Fire protection service of Belarus in the interwar period and at the beginning of the Great Patriotic War. .... 514
- Rules of submitting articles for publication ..... 523

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.387>

УДК [614.844+697.92]:725.3

## ВЛИЯНИЕ АЛГОРИТМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОЖАРОТУШЕНИЯ И ПРОТИВОДЫМНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ НА ВРЕМЯ БЛОКИРОВАНИЯ ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИЯХ ВЫСОКОСТЕЛЛАЖНОГО ХРАНЕНИЯ

Суриков А.В., Калантарли А.Т., Рябцев В.Н., Лихоманов А.О.

*Цель.* На основе численного моделирования пожара в помещении склада с высотным стеллажным хранением определить оптимальный алгоритм взаимодействия автоматических установок пожаротушения (АУПТ) и противодымной вентиляции (ПДВ) по времени блокирования эвакуационных путей и эффективности локализации пожара.

*Методы.* В работе применены теоретические методы исследования (анализ, синтез, сравнение), а также выполнено численное моделирование в расчетном программном комплексе Fire Dynamics Simulator.

*Результаты.* В результате численного моделирования пожара в помещении склада с высотным стеллажным хранением резинотехнических изделий размерами 60×50×14 м и высотой складирования пожарной нагрузки 12,5 м определен оптимальный алгоритм взаимодействия АУПТ и ПДВ по времени блокирования эвакуационных путей и эффективности локализации пожара, а именно: оросители АУПТ размещаются только во внутрискладском пространстве, при этом запуск противодымной вентиляции производится от АУПТ. Данная схема защиты позволяет локализовать очаг пожара без распространения на соседние стеллажи и удерживать его мощность на минимальном уровне, а также увеличить время блокирования продуктами горения и термического разложения путей эвакуации в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м в среднем в 1,3 раза и эвакуационного выхода в той же плоскости в 1,7–2,9 раза по сравнению с иными вариантами взаимодействия АУПТ и ПДВ.

*Область применения исследований.* Полученные результаты могут быть использованы для определения алгоритмов взаимодействия составных элементов систем пожарной автоматики при защите складов с высотным хранением материалов.

*Ключевые слова:* автоматическая установка пожаротушения, противодымная вентиляция, склад с высокостеллажным хранением, видимость при пожаре, эвакуационный путь, численное моделирование.

(Поступила в редакцию 29 июля 2021 г.)

### Введение

В настоящее время для хранения товарно-материальных ресурсов все чаще используются сложные технологичные склады с высокостеллажным хранением. Высокостеллажным хранением, или, как принято в нормативной терминологии «высотным стеллажным хранением», считается хранение на стеллажах веществ, материалов, продукции с высотой складирования свыше 5,5 м<sup>1</sup>. Требования к возведению складских зданий с высотным стеллажным хранением установлены в ТКП 45-3.02-95-2008<sup>2</sup>. Такие здания при условии отнесения их к категории В<sup>3</sup> следует проектировать одноэтажными I–IV степени огнестойкости с фонарями (люками) или вытяжными шахтами на покрытии для дымоудаления.

Пожары на складах с высокостеллажным хранением характеризуются высокой интенсивностью выделения тепла и дыма, большой продолжительностью и площадью пожара, что

<sup>1</sup> Складские здания. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.02-95-2008 (02250). – Введ. 28.05.08. – Минск: Стройтехнорм, 2008. – 10 с.

<sup>2</sup> См. сноску 1.

<sup>3</sup> Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: ТКП 474-2013. – Введ. 29.01.13. – Минск: НИИ ПБиЧС, 2008. – 57 с.

влечет крупный материальный ущерб. По этой причине защита таких объектов от пожаров остается одной из важнейших задач обеспечения их безопасности.

В числе технических средств противопожарной защиты складов с высокостеллажным хранением используются автоматические установки пожаротушения (АУПТ) и системы противодымной вентиляции (ПДВ)<sup>4, 5, 6</sup>. Наиболее часто применяются водяные спринклерные АУПТ, а в качестве ПДВ – фонари (люки) или вытяжные шахты на покрытия для дымоудаления. В Беларуси необходимость применения АУПТ и ПДВ для противопожарной защиты объектов регламентируется соответствующими нормативными правовыми актами<sup>7, 8</sup>. Причем на ряде объектов, в частности в складских зданиях, необходимо предусматривать одновременно АУПТ и ПДВ. Применение данных систем направлено на минимизацию негативных последствий в результате пожара, в частности, на создание условий для эвакуации людей до наступления критических значений опасных факторов пожара (ОФП). К ОФП относят дым, пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды и концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения и пр. Практика оценки динамики пожара показывает, что потеря видимости в результате задымления во время пожара, как правило, наступает быстрее, чем достигаются критические значения других ОФП.

Учитывая необходимость применения для защиты складов с высокостеллажным хранением как АУПТ, так и ПДВ, актуальным является вопрос о совместном использовании данных систем, т.к. они могут влиять на эффективность работы друг друга.

Существует два противоположных мнения специалистов в области технических средств противопожарной защиты в отношении алгоритма запуска ПДВ. Первое заключается в том, что первичной должна быть активация спринклерной АУПТ с последующим запуском ПДВ от АУПТ, что соответствует требованиям действующих на территории Республики Беларусь норм проектирования<sup>9, 10</sup>. Аналогичный подход применяется и в Российской Федерации. Так, согласно российским нормам в складах с высотным хранением ПДВ должна приводиться в действие от АУПТ с задержкой времени  $4 \pm 1$  мин<sup>11</sup>.

Второй подход заключается в том, что первоначально должна включаться ПДВ, причем это должно происходить от командного импульса, сформированного от дымовых пожарных извещателей (ДПИ) пожарной сигнализации, а уже потом активируется спринклерная АУПТ.

Основным недостатком первого алгоритма запуска систем противопожарной защиты считается то, что вследствие ряда термогазодинамических процессов, происходящих в слое дыма при подаче в него воды из спринклерной АУПТ, значительная часть дымового аэрозоля опускается из припотолочного слоя, тем самым создавая значительную оптическую плотность среды на уровне глаз, что, в свою очередь, негативно сказывается на скорости эвакуации людей из помещения.

<sup>4</sup> О пожарной безопасности: Закон Респ. Беларусь от 15 июня 1993 г. № 2403-ХП; в ред. Закона Респ. Беларусь от 30.12.2015 № 334-З // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2001. – № 3. – 2/391.

<sup>5</sup> Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91. – Взамен ГОСТ 12.1.004-85; введ. 17.12.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 88 с.

<sup>6</sup> См. сноску 1.

<sup>7</sup> Пожарная автоматика зданий и сооружений: СН 2.02.03-2019. – Введ. 16.08.20 (с отменой на территории Респ. Беларусь ТКП 45-4.02-317-2019). – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2019. – 86 с.

<sup>8</sup> Противодымная защита зданий и сооружений при пожаре. Системы вентиляции: СН 2.02.07-2020. – Введ. 10.05.21 (с отменой на территории Респ. Беларусь ТКП 45-4.02-273-2012). – Минск: Стройтехнорм, 2021. – 20 с.

<sup>9</sup> См. сноску 7.

<sup>10</sup> См. сноску 8.

<sup>11</sup> Системы противопожарной защиты. Установки водяного пожаротушения высотных стеллажных складов автоматические. Нормы и правила проектирования: СП 241.1311500.2015 – Введ. 01.09.15. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2015. – 19 с.

В качестве недостатка второго алгоритма включения ПДВ отмечается, что при включении ПДВ в припотолочной области помещения, где размещаются спринклерные оросители АУПТ, возникает движение воздушного потока с некоторой скоростью, приводящее к изменению направления естественного восхождения конвективного потока от очага пожара, и тем самым создаются условия для повышения инерционности оросителей (оросителя), в частности, расположенных непосредственно над очагом пожара [1; 2]. Следует отметить, что в нормативной базе Республики Беларусь не отражено, как следует учитывать влияние воздушного потока, создаваемого ПДВ, на время срабатывания оросителя.

Кроме того, еще одним недостатком второго подхода является то, что запуск ПДВ от ДПИ может происходить в результате их ложных срабатываний от аэрозолей, образование которых не связано с пожаром. Например, в гаражах-стоянках к ложному срабатыванию могут приводить выхлопные газы автомобилей.

Сама по себе проблема взаимодействия АУПТ и ПДВ не является новой, и этому посвящено достаточное количество экспериментальных исследований [2–7]. Наиболее обширно проблема взаимодействия АУПТ и ПДВ рассмотрена в работах [5–7]. Учитывая все многообразие влияющих на взаимодействие ПДВ и спринклерных АУПТ факторов, установлено, что наиболее оптимальным инструментом определения эффективности применения данных систем при проектировании объектов, несомненно, является моделирование пожара с применением зонной или полевой моделей развития пожара [5]. Причем применение последней более целесообразно при проведении научных исследований.

В настоящей работе представлены результаты исследований с применением методов численного моделирования по определению зависимости необходимого времени эвакуации (временной промежуток до достижения критических значений ОФП, в течение которого люди должны покинуть помещение, здание и т.д.<sup>12</sup>) по потере видимости при различных алгоритмах взаимодействия АУПТ и ПДВ на примере помещения склада с высокостеллажным хранением материалов.

### Основная часть

**Общее описание расчетных моделей.** Для моделирования приняты следующие расчетные сценарии взаимодействия АУПТ и ПДВ: сценарий 1 – с размещением оросителей АУПТ во внутрестеллажном пространстве и под перекрытием по всей площади помещения, при этом запуск ПДВ осуществляется от АУПТ; сценарий 2 – аналогично сценарию 1, но запуск ПДВ осуществляется от линейных ДПИ; сценарий 3 – с размещением оросителей АУПТ под перекрытием по всей площади помещения, при этом запуск ПДВ осуществляется от АУПТ; сценарий 4 – аналогично сценарию 3, но запуск ПДВ осуществляется от линейных ДПИ. Также для сравнения принято решение дополнительно провести моделирование развития пожара для случаев без АУПТ и ПДВ, а также без АУПТ, но с ПДВ.

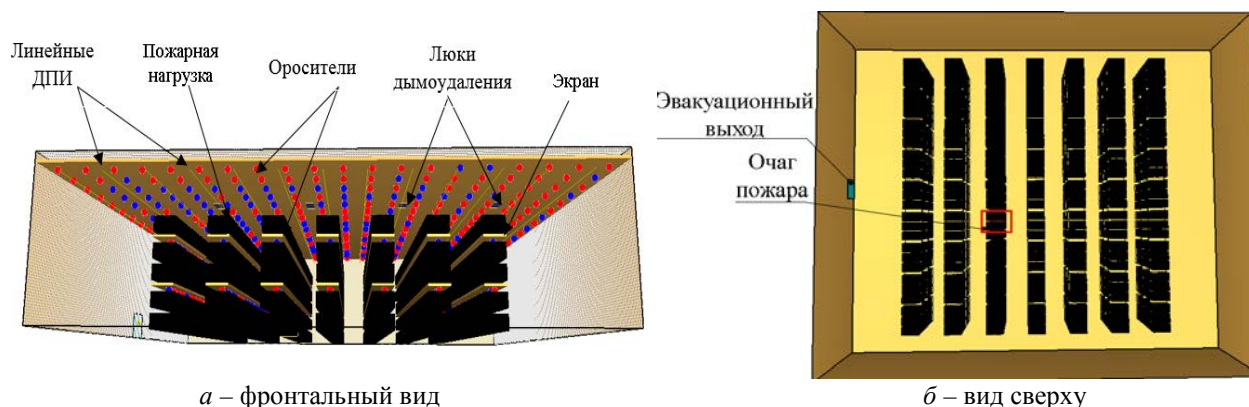
Для расчетных сценариев принят пожар в помещении склада с высокостеллажным хранением резинотехнических изделий (РТИ) размерами 60×50×14 м. Высота складирования пожарной нагрузки принята равной 12,5 м, что соответствуют максимальной высоте складирования материалов при применении АУПТ с одноярусным размещением оросителей под перекрытием помещения<sup>13</sup>.

Для моделирования развития пожара применялся расчетный программный комплекс FDS (от англ. Fire Dynamics Simulator), основанный на наиболее универсальном полевом методе моделирования пожаров (в зарубежной литературе встречается как CFD – computational fluid dynamics), по сравнению с интегральным и зонным методами [8–10].

<sup>12</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения: СТБ 11.0.03-95. – Изд. 2011 с изм. 1, 2 (ИУС РБ № 1-2001; ИУ ТНПА № 12-2010). – Введ. 16.04.95. – Минск: БелГИСС, 2011.

<sup>13</sup> См. сноску 11.

На рисунке 1 представлена модель помещения склада, выполненная в программном комплексе PyroSim, который является графическим пользовательским интерфейсом для FDS.



а – фронтальный вид  
 б – вид сверху  
**Рисунок 1. – Модель помещения склада с высокостеллажным хранением**

Параметры реакции горения и пожарной нагрузки приняты в соответствии с типовой базой пожарной нагрузки согласно [11; 12]. Размеры пожарной нагрузки на стеллажах приняты исходя из стандартизированных значений. Стеллажи по вертикали разделены негорючими экранами через каждые 4 м<sup>14</sup>. Ширина проходов между стеллажами принята 3,5 м, а длина каждого стеллажа – 40 м. Вытяжные люки дымоудаления расположены равномерно над проходами между стеллажами с учетом максимально допустимых расстояний между ними.

При моделировании командный импульс на запуск ПДВ предусмотрен при срабатывании двух линейных ДПИ (сценарии 2 и 4). Извещатели размещены на расстоянии 4,5 м друг от друга и на расстоянии 0,5 м от плоскости перекрытия<sup>15</sup>. Чувствительность линейных ДПИ принята равной 4,5 %/м, что примерно соответствует 0,2 дБ/м и находится в нормативном диапазоне значений<sup>16</sup> (0,05–0,20 дБ/м).

Для контроля параметров пожара использовались следующие средства FDS: 1) вертикальные плоскости распределения полей температуры и видимости, проходящие через геометрический центр очага горения пожарной нагрузки, а также находящиеся в плоскости стеллажей, размещенных слева и справа от стеллажа с очагом горения; 2) горизонтальная плоскость распределения поля видимости на высоте 1,7 м от пола; 3) среднее значение видимости в горизонтальной плоскости, размещенной на высоте 1,7 м от пола; 4) модельный датчик контроля газовой среды (Gas-phase Device Visibility), определяющий видимость в точке наблюдения (размещен на высоте 1,7 м от пола у эвакуационного выхода из помещения).

В помещении склада предусмотрена спринклерная водозаполненная АУПТ. При расчетных сценариях 1 и 2 параметры и размещение оросителей АУПТ определялись согласно строительным нормам<sup>17</sup>. Во внутрискеллажном пространстве оросители размещены с шагом 1,5 м. Для защиты внутрискеллажного пространства выбраны специально предназначенные спринклерные оросители СОБР-17-В с коэффициентом производительности  $k = 1,28 \text{ л}/(10 \cdot \text{с} \cdot \text{МПа}^{1/2})$ . Требуемая интенсивность орошения защищаемой площади –  $0,8 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ <sup>18</sup>, а минимальное рабочее давление оросителя  $P_1$  для обеспечения данной интенсивности орошения составляет

<sup>14</sup> См. сноску 7.

<sup>15</sup> См. сноску 7.

<sup>16</sup> Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 11.16.06-2011/ГОСТ Р 51043-2002. – Введ. 30.05.11. – Минск: БелГИСС, 2011. – 34 с.

<sup>17</sup> См. сноску 7.

<sup>18</sup> См. сноску 7.



0,4 МПа<sup>19</sup>. Расход огнетушащего вещества через ороситель СОБР-17-В при рабочем давлении  $P_1$  составляет 8,1 л/с.

Под перекрытием помещения для защиты приняты спринклерные оросители СВН-10 с коэффициентом производительности  $k = 0,35 \text{ л}/(10 \cdot \text{с} \cdot \text{МПа}^{1/2})$ . Оросители размещены под перекрытием с сеткой 3,0×3,0 м. Требуемая интенсивность орошения защищаемой площади – 0,12 л/(с·м<sup>2</sup>), а минимальное рабочее давление оросителя  $P_2$  для обеспечения данной интенсивности орошения составляет 0,3 МПа<sup>20</sup>. Расход огнетушащего вещества через ороситель СВН-10 при рабочем давлении  $P_2$  составляет 1,9 л/с. Расстояние до плоскости перекрытия от оросителя принято 0,2 м<sup>21</sup>.

Температура срабатывания для всех оросителей принята равной 68 °С, а медианный размер капель водяного факела – 150 мкм<sup>22</sup>.

Параметры и размещение оросителей АУПТ для расчетных сценариев 3 и 4 определялись согласно СП 241.1311500.2015<sup>23</sup>. Расстояние между розеткой оросителя и верхним уровнем складированной продукции принято 0,9 м. Оросители установлены с сеткой 3,0×3,0 м. Минимальный расход диктующего оросителя  $q_{\text{дикт}}$  составляет 9,7 л/с.

Для расчета параметров ПДВ приняты следующие исходные данные: высота незадымляемой зоны  $Z = 2,5$  м от пола помещения; горючая нагрузка – резина (теплота сгорания  $Q_p = 36\,000$  кДж/кг, удельная скорость выгорания  $\psi_{\text{уд}} = 0,0112$  кг/(м<sup>2</sup>·с)); площадь очага пожара  $F_{\text{г}} = 9$  м<sup>2</sup>; площадь помещения  $F_{\text{пом}} = 3000$  м<sup>2</sup>; периметр ограждающих конструкций  $L_{\text{ок}} = 220$  м; температура воздуха в помещении  $t_{\text{в}} = 20$  °С; температура наружного воздуха  $t_{\text{н}} = 20$  °С; высота помещения от пола до места выброса продуктов горения  $H_{\text{п.г}} = 14$  м. Расчет параметров ПДВ для включения в модель пожара проводился согласно Р НП «АВОК» 5.5.1–2018<sup>24</sup>. В результате расчета определены следующие основные параметры ПДВ: площадь проема дымоудаления – 2,1 м<sup>2</sup>, часовой объемный расход удаляемых продуктов горения – 26 220 м<sup>3</sup>/ч.

**Расчет необходимого времени эвакуации людей.** Для оценки влияния спринклерной АУПТ и ПДВ на необходимое время эвакуации людей выполнено два расчета времени задымления помещения склада с высокостеллажным хранением: без применения указанных систем и с применением только ПДВ, запуск которой осуществляется от ДПИ.

По сценарию загорание происходит на нижнем ярусе одного из стеллажей. В результате моделирования установлено, что при времени моделирования 100 с температура конвективной колонки достигала максимального значения 720 °С, что значительно превышает температуру воспламенения принятой пожарной нагрузки (рис. 2). Воспламенение находящейся на соседних стеллажах пожарной нагрузки происходило через 50 с от начала горения.

Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 62 с от начала горения и 74 с у эвакуационного выхода в той же плоскости. Зависимость расстояния предельной видимости от времени горения и поля распределения видимости в вышеуказанные моменты времени в горизонтальной плоскости помещения приведена на рисунке 3.

<sup>19</sup> Ороситель спринклерный быстродействующий повышенной производительности «СОБР» [Электронный ресурс] / Спецавтоматика – системы автоматического пожаротушения. – Режим доступа: <https://sa-biysk.ru/upload/iblock/cfa/СОБР.pdf>. – Дата доступа: 29.06.2021.

<sup>20</sup> Ороситель спринклерный и дренчерный водяной «СВВ», «СВН», «ДВВ», «ДВН» [Электронный ресурс] / Спецавтоматика – системы автоматического пожаротушения. – Режим доступа: <https://sa-biysk.ru/upload/iblock/76a/СВВ-СВН.ДВВ-ДВН.pdf>. – Дата доступа: 29.06.2021.

<sup>21</sup> См. сноску 7.

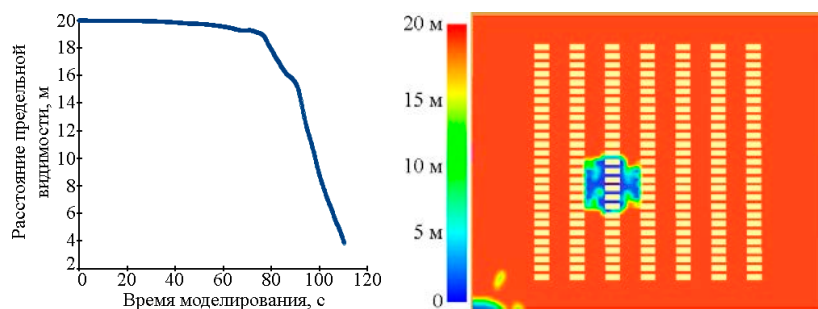
<sup>22</sup> См. сноску 16.

<sup>23</sup> См. сноску 11.

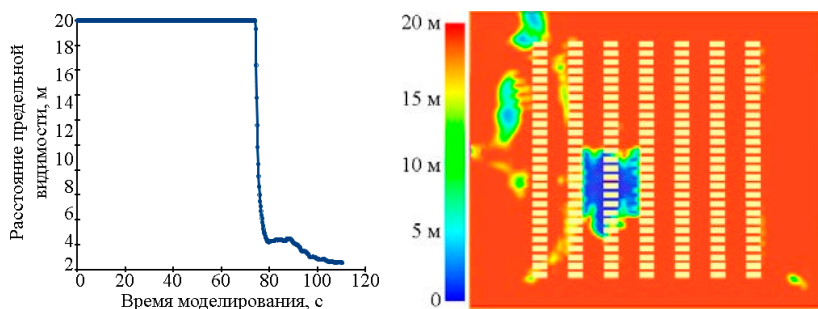
<sup>24</sup> Расчет параметров противодымной защиты жилых и общественных зданий: Р НП «АВОК» 5.5.1–2018. – Введ. 01.09.18. – М.: НП «АВОК», 2018. – 74 с.



Рисунок 2. – Поле распределения температуры в помещении склада в момент достижения ее максимального значения 720 °С в перпендикулярной потолку плоскости, проходящей через очаг пожара



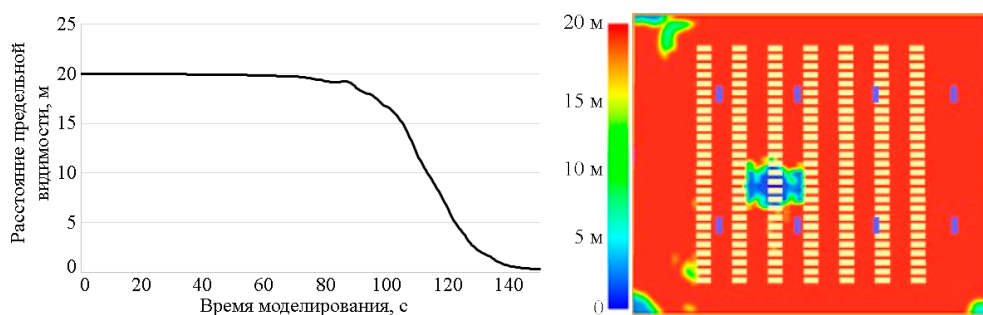
а – в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м



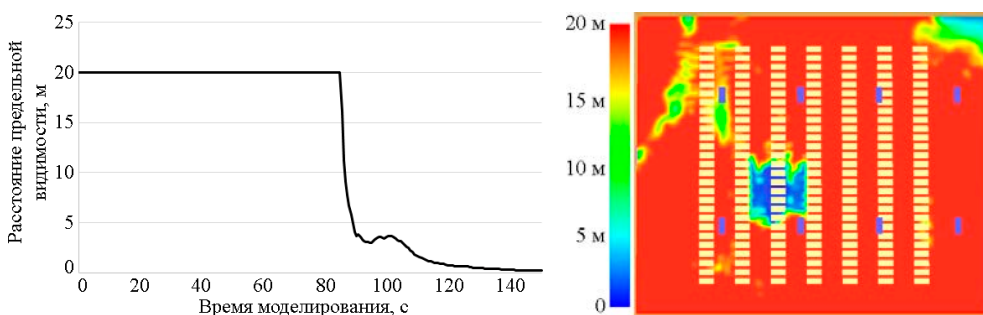
б – у эвакуационного выхода в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м

Рисунок 3. – Зависимость расстояния предельной видимости от времени горения (слева) и поля распределения видимости (справа) в моменты наступления критического значения видимости при моделировании пожара без применения АУПТ и ПДВ

При моделировании пожара в помещении склада с применением только ПДВ, запуск которой осуществляется от ДПИ, сценарий загорания был аналогичен описанному выше. В результате установлено, что при времени моделирования 100 с температура конвективной колонки достигала максимального значения 600 °С. Воспламенение находящейся на соседних стеллажах пожарной нагрузки происходило через 50 с от начала горения. Срабатывание двух извещателей и, соответственно, автоматическое открывание дымовых люков произошло спустя 12 с от начала горения. Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 75 с от начала горения и 85 с у эвакуационного выхода в той же плоскости. Зависимость расстояния предельной видимости от времени горения и поля распределения видимости в вышеуказанные моменты времени в горизонтальной плоскости помещения приведена на рисунке 4.



*a* – в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м

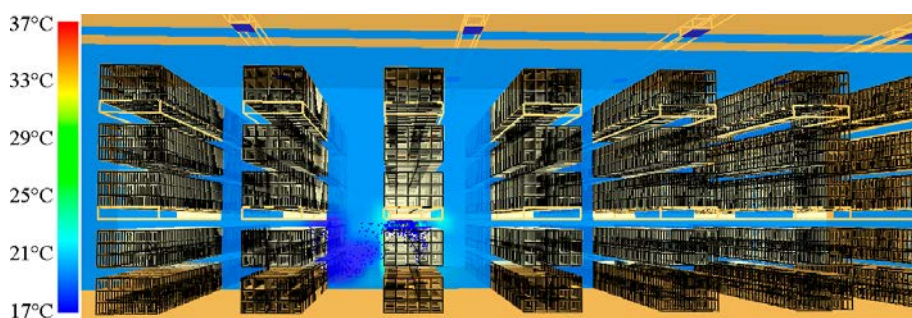


*б* – у эвакуационного выхода в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м

**Рисунок 4. – Зависимость расстояния предельной видимости от времени горения (слева) и поля распределения видимости (справа) в моменты наступления критического значения видимости при моделировании пожара без АУПТ, но с ПДВ**

**Расчет необходимого времени эвакуации при размещении оросителей во внутрискелетном пространстве.** Расчет наступления критических значений расстояния предельной видимости при установке оросителей во внутрискелетном пространстве проводился при различных алгоритмах взаимодействия спринклерной АУПТ и ПДВ.

Моделирование по алгоритму запуска ПДВ от спринклерной АУПТ (сценарий 1) показало следующие результаты. Срабатывание первого спринклерного оросителя, находящегося наиболее близко к очагу пожара, произошло через 8 с (рис. 5).



**Рисунок 5. – Поле распределения температуры в момент срабатывания первого оросителя в перпендикулярной потолку плоскости, проходящей через очаг пожара**

После срабатывания АУПТ по заложенному алгоритму автоматически открывались дымовые люки ПДВ. Всего за 600 с моделирования сработал 1 ороситель, а температура конвективной колонки не превышала 100 °С. После срабатывания оросителя температура на поверхности стеллажей не превышала 26 °С и воспламенение размещенной на них пожарной нагрузки не произошло. Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 49 с от начала горения и 148 с у эвакуационного выхода в той же плоскости. Следует отметить, что после срабатывания оросителя в зоне его размещения происходит резкое опускание слоя дыма и он поступает в верхнюю часть помещения позже по сравнению с вариантом без АУПТ и ПДВ.

При моделировании пожара и взаимодействия АУПТ и ПДВ по 2-му сценарию получены следующие результаты. Срабатывание двух извещателей и, соответственно, автоматическое открывание дымовых люков произошло по истечении 12 с от начала горения. Первый спринклерный ороситель, находящийся наиболее близко к очагу горения, сработал спустя 8 с. Всего за 600 с моделирования сработал 1 ороситель. Температура конвективной колонки не превышала 43 °С, т.е. была ниже температуры воспламенения пожарной нагрузки (265 °С для РТИ). Температура на поверхности соседних стеллажей не превышала 25 °С и, соответственно, воспламенение размещенной на них пожарной нагрузки не произошло. Динамика распределения дыма в объеме помещения была аналогична расчетному сценарию 1. Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 34 с от начала горения и 61 с у эвакуационного выхода в той же плоскости.

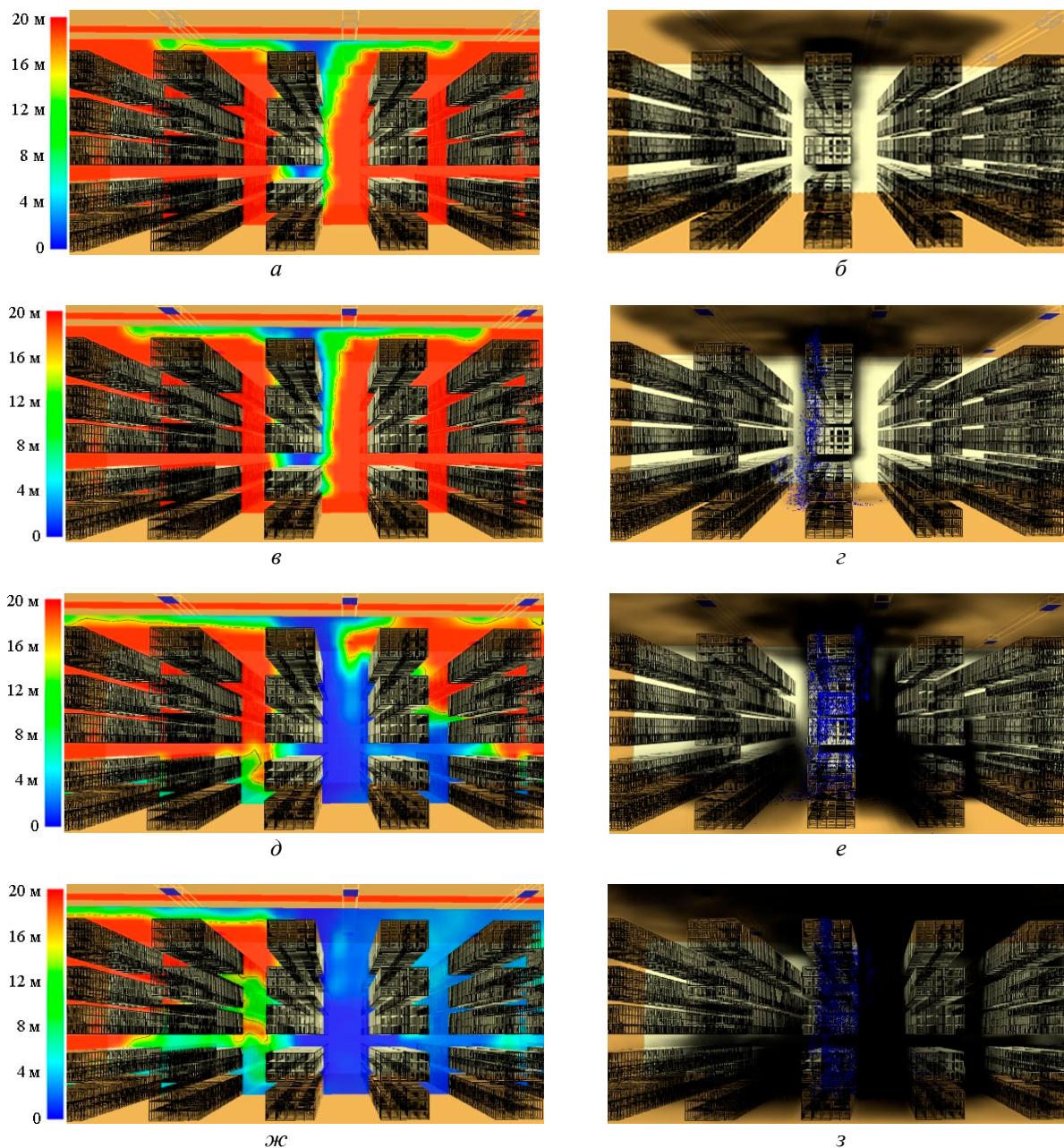
**Расчет необходимого времени эвакуации при размещении оросителей АУПТ под перекрытием по всей площади помещения.** Расчет наступления критических значений расстояния предельной видимости при размещении оросителей АУПТ только под перекрытием по всей площади помещения проводился при различных алгоритмах взаимодействия спринклерной АУПТ и ПДВ. Моделирование по первому алгоритму запуска ПДВ от спринклерной АУПТ (сценарий 3) показало следующие результаты. Спустя 27 с от начала горения произошло одновременное срабатывание двух спринклерных оросителей, находящихся наиболее близко к очагу горения.

После срабатывания АУПТ по заложенному алгоритму автоматически открывались дымовые люки ПДВ. Далее происходило постепенное срабатывание оросителей, установленных вблизи очага пожара. Всего за 600 с моделирования сработало 13 оросителей. Температура конвективной колонки не превышала 165 °С. После срабатывания оросителей температура на поверхности стеллажей не превышала 35 °С и воспламенение размещенной на них пожарной нагрузки не произошло. При срабатывании оросителей в зоне их размещения произошло резкое опускание припотолочного слоя дыма (рис. 6). Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 37 с от начала горения и 61 с у эвакуационного выхода в той же плоскости.

Моделирование по второму алгоритму запуска ПДВ от спринклерной АУПТ при размещении оросителей только под перекрытием по всей площади помещения (сценарий 4) показало следующие результаты. Срабатывание двух извещателей и, соответственно, автоматическое открывание дымовых люков произошло спустя 12 с от начала горения. Первые два оросителя, находящиеся наиболее близко к очагу горения, сработали через 27 с, а затем постепенно происходило срабатывание оросителей, установленных рядом.

Всего за 600 с моделирования сработало 34 оросителя. Температура конвективной колонки достигала 365 °С, т.е. превышала температуру воспламенения пожарной нагрузки (265 °С для РТИ). Вместе с тем за счет срабатывания большого количества оросителей температура на поверхности стеллажей не превышала 50 °С и воспламенение размещенной на них пожарной нагрузки не произошло.

Время наступления критического значения видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м составило 38 с от начала горения и 51 с у эвакуационного выхода в той же плоскости. Динамика распределения дыма в объеме помещения была аналогична расчетному сценарию 3, т.е. при срабатывании оросителей в зоне их размещения происходило резкое опускание припотолочного слоя дыма.



*a, б* – перед срабатыванием первых двух оросителей; *в, г* – в момент срабатывания первых двух оросителей; *д, е* – в момент срабатывания четырех оросителей; *ж, з* – в момент срабатывания шести оросителей

**Рисунок 6. – Поля распределения видимости (*a, в, д, ж*) в перпендикулярной потолку плоскости, проходящей через очаг пожара, и распределение дыма (*б, г, е, з*) при срабатывании оросителей при моделировании по сценарию 3 (с размещением оросителей под перекрытием по всей площади помещения, запуск ПДВ осуществляется от АУПТ)**

### Заключение

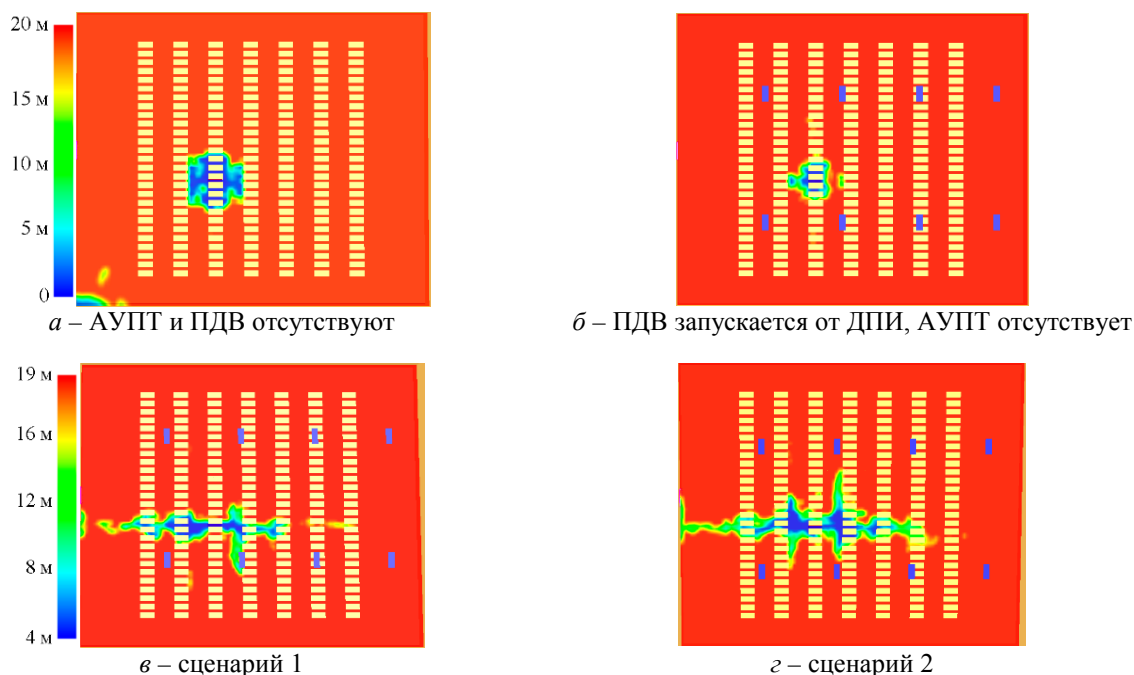
Результаты проведенного численного моделирования обобщены и представлены в таблице 1. Согласно проведенным расчетам размещение оросителей во внутрискелетном пространстве (сценарии 1 и 2) позволяет существенно снизить мощность пожара по сравнению с вариантами размещения оросителей только под перекрытием (сценарии 3 и 4): более чем в 5 раз при запуске ПДВ от АУПТ и почти в 20 раз при запуске ПДВ от ДПИ. Более быстрое нарастание мощности пожара при расчетном сценарии 4 по сравнению с иными сценариями может быть связано с тем, что при включении ПДВ в помещении возникает активное движение газообразных веществ, в том числе кислорода в воздухе, что приводит к увеличению

интенсивности горения. Высокая мощность пожара является причиной срабатывания большего количества оросителей, что, в свою очередь, приводит к тому, что дым, находящийся в факеле разбрызгивания оросителя, опускается в нижнюю часть помещения. По этой причине блокирование путей эвакуации происходит значительно быстрее по сравнению с вариантами защиты помещения только с использованием ПДВ либо без применения как АУПТ, так и ПДВ (табл. 1).

**Таблица 1. – Результаты численного моделирования пожара в помещении склада**

Параметр	Склад без АУПТ и ПДВ	Склад без АУПТ, но с ПДВ	Расчетный сценарий			
			1	2	3	4
Время срабатывания ПДВ, с	–	12	8	12	27	12
Время срабатывания первого оросителя, с	–	–	8	8	27	27
Время потери видимости в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м, с	62	75	49	34	37	38
Время потери видимости у эвакуационного выхода в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м, с	74	85	148	61	61	51
Мощность пожара, МВт	360,0	134,0	1,5	1,4	8,2	27,0
Максимальная температура в конвективной колонке, °С	720	600	26	43	165	365
Количество сработавших оросителей за время моделирования (600 с)	–	–	1	1	13	34
Время от начала горения, спустя которое происходит возгорание соседних стеллажей, с	50	50	Не произошло	Не произошло	Не произошло	Не произошло

Например, на рисунке 7 представлены поля распределения предельной видимости в горизонтальной плоскости на высоте 1,7 м от пола помещения в момент времени 62 с от начала горения, т.е. в момент блокирования путей эвакуации при отсутствии АУПТ и ПДВ в помещении склада.



**Рисунок 7. – Поля распределения предельной видимости в горизонтальной плоскости на высоте 1,7 м от пола помещения в момент времени 62 с от начала горения**

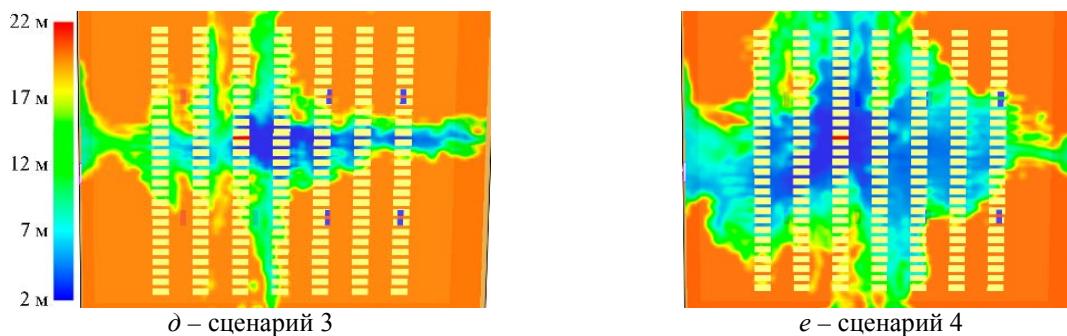


Рисунок 7. – Поля распределения предельной видимости в горизонтальной плоскости на высоте 1,7 м от пола помещения в момент времени 62 с от начала горения

Применение оросителей во внутрестеллажном пространстве и, соответственно, запуск ПДВ от АУПТ (сценарий 1) позволяет увеличить время блокирования путей эвакуации в среднем в 1,3 раза по сравнению с вариантами, где ПДВ запускается от ДПИ (сценарии 2 и 4) либо от АУПТ с размещением оросителей под перекрытием (сценарий 3). Более того, при использовании алгоритма запуска ПДВ от АУПТ с расположением оросителей во внутрестеллажном пространстве (сценарий 1) потеря видимости у эвакуационного выхода в горизонтальной плоскости помещения на высоте 1,7 м наступает в 1,7–2,9 раза дольше по сравнению со всеми остальными указанными в таблице 1 способами защиты помещения склада.

Таким образом, на основе результатов моделирования пожара при различных алгоритмах взаимодействия АУПТ и ПДВ можно сделать вывод, что оптимальным алгоритмом взаимодействия указанных автоматических систем безопасности при защите складов с высокостеллажным хранением является установка оросителей АУПТ во внутрестеллажном пространстве и запуск ПДВ от АУПТ. Необходимо подчеркнуть, что при такой схеме защиты за счет быстрой локализации горения не происходит воспламенения соседних стеллажей в помещении. Также использование предложенной схемы защиты помещения склада с высокостеллажным хранением позволяет эффективно сдерживать нарастание мощности пожара, а абсолютное значение данного параметра одно из самых низких в сравнении с иными алгоритмами взаимодействия АУПТ и ПДВ. Более того, как отмечалось ранее, защита склада по сценарию 1 способствует увеличению времени блокирования путей эвакуации и эвакуационного выхода продуктами горения и термического разложения в сравнении с остальными сценариями взаимодействия АУПТ и ПДВ.

Также в разрезе обсуждаемой темы влияния ПДВ на время срабатывания спринклерной АУПТ следует отметить, что, исходя из результатов выполненного в данной работе численного моделирования (табл. 1), включение ПДВ от ДПИ (сценарий 4) не влияет на время срабатывания первого спринклерного оросителя в сравнении с запуском ПДВ от АУПТ (сценарий 3), что согласуется с ранее полученными результатами ряда исследователей [3–5].

Таким образом, в результате численного моделирования пожара в помещении склада с высотным складированием материалов в программном комплексе FDS показано, что оптимальным алгоритмом взаимодействия спринклерной АУПТ и ПДВ является установка оросителей АУПТ только во внутрестеллажном пространстве и запуск ПДВ от АУПТ. Данная схема защиты позволяет локализовать очаг пожара без распространения на соседние стеллажи и удерживать его мощность на минимальном уровне, а также увеличить время блокирования продуктами горения и термического разложения путей эвакуации людей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мешман, Л.М. Влияние системы противодымной вентиляции на работу автоматических установок пожаротушения / Л.М. Мешман // АВОК. – 2016. – № 4. – С. 32–37.

2. Thomas, P.H. Design of roof-venting systems for single-storey buildings / P.H. Thomas, P.L. Hinkley. – London: HMSO, 1971.
3. Hinkley, P.L. Sprinklers and Vents Interaction. Experiments at Ghent / P.L. Hinkley [et al.] // Fire Surveyor. – 1992. – P. 18–23.
4. Hinkley, P.L. The Effect of Vents on the Opening of the First Sprinklers / P.L. Hinkley // Fire Safety Journal. – 1986. – Vol. 11, Iss. 3. – P. 211–225. DOI: 10.1016/0379-7112(86)90064-0.
5. Cooper, L.Y. Smoke and Heat Venting / L.Y. Cooper // Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. – 3rd ed. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. – Ch. 3. – P. 3-236–3-240.
6. Cooper, L.Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment. Phenomena and model simulations / L.Y. Cooper // Fire Safety Journal. – 1995. – Vol. 25, Iss. 2. – P. 89–107. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00037-2.
7. Cooper, L.Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment / L.Y. Cooper // International Journal Heat and Mass Transfer. – 1995. – Vol. 38, Iss. 4. – P. 679–690. DOI: 10.1016/0017-9310(94)00188-2.
8. McGrattan, K. Modeling Enclose Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD) / K. McGrattan, S. Miles // Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. – 4th ed. – Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association, 2008. – Ch. 3. – P. 3-229–3-247.
9. Дектерев, А.А. Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях / А.А. Дектерев [и др.] // Пожарная безопасность. – 2007. – № 4. – С. 49–58.
10. Рыжков, А.М. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях. Методические рекомендации / А.М. Рыжов [и др.]. – М.: ВНИИПО, 2002. – 35 с.
11. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2000. – 118 с.
12. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2 ч. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч. 2. – 774 с.



**Влияние алгоритма взаимодействия автоматических установок пожаротушения и противодымной вентиляции на время блокирования эвакуационных путей и эффективность локализации пожара в помещениях высокостеллажного хранения**  
**Influence of the algorithm of interaction of automatic extinguishing systems and heat and smoke vents on the time of blocking emergency exits and the efficiency of fire localization in high-rack storage warehouses**

**Суриков Андрей Валерьевич**

кандидат технических наук

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра организации службы, надзора и правового обеспечения, начальник кафедры

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

Email: shurikoff@bk.ru

ORCID: 0000-0002-3659-7297

**Andrey V. Surikov**

PhD in Technical Sciences

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Organization of Service, Supervision and Law Support, Head of the Chair

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

Email: shurikoff@bk.ru

ORCID: 0000-0002-3659-7297

**Калантарли Агаверди Тахир оглы**

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

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

Email: agaverdi.kalantarli.95@mail.ru

**Agaverdi T. Kalantarli**

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

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

Email: agaverdi.kalantarli.95@mail.ru

**Рябцев Виталий Николаевич**

кандидат технических наук, доцент

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

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

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

**Vitaly N. Ryabtsev**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

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

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

**Лихоманов Алексей Олегович**

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

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

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

**Aleksey O. Likhomanov**

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

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

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.387>

## INFLUENCE OF THE ALGORITHM OF INTERACTION OF AUTOMATIC EXTINGUISHING SYSTEMS AND HEAT AND SMOKE VENTS ON THE TIME OF BLOCKING EMERGENCY EXITS AND THE EFFICIENCY OF FIRE LOCALIZATION IN HIGH-RACK STORAGE WAREHOUSES

Surikov A.V., Kalantarli A.T., Ryabtsev V.N., Likhomanov A.O.

*Purpose.* On the basis of numerical modeling of fire to determine the optimal algorithm of the interaction of automatic extinguishing systems and heat and smoke vents in terms of blocking the emergency exits and the efficiency of fire localization in the high-rack storage warehouse.

*Methods.* In the work theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison) are applied, as well as numerical modeling is carried out in the computational software package Fire Dynamics Simulator.

*Findings.* The numerical modeling of fire in the high-rack storage warehouse with dimensions of 60×50×14 m and a storage height of fire load of 12.5 m was carried out. In the result of the modeling, the optimal algorithm of the interaction of automatic extinguishing systems and heat and smoke vents in terms of blocking emergency exits and the efficiency of fire localization was determined: sprinklers are placed only in the space inside the rack, while the heat and smoke vent are triggered by a signal from the automatic extinguishing system. This protection scheme allows localizing the fire site without spreading to neighboring racks and keeping its power at a minimum level. Moreover, it allows increasing the time of blocking by products of combustion and thermal decomposition in the horizontal plane of the room at a height of 1.7 m the emergency exits on average 1.3 times and an evacuation exit by 1.7–2.9 times in comparison with other algorithms of interaction of the automatic extinguishing systems and heat and smoke vents.

*Application field of research.* The results can be used to determine the algorithms of the interaction of the automatic fire safety systems for protecting the high-rack storage warehouses.

*Keywords:* automatic extinguishing system, heat and smoke vent, high-rack storage warehouse, visibility in fire smoke, emergency exit, numerical modeling.

(The date of submitting: July 29, 2021)

### REFERENCES

1. Meshman L.M. Vliyanie sistemy protivodymnoy ventilyatsii na rabotu avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya [Influence of smoke ventilation on operation of automatic fire extinguishing units]. *ABOK*. 2016. No. 4. Pp. 32–37. (rus)
2. Thomas P.H., Hinkley P.L. *Design of roof-venting systems for single-storey buildings*. London: HMSO, 1971.
3. Hinkley P.L., Hansell G., Marshall N.R., Harrison R. Sprinklers and Vents Interaction. Experiments at Ghent. *Fire Surveyor*. 1992. Pp. 18–23.
4. Hinkley P.L. The Effect of Vents on the Opening of the First Sprinklers. *Fire Safety Journal*. 1986. Vol. 11, No 3. Pp. 211–225. DOI: 10.1016/0379-7112(86)90064-0.
5. Cooper L.Y. Smoke and Heat Venting. Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. 3rd ed. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association. 2008. Ch. 3. Pp. 3-236–3-240.
6. Cooper L.Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment. Phenomena and model simulations. *Fire Safety Journal*. 1995. Vol. 25, No. 2. Pp. 89–107. DOI: 10.1016/0379-7112(95)00037-2.
7. Cooper L.Y. The interaction of an isolated sprinkler spray and a two-layer compartment fire environment. *International Journal Heat and Mass Transfer*. 1995. Vol. 38, No. 4. Pp. 679–690. DOI: 10.1016/0017-9310(94)00188-2.
8. McGrattan K., Miles S. Modeling Enclose Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD). Ed. by P.J. DiNenno [et al.]. 4th ed. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association. 2008. Ch. 3. Pp. 3-229–3-247.
9. Dekterev A.A., Gavrilov A.A., Litvintsev K.Yu., Amel'chugov S.P., Seregin S.N. Modelirovanie dinamiki pozharov v sportivnykh sooruzheniyakh [Simulation of the dynamics of fires in sports facilities]. *Fire safety*. 2007. No. 4. Pp. 49–58. (rus)

10. Ryzhkov A.M. [et al.]. *Primenenie polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyakh. Metodicheskie rekomendatsii* [Application of the field method for mathematical modeling of indoor fires. Guidelines]. Moscow: FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2002. 35 p. (rus)
11. Koshmarov Yu.A. *Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [Prediction of hazardous factors of fire in a room]: textbook. Moscow: State Fire Academy of EMERCOM of Russia. 2000. 118 p. (rus)
12. Korol'chenko A.Ya., Korol'chenko D.A. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya* [Fire and explosion hazard of substances and materials and means of their extinguishing]: handbook: in 2 parts. 2nd ed., revised. Moscow: Association «Pozhnauka». 2004. Part 2. 774 p. (rus)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.402>

УДК 546.185+544.032+630.432

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НОВЫХ МЕТАЛЛОФОСФАТНЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ГОРЕНИЯ ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЕ

Рева О.В., Богданова В.В., Шукело З.В., Назарович А.Н., Кобец О.И.

*Цель.* Разработать составы и условия синтеза композиций на основе аммонийных фосфатов многовалентных металлов с высокой огнезащитной эффективностью по отношению к полиэфирным и оксодиазольным текстильным материалам.

*Методы.* Для получения аммонийных металлофосфатов использовался золь-гель метод синтеза из растворов, позволяющий получать продукты высокой степени дисперсности и регулировать структуру образующихся солей. Фазовый и химический состав полученных продуктов определяли с помощью рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе Epsilon 1 PANalytical. Определение уровня огнезащиты пропитанных антипиреном тканей проводили согласно СТБ 11.03.02-2011.

*Результаты.* Разработаны условия получения синтетических огнезащитных составов на основе фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония с регулируемыми в зависимости от условий синтеза свойствами. Проведены испытания стабильности новых жидкостных замедлителей горения и их огнезащитной эффективности (а также ее устойчивости к стиркам) по отношению к полиэфирным, смесовым и арселоновым тканям. Определены факторы, обуславливающие их огнезащитную эффективность по отношению к текстильным материалам различной природы, используемым для защитной одежды. Установлено, что наиболее высокую огнезащитную эффективность по отношению к полиэфирной и арселоновой основе проявили составы, одновременно содержащие магний и кальций, нейтрализованные смесью растворов аммиака, гидроксида калия и соды в соотношении 1 : 1 : 1 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 только композиции оптимального химического и фазового состава обеспечивают закрепление в текстильной матрице фосфора и азота – основных антипиренирующих агентов.

*Область применения исследований.* Получение эффективных нетоксичных неорганических замедлителей горения и модифицированных ими огнестойких текстильных материалов из синтетических волокон.

*Ключевые слова:* замедлители горения, текстильные материалы, полиэфирные и оксодиазольные ткани, фосфаты металлов-аммония, огнезащитные свойства.

(Поступила в редакцию 26 октября 2021 г.)

### Введение

В настоящее время регулярно возникают новые требования к синтетическим материалам, из которых изготавливаются технические ткани, боевая одежда пожарных и средства индивидуальной защиты. Эти материалы одновременно должны обладать высокой механической прочностью, эластичностью, химической стойкостью, водоупорностью, термо- и огнестойкостью. Ныне применяемые огнестойкие материалы и ткани, такие как оксалон, силотекс, нитрон, арселон, номекс [1; 2], несмотря на достаточно высокие функциональные свойства, тем не менее характеризуются склонностью к тлению после огневого воздействия и нуждаются в дополнительной обработке ингибиторами горения. Еще в большей степени огнезащитная обработка необходима для полиэфирных, хлопковых и смесовых тканевых материалов, комбинируемых в защитной одежде с оксодиазольными.

Классическими методами придания огнестойкости тканым и волокнистым материалам являются пропитка или спрейная обработка растворами и суспензиями антипиренов с добавками пленкообразователей и поверхностно-активных веществ [3; 4].

При этом для каждого класса синтетических волокон требуется индивидуальный подход при выборе как замедлителей горения, так и модифицирующих поверхность волокон агентов [1–6].

Перспективными замедлителями горения для получения огнезащищенных текстильных синтетических и смесовых материалов показали себя аммонийные двойные фосфаты (АДФ) различных металлов [7]. В таких соединениях сочетаются основные антипирлирующие элементы – синергическая пара азот и фосфор, металл; причем температура их термического разложения совпадает с интервалом начала интенсивной термодеструкции защищаемых материалов. Многие свойства этих соединений, в том числе огнезащитная эффективность, сильно зависят от условий их синтеза.

Основными известными способами синтеза АДФ поливалентных металлов в зависимости от предъявляемых к их свойствам требований являются [8–12]: твердофазный, длительный гидротермальный синтез с применением высоких температур и давления, а также синтез в растворе при стандартных условиях. Наиболее распространенным и экономичным способом получения аммонийных двойных фосфатов как индивидуальных соединений, содержащих одновременно ионы аммония, ортофосфорной кислоты и металла, является взаимодействие компонентов в растворе при относительно невысокой температуре (от 20 до 100 °С). Получение огнезамедлительных систем на основе АДФ для огнезащитной обработки тканых материалов в виде растворов, а не твердых веществ наиболее технологически удобно, поскольку исключает дополнительные стадии измельчения и диспергирования (растворения) твердофазных компонентов. При получении из раствора фосфатов металлов-аммония образуются разнообразные как кристаллические, так и аморфные нестехиометрические соединения, причем изменяя условия синтеза – соотношения и природу компонентов, их концентрацию, порядок сливания, длительность взаимодействия, интенсивность перемешивания, рН среды, можно регулировать их состав и свойства. Следует подчеркнуть, что неорганические азот-фосфорсодержащие огнезамедлительные системы могут быть синтезированы из доступного и недорогого сырья и экологически безопасны.

Синтез АДФ в растворе на основе двух- и (или) трехвалентных металлов ( $Me^{II}$ ,  $Me^{III}$ ) возможен в двух вариантах: 1 – сливанием растворов солей; 2 – с использованием растворов фосфорной кислоты и нейтрализующих агентов. В качестве реагентов по первому варианту синтеза используют раствор соли соответствующего металла (из группы Mg, Mn, Zn, Cu, Ca, Co, Fe (II, III), Al) и раствор фосфата аммония (одно-, двух- или трехзамещенного). По второму, двухстадийному варианту, в фосфорной кислоте растворяют металлсодержащее сырье (оксиды, гидроксиды или соли металлов), затем нейтрализуют полученный кислый концентрированный металлофосфатный гелеобразный раствор (связку) щелочными растворами (аммиака, гидроксидов щелочных металлов, карбамида или уротропина) при интенсивном перемешивании [13–16].

Для огнезащитной обработки тканей весьма эффективны огнезащитные составы (ОЗС) на основе фосфатов в виде водных коллоидных растворов или тонких суспензий, способные хорошо смачивать волокна тканого материала, а при термообработке обладающие хорошими адгезионными свойствами и способностью к пленкообразованию. В связи с этим рассмотрим условия получения огнезамедлительных ОЗС на основе АДФ металлов разной валентности в виде коллоидного раствора, геля или тонкой суспензии и влияние различных факторов (химическая природа, концентрация, соотношение реагентов, температура синтеза, рН) на их состав и свойства.

Обменной реакцией при нагревании из растворов солей металлов (хлоридов, нитратов, сульфатов) с фосфатами аммония (двух- или трехзамещенными) получают тонкие суспензии на основе аммонийных двойных фосфатов стехиометрического состава общей формулы  $NH_4Me^IIPO_4 \cdot xH_2O$ . В присутствии же однозамещенных фосфатов аммония и тех же солей металлов образуются не суспензии двойных фосфатов, а гелеобразные продукты [17].

Смещение равновесия в системе в сторону требуемых продуктов осуществляют регулированием соотношений реагирующих веществ. Так, часто используют избыток фосфат-ионов ( $[\text{PO}_4^{3-}] / [\text{Me}^{2+}] > 1 \div 9$ ) и ионов аммония над ионами металла [18]. При молярных соотношениях  $\text{Me}^{\text{II}} / \text{P} = 1$  или  $\text{Me}^{\text{II}} / \text{P} \gg 1$  в зависимости от pH образуются либо кислые ортофосфаты металлов, их смесь с АДФ, либо только средние ортофосфаты двухвалентных металлов [13]. При использовании ортофосфатов щелочных металлов ( $\text{Me}^{\text{I}}$ ) вместо АДФ получают фосфаты типа  $\text{RMePO}_4$  (где  $\text{R} = \text{Na}, \text{K}$ ). При этом необходим большой избыток средних или двухзамещенных фосфатов натрия или калия ( $[\text{PO}_4^{3-}] / [\text{Me}^{2+}] > 1 \div 14$ ).

При совместном присутствии в растворе двух ионов различных двухвалентных металлов из ряда  $\text{Mg}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Zn}$ , обладающих близкими атомными радиусами, образование АДФ происходит лишь при 4–9-кратном избытке  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  над солями металлов. В противном случае вместо АДФ образуется ряд твердых растворов общей формулы  $\text{Me}_x\text{M}_{1-x}\text{PO}_4$  (где  $\text{Me} = \text{Mg}; \text{M} = \text{Mn}, \text{Co}, \text{Zn}$ ) [19; 20]. Если в таком растворе присутствуют ионы с гораздо большим размером атомов (например,  $\text{Ca}^{2+}$ ), то следует ожидать образования механической смеси солей средних фосфатов металлов.

При получении АДФ на основе  $\text{Me}^{\text{III}}$  из растворов также важно обеспечение избытка фосфат-ионов над ионами металла ( $[\text{PO}_4^{3-}]:[\text{Al}^{3+}] \geq 3,0 : 1,0$ ) [21]. Если же, наоборот, концентрация ионов металла выше, то в процессе нейтрализации образуются гели, где обнаруживаются не АДФ, а средний ортофосфат  $\text{Me}^{\text{III}}$  [21; 22].

Недостатком данного варианта синтеза АДФ является соосаждение в продукте аниона, вводимого с растворимой солью металла [13], что оказывает влияние на состав, дисперсность, растворимость продукта синтеза.

Данный недостаток можно преодолеть, используя двухстадийный метод кислотно-основного взаимодействия оксидов, гидроксидов и солей металлов с фосфорной кислотой с последующей аммонизацией (нейтрализацией аммиаком) кислых фосфатных связей, который приводит к получению практически монодисперсных тонких суспензий на основе аморфных аммонийных металлофосфатов, часто нестехиометрического состава [20]. Тонкодисперсные антипирены способны к формированию при повышенных температурах защитных пленкообразующих покрытий на поверхности волокон огнезащитного тканого материала.

Коллоидо- и гелеобразующие свойства АДФ во многом определяются природой и валентностью катиона металла. В отличие от ионов двухвалентных металлов катионы трехвалентных алюминия и железа способны образовывать многочисленные устойчивые комплексы с ортофосфат-ионами, на основе которых при определенных условиях синтеза возможно получение из раствора тонкодисперсных аморфных и гелеобразных фосфатных продуктов синтеза более разнообразного фазового состава [23].

Важными условиями синтеза, которые определяют свойства получаемого продукта, являются концентрация фосфорной кислоты, подбираемая опытным путем, температура и pH раствора во время растворения металлсодержащих соединений или аммонизации связки. Лимитирующей стадией процесса является растворение металлсодержащего сырья. Экспериментально установлено, что максимальная скорость реакции наблюдается при массовой доле фосфорной кислоты в растворе 30–75 %. В зависимости от природы двух- или трехвалентного металла процесс ведут при различных температурах – от нуля до 120 °С [13]. При массовой доле кислоты более 75 % процесс переходит в диффузионную область и получаемый продукт может содержать непрореагировавшие вещества.

В зависимости от природы двухвалентных металлов синтез АДФ осуществляется в различных интервалах pH: для магнийсодержащих солей – при pH 5,0–7,2, марганецсодержащих – при pH 5,7–6,7; цинксодержащих – при pH 3,5–7,0; медьсодержащих – 5,3–7,0; для содержащих ион железа (II) – 5,6–8,6 [18; 22]. Кислотность раствора оказывает влияние не только на химический и фазовый состав аммоний-содержащих фосфатов трехвалентных металлов (алюминия, железа (III)), но и на их растворимость в воде. При аммонизации из растворов фосфорной кислоты все АДФ различного состава, полученные в широком интервале

pH (1,2–9,0), обладают низкой растворимостью в воде и в растворах фосфатов аммония, что является важным свойством АДФ для сохранения огнезащитных свойств обработанных тканых материалов в условиях стирок. Наименее растворимым для алюминия являются соединения, осаждаемые из слабокислой и нейтральной среды (при pH около 5,5), например  $\text{NH}_4\text{AlH}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  [24]. При аммонизации металлофосфатного раствора, в котором одновременно присутствуют ионы алюминия и железа (III), получаются смешанные АДФ. Так, при мольном соотношении  $\text{Fe} : \text{Al} = (0,1-3) : 1,0$  образуется ряд твердых растворов фосфатов, где металлы взаимозаменяют друг друга.

Таким образом, анализ литературных источников приводит к выводу, что имеющихся данных по синтезу АДФ недостаточно для целенаправленного получения огнезамедлительных составов с требуемыми свойствами для модификации синтетических тканевых материалов. Исходя из этого, информацию об условиях синтеза составов на основе аммонийсодержащих фосфатов металлов, пригодных в качестве огнезащитных средств для тканей из волокон различной природы, можно получить путем проведения сопоставительных исследований физико-химических свойств продуктов синтеза и их огнезащитной эффективности.

### Методы исследования

Для получения аммонийных металлофосфатов использовался золь-гель метод синтеза. Данный метод позволяет получать продукты высокой степени дисперсности и допускает регулирование структуры образующихся солей. Синтез составов проводится в две стадии: первая – получение металлофосфатного раствора, так называемой связки, вторая – нейтрализация связки различными щелочными агентами.

Синтез связки проводили следующим образом. В круглодонную колбу емкостью 200 мл, снабженную мешалкой, помещали необходимые количества 85 % фосфорной кислоты и воды. Небольшими порциями добавляли оксид металла до полного его растворения. Процесс проводили при температуре от 50–60 до 105–110 °С и постоянном перемешивании. После окончания синтеза связку охлаждали и определяли выход состава и его концентрацию.

Фазовый и химический состав полученных продуктов определяли с помощью рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе Epsilon 1 PANalytical.

Для пропиточной обработки использовали ткань Арселон САК-100 % (ОАО «Ручайка»), черный, суровый. Ткань была предварительно постирана в растворе моющего средства 30 мин при 60–70 °С. Также изучали полиэфирные и смесовые материалы, используемые для форменной и защитной одежды пожарных. Обработка тканей антипиренами, полученными по вышеописанной методике, проводилась при комнатной температуре 30 мин, сушка и термофиксация при температуре от комнатной до 200 °С.

Огневые испытания проводились в лабораторных условиях на горелке Бунзена. Определение уровня огнезащиты пропитанных антипиреном тканей проводили согласно СТБ 11.03.02-2011<sup>1</sup>.

### Результаты и обсуждение

Синтез аммонийных фосфатов двухвалентных металлов MgO, CaO и ZnO проводили при нагревании смеси оксидов с ортофосфорной кислотой до температуры 50–60 °С. Синтез металлофосфатных композиций на основе трехвалентных металлов  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  проводили при температуре 105–110 °С. Нейтрализацию полученных металлофосфатных растворов проводили несколькими различными нейтрализующими агентами:

- А) 25 %-ным водным раствором аммиака;
- Б) 25 %-ным водным раствором гидроксида калия;

<sup>1</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Средства огнезащитные. Общие технические требования и методы испытаний: СТБ 11.03.02-2011. – Введ. 24.09.10. – Минск: Госстандарт, 2010. – 25 с.

В) смесь 25 %-го водного раствора аммиака и 25 %-го водного раствора гидроксида калия в соотношении 1 : 1;

Г) смесь 25 %-го водного раствора аммиака и 25 %-го водного раствора гидроксида калия в соотношении 1 : 2;

Д) смесь 25 %-го водного раствора аммиака и 25 %-го водного раствора гидроксида калия в соотношении 2 : 1. При проведении нейтрализации нейтрализующий раствор добавляли при перемешивании к отмеренному количеству связки до достижения синтезированной составом pH 4–5.

Практически все синтезированные продукты представляли собой дисперсии, отличающиеся плотностью и устойчивостью к расслоению (табл. 1). По консистенции самым густым оказался состав на основе оксида железа, нейтрализованный гидроксидом калия, который представляет собой плотную вязкую пасту молочного цвета, тогда как состав из связки с магнием, нейтрализованный смесью аммиака с КОН, имел вид жидкого прозрачного сиропа.

В целом составы, нейтрализованные смесью аммиака и КОН в соотношении 1 : 2, проявили максимальный срок устойчивости к расслоению композиции; осадок, сформировавшийся в этих составах, мелкодисперсный, а составы, нейтрализованные раствором щелочи, отличались минимальной устойчивостью и осаждались уже в течение первых часов после синтеза, при этом осадок в данных составах имел кристаллическую структуру.

Составы на основе катионов двухвалентных металлов осаждались в течение нескольких суток, в то время как составы на основе катионов трехвалентных металлов были устойчивы в течение нескольких недель. Минимальным сроком устойчивости обладали составы на основе кальция: их расслоение начиналось в течение первых часов после нейтрализации связки (табл. 1).

**Таблица 1. – Массовые соотношения компонентов синтетических огнезащитных составов на основе аммонийных фосфатов двух- и трехвалентных металлов и их свойства**

Состав	Серия	Массовое соотношение компонентов	Нейтрализующий агент	pH	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Устойчивость состава к расслоению, ч
1	А	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : NH <sub>3</sub> = 1 : 10,65 : 3,52	NH <sub>3</sub>	5	1,05	55
1	Б	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O = 1 : 10,65 : 6,89	КОН	5	1,09	52
1	В	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 10,65 : 1,58 : 1,46	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 1	4	1,05	67
1	Г	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 10,65 : 1,17 : 0,86	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 2	5	1,06	83
1	Д	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 10,65 : 0,90 : 1,94	NH <sub>3</sub> + КОН, 2 : 1	4,5	1,07	76
2	А	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,61 : 1,73	NH <sub>3</sub>	5	1,13	1,5
2	Б	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O = 1 : 7,61 : 3,48	КОН	4,5	1,17	1
2	В	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,61 : 1,02 : 1,15	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 1	4,5	1,15	1,5
2	Г	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,61 : 1,49 : 0,83	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 2	4	1,14	1,5
2	Д	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,61 : 0,57 : 1,31	NH <sub>3</sub> + КОН, 2 : 1	4,5	1,15	2
3	А	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : NH <sub>3</sub> = 1 : 5,26 : 1,34	NH <sub>3</sub>	5	1,11	25
3	Б	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O = 1 : 5,26 : 2,45	КОН	4	1,13	18
3	В	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 5,26 : 0,54 : 0,59	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 1	4	1,15	32
3	Г	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 5,26 : 1,31 : 0,69	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 2	4	1,12	34
3	Д	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 5,26 : 0,58 : 1,29	NH <sub>3</sub> + КОН, 2 : 1	4	1,11	26



Продолжение таблицы 1

Состав	Серия	Массовое соотношение компонентов	Нейтрализующий агент	pH	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Устойчивость состава к расслоению, ч
4	А	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : NH <sub>3</sub> = 1 : 11,42 : 2,26	NH <sub>3</sub>	4,5	1,14	360
4	Б	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O = 1 : 11,42 : 4,34	КОН	4	1,16	336
4	В	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 11,42 : 0,66 : 0,71	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 1	4	1,13	480
4	Г	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 11,42 : 1,65 : 0,88	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 2	4	1,12	504
4	Д	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 11,42 : 0,45 : 0,96	NH <sub>3</sub> + КОН, 2 : 1	4	1,12	456
5	А	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,28 : 1,83	NH <sub>3</sub>	4,5	1,20	720
5	Б	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O = 1 : 7,28 : 4,94	КОН	4,5	1,23	480
5	В	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,28 : 1,14 : 1,29	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 1	4	1,21	960
5	Г	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,28 : 0,89 : 1,66	NH <sub>3</sub> + КОН, 1 : 2	4	1,22	1440
5	Д	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,28 : 1,65 : 0,75	NH <sub>3</sub> + КОН, 2 : 1	4	1,21	1200

Все азотфосфорсодержащие составы, полученные путем нейтрализации связок до pH 4–5, представляли собой дисперсии, содержащие твердую фазу. Фазовый состав композиций фосфатов двух- и трехвалентных металлов, нейтрализованных аммиаком, представлен в таблице 2.

Таблица 2. – Фазовый состав огнезащитных композиций серии А, нейтрализованных аммиаком

Композиция	Фазовый состав продуктов
1	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , MgHPO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O, аморфная фаза
2	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O, аморфная фаза
3	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , ZnNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> , аморфная фаза
4	(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> H <sub>6</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>8</sub> ·18H <sub>2</sub> O, NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , аморфная фаза
5	NH <sub>4</sub> Fe(HPO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , следы NH <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> (HPO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> OH·2H <sub>2</sub> O, NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , аморфная фаза

Полученные продукты представляют собой смеси дигидрофосфата аммония с гидрофосфатами и аммонийными фосфатами многовалентных металлов. Все изученные продукты синтеза содержат также аморфную фазу, которая, по всей видимости, состоит из нестехиометрических дигидрофосфатов. С учетом литературных данных все эти соединения предположительно должны обладать высокой огнезащитной эффективностью по отношению к текстильным материалам.

С целью получения огнезащитных составов, содержащих продукты нейтрализации в виде истинного раствора и коллоидных частиц, была проведена нейтрализация металлофосфатных растворов двухвалентных металлов до стадии начала помутнения растворов, не дожидаясь выпадения осадка. Для нейтрализации использовали составы:

- а) с 20 %-ным водным раствором аммиака;
- б) смесью 20 %-го водного раствора аммиака и 20 %-го водного раствора гидроксида калия в соотношении 1 : 2;
- в) 20 %-ным водным раствором Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>;
- г) смесью 20 %-го водного раствора аммиака и 20 %-го водного раствора соды Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в соотношении 1 : 1;
- д) смесью 20 %-го водного раствора аммиака, 20 %-го водного раствора гидроксида калия и 20 %-го водного раствора соды Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в соотношении 1 : 1 : 1.

Применение более разбавленных растворов нейтрализующих агентов приводило к получению композиций с недостаточной для обработки текстильных материалов концентрацией. Синтез проводили по той же методике, добавляя нейтрализующий агент до начала появления в растворе легкой мути. Показатель рН среды полученных составов составлял 2–3. Массовые соотношения основных компонентов полученных продуктов синтеза представлены в таблице 3.

**Таблица 3. – Массовые соотношения компонентов синтетических огнезащитных составов на основе аммонийных фосфатов двухвалентных металлов**

Состав	Серия	Массовое соотношение компонентов	Нейтрализующий агент	рН
1	а	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : NH <sub>3</sub> = 1 : 10,65 : 1,87	NH <sub>3</sub>	2,5
1	б	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 10,65 : 1,32 : 1,25	NH <sub>3</sub> + KOH, 1 : 2	2,5
1	в	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Na <sub>2</sub> O = 1 : 10,65 : 3,56	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3
1	г	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Na <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 10,65 : 1,76 : 0,95	NH <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3
1	д	MgO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Na <sub>2</sub> O : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 10,65 : 0,8 : 2,31 : 1,37	NH <sub>3</sub> + KOH + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 1 : 1 : 1	3
2	а	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,61 : 0,92	NH <sub>3</sub>	2
2	б	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,61 : 0,76 : 0,32	NH <sub>3</sub> + KOH, 1 : 2	2,5
2	в	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Na <sub>2</sub> O = 1 : 7,61 : 2,14	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,5
2	г	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Na <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,61 : 0,79 : 1,38	NH <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 1 : 1	2
2	д	CaO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Na <sub>2</sub> O : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 7,61 : 0,38 : 1,1 : 0,66	NH <sub>3</sub> + KOH + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 1 : 1 : 1	2,5
3	а	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : NH <sub>3</sub> = 1 : 5,26 : 0,75	NH <sub>3</sub>	2
3	б	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 5,26 : 0,52 : 0,29	NH <sub>3</sub> + KOH, 1 : 2	2
3	в	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Na <sub>2</sub> O = 1 : 5,26 : 1,12 : 3,72	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2
3	г	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Na <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 5,26 : 1,07 : 0,94	NH <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 1 : 1	2
3	д	ZnO : P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Na <sub>2</sub> O : K <sub>2</sub> O : NH <sub>3</sub> = 1 : 5,26 : 0,65 : 1,87 : 1,2	NH <sub>3</sub> + KOH + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , 1 : 1 : 1	2

Азотфосфорсодержащие огнезащитные кальцийсодержащие композиции представляли собой прозрачные или слегка мутные жидкости. В некоторых составах, содержащих Ca и Zn, через некоторое время после нейтрализации выпадало небольшое количество осадка, в частности в составах 2а, 2б, 3а, 3б и 3д. При этом в составах на основе кальция осадок был объемный и мелкодисперсный, а на основе цинка – плотный и белый. Осадок удаляли из растворов путем фильтрования или декантации. Растворную часть композиций использовали для огнезащитной обработки арселоновых тканей.

На следующем этапе работы изучалась возможность применения полученных продуктов синтеза в качестве замедлителей горения для полиэфирных, смесовых и оксодиазольных текстильных материалов, их огнезащитная эффективность в зависимости от состава, рН и дисперсности. В таблицах 4 и 5 приведены данные по закреплению огнезащитной композиции на полиэфирной ткани и показатели устойчивости к горению полиэфирного материала, обработанного составами, полученными при различных значениях рН. Как видно из представленных в этих таблицах данных, наиболее высокую огнезащитную эффективность по отношению к полиэфирным текстильным материалам проявили составы 1В, 1Д, 2В, 1б, 1г, 1д, 2 б и 2д, содержащие магний и кальций, нейтрализованные смесями аммиака с гидроксидом калия и с содой, причем наименьшее время остаточного горения наблюдалось у составов 1д и 2д, нейтрализованных до рН 2,5–3 смесью трех компонентов (аммиака, гидроксида калия и карбоната натрия). При этом важно отметить, что количество антипирена, остающегося в образцах после стирки, весьма незначительно даже в случае их высокой устойчивости к горению, причем заметной корреляции между количеством оставшегося антипирена и огнестойкостью материала не наблюдается. Полученные данные позволяют предположить,

что огнезащитная эффективность новых композиций в большей степени связана не с количеством замедлителя горения, а с его составом, влияющим, очевидно, на способ взаимодействия с текстильной основой.

**Таблица 4. – Устойчивость к горению полиэфирной ткани, обработанной азотфосфорсодержащими замедлителями горения с рН 4–5**

Огнезащитный состав	Серия	Привес антипирена, %	Остаток антипирена после стирки, %	Время остаточного горения, с	Наличие горящих капель*
1	А	4,1	0,21	7	+
1	Б	5,5	0,72	16	+
1	В	4,7	0,35	2	–
1	Г	4,9	0,44	10	+
1	Д	5,3	0,52	3	–
2	А	7,7	0,33	9	+
2	Б	8,9	0,25	5	+
2	В	8,3	0,47	2	–
2	Г	8,5	0,36	Горит до кромки	+
2	Д	7,8	0,31	8	+
3	А	8,1	0,09	Горит до кромки	+
3	Б	9,2	0,07	12	+
3	В	8,4	0,07	16	+
3	Г	8,6	0,05	Горит до кромки	+
3	Д	9,0	0,08	–/–	+
4	А	8,8	0,02	–/–	+
4	Б	10,1	0,03	–/–	+
4	В	9,5	0,01	9	+
4	Г	8,9	0,04	–/–	+
4	Д	9,7	0,03	–/–	+
5	А	12,3	0,02	15	+
5	Б	13,5	0,02	Горит до кромки	+
5	В	12,7	0,01	–/–	+
5	Г	13,3	0,03	12	+
5	Д	12,9	0,01	8	+

Примечание: \* «+» капли есть, «–» капель нет.

**Таблица 5. – Устойчивость к горению полиэфирной ткани, обработанной азотфосфорсодержащими замедлителями горения с рН 2–3**

Огнезащитный состав	Серия	Привес антипирена, %	Остаток антипирена после стирки, %	Время остаточного горения, с	Наличие горящих капель*
1	а	5,1	0,52	5	+
1	б	4,9	0,21	3	+
1	в	4,8	0,27	8	–
1	г	5,0	0,36	3	–
1	д	5,2	0,53	1	–
2	а	8,2	0,55	8	+
2	б	8,1	0,72	4	+
2	в	7,5	0,09	2	–
2	г	8,9	0,07	5	+
2	д	7,9	0,65	0	–
3	а	11,9	0,03	9	+
3	б	11,7	0,11	11	+
3	в	12,1	0,02	8	+
3	г	12,0	0,04	7	+
3	д	11,9	0,07	7	+

Примечание: \* «+» капли есть, «–» капель нет.

Наиболее эффективные огнезащитные композиции (1д и 2д) были использованы для пропиточной обработки смесовых и арселоновых тканей. Кроме того, дополнительно синтезировали состав, содержащий одновременно кальций и магний (1 + 2д) и нейтрализованный

смесью аммиака, гидроксида калия и карбоната натрия. В таблице 6 приведены показатели устойчивости к горению тканей различных видов, обработанных наиболее эффективными замедлителями горения.

**Таблица 6. – Устойчивость к горению огнезащищенных тканей различных видов**

Ткань	Огнезащитная композиция	Привес антипирена, %	Остаток антипирена после стирки, %	Время самостоятельного горения, с	Время тления, с	Наличие горящих капель*
Смесовая ткань (77 % ПЭФ, 23 % хлопок)	1д	7,6	0,74	Горит до кромки	0	–
	2д	10,7	2,15	–/–	0	–
	1 + 2д	6,7	0,23	–/–	0	–
Смесовая ткань (49 % ПЭФ, 51 % хлопок)	1д	8,7	0,11	–/–	0	–
	2д	6,9	0,03	–/–	0	–
	1 + 2д	11,1	1,62	–/–	0	–
Арселон САК 100 %	1д	14,2	0,61	5	12	–
	2д	12,6	0,85	2	3	–
	1 + 2д	18,3	0,89	0	0	–

Примечание: \* «+» капли есть, «–» капель нет.

Данные, представленные в таблице 6, свидетельствуют о том, что образцы смесовых тканей при обработке металлсодержащими синтетическими антипиренами в одну стадию не проявили устойчивости к горению, хотя эффект огнезащиты проявил себя в отсутствии тления и горящих капель, в то время как образцы оксодиазольной ткани показали высокую стойкость к горению, при этом наилучшую огнезащитную эффективность обеспечивала композиция, содержащая одновременно кальций и магний. Огнезащитную эффективность данного состава проверили по отношению к полиэфирной ткани и установили, что этот материал также обладает высокой устойчивостью к горению.

Следовательно, для дальнейших исследований с целью получения огнестойких текстильных материалов для защитной одежды целесообразно использовать полиэфирные или арселоновые ткани, а в качестве замедлителя горения при пропиточной обработке применять композицию, синтезированную из связок, содержащих совместно соединения Mg и Ca, нейтрализованную смесью растворов аммиака, гидроксида калия и карбоната натрия в массовом соотношении 1 : 1 : 1.

Для проверки предположения о химическом закреплении компонентов замедлителя горения в синтетической текстильной матрице методом рентгенофлюоресцентной спектроскопии был проведен элементный анализ полиэфирной ткани, огнезащищенной данным составом (табл. 7).

**Таблица 7. – Содержание компонентов замедлителя горения в огнезащищенной полиэфирной ткани, подвергнутой стирке**

Компоненты	Al*	Si*	P	S	Ti*	Mn*	Mg	Ca
Содержание в исходном полиэфирном материале, %	0,042	0,035	0,000	0,000	1,106	0,087	0,000	0,012
Содержание в огнезащищенном образце после стирки, %	0,064	0,038	0,103	0,111	0,383	0,039	2,2	0,038

Примечание: \* Al, Si, Ti и Mn являются техническими добавками при производстве полиэфирных волокон и тканей.

Результаты анализа показали, что в подвергнутой стирке огнезащищенной полиэфирной ткани присутствуют фосфор, магний, кальций, отсутствующие в исходном материале, что косвенно свидетельствует о химическом взаимодействии компонентов замедлителя горения с полимерной матрицей, поскольку те же элементы при модификации текстильных изделий другими неорганическими композициями азотфосфорсодержащих замедлителей горения в материале не обнаруживаются.

## Заключение

Разработаны рецептуры и способы синтеза новых синтетических азотфосфорсодержащих неорганических замедлителей горения, модифицированных соединениями многовалентных металлов для пропиточной огнезащитной обработки текстильных материалов. Проведены испытания стабильности новых жидкостных замедлителей горения и их огнезащитной эффективности (а также ее устойчивости к стиркам) по отношению к полиэфирным, смесовым и арселоновым тканям. Установлено, что наиболее высокую огнезащитную эффективность по отношению к полиэфирной и арселоновой основе проявили составы, одновременно содержащие магний и кальций, нейтрализованные смесью растворов аммиака, гидроксида калия и соды в соотношении 1 : 1 : 1, 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 только композиции оптимального химического и фазового состава обеспечивают закрепление в текстильной матрице фосфора и азота – основных антипирлирующих агентов. Намечены направления дальнейших работ по совершенствованию состава пропиточных композиций по отношению к различным текстильным материалам.

Работа подготовлена в рамках выполнения заданий:

№ 2.1.07.01 «Разработка методов направленного синтеза фосфорсодержащих композиционных материалов (наноструктурированных, высокопористых) применимых в качестве замедлителей горения, термостойких материалов» государственной программы научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия», номер госрегистрации 20210514;

№ 3.2.1 «Разработать комплексные методы получения функциональных текстильных материалов для защитной одежды, обладающих огнестойкостью, электропроводностью, свето- и теплоотражающей способностью» государственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность общества и государства» (подпрограмма «Безопасность общества и государства»), номер госрегистрации 20211789.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богданова, В.В. Придание огнестойких и водонепроницаемых свойств термостойкой ткани «ОКСАЛОН» / В.В. Богданова [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–24 мая 2001 г. / БГУ; ред.: А.Н. Кудряшов [и др.]. – Минск: БГУ, 2001. – С. 194–195.
2. Дмитракович, Н.М. Термостойкие ткани для производства материала верха специальной одежды от повышенных тепловых воздействий / Н.М. Дмитракович, Ю.Г. Русецкий, В.И. Ольшанский // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 150-летию пожар. службы Респ. Беларусь, Минск, 23–25 июля 2003 г.: в 2 ч. / БГУ; ред.: А.Н. Кудряшов [и др.]. – Минск, 2003. – Ч. 2. – С. 82–83.
3. Кодолов, В.И. Замедлители горения полимерных материалов / В.И. Кодолов. – М.: Химия, 1980. – 274 с.
4. Богданова, В.В. Устойчивая к стиркам огнезащитная отделка термостойкого волокна арселон / В.В. Богданова [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 150-летию пожар. службы Респ. Беларусь, Минск, 23–25 июля 2003 г.: в 2 ч. / НИИ пожар. безопасности и проблем чрезвычайн. ситуаций МЧС Респ. Беларусь; ред.: А.Н. Кудряшов [и др.]. – Минск, 2003. – Ч. 1. – С. 23–25.
5. Рева, О.В. Хемопривязка неорганических огнезащитных композиций к оксодиазольным материалам типа «арселон» / О.В. Рева, В.В. Богданова, А.Н. Назарович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям, Минск, 15–16 октября 2019 г.: в 2 ч. / НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси; ред.: Ю.С. Иванов [и др.]. – Минск, 2019. – Ч. 2. – С. 189–198.

6. Богданова, В.В. Разработка устойчивой к стиркам огнезащитной отделки волокна и ткани на основе оксодиазольного полимера / В.В. Богданова [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–8 июня 2007 г.: в 3 т. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь; ред.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Минск, 2007. – Т. 1. – С. 153–155.
7. Богданова, В.В. Синтез и физико-химические свойства фосфатов двух- и трехвалентных металлов-аммония / В.В. Богданова, О.И. Кобец // Журнал прикладной химии. – 2014. – Т. 87, вып. 10. – С. 1385–1399.
8. Антрапцева, Н.М. Исследование условий синтеза и физико-химических свойств двойных фосфатов цинка-кобальта: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.01 / Н.М. Антрапцева. – Киев, 1984. – 21 с.
9. Korösi, L. A layered titanium phosphate  $Ti_2O_3(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  with rectangular morphology: Synthesis, structure, and cysteamine intercalation. / L. Kőrösi, S. Papp, I. Dékány // Chem. Mater. – 2010. – Vol. 22, Iss. 15. – P. 4356–4363. DOI: 10.1021/cm9034159.
10. Maslova, M.V. Comparison of The Sorption Kinetics of Lead(II) and Zinc(II) on Titanium Phosphate Ion-Exchanger / M.V. Maslova [et al.] // International Journal of Molecular Sciences – 2020. – Vol. 21, Iss. 2. – Article 447. DOI: 10.3390/ijms21020447.
11. Чудинова, Н.Н. Двойные фосфаты аммония-галлия / Н.Н. Чудинова, И. Грунце, Л.С. Гузеева // Изв. АН СССР. Неорган. матер. – 1987. – Т. 23, № 4. – С. 616–621.
12. Liu, Y.H. Magnesium ammonium phosphate formation, recovery and its application as valuable resources: a review / Y.H. Liu, S. Kumar, J.-H. Kwag, C.S. Ra // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2013. – Vol. 88, Iss. 2. – P. 181–189. DOI: 10.1002/jctb.3936.
13. Pujana, A Synthesis, crystal structure and magnetic properties of  $NH_4CuPO_4 \cdot H_2O$  / A. Pujana [et al.] // Journal of Materials Chemistry. – 1998. – Vol. 8, No. 4. – P. 1055–1060. DOI: 10.1039/A708238J.
14. Touaiher, M. Syntesis and structure of  $NH_4CoPO_4 \cdot 6H_2O$  / M. Touaiher [et al.] // Annales de chimie science des materiaux. – 2001. – Vol. 26, No. 3. – Pp. 49–54. DOI: 10.1016/S0151-9107(01)80060-X.
15. Holdsworth, A.F. Low-Temperature Continuous Flow Synthesis of Metal Ammonium Phosphates / A.F. Holdsworth [et al.] // Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8. – Article 13547. DOI: 10.1038/s41598-018-31694-x.
16. Горбовский, К.Г. Исследование влияния примесей на кинетику термического разложения минеральных удобрений на основе  $(NH_4)_2HPO_4$  в собственной атмосфере / К.Г. Горбовский [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2018. – Т. 91, вып. 7. – С. 913–924. DOI: 10.1134/S0044461818070010.
17. Асеева, Р.М. Горение полимерных материалов / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. – М.: Наука, 1981. – 280 с.
18. Антрапцева, Н.М. Изучение взаимодействия смеси растворов сульфатов цинка и кобальта с двухзамещенным фосфатом аммония / Н.М. Антрапцева, Л.Н. Щегров // Журнал неорган. химии. – 1983. – Т. 28, вып. 10. – С. 2523–2528.
19. Тураев, З. Исследование взаимодействия сульфатов меди, цинка и кобальта с монокальций-фосфатом при 30 и 80 °С / З. Тураев [и др.] // Universum: Химия и биология: электрон. научн. журн. – 2020. – № 1 (67). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/8611> – Дата доступа: 21.09.2021.
20. Комиссарова, Л.Н. Сложные фосфаты одно- и трехвалентных катионов / Л.Н. Комиссарова, М.Г. Жижин, А.А. Филаретов // Успехи химии. – 2002. – Т. 71, № 8. – С. 707–740. DOI: 10.1070/RC2002v071n08ABEH000728.
21. Ещенко, Л.С. Взаимодействие в системе соль железа (III) – фосфорная кислота – мочевины – вода / Л.С. Ещенко [и др.] // Журнал неорган. химии. – 1982. – Т. 27, вып. 3. – С. 802–804.
22. Сычев, М.М. Неорганические клеи / М.М. Сычев; 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Химия, 1986. – 152 с.
23. Leong, Y.K. Metal ions solubility in plant phosphoric acid: degree of ammonia neutralization and temperature effects. / Y.K. Leong [et al.] // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2008. – Vol. 47, Iss. 5. – P. 1380–1385. DOI: 10.1021/ie071099m.
24. Campbell, G.R. Ammonium phosphate slurry rheology and particle properties–The influence of Fe(III) and Al(III) impurities, solid concentration and degree of neutralization / G.R. Campbell [et al.] // Chemical Engineering Science. – 2006. – Vol. 61, Iss. 17. – P. 5856–5866. DOI: 10.1016/j.ces.2006.05.010.

**Синтез и исследование огнезащитных свойств новых металлофосфатных замедлителей горения для текстильных материалов, используемых в защитной одежде**

**Synthesis and investigation the flame-retardant properties of new metallophosphate burning retardants for textile materials used in protective clothing**

**Рева Ольга Владимировна**

кандидат химических наук, доцент

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

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

Email: volha107@rambler.ru

ORCID: 0000-0003-4006-8678

**Olga V. Reva**

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of the processes of combustion and explosion, Professor

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

Email: volha107@rambler.ru

ORCID: 0000-0003-4006-8678

**Богданова Валентина Владимировна**

доктор химических наук, профессор

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», лаборатория огнетушащих материалов, заведующий лабораторией

Адрес: ул. Ленинградская, 14,  
220006, г. Минск, Беларусь

Email: bogdanova@bsu.by

ORCID: 0000-0002-8557-9925

**Valentina V. Bogdanova**

Grand PhD in Chemistry Sciences, Professor

Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, Laboratory of Fire Extinguishing Materials, Head of the Laboratory

Address: Leningradskaya str., 14,  
220006, Minsk, Belarus

Email: bogdanova@bsu.by

ORCID: 0000-0002-8557-9925

**Шукело Зоя Витальевна**

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», лаборатория огнетушащих материалов, ведущий химик

Адрес: ул. Ленинградская, 14,  
220006, г. Минск, Беларусь

**Shukelo Z. Vitalievna**

Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, Laboratory of Fire Extinguishing Materials, Leading Chemist

Address: Leningradskaya str., 14,  
220006, Minsk, Belarus

**Назарович Андрей Николаевич**

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

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

Email: nazarovich.andry@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2547-4806

**Andrei N. Nazarovich**

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

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

Email: nazarovich.andry@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2547-4806

**Кобец Ольга Игоревна**

кандидат химических наук

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», лаборатория огнетушащих материалов, ведущий научный сотрудник

Адрес: ул. Ленинградская, 14,  
220006, г. Минск, Беларусь

Email: kobetsoi@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6702-7430

**Olga I. Kobets**

PhD in Chemical Sciences

Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, Laboratory of Fire Extinguishing Materials, Leading Researcher

Address: Leningradskaya str., 14,  
220006, Minsk, Belarus

Email: kobetsoi@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6702-7430



DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.402>

## SYNTHESIS AND INVESTIGATION THE FLAME-RETARDANT PROPERTIES OF NEW METALLOPHOSPHATE BURNING RETARDANTS FOR TEXTILE MATERIALS USED IN PROTECTIVE CLOTHING

**Reva O.V., Bogdanova V.V., Shukelo Z.V., Nazarovich A.N., Kobets O.I.**

*Purpose.* To develop the compounds and synthesis conditions for compositions, based on ammonium phosphates of multivalent metals with high flame-retardant efficiency in relation to polyester and oxodiazole textile materials.

*Methods.* To obtain ammonium metallophosphates, a sol-gel method of synthesis from solutions was used, which allows to obtain the products with high degree of dispersion and to regulate the structure of the resulting salts. The phase and chemical composition of the obtained products was determined using X-ray fluorescence spectroscopy on an Epsilon 1 PANalytical device. Determination of the fire protection level the fabrics, impregnated with flame retardant, was carried out according to STB 11.03.02-2011.

*Findings.* Conditions of production the synthetic flame retardants, based on phosphates of two- and three-valent metals-ammonium with regulated properties, depending on the synthesis conditions have been developed. Stability tests of new liquid combustion retardants and their flame-retardant efficiency (as well as its resistance to washing) in relation to polyester, mixed and oxodiazole fabrics have been carried out. The factors determining their flame-retardant effectiveness in relation to textile materials of various nature used for protective clothing were identified. It was found that the highest flame-retardant efficiency in relation to polyester and oxodiazole bases was shown by compositions simultaneously containing magnesium and calcium, neutralized by a mixture of solutions of ammonia, potassium hydroxide and sodium carbonate in a ratio of 1 : 1 : 1; consisting of  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  with an amorphous phase. It has been proved that only variants of bonding of optimal chemical and phase composition ensure the fixation of phosphorus and nitrogen, the main burning protection agents, in the textile matrix.

*Application field of research.* Production of effective non-toxic inorganic fire retardants and fire-resistant textile materials from synthetic fibers that are modified by these retardants.

*Keywords:* combustion retardants, textile materials, polyester and oxodiazole fabrics, ammonium metal phosphates, flame retardant properties.

(The date of submitting: October 26, 2021)

### REFERENCES

1. Bogdanova V.V., Shukelo Z.V., Rusetsky Yu.G., Stepantseva N.I. Pridanie ognestoykikh i vodonepronitsaemykh svoystv termostoykoy tkani «OKSALON» [Imparting fire-resistant and waterproof properties of heat-resistant fabric «OXALON»]. *Proc. Intern. scientific-practical conf. «Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya», Minsk, May 22–24.* Minsk: BSU, 2001. Pp. 194–195. (rus)
2. Dmitrakovich N.M., Rusetsky Yu.G., Olshansky V.I. Termostoykie tkani dlya proizvodstva materiala verkha spetsial'noy odezhdy ot povyshennykh teplovykh vozdeystviy [Heat-resistant fabrics for the production of the upper material of special clothing protecting from increased thermal effects]. *Proc. II Intern. scientific-practical conf. dedicated to the 150th anniversary of the Fire Service of the Republic of Belarus «Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya», Minsk, July 23–25.* In 2 parts. Minsk: BSU, 2003. Part 2. Pp. 82–83. (rus)
3. Kodolov V.I. *Zamedliteli goreniya polimernykh materialov [Fire retardants for polymer materials].* Moscow: Chemistry, 1980. 274 p. (rus)
4. Bogdanova V.V., Shukelo Z.V., Rusetsky Yu.G., Stepantseva N.I. Ustoychivaya k stirkam ognezashchitnaya otdelka termostoykogo volokna arselon [Wash-resistant flame-retardant finish of heat-resistant fiber arselon]. *Proc. II Intern. scientific-practical conf. dedicated to the 150th anniversary of the Fire Service of the Republic of Belarus «Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya», Minsk, July 23–25.* In 2 parts. Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the MES of Belarus. Minsk, 2003. Part 1. Pp. 23–25. (rus)
5. Reva O.V., Bogdanova V.V., Nazarovich A.N. Khemoprivyazka neorganicheskikh ognezashchitnykh kompozitsiy k oksodiazol'nym materialam tipa «arselon» [Chemo-binding of inorganic fire-protective compositions to oxodiazole materials of the «arselon» type]. *Proc. VIII Intern. scientific-practical conf.*

- dedicated to the 20th anniversary of the bodies and departments of emergency situations «Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya», Minsk, October 15–16. In 2 parts. Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the MES of Belarus. Minsk, 2019. Part 1. Pp. 189–198. (rus)*
6. Bogdanova V.V., Shukelo Z.V., Radkevich L.V., Nikityuk A.F. Razrabotka ustoychivoy k stirkam ogneshchitnoy otdelki volokna i tkani na osnove oksodiazol'nogo polimera [Development of a wash-resistant flame-retardant fiber and fabric finish based on an oxodiazole polymer]. *Proc. IV Intern. scientific-practical conf. «Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya», Minsk, June 6–8. In 3 parts. Research Institute of Fire Safety and Emergencies of the MES of Belarus. Minsk, 2007. Part 1. Pp. 153–155. (rus)*
  7. Bogdanova V.V., Kobets O.I. Synthesis and physicochemical properties of Di- and trivalent metal-ammonium phosphates]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014. Vol. 87, No. 10. Pp. 1387–1401. DOI: 10.1134/S1070427214100012.
  8. Anthrap'tseva N.M. Issledovanie usloviy sinteza i fiziko-khimicheskikh svoystv dvoynykh fosfatov tsinka-kobal'ta [Investigation of synthesis conditions and physicochemical properties of double zinc-cobalt phosphates]. PhD in chemical sci. diss. Synopsis: 02.00.01. Kiev, 1984. 21 p. (rus)
  9. Korösi L., Papp S., Dékány I. A layered titanium phosphate  $Ti_2O_3(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$  with rectangular morphology: Synthesis, structure, and cysteamine intercalation. *Chemistry of Materials*, 2010. Vol. 22, Iss. 15. Pp. 4356–4363. DOI: 10.1021/cm9034159.
  10. Maslova M.V., Ivanenko V.I., Yanicheva N.Yu., Mudruk N.V. Comparison of The Sorption Kinetics of Lead(II) and Zinc(II) on Titanium Phosphate Ion-Exchanger. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020. Vol. 21, Iss. 2. Article 447. DOI: 10.3390/ijms21020447.
  11. Chudinova N.N., Gruntse I., Guzeeva L.S. Dvoynye fosfaty ammoniya-galliya [Double ammonium-gallium phosphates]. *Izvestiya akademii nauk SSSR. Neorganicheskie materialy*, 1987. Vol. 23, No. 4. Pp. 616–621. (rus)
  12. Liu Y.H., Kumar S., Kwag J.-H., Ra C.S. Magnesium ammonium phosphate formation, recovery and its application as valuable resources: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2013. Vol. 88, No. 2. Pp. 181–189. DOI: 10.1002/jctb.3936.
  13. Pujana A, Pizarro J.L., Lezama L., Goñi A., Arriortua M.I., Rojo T. Synthesis, crystal structure and magnetic properties of  $NH_4CuPO_4 \cdot H_2O$ . *Journal of Materials Chemistry*, 1998. Vol. 8, No. 4. Pp. 1055–1060. DOI: 10.1039/A708238J.
  14. Touaiher M., Bettach M., Benkhoucha K., Zahir Md.H. Syntesis and structure of  $NH_4CoPO_4 \cdot 6H_2O$ . *Chemistry. Annales De Chimie-science Des Materiaux*, 2001. Vol. 26, No. 3. Pp. 49–54. DOI: 10.1016/S0151-9107(01)80060-X.
  15. Holdsworth A.F., Eccles H., Halman A.M., Mao R., Bond G. Low-Temperature Continuous Flow Synthesis of Metal Ammonium Phosphates. *Scientific Reports*, 2018. Vol. 8. Article 13547. DOI: 10.1038/s41598-018-31694-x.
  16. Gorbovskiy K.G., Kazakov A.I., Norov A.M., Mikhaylichenko A.I. Effect of Impurities on Thermal Decomposition Kinetics of Mineral Fertilizers Based on  $(NH_4)_2HPO_4$  in Self-Generated Atmosphere. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2018. Vol. 91, Iss. 7. Pp. 1057–1067. (rus) DOI: 10.1134/S1070427218070017.
  17. Aseeva R.M., Zaikov G. E. *Gorenie polimernykh materialov [Combustion of polymeric materials]*. Moscow: Nauka, 1981. 280 p. (rus)
  18. Antraptseva N.M., Shchegrov L.N. Izuchenie vzaimodeystviya smesi rastvorov sul'fatov tsinka i kobal'ta s dvukhzameshchennym fosfatom ammoniya [Studying the interaction of a mixture of solutions of zinc and cobalt sulfates with two-substituted ammonium phosphate]. *Zhurnal neorganicheskoi khimii*, 1983. Vol. 28, Iss. 10. Pp. 2523–2528. (rus)
  19. Turaev Z. Shamshidinov I.T., Usmanov I.I. Mamadaliev Sh.M. Issledovanie vzaimodeystviya sul'fatov medi, tsinka i kobal'ta s monokal'tsiy-fosfatom pri 30 i 80 °C [Study of the interaction of copper, zinc and cobalt sulfates with monocalcium phosphate at 30 and 80°C]. *Universum: Khimiya i biologiya*, 2020. Vol. 1, No. 67. Available at: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/8611> (accessed: September 21, 2021). (rus)
  20. Komissarova L.N. Zhizhin M.G., Filaretov A.A. Slozhnye fosfaty odno- i trekhvalentnykh kationov [Complex phosphates containing mono- and trivalent cations]. *Russian Chemical Reviews*, 2002. Vol. 71, No. 8. Pp. 707–740. (rus). DOI: 10.1070/RC2002v071n08ABEH000728.

21. Eshchenko L.S., Pechkovskiy V.V., Prodan I.E., Militsina N.B. Vzaimodeystvie v sisteme sol' zheleza (III) – fosfornaya kislota – mochevina – voda [Interaction in the system of iron salt (III) – phosphoric acid – urea – water]. *Zhurnal neorganicheskoi khimii*, 1982. Vol. 27, Iss. 3. Pp. 802–804. (rus)
22. Sychev M.M. *Neorganicheskie klei [Inorganic adhesives]*. Leningrad: Khimiya, 1986. 152 p. (rus)
23. Leong Y.K., Sganzerla M., Berndt C.C., Campbell G.R. Metal ions solubility in plant phosphoric acid: degree of ammonia neutralization and temperature effects. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2008. Vol. 47, Iss. 5. Pp. 1380–1385. DOI: 10.1021/ie071099m.
24. Campbell G.R., Leong Y.K., Berndt C.C., Liow J.L. Ammonium phosphate slurry rheology and particle properties – The influence of Fe(III) and Al(III) impurities, solid concentration and degree of neutralization. *Chemical Engineering Science*, 2006. Vol. 61, No. 17. Pp. 5856–5866. DOI: 10.1016/j.ces.2006.05.010.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.418>

УДК 614.256

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ОГНЕЗАЩИЩЕННЫХ ТКАНЕВЫХ МАТЕРИАЛАХ

Латушкина С.Д., Посылкина О.И., Артемчик А.Г.

*Цель.* Изучение особенностей формирования металлопокрытий методом магнетронного распыления с целью повышения огнезащитных свойств тканевых материалов.

*Методы.* Элементный состав образцов исследовался методом рентгенофлуоресцентного анализа, изучение морфологии поверхности образцов осуществлялось с использованием растровой электронной микроскопии. Триботехнические испытания проводили на трибометре JLTВ-02.

*Результаты.* Установлены технологические особенности формирования металлизированных слоев с использованием системы несбалансированного магнетрона на текстильных материалах с предварительной химической обработкой. Исследованы морфология поверхности и физико-механические свойства покрытий (адгезионная прочность, коэффициент трения). Определено оптимальное значение мощности магнетронного разряда для обеспечения удовлетворительной адгезионной прочности покрытий на тканевых материалах с химической пропиткой.

*Область применения исследований.* Представленные результаты исследований могут быть использованы при изготовлении огнезащитной спецодежды, необходимой для спасателей-пожарных, а также для работников нефтегазовой отрасли, сварщиков, металлургов и военных.

*Ключевые слова:* магнетронное распыление, металлическое покрытие, тканевый материал, структура, адгезия, коэффициент трения.

(Поступила в редакцию 29 октября 2021 г.)

### Введение

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам создания текстильных материалов с комплексом заданных свойств, которые необходимы для создания спецодежды. Применение огнестойкой спецодежды требуется на большинстве рабочих мест, где присутствует потенциальная опасность возникновения пожара, взрыва, ожогов при контакте с расплавленным металлом. Огнезащитная спецодежда необходима для пожарных и спасателей, а также для работников нефтегазовой отрасли, сварщиков, металлургов и военных. Огнезащитная специальная одежда и средства индивидуальной защиты играют важную роль в снижении травматизма на производстве и сохранении жизни, здоровья и трудоспособности работающих. Поэтому проблема снижения горючести и расширения ассортимента огнезащитных текстильных материалов является актуальной [1–4].

В настоящее время в современной промышленности материалы с металлическими покрытиями приобретают большое практическое значение. Применение металлизации текстильных материалов для защитной одежды позволит повысить такие их функциональные свойства, как огнестойкость, свето- и теплоотражающая способность и др.

В настоящее время одним из прогрессивных методов получения металлических покрытий, широко применяющихся в различных отраслях промышленности, является вакуумная металлизация [5; 6]. Технология вакуумных покрытий позволяет наносить металлы, сплавы, окислы и другие соединения не только на металлическую основу, но и на стекло, пластмассу, керамику, фарфор, ткани, бумагу, пленочные материалы. По своим качествам вакуумные покрытия не уступают покрытиям, получаемым термодиффузией, лужением

и гальваническим методом, а по многим показателям превосходят последние. Внедрение вакуумной металлизации дает большой экономический эффект, позволяет резко сократить или полностью исключить применение остродефицитных и драгоценных металлов.

Метод магнетронного распыления как способ вакуумной металлизации является перспективным для металлизации текстильных материалов и позволяет наносить на ткани тонкие пленки меди, алюминия, титана, латуни, серебра, нержавеющей стали, бронзы, других металлов и их сплавов, а также соединения некоторых металлов с кислородом или азотом [7; 8]. Метод, основанный на использовании аномального тлеющего разряда в инертном газе с наложением на него кольцеобразной зоны скрещенных неоднородных электрического и магнитного полей, позволяет достаточно тонко регулировать толщину металлического слоя, а значит, и его структуру, что важно при создании покрытий с определенными функциональными свойствами.

Также необходимо отметить, что данный метод является экологически безопасным, т. к. отсутствует необходимость в применении каких-либо химических материалов и практически не загрязняет окружающую среду. Оборудование не требует наличия специальных инженерных коммуникаций: станций очистки сточных вод, парогенераторов и паропроводов, химических станций и т.п.

### Основная часть

**Методика эксперимента.** Покрытия были получены с использованием системы магнетронного распыления несбалансированного типа на установке ВУ-1А.

Предварительная очистка образцов проводилась при малых токах магнетрона и потенциале смещения  $U = 1000$  В в среде аргона в течение  $t = 30$  с. Осаждение покрытий проводилось при следующих параметрах работы магнетрона:  $P = 1,2-2,0$  кВт,  $I = 4,5$  А,  $U = 360$  В, время осаждения составляло 30 мин. Вакуумная откачка проводилась до остаточного давления атмосферы  $10^{-3}$  Па. Для распыления использовались мишени на основе алюминия марки А99 (ГОСТ 4784-2019<sup>1</sup>) и латуни марки Л63 (ГОСТ 15527<sup>2</sup>). В качестве материала основы использовался арселон, обработанный составом КБ-мiх (Са, Sn, Fe, гипофосфит Na, ПЭГ), затем раствором фторопласта Ф-42. Толщина покрытий (алюминий, латунь) составляла  $2 \pm 0,01$  мкм.

Элементный состав образцов исследовали методом РФА на энергодисперсионном микроанализаторе Quantex 200 (Thermo Fisher Scientific, США). Исследование морфологии поверхности проводили на растровом электронном микроскопе S-4800 (Hitachi, Япония).

Для оценки адгезионной прочности покрытий, сформированных на тканевых материалах методом магнетронного распыления, использовалась методика измерения с использованием клейкой ленты с решетчатым надрезом<sup>3</sup>.

Триботехнические испытания проводили на трибометре JLTB-02 (J&L Tech Co., Корея) в отсутствие смазки, работающем по схеме «шар – диск». Материал шарика – сталь ШХ 15, твердость – 58...63 HRC, нагрузка на шарик – 1 Н, скорость вращения диска – 380 об/мин, время испытаний – 55 ч.

Выбор алюминия и латуни в качестве материала покрытий был обусловлен высокой отражательной способностью и термостойкостью данных материалов.

**Результаты исследования.** На первоначальном этапе в работе были проведены эксперименты по определению скорости осаждения покрытий от мощности электрического разряда магнетрона (рис. 1).

<sup>1</sup> Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки: ГОСТ 4784-2019. – Введ. 01.07.19. – М.: Стандартинформ, 2019. – 30 с.

<sup>2</sup> Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки: ГОСТ 15527-2004. – Введ. 01.07.05. – М.: Издательство стандартов, 2019. – 7 с.

<sup>3</sup> Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические, неорганические. Методы контроля. ГОСТ 9.302-88. – Введ. 01.01.90. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 38 с.

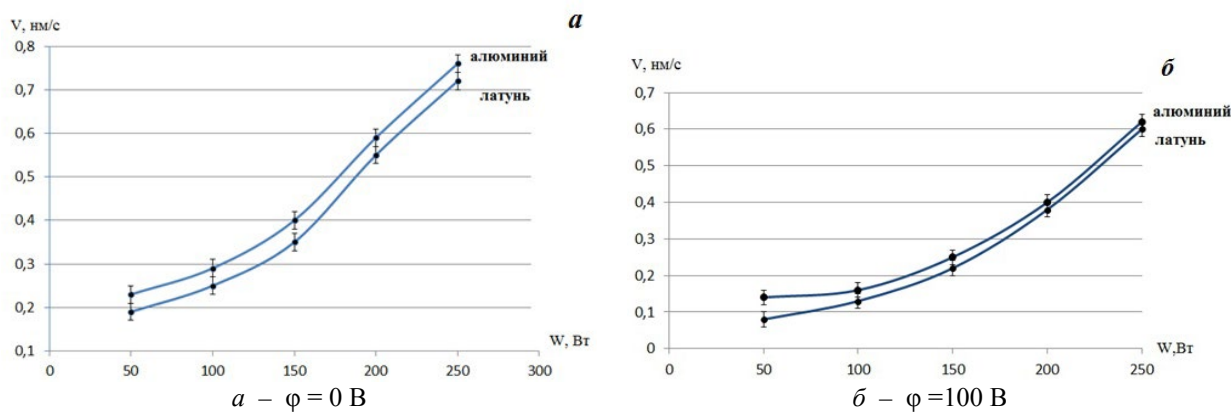


Рисунок 1. – Скорость осаждения покрытий в зависимости от мощности магнетрона при различных потенциалах смещения ( $\phi$ )

Анализ результатов исследований показал, что для обеспечения требуемой толщины осаждаемого слоя на защищаемой поверхности нецелесообразно подавать отрицательный потенциал смещения на основу, что позволяет предотвратить процесс реиспарения материала покрытия с защищаемой поверхности. Уменьшение толщины осаждаемого покрытия при даже минимальных значениях потенциала смещения обусловлено эффектом обратного рассеяния частиц от поверхности, по-видимому, вследствие невысокой массы атомов и ионов материала покрытий.

Так как в настоящей работе для повышения многофункциональности текстильных материалов проводилась комбинированная обработка (обработка в растворе, осаждение металлизированного слоя), возрастала актуальность контроля адгезионной прочности защитных металлизированных слоев. Для контроля технологических операций проводились исследования элементного состава и структуры образцов (рис. 2–5).

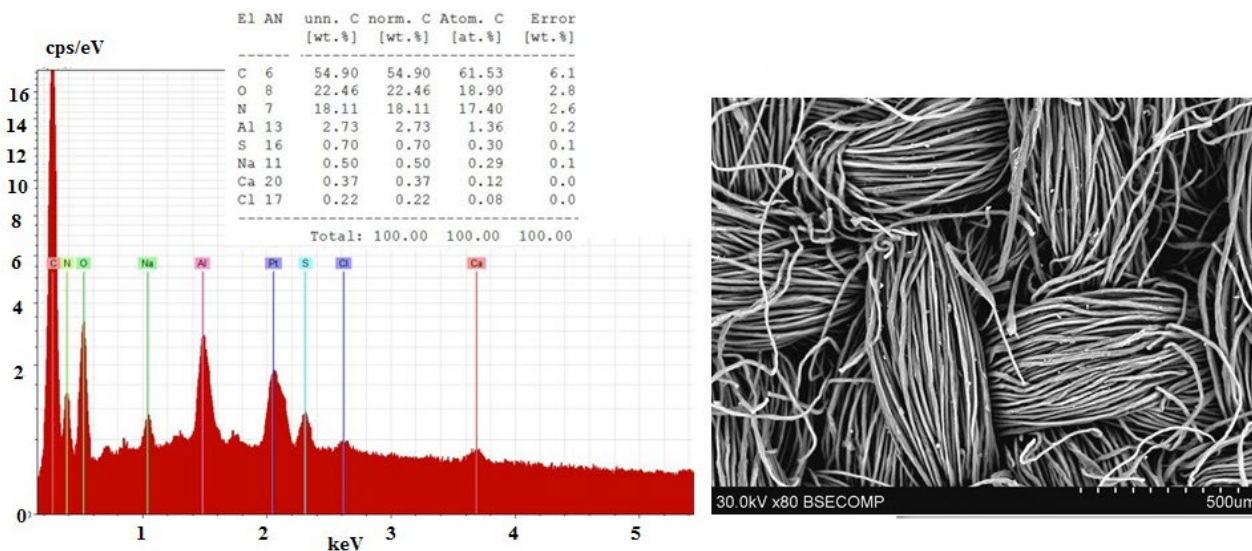


Рисунок 2. – Элементный анализ и структура исходного материала

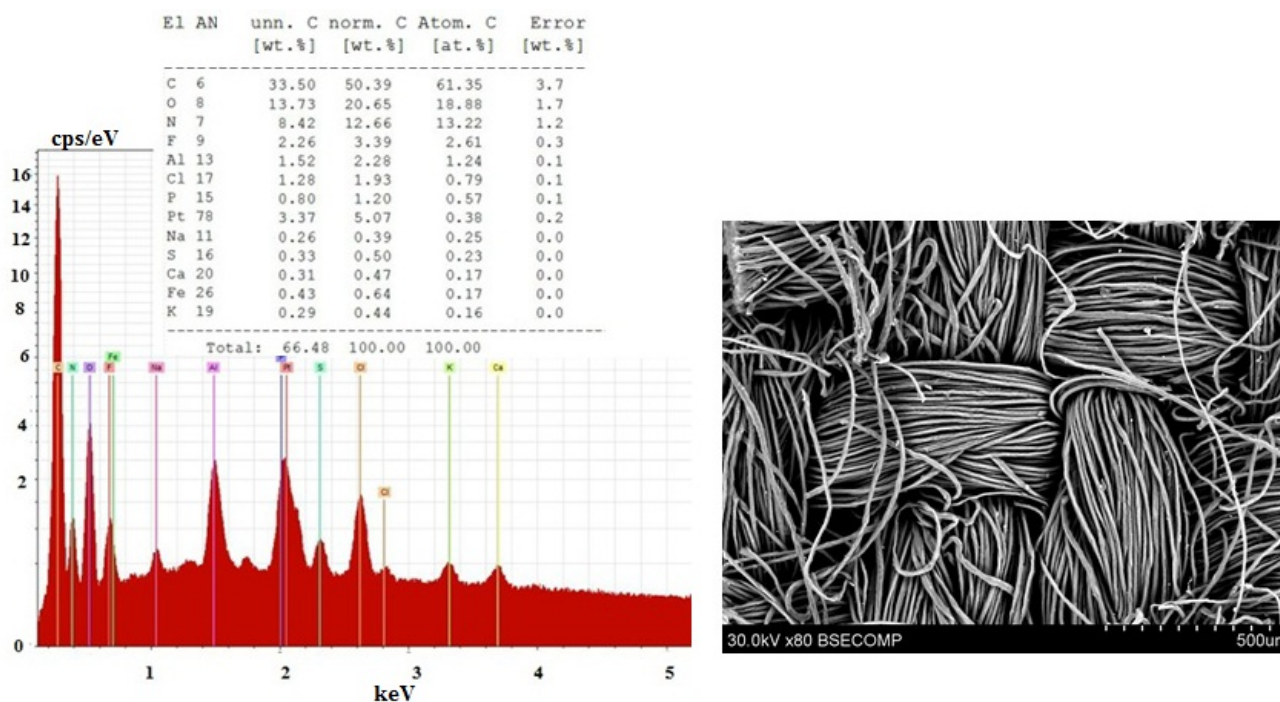


Рисунок 3. – Элементный анализ и структура материала с пропиткой

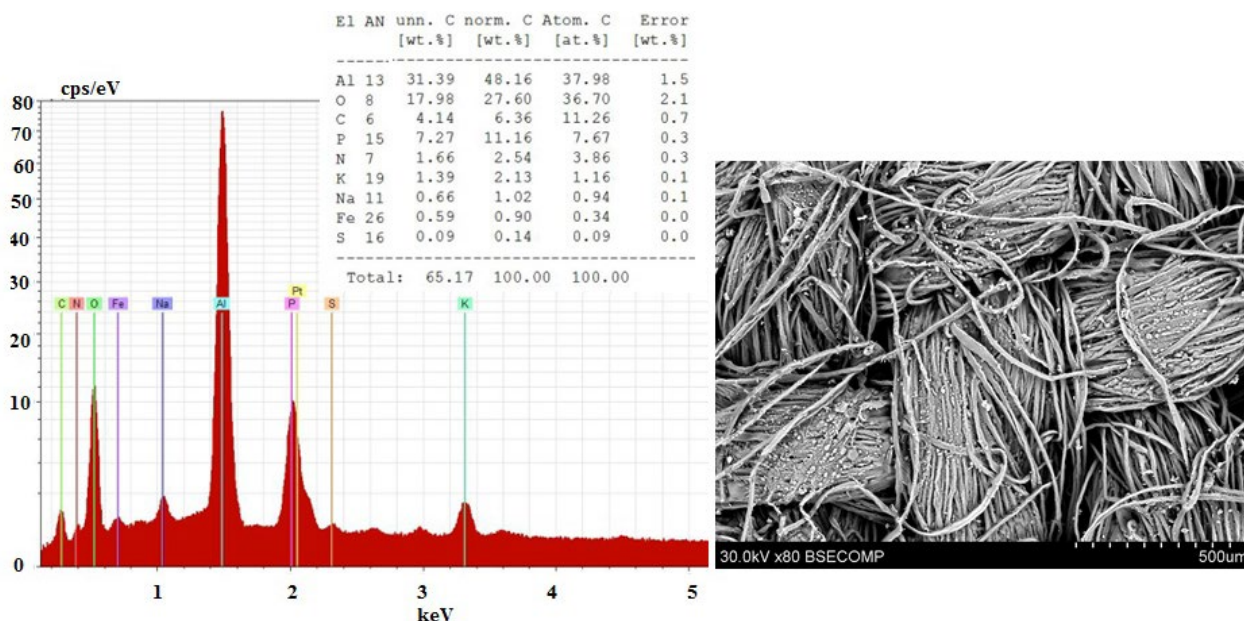


Рисунок 4. – Элементный анализ и структура материала с пропиткой и покрытием из алюминия

Анализ морфологии поверхности металлизированных слоев из алюминия и латуни на микроуровне показал, что при прочих равных условиях формирования покрытия из алюминия отличаются большей равномерностью и сплошностью. По-видимому, это обусловлено особенностями процесса магнетронного распыления алюминия, меди и цинка. Известно, что энергия ионизации алюминия ниже, чем энергия ионизации меди и цинка. Следовательно, в потоке частиц, вылетающих из распыляемой мишени, доля ионизированной составляющей будет выше при формировании покрытия из алюминия. В свою очередь, силовые линии магнитного поля несбалансированного магнетрона (рис. 6) обеспечивают высокую кинетическую энергию ионов, что повышает вероятность их осаждения на обрабатываемой поверхности.

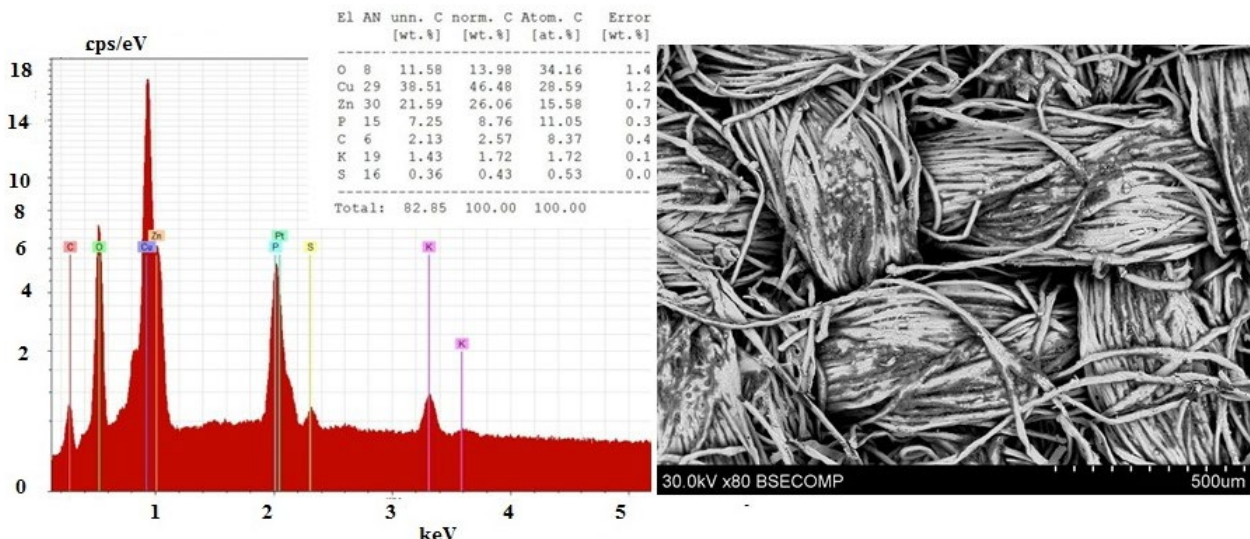


Рисунок 5. – Элементный анализ и структура материала с пропиткой и покрытием из латуни

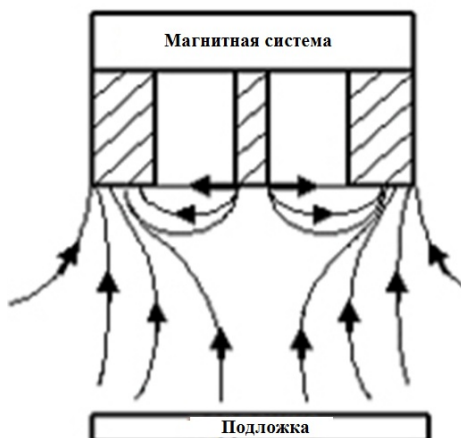


Рисунок 6. – Схема силовых линий магнитного поля несбалансированного магнетрона

Как показали эксперименты, мощность разряда магнетрона является важным технологическим параметром, определяющим адгезионную прочность покрытий. Согласно полученным результатам оптимальное значение данного технологического параметра составляет 1,8 кВт (рис. 7) как для распыления алюминиевой, так и латунной мишени. По-видимому, в этом случае обеспечивается достаточная степень ионизации потока частиц на подложку и не наблюдается процесс реиспарения материала покрытия и повышения дефектности слоев из-за избыточной энергии ионизированных атомов.

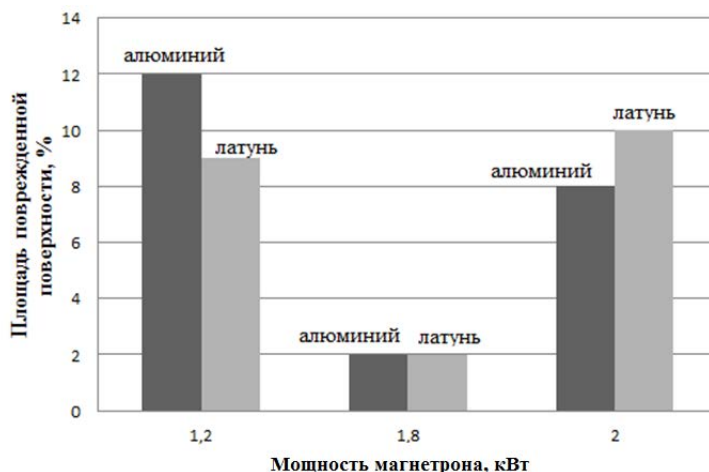


Рисунок 7. – Зависимость площади поврежденной поверхности покрытий при адгезионных испытаниях от мощности магнетронного разряда



Испытания показали, что коэффициент трения у алюминиевых и латунных покрытий практически одинаков по значению, но в случае латунного покрытия фиксируются значительные колебания значений, обусловленные выявленными ранее микронеровностями покрытия (рис. 8).

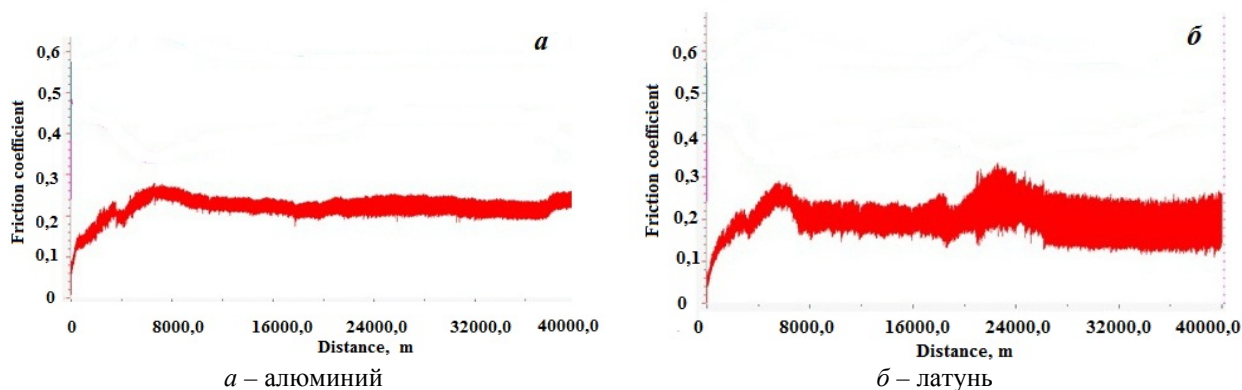


Рисунок 8. – Коэффициент трения покрытий из различных материалов

Однако при этом ширина дорожки трения на латунных покрытиях после прохождения индентором 40 000 м в 2,3 раза меньше, чем для алюминиевых покрытий, что свидетельствует об их более высокой износостойкости. Наблюдаемый эффект может быть связан с различным механизмом изнашивания таких покрытий вследствие их различного фазового состава и, соответственно, связей в кристаллической решетке.

### Заключение

Проведены исследования особенностей формирования алюминиевых и латунных покрытий методом магнетронного распыления на текстильных материалах с предварительной химической обработкой. Определены оптимальные значения мощности магнетронного разряда для обеспечения удовлетворительной адгезионной прочности таких покрытий. Проведена сравнительная оценка физико-механических свойств (коэффициент трения, износостойкость).

Работа подготовлена в рамках выполнения задания № 3.2.1 «Разработать комплексные методы получения функциональных текстильных материалов для защитной одежды, обладающих огнестойкостью, электропроводностью, свето- и теплоотражающей способностью» государственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность общества и государства» (подпрограмма «Безопасность общества и государства»), номер госрегистрации 20211789.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сабирзянова, Р.Н. Ассортимент и область применения огнестойких текстильных материалов / Р.Н. Сабирзянова, И.В. Красина // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 22. – С. 101–105.
2. Бобрышева, С.Н. Снижение горючести полимерных материалов / С.Н. Бобрышева, Д.Л. Подобед, Л.О. Кашлач // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2013. – Т. 8, № 2. – С. 51–57.
3. Сергеева, Е.А. Анализ ассортимента арамидных волокон и их свойства / Е.А. Сергеева, К.Д. Костина // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 14. – С. 124–125.
4. Коринтели, А.М. Исследование технологических ресурсов применения продуктов из арамидных волокон / А.М. Коринтели, И.В. Куренова // Современные научные исследования и разработки. – 2016. – № 6 (6). – С. 306–309.
5. Горберг, Б.Л. Модифицирование текстильных материалов нанесением нанопокровтий методом магнетронного ионно-плазменного распыления / Б.Л. Горберг [и др.] // Российский химический журнал. – 2011. – Т. 55 – № 3. – С. 7–13.

6. Берлин, Е.В. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок / Е.В. Берлин, С.А. Двинин, Л.А. Сейдман. – М.: Техносфера, 2007. – 176 с.
7. Musil, J. Pulsed DC magnetron discharge for high-rate sputtering of thin films / J. Musil, J. Lestina, J. Vlcek, T. Tolg // *Journal of Vacuum Science & Technology*. – 2001. – Vol. 19. – No. 2. – P. 420–424. DOI: 10.1116/1.1339018.
8. Alami, J. Plasma dynamics in a highly ionized pulsed magnetron discharge / J. Alami, J.T. Gudmundsson, J. Bohlmark, J. Birch, U. Helmersson // *Plasma Sources Science and Technology*. – 2005. – Vol. 14. – No. 3. – P. 525–531. DOI: 10.1088/0963-0252/14/3/015.

**Исследование особенностей формирования металлопокрытий методом магнетронного распыления на огнезащищенных тканевых материалах**

**Investigation of the features of the metal coatings formation by magnetron sputtering on fire-proof fabric materials**

***Латушкина Светлана Дмитриевна***

кандидат технических наук, доцент

Государственное научное учреждение  
«Физико-технический институт  
национальной академии наук Беларуси»,  
лаборатория вакуумно-плазменных покрытий,  
заведующий лабораторией

Адрес: ул. Купревича, 10,  
220141, г. Минск, Беларусь

Email: [latushkina@phti.by](mailto:latushkina@phti.by)

ORCID: 0000-0001-9409-5749

***Svetlana D. Latushkina***

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Scientific Institution  
«Physical-Technical Institute  
of the National Academy of Sciences of Belarus»,  
Laboratory of Vacuum-plasma Coatings,  
Head of the Laboratory

Address: Kuprevicha str., 10,  
220141, Minsk, Belarus

Email: [latushkina@phti.by](mailto:latushkina@phti.by)

ORCID: 0000-0001-9409-5749

***Посылкина Ольга Ивановна***

кандидат технических наук

Государственное научное учреждение  
«Физико-технический институт  
национальной академии наук Беларуси»,  
лаборатория вакуумно-плазменных покрытий,  
старший научный сотрудник

Адрес: ул. Купревича, 10,  
220141, г. Минск, Беларусь

Email: [ola-gapa@yandex.ru](mailto:ola-gapa@yandex.ru)

ORCID: 0000-0002-9104-9883

***Olga I. Posylkina***

PhD in Technical Sciences

State Scientific Institution  
«Physical-Technical Institute  
of the National Academy of Sciences of Belarus»,  
Laboratory of Vacuum-plasma Coatings,  
Senior Researcher

Address: Kuprevicha str., 10,  
220141, Minsk, Belarus

Email: [ola-gapa@yandex.ru](mailto:ola-gapa@yandex.ru)

ORCID: 0000-0002-9104-9883

***Артемичик Александр Григорьевич***

Государственное научное учреждение  
«Физико-технический институт  
национальной академии наук Беларуси»,  
лаборатория вакуумно-плазменных покрытий,  
научный сотрудник

Адрес: ул. Купревича, 10,  
220141, г. Минск, Беларусь

Email: [aleksandr.artiomchik@gmail.com](mailto:aleksandr.artiomchik@gmail.com)

***Aleksandr G. Artemchik***

State Scientific Institution

«Physical-Technical Institute  
of the National Academy of Sciences of Belarus»,  
Laboratory of Vacuum-plasma Coatings,  
Researcher

Address: Kuprevicha str., 10,  
220141, Minsk, Belarus

Email: [aleksandr.artiomchik@gmail.com](mailto:aleksandr.artiomchik@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.418>

## INVESTIGATION OF THE FEATURES OF THE METAL COATINGS FORMATION BY MAGNETRON SPUTTERING ON FIRE-PROOF FABRIC MATERIALS

**Latushkina S.D, Posylkina O.I., Artemchik A.G.**

*Purpose.* Study of the peculiarities of the formation of metal coatings by the method of magnetron sputtering in order to increase the fire-retardant properties of fabric materials.

*Methods.* The elemental composition of the samples was studied by X-ray fluorescence analysis, the morphology of the surface of the samples was studied using scanning electron microscopy. Tribotechnical tests were carried out on the JLTB-02 tribometer.

*Findings.* The technological features of the formation of metallized layers using an unbalanced magnetron system on textile materials with preliminary chemical treatment are established. The morphology of the surface, the physical and mechanical properties of the coatings (adhesive strength, coefficient of friction) are investigated. The optimal value of the magnetron discharge power has been determined to ensure satisfactory adhesive strength of coatings on fabric materials with chemical impregnation.

*Application field of the research.* The presented research results can be used in the manufacture of fire-resistant workwear necessary for rescuers-firefighters, as well as for oil and gas industry workers, welders, metallurgists and the military.

*Keywords:* magnetron sputtering, metal coating, fabric material, structure, adhesion, coefficient of friction.

(The date of submitting: October 29, 2021)

### REFERENCES

1. Sabirzyanova R.N., Krasina I.V. Assortiment i oblast' primeneniya ognestoykikh tekstil'nykh materialov [The range and scope of fire-resistant textile materials]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*, 2014. Vol. 17, No. 22. Pp. 101–105. (rus)
2. Bobrysheva S.N., Podobed D.L., Kashlach L.O. Snizhenie goryuchesti polimernykh materialov [Reducing the flammability of polymer materials]. *Chrezvychaynye situatsii: obrazovanie i nauka*, 2013. Vol. 8. No. 2. Pp. 51–58. (rus)
3. Sergeeva E.A., Kostina K.D. Analiz assortimenta aramidnykh volokon i ih svoystva [Analysis of the assortment of aramid fibers and their properties]. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*, 2015. Vol. 18. No. 14. Pp. 124–125. (rus)
4. Korinteli A.M., Kurenova I.V. Issledovanie tekhnologicheskikh resursov primeneniya produktov iz aramidnykh volokon [Research of technological resources for the use of aramid fiber products]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*, 2016. No. 6 (6). Pp. 306–309. (rus)
5. Gorberg B.L., Ivanov A.A., Mamontov O.V., Stegnin V.A., Titov V.A. Modifitsirovanie tekstil'nykh materialov naneseniem nanopokrytiy metodom magnetronnogo ionno-plazmennogo raspyleniya [Modification of textile materials by nanocoating by magnetron ion-plasma sputtering]. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal*, 2011. No 3. Pp. 7–13. (rus)
6. Berlin E.V., Dvinin S.A., Seydman L.A. *Vakuumnaya tekhnologiya i oborudovanie dlya nanoseniya i travleniya tonkikh plenok [Vacuum technology and equipment for applying and etching thin films]*. Moscow: Tekhnosfera, 2007. 176 p. (rus)
7. Musil J., Lestina J., Vlcek J., Tolg T. Pulsed DC magnetron discharge for high-rate sputtering of thin films. *Journal of Vacuum Science and Technology*, 2001. Vol. 19, No. 2. Pp. 420–424. DOI: 10.1116/1.1339018.
8. Alami J., Gudmundsson J.T., Bohlmark J., Birch J., Helmersson U. Plasma dynamics in a highly ionized pulsed magnetron discharge. *Plasma Sources Science and Technology*, 2005. Vol. 14, No. 3. Pp. 525–531. DOI: 10.1088/0963-0252/14/3/015.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.427>

УДК 624.131.1:551.252

## КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ЭКСТРЕМУМ» ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Сушев С.П., Малаева Н.С.

*Цель.* Актуализация информационного наполнения автоматизированной информационной управляющей системы (АИУС) единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) МЧС России для повышения надежности оценок сейсмического риска и оперативных оценок потерь от землетрясений в целях обеспечения безопасности населения.

*Методы.* Исследование влияния особенностей затухания сейсмической интенсивности на оценки потерь от землетрясений на территории Восточной Прибалтики проведено путем калибровки параметров макросейсмического поля и имитационного моделирования с помощью системы «Экстремум».

*Результаты.* Приводятся примеры успешного использования результатов калибровки макросейсмического поля для ретроспективной оценки последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. и прогноза последствий в случае более сильного события с  $M_{\max} = 5,0-5,5$  в Восточной Прибалтике. Получены приемлемые оценки погрешности моделирования на случай оперативной оценки потерь от сильных землетрясений. Показана эффективность периодической калибровки моделей системы «Экстремум» с использованием данных, собираемых средствами АИУС и полученных при исследованиях научных организаций Российской академии наук, в том числе Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН).

*Область применения исследований.* Полученные результаты имеют большое практическое значение и могут быть использованы при оценке сейсмического риска, а также при оперативной оценке последствий землетрясений для повышения надежности прогнозируемых параметров возможной обстановки, что влияет на скорость принятия решений и эффективность действий спасателей.

*Ключевые слова:* автоматизированная информационно-управляющая система, ГИС «Экстремум», надежность оперативных оценок потерь, Калининградское землетрясение, макросейсмическое поле.

(Поступила в редакцию 10 августа 2021 г.)

### Введение

Для повышения эффективности управления Национальный центр управления в кризисных ситуациях МЧС России внедряет АИУС, обеспечивающую значительное повышение качества принимаемых решений за счет роста оперативности прогноза параметров, которые всесторонне характеризуют возможную обстановку. Для прогноза используются методы математического моделирования и разнообразные параметры обстановки, среди которых есть показатель риска.

Одна из важнейших составных частей АИУС – подсистема оперативно-аналитической работы. Оценка параметров обстановки включена в состав функций этой подсистемы как основная. Она призвана обеспечить повышение эффективности управления силами и средствами РСЧС в процессе проведения спасательных операций, а также при планировании превентивных мероприятий.

Важной особенностью АИУС стали включенные в ее состав средства информационной интеграции, объединенные в рамках подсистемы межведомственного взаимодействия, функционирующей на основе протоколов и соглашений об информационном обмене. Формализация обмена и соответствующие программные средства позволяют пользователям в критических ситуациях оперативно получать от ведомств необходимые данные по каналам

информационно-коммуникационной сети, для того чтобы использовать их для оценки параметров обстановки и риска.

При оценке обстановки в зоне влияния опасного сейсмического события межведомственное взаимодействие организуется со службой срочных донесений (ССД) ФИЦ ЕГС РАН, предоставляющей данные о параметрах землетрясений.

Ранее выполненные исследования [1–4] позволили выявить факторы, влияющие на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений, и пути минимизации негативного влияния этих факторов. К наиболее значимым факторам отнесены погрешности в определении параметров землетрясений, предоставляемых ССД ФИЦ ЕГС РАН и сейсмологическими агентствами мира: координат эпицентра, глубины очага, магнитуды и ее типа. Кроме того, на надежность влияет использование обобщенных для больших территорий коэффициентов закона затухания макросейсмической интенсивности, построенного относительно магнитуды по поверхностной волне, которая часто не определяется в оперативном режиме по инструментальным данным, а пересчитывается из значений других типов магнитуд.

Условность математических зависимостей, используемых при вычислении степени повреждений зданий и сооружений, а также ущерба здоровью людей, вносит дополнительные погрешности в оценку возможных последствий. Для минимизации влияния перечисленных факторов авторами ранее была выполнена калибровка моделей с использованием баз данных о последствиях прошлых событий [5].

В статье приводится краткое описание структуры и функций АИУС, результатов изучения особенностей распространения сейсмического эффекта в Восточной Прибалтике, процедуры калибровки макросейсмического поля и результаты ретроспективного моделирования последствий Калининградского землетрясения 2004 г. с магнитудой  $M_s=4,3$  ( $m_b = 5,4$ ) и возможного более сильного события согласно карте зон ВОЗ с  $M_{max} = 5,0-5,5$  [6; 7]. Сравнение значений, полученных в результате наблюдения, и расчетных значений интенсивностей демонстрирует качество прогнозирования возможной обстановки в регионе на случай сильного землетрясения. Достигнутая точность прогноза обусловлена наличием и предоставлением ФИЦ ЕГС РАН калибровочной сейсмической информации. Калибровка сейсмической модели для этого района Восточной Прибалтики выполнена в рамках совместных исследований специалистами ФИЦ ЕГС РАН и лаборатории сейсмического риска Института геоэкологии РАН.

### Основная часть

**Краткое описание структуры АИУС и ее базы данных о событиях.** Обобщенная схема АИУС представлена на рисунке 1, где выделены шесть укрупненных функциональных блоков, хранилище данных и пользовательский интерфейс. Название блоков отражает их функциональность, которая дополнена описанием входной и выходной информации. В структуре выделена группа из трех основных блоков АИУС, среди которых программные средства, объединенные рубриками «Паспортизация», «Аналитика», «Оперативное управление».

Блок «Паспортизация» предназначен для сбора и обработки данных, необходимых для создания комплекта документов, называемых паспорт территории. Паспорт содержит:

- наименование и принадлежность объектов (территории);
- местоположение объектов, подлежащих инвентаризации;
- параметры источников опасности;
- параметры уязвимости элементов риска;
- информацию о наличии, размещении, а также готовности сил и средств, предназначенных для проведения превентивных мероприятий и спасательных операций.

Для сбора данных в процессе паспортизации территории используются средства веб-интерфейса, доступного местным (максимально приближенным к источнику информации) сотрудникам территориальных подсистем РСЧС. Выходной информацией в блоке «Паспортизация» является «Паспорт территории», который содержит информацию, позволяющую судить о соответствии уровня опасности совокупности и свойствам принятых мер, обеспечивающих приемлемый уровень риска.

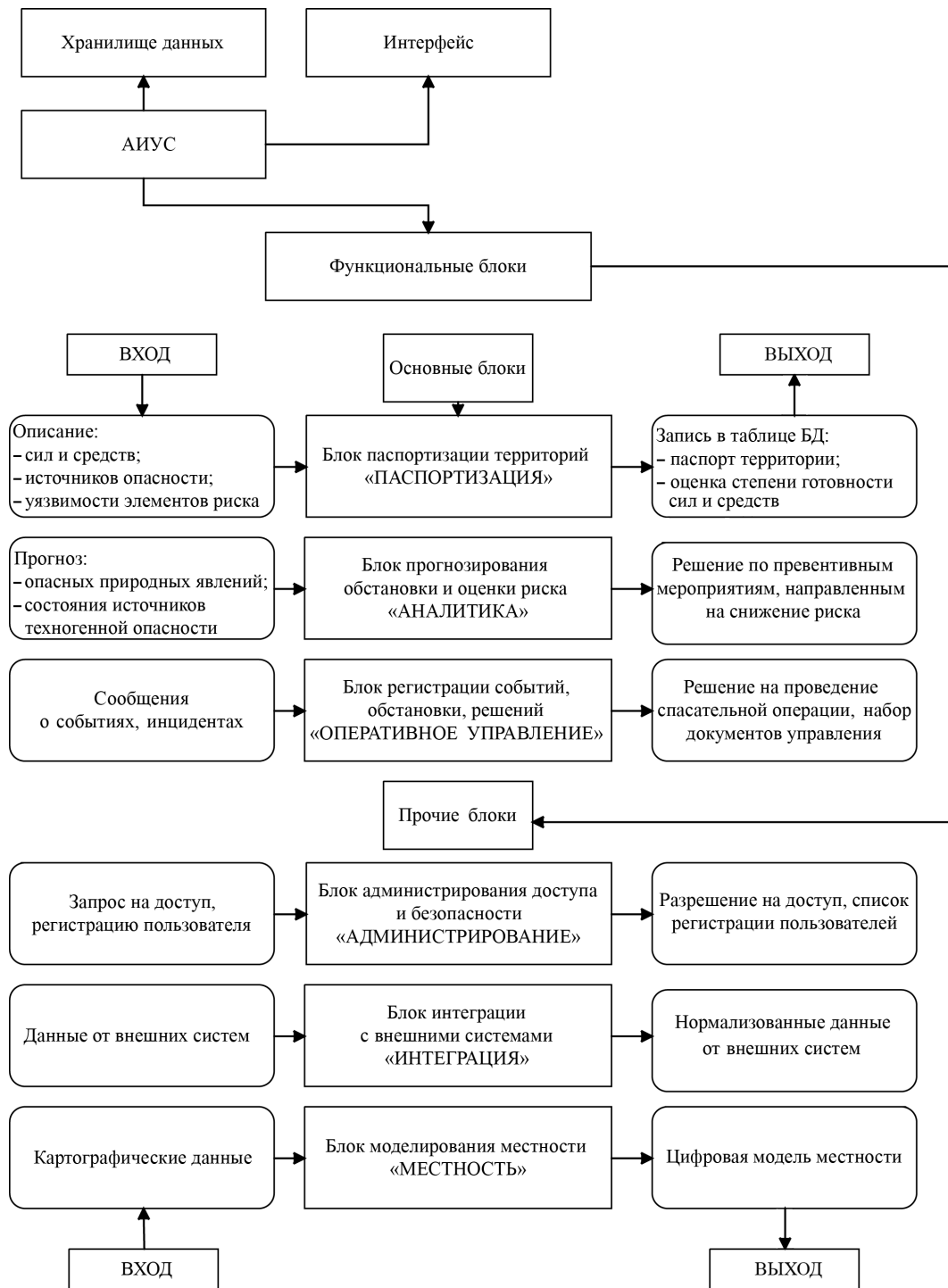


Рисунок 1. – Структура АИУС

Блок «Оперативное управление» предназначен для регистрации и квалификации событий, а также информационной поддержки процесса оперативного управления силами и средствами в рамках нормализации обстановки, возникающей по поводу событий, отнесенных к классу ЧС. На выходе этого блока формируется «Карточка события», включающая описание последствий ЧС, которая со временем может пополняться уточненными и новыми данными, и комплект документов, обеспечивающих управление силами и средствами во время проведения превентивных, спасательных и других неотложных мероприятий.

Блок «Аналитика» содержит математические модели основных видов опасных процессов, позволяющие прогнозировать возможную обстановку в зоне влияния события. Модели имеют специфику, обусловленную высокими требованиями к скорости реакции на

входные данные и обеспечению защиты результатов прогноза от возможных значительных погрешностей в исходных данных, возникающих при их оценке (измерении) и передаче.

Для обеспечения приемлемой точности результатов выполняется калибровка математических моделей блока «Аналитика», соответствующих месту землетрясения. На карте формируются области, для каждой из которых действует свой набор калибровочных параметров математических моделей. Калибровка в этом случае во многом повторяет процесс обучения систем искусственного интеллекта. После калибровки любая математическая модель, реализованная в виде расчетного программного модуля, на первом шаге определяет зону своей калибровки и считывает калибровочные значения параметров, привязанных к месту. После этого осуществляется расчет.

Все калибровочные параметры, привязанные к территориям и расчетным модулям, включены в состав хранилища АИУС. На рисунке 2 показана структура хранилища и место таблиц с калибровочными данными в этой структуре. Показаны три из четырех основных тематических разделов (раздел «Цифровая модель местности» не описывается) хранилища с описанием только сейсмических событий и зоны с устойчивыми значениями калибровочных параметров математических моделей. В полной версии хранилища представлены описания всех видов событий, квалифицированных как ЧС. Зоны формируются в процессе калибровки математических моделей на основе ранее собранных данных о событиях. Каждая зона отнесена к своей математической модели и характеризуется набором калибровочных параметров.



Рисунок 2. – Структура хранилища АИУС РСЧС

Следует отметить, что описание сейсмических событий имеет некоторые особенности, которые важны для понимания примеров применения результатов калибровки математической модели, используемой для вычисления возможных значений сейсмической интенсивности.

К структурированному описанию сейсмического события могут быть прикреплены различные материалы в виде карт, таблиц, фото и других документов. Непосредственно



в процессе калибровки математической модели, используемой для прогноза затухания сейсмической интенсивности, используются таблицы эпицентров и макросейсмических данных.

В случае сильных и ощутимых событий записи в разделе «Макросейсмические данные» могут быть дополнены следующими материалами полевых наблюдений и их анализа:

- картами наблюденного макросейсмического эффекта, где первые две изосейсты показывают территорию, подверженную сотрясениям  $I \geq V-VI$  баллов по шкале ММСК-86;
- фотографиями повреждений застройки разного типа;
- сводными таблицами макросейсмического эффекта в населенных пунктах, определенного по разным признакам, включая поведение зданий, ощущения людей, состояние предметов быта.

Калибровка сейсмических моделей осуществляется сейсмологами. Полученные результаты калибровки размещаются в разделе хранилища, названном на схеме (рис. 2) «Зоны с устойчивыми значениями калибровочных параметров». Калибровка заключается в подборе усредненных параметров математической модели, предназначенной для формирования макросейсмического поля в пределах зоны, в которой усреднение допустимо и не приводит к существенным погрешностям в оценке сейсмической интенсивности. Приемлемая точность вычисления параметров обстановки должна обеспечиваться для всех попавших в зону событий.

В статье приводится пример использования макросейсмических данных Калининградских землетрясений 2004 г. для калибровки ГИС «Экстремум» для оперативной оценки потерь от землетрясений.

**Сейсмичность и тектоническая позиция района Калининградского землетрясения 2004 г.** Неоднократное возобновление работ по оценке сейсмической опасности района землетрясения связано с расположением вблизи этой территории особо важных объектов: теперь уже закрытой Игналинской АЭС на территории Литвы; строящейся Белорусской АЭС; строящейся в Неманском районе Калининградской области Калининградской АЭС; мощных газопроводов, среди которых действующий «Ямал-Европа», пересекающий территорию Беларуси, а также связанные с ним подземные хранилища газа [8].

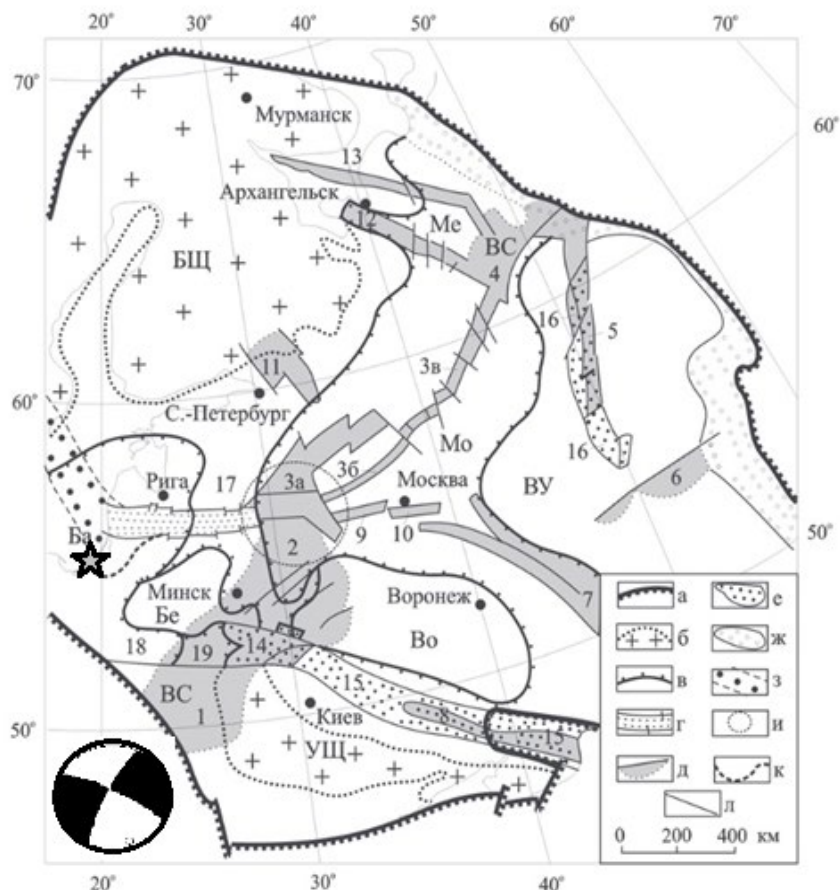
Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 г. является редким примером внутриплитовой сейсмичности в регионе, ранее считавшемся асейсмичным. С 2004 г. территория Калининградской области переведена в разряд регионов с умеренной сейсмичностью. Имеющиеся данные об исторических землетрясениях в целом на Восточно-Европейской платформе (ВЕП) недостаточны и часто ненадежны, как было показано в работе [9] на примере исторических землетрясений в Беларуси. Поэтому зарегистрированное инструментально большой сетью станций не только Европейских сетей, но и всего мира, Калининградское землетрясение, по которому собраны многочисленные свидетельства о макросейсмическом эффекте, предоставляет исследователям ценнейший материал для калибровки моделей, применяемых для расчета сейсмической опасности и оперативных оценок потерь.

В тектоническом плане Калининградское землетрясение произошло на западе территории ВЕП и приурочено к Балтийской синеклизе. По оценке потенциальной сейсмической опасности территории запада ВЕП, выполненной учеными Беларуси и Прибалтики, район землетрясения относится к Калининградско-Литовской потенциально сейсмогенной зоне. По данным комплексного сеймотектонического анализа [10] оценка потенциальной сейсмической опасности в этой зоне может достигать 7 баллов и отвечает  $M_{max} = 4,0-4,9$  при минимальной глубине очага равной 5 км. А в непосредственной близости к Калининграду находится область с  $M_{max} \leq 3,9$ .

Известно [11], что *сейсмичность Фенноскандии теснейшим образом связана с постгляциологическими современными движениями земной коры и всей литосферы этого региона. Территория Калининградской области расположена в пределах длительно развивающейся Польско-Литовской синеклизы, продолжающей прогибаться со скоростью 1 мм в год. Новейшие тектонические движения, охватившие отдельные участки платформен-*

ного чехла, расчлененного на блоки, привели к некоторому поднятию их на фоне общего прогибания. К таким блокам относится и Самбийский полуостров, особенно его западная часть, омываемая Балтийским морем и проявившая себя сейсмичностью в 2004 г.

Согласно работе [12] неоднородная сейсмичность литосферы определяется рядом факторов, главным из которых является, по-видимому, вертикальная и латеральная неоднородность самой литосферы, которая хорошо иллюстрируется схемой основных тектонических элементов Восточно-Европейской платформы [13] (рис. 3).



*a* – границы платформы; *б* – щиты (БЩ – Балтийский, УЩ – Украинский); *в* – границы антеклиз и синеклиз (антеклизы: Бе – Белорусская, Во – Воронежская, ВУ – Волго-Уральская; синеклизы: Ба – Балтийская, Мо – Московская, Ме – Мезенская); *г* – Полоцко-Курземский пояс разломов; *д-е* – системы палеорифтов: *д* – ранних (ВС – Вольно-Среднерусская система прогибов: 1 – Вольнский, 2 – Оршанский палеопргоибы; Среднерусский авлакоген: 3а – Крестовская (Валдайская), 3б – Тверская, 3в – Сухонская ветви; 4 – Яренская впадина; 5–8 – авлакогены: 5 – Кажимский (Вятский), 6 – Серноводско-Абдулинский, 7 – Пачелмский, 8 – Днепровско-Донецкий; 9–13 – грабены: 9 – Гжатский, 10 – Московский, 11 – Ладожский, 12 – Двинский, 13 – Лешуконский); *е* – поздних (14 – Припятский, 15 – Днепровско-Донецкий, 16 – Вятский прогибы); *ж* – зоны перикратонных опусканий, синхронных в развитии с ранними палеорифтами; *з* – Готланский пояс; *и* – контур Слободского позднепроторозового тектоно-геодинамического узла; *к* – условная южная граница Клайпедской тектонической сигмиды; *л* – разломы; 17–19 – структуры: 17 – Латвийская седловина, 18 – Подляско-Брестская впадина, 19 – Полесская седловина. Звездой отмечена эпицентральная зона, внизу слева – диаграмма механизма очага Калининградского землетрясения 2004 г.

**Рисунок 3. – Схема основных тектонических элементов Восточно-Европейской платформы [13]**

Тип фокального механизма очага Калининградского землетрясения указывает на реализацию горизонтального сжатия, ориентированного с северо-запада на юго-восток в соответствии с региональным полем напряжений. Источником напряжений сжатия в этом районе принято считать расширяющийся Срединно-Атлантический хребет, северный сегмент которого близко подходит к исследуемому району [14].

В статье рассматриваются особенности распространения сейсмического эффекта от Калининградского землетрясения в границах территории Восточной Прибалтики, исходя из ее геолого-тектонических особенностей и принятой регионализации в рамках комплекта карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2015)<sup>1</sup>.

В одной из последних работ авторов из ФИЦ ЕГС РАН [15] проведено исследование коэффициентов уравнения макросейсмического поля для пяти зон ВЕП с использованием подхода суммирования данных нескольких землетрясений с известными интенсивностями в населенных пунктах. Зона Калининградской области была расширена до эпицентральной зоны ощутимости Осмуссаарского землетрясения 1976 г. с магнитудой  $MLH = 4,3$  [16] и названа Восточной Прибалтикой (зона 5). В регионе Восточной Прибалтики известны землетрясения с  $M_s = 4-5$ , однако в Калининградской области два события 21 сентября 2004 г., в 11:05 и 13:32 с  $M_s = 4,1$  и  $4,3$  [17], – первые события подобной энергии. Их макросейсмические проявления отмечены на весьма обширной территории, включающей Калининградскую область, прилегающие районы Беларуси, государств Прибалтики, северных районов Польши и юга Финляндии. В Беларуси землетрясение ощущалось в Гродненской, Брестской, Витебской и Минской областях, пострадавших и разрушений не выявлено, макросейсмический эффект составил от 2 до 4 баллов [18]. В работе [18] получена модель распространения сейсмического эффекта

$$I = 1,5M - 2,48(\pm 0,16)\lg r + 3,69(\pm 0,31), \quad R = 0,90, \quad N = 232, \quad (1)$$

где  $I$  – интенсивность, баллов;  $M$  – магнитуда землетрясения;  $r = \sqrt{\Delta^2 + h^2}$  – гипоцентрального расстояние, км; здесь  $\Delta$  – эпицентрального расстояние;  $h$  – глубина очага;  $R$  – коэффициент корреляции;  $N$  – число наблюдений.

Установлено более низкое затухание и высокий уровень сейсмических воздействий Осмуссаарского 1976 г. и двух толчков Калининградского землетрясения 2004 г. в населенных пунктах Восточной Прибалтики, которые более чем на полбалла превышают значения, рассчитанные с использованием уравнения макросейсмического поля с коэффициентами, рекомендуемыми ГОСТ Р 57546-2017<sup>2</sup> для Калининградской и Ленинградской областей. Данный эффект не связан с занижением инструментально определенных магнитуд для толчков Калининградского землетрясения, для уточнения которых проведено специальное исследование [15].

Модель распространения сейсмического эффекта в районе Восточной Прибалтики [15] вместе с ранее полученными уравнениями [19; 20] была использована для калибровки модели макросейсмического поля в регионе и расчета последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. с помощью ГИС «Экстремум».

**Калибровка модели макросейсмического поля и ретроспективная оценка последствий Калининградского землетрясения 2004 г. средствами АИУС.** Для калибровки параметров модели макросейсмического поля в районе Восточной Прибалтики использовалась ранее разработанная авторами процедура [4–5; 21], предусматривающая подбор приемлемых, устойчивых для рассматриваемой территории значений параметров математической модели затухания сейсмической интенсивности. В качестве таких параметров предложено использовать:

– коэффициенты уравнения  $b$ ,  $\nu$ ,  $c$  макросейсмического поля [22]:

$$I = bM - \nu \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + c, \quad (2)$$

<sup>1</sup> СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11-7-81\*. Сейсмическое районирование России. – М.: Стандартинформ, 2018. – С. 97–99.

<sup>2</sup> ГОСТ Р 57546-2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Введ. 19.07.17. – М.: Стандартинформ, 2017. – 32 с.

где  $\Delta$  – эпицентральное расстояние, км;  $h$  – глубина очага, км;  $M$  – магнитуда землетрясения;  
 – отношение большой и малой осей эллиптических изосейст высших баллов, названное коэффициентом сжатия  $k$ ;  
 – угол, задающий ориентацию макросейсмического поля, в частности азимут большой оси эллипса.

Процедура калибровки предусматривает подбор перечисленных параметров, устойчивых для рассматриваемой территории. Поскольку калибровка является итерационным и довольно сложным циклическим процессом, включающим уточнение границ зон и вычисление для них приемлемых квазистабильных параметров, по мере накопления данных о новых событиях калибровочные действия должны повторяться.

Для исследования применимости рассматриваемых параметров поля [15; 19–20] для района Восточной Прибалтики выполнены расчеты последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. В таблице 1 приведены варианты исходных данных для расчета последствий с помощью системы «Экстремум». Расчеты выполнялись для параметров события и параметров макросейсмического поля, описываемого уравнением (2). В качестве коэффициента сжатия  $k$  использовалось значение 1,5. Рассматривались разные ориентации поля: вдоль разломов и под углом  $279^\circ$  в соответствии с решением механизма очага по данным Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) Project (<https://www.globalcmt.org>). Расчетные значения интенсивности сравнивались с наблюдаемыми значениями, уточненными ФИЦ ЕГС РАН. Расчеты последствий землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC выполнены с помощью ГИС «Экстремум» для параметров очага по данным сейсмологических служб:

- Российской службы ЕГС РАН (<http://mseism.gsras.ru>) – варианты 1–4.
- Европейской сейсмологической службы (European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC), <https://www.emsc-csem.org>) – варианты 5–8.
- Сейсмологической службы Финляндии (Institute of Seismology of the University of Helsinki, <https://www.seismo.helsinki.fi>) – варианты 9–12.
- Геологической службы США USGS Earthquake Hazards Program of the U.S. Geological Survey (USGS), <https://earthquake.usgs.gov>) – варианты 13–16.

**Таблица 1. – Варианты исходных данных для расчета последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32**

№	Параметры события	Коэффициенты уравнения макросейсмического поля (1)	Ориентация и коэффициент сжатия $k$	$I_{расч}$ в Калининграде и расстояние $\Delta$
1	54.77°N; 20.29°E;	$b = 1,5; v = 3,5; c = 3,0$	Вдоль разломов $k = 1,5$	$I = 5,06$ (15,4 км)
2	$M_s = 4,3; (mb = 5,4);$	Балтийский щит [19]	279° (CMT Project) $k = 1,5$	$I = 5,17$ (15,4 км)
3	$h = 10$ км	$b = 1,36; v = 2,71; c = 3,36$ [20]		$I = 5,9$ (15,4 км)
4	(ЕГС РАН)	$b = 1,5; v = 2,48; c = 3,69$ [15]		$I = 7,11$ (15,4 км)
5	54.77°N; 19.94°E;	$b = 1,5; v = 3,5; c = 3,0$		Вдоль разломов $k = 1,5$
6	$M_s = 4; mb = 5,0;$	Балтийский щит [19]	279° (CMT Project) $k = 1,5$	$I = 3,74$ (36,95 км)
7	$h = 10$ км	$b = 1,36; v = 2,71; c = 3,36$ [20]		$I = 4,73$ (36,95 км)
8	(EMSC)	$b = 1,5; v = 2,48; c = 3,69$ [15]		$I = 5,96$ (36,95 км)
9	55°N; 19.97°E; $M_s = 4;$	$b = 1,5; v = 3,5; c = 3,0;$		Вдоль разломов $k = 1,5$
10	$ML = 5,0; h = 10$ км	Балтийский щит [19]	279° (CMT Project) $k = 1,5$	$I = 3,15$ (47,25 км)
11	(Institute of Seismology,	$b = 1,36; v = 2,71; c = 3,36$ [20]		$I = 4,27$ (47,25 км)
12	Helsinki)	$b = 1,5; v = 2,48; c = 3,69$ [15]		$I = 5,55$ (47,25 км)
13	54.787°N; 20.026°E;	$b = 1,5; v = 3,5; c = 3,0;$		Вдоль разломов $k = 1,5$
14	$M_s = 4,0; mb = 5,0;$	Балтийский щит [19]	279° (CMT Project) $k = 1,5$	$I = 3,92$ (31,99 км)
15	$h = 10$ км (USGS)	$b = 1,36; v = 2,71; c = 3,36$ [20]		$I = 4,87$ (31,99 км)
16		$b = 1,5; v = 2,48; c = 3,69$ [15]		$I = 6,09$ (31,99 км)

Разброс в определении параметров Калининградского землетрясения довольно большой (рис. 4) и не мог не сказаться на результатах моделирования последствий.

При использовании в расчетах параметров события, определенных Европейской сейсмологической службой и Сейсмологической службой Финляндии для Калининграда, получаются существенно заниженные значения расчетных интенсивностей по сравнению с наблюдаемыми. Наибольшие расхождения (табл. 1) наблюдаются при использовании коэффициентов уравнения поля (1) согласно работам [19; 20].

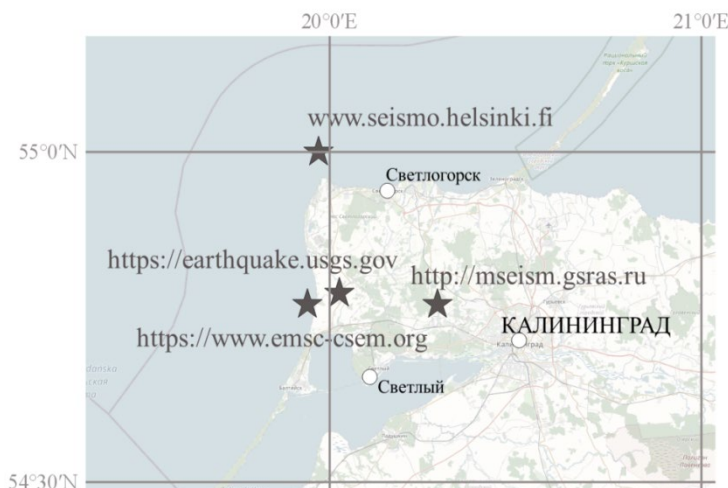


Рисунок 4. – Варианты положения эпицентра Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 по данным разных служб

При использовании параметров очага, определенных ФИЦ ЕГС РАН, Геологической службой США, и параметров поля по работе [15] получаем в ближней зоне незначительно завышенные оценки расчетной интенсивности  $I_{расч.}$  по сравнению с наблюдаемой (рис. 5), а также хорошее согласие наблюдаемых и расчетных интенсивностей на больших расстояниях – вариант 16 (табл. 1). Использование параметров поля [20] в ближней зоне до 10–15 км дает хорошее согласие между наблюдаемыми и расчетными значениями  $I$ . На больших расстояниях от 200–250 км использование параметров поля [20] (табл. 1, варианты 3 и 15) дает заниженные оценки интенсивности, отличающиеся от наблюдаемых на 1,5–2 балла.

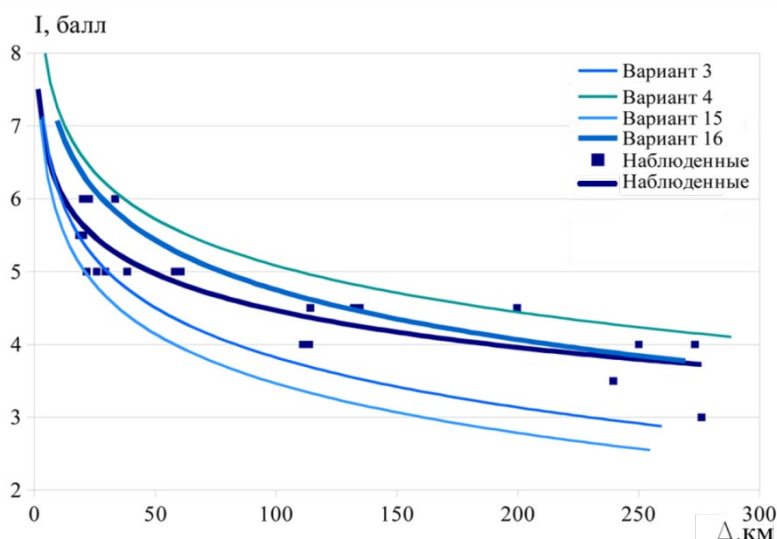


Рисунок 5. – Сравнение расчетных и наблюдаемых интенсивностей для Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC

На рисунках 6–8 приведены примеры визуализации результатов расчета последствий с помощью ГИС «Экстремум» для вариантов 4, 15 и 16 при использовании параметров очага ФИЦ ЕГС РАН, Геологической службы США и разных коэффициентов уравнения (2) [15; 20]. Значками разного размера показаны города с разной численностью населения, цвет значка – средняя степень повреждения застройки ( $d$ ).



Средняя степень повреждения застройки ( $d$ ): зеленый  $d = 1$ ; оранжевый  $d = 2$ ; красный  $d = 3$ ; бордовый  $d = 4$ ; черный  $d = 5$ ; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 6. – Результаты ретроспективного моделирования последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC: вариант 4 (табл. 1)

На рисунке 6 (табл. 1, вариант 4) видно преобладание оранжевого цвета, т.е.  $d = 2$ , в том числе для Калининграда. Что, скорее всего, связано с оценкой магнитуды по данным ФИЦ ЕГС РАН в оперативном режиме.



Средняя степень повреждения застройки ( $d$ ): зеленый  $d = 1$ ; оранжевый  $d = 2$ ; красный  $d = 3$ ; бордовый  $d = 4$ ; черный  $d = 5$ ; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 7. – Результаты ретроспективного моделирования последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC: вариант 15 (табл. 1)

При использовании параметров очага Геологической службы США для коэффициентов макросейсмического поля по [20] получаем заниженные оценки последствий землетрясения, почти для всех населенных пунктов преобладает синий цвет (рис. 7, табл. 1, вариант 15), для коэффициентов макросейсмического поля по работе [15] в ближней к эпицентру

зоне появляются населенные пункты зеленого цвета (рис. 8, табл. 1, вариант 16), что соответствует средней степени повреждения  $d = 1$  и не исключает более сильных повреждений.



Средняя степень повреждения застройки ( $d$ ): зеленый  $d = 1$ ; оранжевый  $d = 2$ ; красный  $d = 3$ ; бордовый  $d = 4$ ; черный  $d = 5$ ; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 8. – Результаты ретроспективного моделирования последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 UTC: вариант 16 (табл. 1)

Распределение средних степеней повреждений  $d$  для отдельных городов в ближней зоне для вариантов 4 и 16 приведено на рисунке 9.

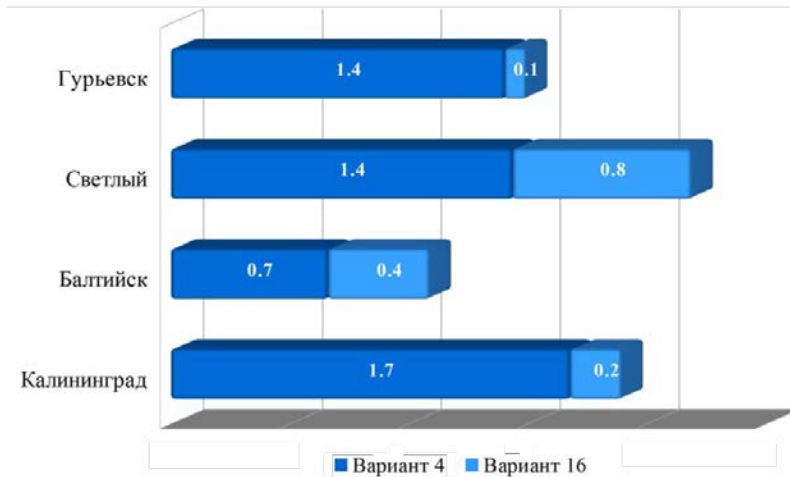
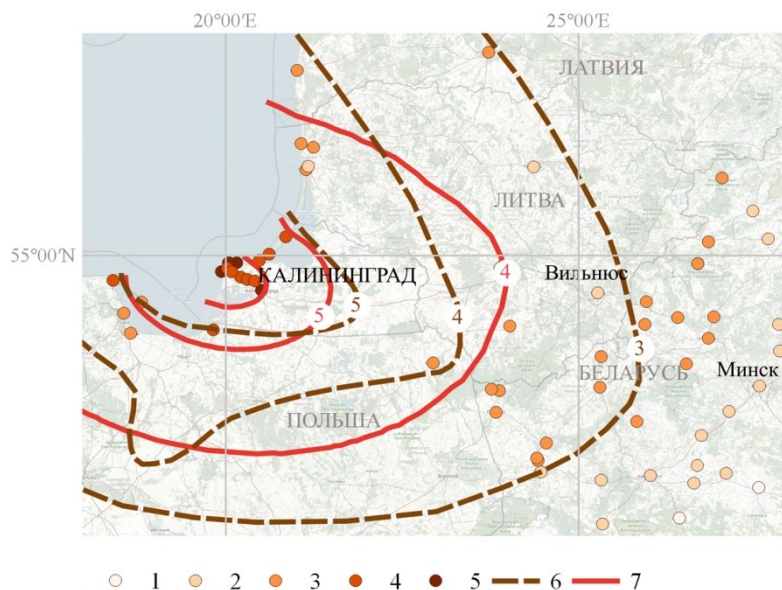


Рисунок 9. – Распределение средних степеней повреждений для вариантов 4 и 16 (табл. 1)

### Обсуждение результатов

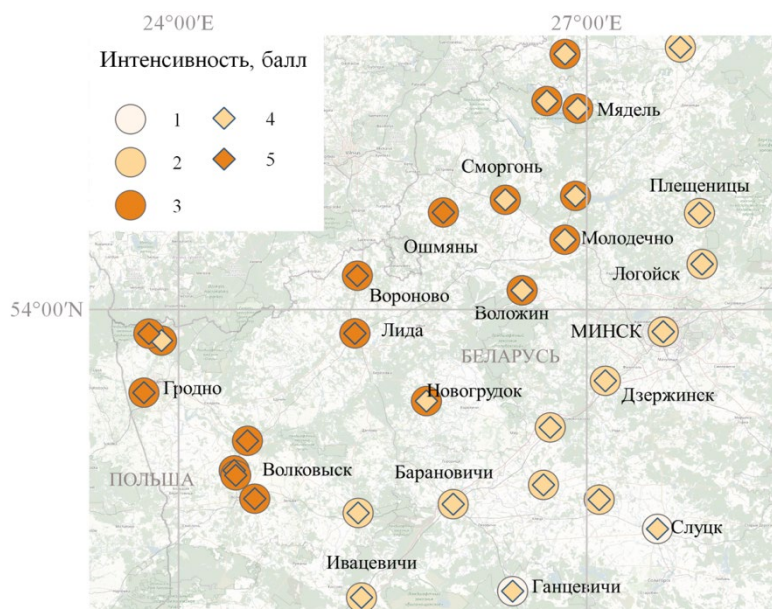
В настоящей работе показана возможность применения откалиброванных параметров макросейсмического поля ГИС «Экстремум» для ретроспективного прогнозирования последствий Калининградского землетрясения 2004 г. Получена хорошая сходимость расчетных значений интенсивности для варианта 16 (табл. 1) и наблюдаемых значений интенсивности  $I$  в соответствии с оценками коллектива авторов разных стран [23] (рис. 10).



Наблюдаемые интенсивности в населенных пунктах и изосейсты: 1 –  $I = 2$ ; 2 –  $I = 3$ ; 3 –  $I = 4$ ; 4 –  $I = 5$ ; 5 –  $I = 6$ ; 6 – наблюдаемые изосейсты по работе [23]; 7 – расчетные изосейсты, полученные с помощью ГИС «Экстремум» по варианту 16 (табл. 1)

**Рисунок 10. – Сравнение расчетных и наблюдаемых интенсивностей для Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32**

Сравнение наблюдаемых данных для Беларуси [18] с результатами расчета возможной интенсивности с применением откалиброванных моделей ГИС «Экстремум» (рис. 11) также свидетельствует о хорошей сходимости и целесообразности использования системы для прогнозирования последствий более сильных событий в регионе в соответствии с картами зон ВОЗ [6; 24; 25].



Наблюдаемые интенсивности в населенных пунктах по работе [18]: 1 –  $I = 2$ ; 2 –  $I = 3$ ; 3 –  $I = 4$ ; расчетные интенсивности, полученные с помощью ГИС «Экстремум» по варианту 16 (табл. 1): 4 –  $I = 2-3$ ; 5 –  $I = 3-4$

**Рисунок 11. – Сравнение расчетных и наблюдаемых интенсивностей для Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. в 13:32 для территории Беларуси**

Для оценки возможных последствий сценарийных землетрясений использовались параметры события 2014 г., полученные ФИЦ ЕГС РАН и Геологической службой США. Значение магнитуды  $M_s = 5$  было выбрано в соответствии с публикациями [6; 24; 25].



Таблица 2. – Варианты исходных данных для расчета последствий сценарийных землетрясений

№	Параметры события	Коэффициенты уравнения макросейсмического поля (1)	Ориентация и коэффициент сжатия $k$
1	54.77°N; 20.29°E; $M_s = 5,0$ ; $h = 10$ км (ЕГС РАН)	$b = 1,5$ ; $v = 2,48$ ; $c = 3,69$ [15]	279° (CMT Project) $k = 1,5$
2	54.77°N; 20.29°E; $M_s = 5,0$ ; $h = 6$ км (ЕГС РАН)		
3	54.787°N; 20.026°E; $M_s = 5,0$ ; $h = 10$ км (USGS)		
4	54.787°N; 20.026°E; $M_s = 5,0$ ; $h = 6$ км (USGS)		

На рисунках 12–13 приведены результаты расчета с помощью ГИС «Экстремум» для вариантов 1 и 3 (табл. 2) при разных координатах эпицентра и при одинаковой глубине очага  $h = 10$  км. Преобладают красный ( $d = 3$ ) и бордовый ( $d = 4$ ) цвета, что связано с использованием значения магнитуды  $M_s = 5$ .



Средняя степень повреждения застройки ( $d$ ): зеленый  $d = 1$ ; оранжевый  $d = 2$ ; красный  $d = 3$ ; бордовый  $d = 4$ ; черный  $d = 5$ ; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 12. – Результаты моделирования последствий сценарийного землетрясения: вариант 1 (табл. 2)



Средняя степень повреждения застройки ( $d$ ): зеленый  $d = 1$ ; оранжевый  $d = 2$ ; красный  $d = 3$ ; бордовый  $d = 4$ ; черный  $d = 5$ ; синий цвет – нет повреждений

Рисунок 13. – Результаты моделирования последствий сценарийного землетрясения: вариант 3 (табл. 2)

На рисунке 14 показано распределение населенных пунктов с разной средней степенью повреждений при изменении глубины очага сценарийного события.

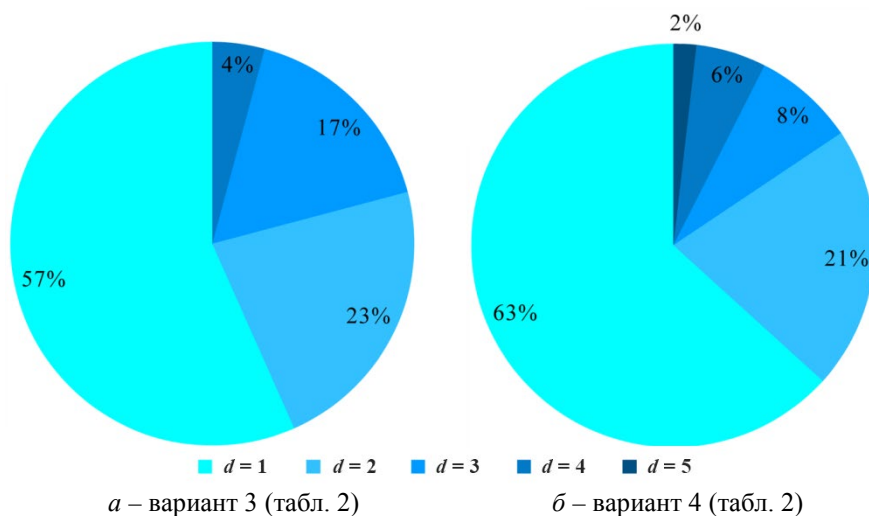


Рисунок 14. – Распределение населенных пунктов с разными средними степенями повреждений

В случае сценарийного события на глубине  $h = 6$  км здания в отдельных населенных пунктах средняя степень повреждения может достигать  $d = 5$ .

### Заключение

В статье кратко описана АИУС, обеспечивающая значительное повышение качества принимаемых решений при управлении силами и средствами РСЧС за счет роста оперативности прогноза возможной сейсмической обстановки и риска. Система нуждается в периодической калибровке своих моделей. Калибровка выполняется с использованием данных, собираемых средствами АИУС и полученных при исследованиях в профильных научных организациях. Представлена структура АИУС РСЧС, описаны задачи, выполняемые в рамках основных блоков системы, а также роль и место базы данных с описанием событий, в том числе с информацией о последствиях, используемой в процессе калибровки моделей. Использование базы данных о событиях для калибровки математических моделей, включенных в состав АИУС, позволяет в первую очередь повысить надежность прогнозов параметров возможной обстановки, что влияет на скорость принятия решений и эффективность действий спасателей.

Отмечается важная роль совместных усилий организаций РАН и учебных заведений Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Баумана) по определению зон со стабильными параметрами макросейсмического поля на территории России и сопредельных стран. Районы Русской платформы, включая территорию Восточной Прибалтики с умеренной сейсмичностью и высокой плотностью населения, заслуживают повышенного внимания исследователей.

Приводится пример успешного использования результатов калибровки макросейсмического поля для района Восточной Прибалтики. В примере дается описание ретроспективной оценки последствий Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. и прогноз последствий в случае более сильного события с  $M_{\max} = 5,0$ .

Погрешности моделирования, оцененные как отношение площади дополнения, образованного пересечением областей, ограниченных одноименными изосейстами, и максимальной площади, ограниченной изосейстой, не превышают 30 %. Этот показатель является приемлемой характеристикой погрешности, обеспечивающей качественную работу при оперативном планировании спасательных операций.

Отмечается, что деятельность по регистрации, классификации и описанию событий, возникающих в случае проявления опасности, является ключевой для повышения эффективности деятельности государства по обеспечению безопасности населения в случае ЧС при-

родного и техногенного характера. Созданная для этих целей АИУС, поддерживаемая усилиями НЦУКС, нуждается в дальнейшем развитии и интеграции данной системы в среду международных систем, обслуживающих нужды других государств и научного сообщества по минимизации уровня риска. Интеграция предполагает решение множества проблем, направленных на стандартизацию описания событий, поиск путей обеспечения доступа к функциям внесения новой информации и редактирования существующей. В связи с этим важен положительный опыт национальных [26; 27] и международных организаций, включая CODATA [28], занимающейся решением проблем интеграции и анализа больших данных в целях уменьшения риска природных катастроф.

Результаты настоящего исследования могут лечь в основу дальнейшего взаимодействия структур Республики Беларусь и Российской Федерации по калибровке моделей расчета возможных потерь от прогнозируемых землетрясений.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания Института геоэкологии РАН, ГР № АААА-А19-119021190077-6; государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-00576-21; проектов МГТУ им. Баумана № 075-01304-20, № 075-11-2019-087.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ларионов, В.И. Оценка сейсмического риска / В.И. Ларионов [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2017. – № 2. – С. 22–37.
2. Sushchev S.P. Seismic Risk Assessment and Management with Extremum System Application / S.P. Sushchev, V.I. Larionov, N.I. Frolova // Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: матер. XV Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 18–20 мая 2010 г. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2010. – С. 327–345. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15549580&pff=1>. – Дата доступа: 02.08.2021.
3. Фролова, Н.И. Анализ факторов, влияющих на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений / Н.И. Фролова [и др.] // Сб. тр. XVIII ежегодной конф. «Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи», Москва, 24–25 марта 2016 г. – М.: РУДН, 2016. – С. 230–234. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25885351&pff=1>. – Дата доступа: 02.08.2021.
4. Фролова, Н.И. База знаний о сильных землетрясениях как инструмент повышения надежности оперативных оценок потерь / Н.И. Фролова, А.Н. Угаров // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2018. – № 6. – С. 3–20. DOI: 10.1134/S0869780318060017.
5. Фролова, Н.И. Влияние особенностей затухания сейсмической интенсивности на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений / Н.И. Фролова [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 5. – С. 23–37. DOI: 10.31857/S0869-78092019523-37.
6. Рогожин, Е.А. Детальная оценка сейсмической опасности территории Калининграда и тектонический анализ землетрясений 2004 г. / Е.А. Рогожин [и др.] // Инженерные изыскания. – 2014. – № 12. – С. 26–38.
7. Аптикаев, Ф.Ф. Макросейсмические проявления Калининградского землетрясения 2004 г. / Ф.Ф. Аптикаев [и др.] // ГеоРиск. – 2019. – Т. XIII, № 3. – С. 40–59. DOI: 10.25296/1997-8669-2019-13-3-40-59.
8. Дробиз, М.В. Оценка геоэкологического риска сейсмоопасности строительства подземного хранилища газа / М.В. Дробиз // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2014. – № 1. – С. 65–72. – Режим доступа: <https://journals.kantiana.ru/vestnik/2921/8131/>. – Дата доступа: 02.08.2021.
9. Татевосян, Р.Э. О природе сейсмических явлений в платформенных областях на примере Белоруссии / Р.Э. Татевосян, Н.Г. Мокрушина // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – Т. 45, № 3. – С. 27–44. DOI: 10.21455/VIS2018.3-3.
10. Рейснер, Г.И. Современные эндогенные режимы Северной Евразии / Г.И. Рейснер, Л.И. Иогансон // Геоморфология. – 1996. – № 2. – С. 9–19.
11. Уломов, В.И. К оценке сейсмической опасности в Калининградской области / В.И. Уломов, К.Н. Акатова, Н.С. Медведева // Физика земли. – 2008. – №. 9. – С. 3–19. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11035796>. – Дата доступа: 02.08.2021.

12. Кофф, Г.Л. Факторы сейсмического риска при Калининградских землетрясениях / Г.Л. Кофф [и др.] // Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 2009. – С. 75–79.
13. Гарецкий, Р.Г. Особенности тектоники и геодинамики Восточно-Европейской платформы / Р.Г. Гарецкий // Літасфера. – 2007. – № 2 (27). – С. 3–13. – Режим доступа: <http://lithosphere.by/category/2007г-№27/page/6/>. – Дата доступа: 02.08.2021.
14. Ассиновская, Б.А. Сейсмотектоническая позиция Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 года / Б.А. Ассиновская, М.К. Овсов // Физика Земли. – 2008. – № 9. – С. 32–43. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11035798>. – Дата доступа: 02.08.2021.
15. Петрова, Н.В. Особенности затухания сейсмического эффекта землетрясений Русской платформы и Урала / Н.В. Петрова, Р.А. Дягилев, И.П. Габсатарова // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 5–25. DOI: 10.21455/VIS2020.4-1.
16. Никонов, А.А. Осмуссаарское землетрясение 25.10.1976 г.: макросейсмика, сейсмотектоника, механизм очага / А.А. Никонов // Физика Земли. – 2002. – № 8. – С. 74–88.
17. Габсатарова, И.П. Калининградские землетрясения 21 сентября 2004 г. с  $M_w = 4.6$  и  $4.8$ ,  $I_0 = 6$  и  $6-7$  (Запад России) / И.П. Габсатарова [и др.] // Землетрясения Северной Евразии в 2004 году. – Обнинск: ГС РАН. – 2010. – С. 343–363.
18. Аронов, А.Г. Макросейсмические эффекты на территории Беларуси от Калининградских землетрясений 21 сентября 2004 г. / А.Г. Аронов, Р.Р. Сероглазов, Т.И. Аронова // Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. – 2009. – С. 109–115.
19. Шебалин, Н.В. Опорные землетрясения и уравнения макросейсмического поля / Н.В. Шебалин // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука. – 1977. – С. 20–30.
20. Assinovskaya, B.A. Felt earthquakes of the XXth century in the Eastern Baltic shield / B.A. Assinovskaya., A.A. Nikonov // XVI General Assembly of the European Seismological Commission, Tel-Aviv, Israel, August 23–28, 1998: abstr. – P. 10.
21. Фролова, Н.И. Калибровка модели затухания сейсмической интенсивности на примере землетрясений в Албании / Н.И. Фролова [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2020. – № 5. – С. 62–77. DOI: 10.31857/S0869780920050033.
22. Шебалин, Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании / Н.В. Шебалин // Сейсмическое районирование СССР. – М.: Наука. – 1968. – С. 95–121.
23. Gregersen, S. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004 / S. Gregersen [et al.] // Physics of The Earth and Planetary Interiors. – 2007. – Vol. 164, Iss. 1–2. – P. 63–74. DOI: 10.1016/j.pepi.2007.06.005.
24. Айзберг, Р.Е. Сейсмогенерирующие структуры и зоны ВОЗ // Сейсмотектоника плит древних платформ в области четвертичного оледенения / Р.Е. Айзберг [и др.]; под ред. Р.Г. Гарецкого, С.А. Несмеянова. – М.: Книга и бизнес. – 2009. – Гл. 7. – С. 77–88.
25. Несмеянов, С.А. Сейсмичность северо-западной части Русской плиты и ее гляциоизостатическая природа / С.А. Несмеянов [и др.] // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2011. – № 2. – С. 141–156. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16374423>. – Дата доступа: 02.08.2021.
26. Мурашко, Н.И. О совершенствовании системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций / Н.И. Мурашко, А.В. Андреев, В.М. Станкевич // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 90–96. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.90.
27. Юржиц, А.М. Применение геоинформационных систем в информационно-аналитической деятельности МЧС Республики Беларусь / Юржиц А.М., Чумила Е.А., Точеный Н.Н. // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 410–417. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.410.
28. Fakhruddin B. Next Generation Disaster Data Infrastructure. A study report of the CODATA Task Group on Linked Open Data for Global Disaster Risk Research, September 12, 2019, Paris / B. Fakhruddin et al. – Paris: CODATA, 2019. – 26 p. DOI: 10.5281/zenodo.3406127.

**Калибровка модели геоинформационной системы «Экстремум»  
для оценки потерь от землетрясений**

**Calibration of the model of the geoinformation system «Extremum»  
for estimating earthquake losses**

***Фролова Нина Иосифовна***

кандидат физико-математических наук  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки «Институт геоэкологии  
им. Е.М. Сергеева» Российской академии  
наук, ведущий научный сотрудник

Адрес: Уланский пер., д. 13, стр. 2,  
101000, г. Москва, Россия  
Email: frolovanina7@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-5829-1603

***Nina I. Frolova***

PhD in Physical and Mathematical Sciences  
Sergeev Institute of Environmental Geoscience  
of the Russian Academy of Sciences,  
Leading Researcher

Address: Ulanskiy lane, 13, bld. 2,  
101000, Moscow, Russia,  
Email: frolovanina7@gmail.com  
ORCID: 0000-0001-5829-1603

***Габсатарова Ирина Петровна***

кандидат физико-математических наук  
Федеральный исследовательский центр  
«Единая геофизическая служба Российской  
академии наук», ведущий научный сотрудник

Адрес: пр. Ленина, 189  
249035, г. Обнинск,  
Калужская обл., Россия  
Email: ira@gsras.ru  
ORCID: 0000-0001-8998-340X

***Irina P. Gabsatarova***

PhD in Physical and Mathematical Sciences  
Geophysical Survey  
of the Russian Academy of Sciences,  
Leading Researcher

Address: Lenin av., 189,  
49035, Obninsk,  
Kaluga Region, Russia  
Email: ira@gsras.ru  
ORCID: 0000-0001-8998-340X

***Суцев Сергей Петрович***

доктор технических наук, профессор  
Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана,  
кафедра экологии и промышленной  
безопасности, профессор

Адрес: 2-я Бауманская ул., д. 5/1,  
105005, г. Москва, Россия  
Email: Sersan150@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-3950-8405

***Sergey P. Sushchev***

Grand PhD in Technical Sciences, Professor  
Bauman Moscow State Technical University,  
Chair of Ecology and Industrial Safety,  
Professor

Address: 2<sup>nd</sup> Baumanskaya str., 5/1,  
105005, Moscow, Russia  
Email: Sersan150@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-3950-8405

***Малаева Наталья Сергеевна***

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки «Институт геоэкологии  
им. Е.М. Сергеева» Российской академии  
наук, инженер

Адрес: Уланский пер., д. 13, стр. 2,  
101000, г. Москва, Россия  
Email: natashamalaeva@yandex.ru  
ORCID: 0000-0003-4469-1205

***Natal'ya S. Malaeva***

Sergeev Institute of Environmental Geoscience  
of the Russian Academy of Sciences,  
Engineer

Address: Ulanskiy lane, 13, bld. 2,  
101000, Moscow, Russia,  
Email: natashamalaeva@yandex.ru  
ORCID: 0000-0003-4469-1205

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.427>

## CALIBRATION OF THE MODEL OF THE GEOINFORMATION SYSTEM «EXTREMUM» FOR ESTIMATING EARTHQUAKE LOSSES

Frolova N.I., Gabsatarova B.P., Suchshev S.P., Malaeva N.S.

*Purpose.* Updating the information content of the automated information and control system (AICS) of the unified state system for the prevention and elimination of emergency situations (RSChS) of the Ministry of Emergency Situations of Russia to improve the reliability of seismic risk assessments and operational estimates of earthquake losses in order to ensure the safety of the population.

*Methods.* The study of the influence of the features of seismic intensity attenuation on the estimates of earthquake losses in the Eastern Baltic territories was carried out by calibrating the parameters of the macroseismic field and simulation modeling using the system «Extremum».

*Findings.* Examples of successful use of the results of the calibration of the macroseismic field for a retrospective assessment of the consequences of the Kaliningrad earthquake on September 21, 2004 and the prediction of consequences in the case of a stronger event with  $M_{max} = 5.0-5.5$  in the Eastern Baltic area are given. Acceptable estimates of the modeling error have been obtained for the case of operational assessment of losses from strong earthquakes. The effectiveness of periodic calibration of models of the system «Extremum» using data collected by means of AICS and obtained in the research of scientific organizations of the Russian Academy of Sciences, including the Federal Research Center «Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences» is shown.

*Application field of research.* The obtained results are of great practical importance and can be used in the assessment of seismic risk, as well as in the operational assessment of the consequences of earthquakes to increase the reliability of the predicted parameters of the possible situation, which affects the speed of decision-making and the effectiveness of rescuers' actions.

*Keywords:* automated information and control system, GIS «Extremum», reliability of operational estimates of losses, Kaliningrad earthquake, macroseismic field.

(The date of submitting: August 10, 2021)

### REFERENCES

1. Larionov V.I., Frolova N.I., Ugarov A.N., Sushchev S.P., Kozlov M.A., Malaeva N.A., Barskaya T.V. Otsenka seismicheskogo riska [Seismic Risk Assessment]. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2017. No. 2. Pp. 22–37. (rus)
2. Sushchev S.P., Larionov V.I., Frolova N.I. Seismic Risk Assessment and Management with Extremum System Application. *Proc. XV Intern. scientific-practical conf. «Problemy zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy»*, Moscow, May 18-20. Moscow: FSBI VNII GOChS (FC), 2010. Pp. 327–345. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15549580&pff=1> (accessed: August 02, 2021).
3. Frolova N.I., Bonnin J., Gabsatarova I.P., Ugarov A.N., Barskaya T.V. Analiz faktorov, vliyayushchikh na nadezhnost' operativnykh otsenok poter' ot zemletryaseniy [Analysis of factors affecting the reliability of operative loss estimates due to earthquakes]. *Proc. XVIII annual conf. «Sergeevskie chteniya. Inzhenernaya geologiya i geoekologiya. Fundamental'nye problemy i prikladnye zadachi»*, Moscow, March 24–25, 2016. Moscow: RUDN University, 2016. Pp. 230–234. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25885351&pff=1> (accessed: August 02, 2021).
4. Frolova N.I., Ugarov A.N. Baza znaniy o sil'nykh zemletryasiyakh kak instrument povysheniya nadezhnosti operativnykh otsenok poter' [Knowledge base about past earthquakes consequences as a tool to increase the reliability of near real time loss estimation]. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2018. No. 6. Pp. 3–20. (rus). DOI: 10.1134/S0869780318060017.
5. Frolova N.I., Gabsatarova I.P., Petrova N.V., Ugarov A.N., Malaeva N.S. Vliyanie osobennostey zatkhaniya seismicheskoy intensivnosti na nadezhnost' operativnykh otsenok poter' ot zemletryaseniy [Influence of shaking intensity attenuation peculiarities on reliability of earthquake loss estimation in emergency mode]. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2019. No. 5. Pp. 23–37. (rus). DOI: 10.31857/S0869-78092019523-37.
6. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Gorbatikov A.V., Lutikov A.I., Novikov S.S., Marakhanov A.V., Stepanova M.Yu., Andreeva N.V., Lar'kov A.S. Detal'naya otsenka seismicheskoy opasnosti territorii

- Kaliningrada i tektonicheskiy analiz zemletryaseniya 2004 g. [Detailed seismic hazard assessment of the Kaliningrad territory and tectonic analysis of the earthquakes occurred in 2004]. *Engineering survey*, 2014. No. 12. Pp. 26–38. Available at: [http://www.geomark.ru/journals\\_list/zhurnal-inzhenernye-izyskaniya-122014/](http://www.geomark.ru/journals_list/zhurnal-inzhenernye-izyskaniya-122014/) (accessed: August 02, 2021). (rus)
7. Aptikaev F.F., Aleshin A.S., Assinovskaya B.A., Nikonov A.A., Pogrebchenko V.V., Erteleva O.O. Makroseismicheskie proyavleniya Kaliningradskogo zemletryaseniya 2004 g. [Macro seismic evidences of the 2004 Kaliningrad earthquake]. *GeoRisk*, 2019. Vol. XIII, No. 3. Pp. 40–59. (rus). DOI: 10.25296/1997-8669-2019-13-3-40-59.
  8. Drobiz M.V. Otsenka geoekologicheskogo riska seysmopasnosti stroitel'stva podzemnogo khranilishcha gaza [The geocological seismic risk associated with the construction of an underground gas storage in the Kaliningrad region]. *IKBFU's Vestnik. Natural and Medical Sciences*, 2014. Iss. 1. P. 65–72. Available at: <https://journals.kantiana.ru/eng/vestnik/1678/4778/> (accessed: August 02, 2021). (rus)
  9. Tatevossian R.E., Mokrushina N.G. O prirode seysmicheskikh yavleniy v platformennykh oblastiakh na primere Belorussii [On the origins of seismic phenomena in platform areas: a case study of Belarus]. *Voprosy inzhenernoi seismologii*, 2018. Vol. 45, No. 3. Pp. 27–44. (rus). DOI: 10.21455/VIS2018.3-3.
  10. Reisner G.I., Ioganson L.I. Sovremennye endogennye rezhimy Severnoy Evrazii [Modern endogenous regimes of the Northern Eurasia]. *Geomorfologiya*, 1996. No. 2. Pp. 9–19. (rus)
  11. Ulomov V.I., Akatova K.N., Medvedeva N.S. Estimation of seismic hazard in the Kaliningrad region. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2008. Vol. 44, No. 9. Pp. 691–705. DOI: 10.1134/S1069351308090012.
  12. Koff G.L., Kotlov V.F., Zaigrin I.V., Bogomolova T.V., Chesnokova I.V. Faktory seysmicheskogo riska pri Kaliningradskikh zemletryaseniyaakh [Seismic risk factors during Kaliningrad earthquakes]. *Kaliningradskoe zemletryasenie 21 sentyabrya 2004 goda [Kaliningrad earthquake on September 21, 2004]*. Saint Petersburg: Publishing house VSEGEI, 2009. Pp. 75–79.
  13. Garetsky R.G. Osobennosti tektoniki i geodinamiki Vostochno-Evropeyskoy platformy [Tectonic and geodynamic peculiarities of of the East European platform]. *Litasfera*, 2007. No. 2 (27). Pp. 3–13. Available at: <http://lithosphere.by/category/2007r-№27/page/6/> (accessed: August 2, 2021). (rus)
  14. Assinovskaya B.A., Ovsov M.K. Seismotectonic position of the Kaliningrad September 21, 2004, earthquake. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2008. Vol. 44, No. 9. Pp. 717–727. DOI: 10.1134/S1069351308090036.
  15. Petrova N.V., Dyagilev R.A., Gabsatarova I.P. Osobennosti zatukhaniya seysmicheskogo effekta zemletryaseniya Russkoy platformy i Urala [Features of seismic effect attenuation of the Russian platform and Ural earthquakes]. *Voprosy inzhenernoi seismologii*, 2020. Vol. 47, No. 4. Pp. 5–25. (rus). DOI: 10.21455/VIS2020.4-1.
  16. Nikonov A.A. Osmussaarskoe zemletryasenie 25.10.1976 g.: makroseismika, seysmotektonika, mekhanizm ochaga [The Osmussaar earthquake on October 25, 1976: macro seismic survey, seismotectonics, source mechanism]. *Fizika zemli*, 2002. No. 8. Pp. 74–88.
  17. Gabsatarova I.P., Chepkunas L.S., Babkova E.A., Malyanova L.S., Ryzhikova M.I. Kaliningradskie zemletryaseniya 21 sentyabrya 2004 g. s  $M_w = 4.6$  i  $4.8$ ,  $I_0 = 6$  i  $6-7$  (Zapad Rossii) [Kaliningrad earthquakes on September 21, 2004 with  $M_w = 4.6$  and  $4.8$ ,  $I_0 = 6$  and  $6-7$  (West of Russia)]. *Earthquakes of the Northern Eurasia*. Obninsk: GS RAS, 2010. Pp. 343–363. (rus)
  18. Aronov A.G., Seroglazov R.R., Aronova T.I. Makroseismicheskie efekty na territorii Belarusi ot Kaliningradskikh zemletryaseniya 21 sentyabrya 2004 g. [Macro seismic effects from the Kaliningrad earthquakes on September 21, 2004 on the territory of Belarus]. *Kaliningradskoe zemletryasenie 21 sentyabrya 2004 goda [Kaliningrad earthquake on September 21, 2004]*. Saint Petersburg: Publishing house VSEGEI, 2009. Pp. 109–115. (rus)
  19. Shebalin N.V. Opornye zemletryaseniya i uravneniya makroseismicheskogo polya [Reference earthquakes and macro seismic field equations]. *Novyy Katalog sil'nykh zemletryaseniya na territorii SSSR s drevneyshikh vremen do 1975 g. [New catalogue of strong earthquakes for the USSR territory from ancient times till 1975]*. Moscow: Nauka, 1977. Pp. 20–30. (rus)
  20. Assinovskaya B.A., Nikonov A.A. Felt earthquakes of the XXth century in the Eastern Baltic shield. *Proc. XVI General Assembly of the European Seismological Commission, Tel-Aviv, Israel, August 23–28, 1998*. Pp. 10.
  21. Frolova N.I., Gabsatarova I.P., Ugarov A.N., Malaeva N.S. Kalibrovka modeli zatukhaniya seysmicheskoy intensivnosti na primere zemletryaseniya v Albanii [Calibration of seismic intensity attenuation model by the example of earthquakes in Albania] *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2020. No. 5. Pp. 62–77. (rus). DOI: 10.31857/S0869780920050033.

22. Shebalin N.V. Metody ispol'zovaniya inzhenerno-seismologicheskikh dannykh pri seismicheskom rayonirovani [Procedures of engineering seismological data application for seismic zoning]. *Seismicheskoe rayonirovaniye SSSR [Seismic zoning of the USSR]*. Moscow: Nauka, 1968. Pp. 95–121. (rus)
23. Gregersen S., Wiejacz P., Dębski W., Domanski B., Assinovskaya B., Guterch B., Mäntyniemi P., Nikulin V.G., Pacesa A., Puura V., Aronov A.G., Aronova T.I., Grünthal G., Husebye E.S., Sliupa S. The exceptional earthquakes in Kaliningrad district, Russia on September 21, 2004. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 2007. Vol. 164, Iss. 1–2. Pp. 63–74. DOI: 10.1016/j.pepi.2007.06.005.
24. Ayzberg R.E., Aronov A.G., Aronova T.I., Boyarkin S.A., et al. Seismogeneriruyushchie struktury i zony vozniknoveniya opasnykh zemletryaseniy [Seismogenerating structures and zones of occurrence of dangerous earthquakes]. *Seismotektonika plit drevnikh platform v oblasti chetvertichnogo oledeneniya [Seismotectonics of ancient platforms plates in the area of Quaternary glaciation]*: ed. by R.G. Garetskiy, S.A. Nesmeyanov. Moscow: Kniga i biznes, 2009. Chapter 7. Pp. 77–87.
25. Nesmeyanov S.A., Lutikov A.I., Voejkova O.A., Dontsova G. Yu. Seismichnost' severo-zapadnoy chasti Russkoy plity i ee glyatsioizostaticheskaya priroda [Seismicity of the northwestern part of the Russian plate and its glacioisostatic nature]. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2011. No. 2. Pp. 141-156. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16374423> (accessed: August 2, 2021). (rus)
26. Murashko N.I., Andreenko A.V., Stankevich V.M. O sovershenstvovanii sistemy monitoringa i prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy [Improving the system of emergency monitoring and predicting]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No. 1. Pp. 90–96. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.90.
27. Yurzhits A.M., Tocheny N.N., Chumila E.A. Primenenie geoinformatsionnykh sistem v informatsionno-analiticheskoy deyatel'nosti MChS Respubliki Belarus' [Application of geoinformation systems in the information and analytical activities of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 3. Pp. 410–417. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-3.410.
28. Fakhruddin B., Chu E., Li G., Frolova N. et al. *Next Generation Disaster Data Infrastructure. A study report of the CODATA Task Group on Linked Open Data for Global Disaster Risk Research*, September 12, 2019, Paris. 26 p. DOI: 10.5281/zenodo.3406127.



DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.447>

УДК 001.891.53[627.8.034:712.5]

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА КАСКАДА ГИДРОУЗЛОВ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Пастухов С.М., Османов Х.С., Бузук А.В.

*Цель.* Определить скорость изменения уровня воды в каждой ступени каскада на реке Куре с учетом величины боковой приточности и в зависимости от сценария возникновения аварийной ситуации при максимальных водосбросных расходах.

*Методы.* Лабораторные исследования уровня режима искусственных водных объектов и методы моделирования установившегося неравномерного плавно изменяющегося движения жидкости.

*Результаты.* Разработана методика проведения лабораторных исследований уровня режима каскада гидроузлов, позволяющая устанавливать зависимость уровня поднятия воды  $H$  (м) в нижележащем водоеме от расхода  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) и времени ее поступления  $T$  (с) при различных сценариях возникновения аварии на вышележащем гидроузле, а также определять значения скорости поднятия уровня воды в верхних бьефах водоемов.

*Область применения исследований.* Результаты исследований являются составной частью методики по оценке риска возникновения чрезвычайных ситуаций на искусственных водных объектах, расположенных в каскадах, позволяющей оценивать вероятностную меру опасности возникновения чрезвычайных ситуаций, разработку кратко- и среднесрочных прогнозов возникновения аварийных ситуаций.

*Ключевые слова:* водохранилище, каскад гидроузлов, критерии подобия, моделирование, оценка риска, чрезвычайные ситуации.

(Поступила в редакцию 26 октября 2021 г.)

### Введение

В настоящее время в Азербайджане эксплуатируется около 140 искусственных водных объектов, относящихся к категории водохранилищ различного назначения (для выработки электроэнергии, ирригации, рыбозаведения, технического и питьевого водоснабжения) с общим объемом воды более 21,5 км<sup>3</sup>. Крупнейшими водохранилищами являются Мингечаурское, Шамкирское, Араз, Сарсангское. Относительно территориального расположения водохранилища являются как одиночными, так и расположенными в каскаде, т.е. на водотоке одной реки, либо на ее притоках. Наиболее крупным является каскад водохранилищ на реке Куре, который включает Шамкирское, Еникендское, Мингечаурское и Варваринское водохранилища.

Одним из главных недостатков каскадов водохранилищ с точки зрения обеспечения безопасности является возможность возникновения аварийных ситуаций на вышележащем гидроузле, при котором возникает опасность разрушения всех нижележащих гидроузлов и сооружений на них. Лабораторные исследования динамики уровня режима каскадов водохранилищ проводятся с целью установления зависимости изменения уровня воды в каждой ступени каскада для ее дальнейшего учета при оценке риска возникновения гидродинамических аварий.

### Основная часть

Лабораторные исследования позволяют в меньшем масштабе и с меньшими затратами реализовать сценарии возникновения и протекания аварийных ситуаций. Наибольшую сложность при моделировании вызывают разноплановые процессы, протекающие на натурном объекте, например, для гидроузлов Азербайджанской Республики это учет дополнительной боковой приточности на участке реки между гидроузлами. Для определения уровня из-

менения воды в каждой ступени такого каскада необходимо разработать модели гидротехнических сооружений, определить максимальные расходные характеристики (10, 5 и 1 % обеспеченности), а также учесть расход притоков на свободном участке русла. Приведенная методика исследований разработана с учетом характеристик лабораторного оборудования гидротехнической лаборатории Белорусского национального технического университета.

Планирование исследований осуществлялось в следующей последовательности:

- 1) выполнение условий геометрического и динамического подобия;
- 2) обоснование схем расположения гидроузлов;
- 3) определение величины боковой приточности для участков рек;
- 4) определение масштаба и размеров моделей ГТС;
- 5) разработка сценарного подхода возникновения чрезвычайных ситуаций на гидроузлах.

**Выполнение условий геометрического и динамического подобия.** Выполнение условий геометрического и динамического подобия в соответствии с работой [1] – одно из основных требований при моделировании режимов движения жидкости в лабораторных условиях. При соблюдении указанных условий определенные в лаборатории параметры водного потока через масштабные коэффициенты целесообразно использовать при прогнозировании возникновения чрезвычайных ситуаций на искусственных водных объектах.

Две гидравлические системы считаются геометрически подобными, если между соответствующими размерами этих систем всюду существует постоянное соотношение [1]:

$$l_n/l_m = \alpha_l = \text{const}, \quad (1)$$

где  $l_n$  – линейный размер действительного сооружения (в натуральных условиях);  $l_m$  – соответствующий линейный размер модели;  $\alpha_l$  – масштаб длин.

С целью выполнения условий динамического подобия в соответствии с работами [1; 2] при моделировании потоков жидкости, характеризующихся наличием свободной поверхности, исходили из критерия Фруда:

$$(Fr)_m = (Fr)_n, \quad \text{следовательно} \quad \frac{v_m^2}{l_m g} = \frac{v_n^2}{l_n g}, \quad (2)$$

где  $v_{m(n)}$  – средняя скорость водного потока для модели (натурных условий), м/с;  $l_{m(n)}$  – характерный линейный размер для модели (натурных условий), м;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Искомым показателем при лабораторных исследованиях являлась скорость изменения уровня воды во всех ступенях каскада  $v_n$  (м/с) и ее изменение в зависимости от сценария возникновения аварийной ситуации. Поскольку рассматриваемое движение обуславливается главным образом силами тяжести, соответственно, при моделировании исходили только из одного критерия подобия (критерия Фруда). Силы вязкости, а следовательно, критерий Рейнольдса, в данном случае не учитывался.

Таким образом, для выполнения условий динамического подобия (отношения значений в натуральных условиях к элементам модели) исходя из условия  $(Fr)_m = (Fr)_n$  масштабные коэффициенты составили:

$$\text{для расхода} - M = \alpha_l^{2,5};$$

$$\text{для времени и скорости} - M = \alpha_l^{0,5}.$$

Кроме того, при планировании и проведении лабораторных исследований дополнительно производился расчет критерия Фруда. Полученные значения не превысили  $Fr < 1$ , что свидетельствовало о спокойном движении водного потока как на модели, так и в натуральных условиях. Следовательно, дополнительным условием моделирования было [1]:

$$Fr < 1. \quad (3)$$

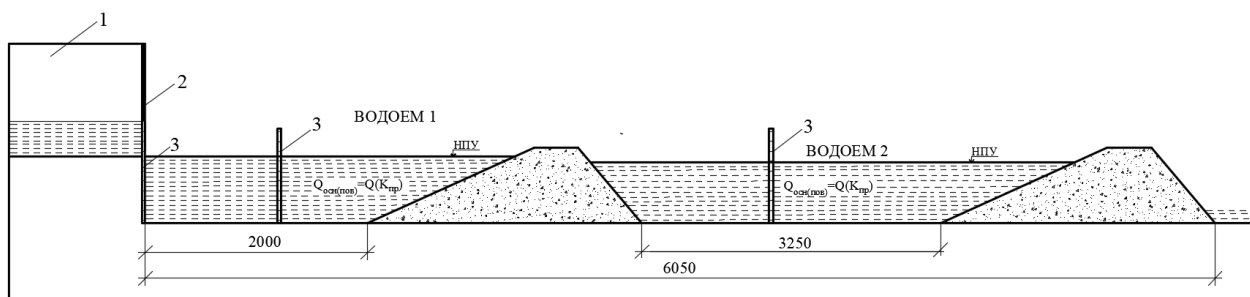
Необходимо отметить, что отличительной особенностью от существующих исследований [3–7] являлось то, что моделирование функционирования гидроузлов осуществлялось при максимальных водосбросных расходах (1, 5 и 10 % обеспеченности) с учетом максимальных значений боковой приточности участка русла между водоемами.

**Обоснование схем расположения гидроузлов.** Отличительной особенностью каскадного функционирования гидроузлов является их расположение на водотоке основной реки либо на ее притоках. С целью обоснования схем расположения и работы гидроузлов на реке Куре выполнялся расчет кривой свободной поверхности потока  $l_n$ . По результатам расчета установлено, что в одном каскаде могут располагаться водоемы, которые находятся в подпоре друг с другом (длина кривой подпора  $l_n$  превышает участок русла между водоемами с нормальной глубиной  $h_0$ ), а также водоемы, между которыми присутствует свободный участок русла  $l_0$ . При таком расположении влияние уровня вышележащего водоема на нижележащий будет происходить через определенный интервал времени (запас по времени) даже при водосбросных расходах высокой обеспеченности. Изучение и установление указанного интервала времени для объекта исследований (каскада гидроузлов на реке Куре) представляет как научную, так и практическую задачу и позволит разработать превентивные мероприятия по оповещению и эвакуации людей, проживающих в нижних бьефах гидроузлов.

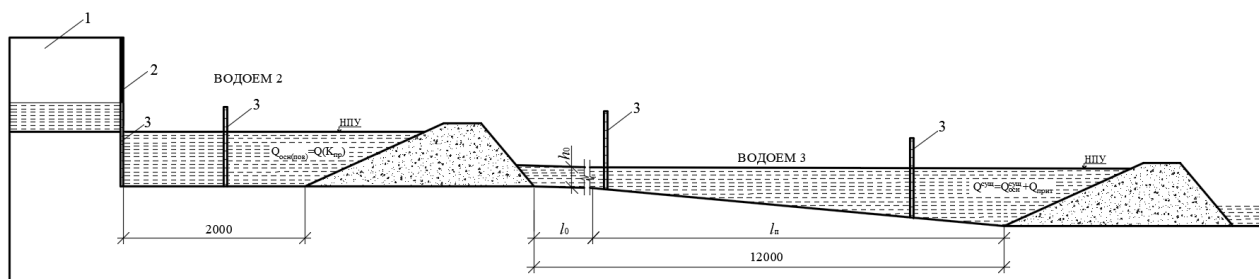
Таким образом, для проведения лабораторных исследований были разработаны следующие схемы каскадного расположения гидроузлов (рис. 1):

**схема 1** – расположение водоемов в подпоре (непосредственно друг за другом) без участка русла между ними (Шамкирское с Еникендским водохранилищем);

**схема 2** – расположение и соединение водоемов друг с другом на расстоянии, равном длине свободного участка русла  $l_0$  с нормальной глубиной  $h_0$  (Еникендское с Мингечаурским, Мингечаурское с Варваринским водохранилищем).



а – расположение водоемов в подпоре (схема 1)



б – расположение водоемов при наличии участка русла с нормальной глубиной  $h_0$  (схема 2)

1 – мерный (оттарированный) бак; 2 – треугольный водослив; 3 – мерные иглы

Рисунок 1. – Схемы расположения моделей ГТС в лабораторной установке

**Определение величины боковой приточности для участков рек.** Исходя из разработанных схем расположения гидроузлов, моделирование аварийной ситуации для Еникендского и Мингечаурского гидроузлов осуществлялось с учетом расхода жидкости, включающей боковую приточность.

На практике для определения максимальных расходов боковой приточности используется метод водного баланса либо разность между соответственными расходами воды в начале и в конце контрольного участка русла (СП 58.13330.2019<sup>1</sup>). Кроме того, при определении величины боковой приточности согласно СП 58.13330.2019 допускается суммирование половодных или паводочных расходов воды отдельных притоков, поступающих одновременно к периметру водохранилища или замыкающему участку створу в том случае, если распространение подпора в пределах контрольного участка незначительно.

При достаточности данных об измеренных расходах воды по притокам (при суммарной площади водосборов, превышающей 70 % площади частного водосбора между ограничивающими участок реки створами), расчет максимальных расходов воды боковой приточности осуществляется путем суммирования половодных или паводочных расходов воды по отдельным притокам (СП 58.13330.2019).

На основании данных проектных материалов, а также результатов многолетних наблюдений<sup>2</sup> в таблице 1 приведены значения расходных максимальных характеристик исследуемого каскада гидроузлов, а также значения боковой приточности рек (Гянджачай, Иори, Алазани) на участке русла между Еникендским и Мингечаурским гидроузлами.

**Таблица 1. – Значение расходных характеристик каскада гидроузлов на реке Куре**

Наименование водохранилища	Максимальная пропускная способность гидроузла, м <sup>3</sup> /сек
Шамкирское	3310,0
Еникендское	3250,0
Мингечаурское	3890,0*
Варваринское	3970,0

Примечание: \* для Мингечаурского гидроузла значение максимальной пропускной способности приведено с учетом боковой приточности.

Максимальные расходные характеристики рек: Гянджачай – 25,6 м<sup>3</sup>/с; Иори – 99,5 м<sup>3</sup>/с; Алазани – 502,0 м<sup>3</sup>/с. Таким образом, величина боковой приточности участка русла между Еникендским и Мингечаурским гидроузлами составляет:

$$Q_{\text{бок}} = Q_{\Gamma} + Q_{\text{И}} + Q_{\text{А}} = 25,6 + 99,5 + 502,0 = 627,1 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4)$$

где  $Q_{\Gamma}$  – максимальный многолетний расход реки Гянджачай, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{\text{И}}$  – максимальный многолетний расход реки Иори, м<sup>3</sup>/с;  $Q_{\text{А}}$  – максимальный многолетний расход реки Алазани, м<sup>3</sup>/с.

Анализируя особенности расходных характеристик исследуемого каскада гидроузлов на реке Куре, необходимо отметить, что величина боковой приточности между Мингечаурским и Варваринским гидроузлами незначительна и при моделировании не учитывалась, не смотря на наличие свободного участка русла между ними (СП 58.13330.2019).

На рисунке 2 приведена схема определения расчетных расходных характеристик каскада гидроузлов на реке Куре с учетом требований к учету боковой приточности и схем их работы.

<sup>1</sup> Гидротехнические сооружения. Основные положения. СНиП 33-01-2003: СП 58.13330.2019. – Введ. 17.06.20. – М.: Стандартинформ, 2020. – 34 с.

<sup>2</sup> Основные положения правил использования водных ресурсов Мингечаурского водохранилища на р. Куре на период 1991–1995 гг. / Всесоюзное ордена Ленина проектно-изыскательское и научно-исследовательское объединение «Гидропроект» им. С.Я. Жука; глав. инж. Бакгидропроект. Р.И. Байрамов. – Бакгидропроект: Баку, 1991. – 45 с.

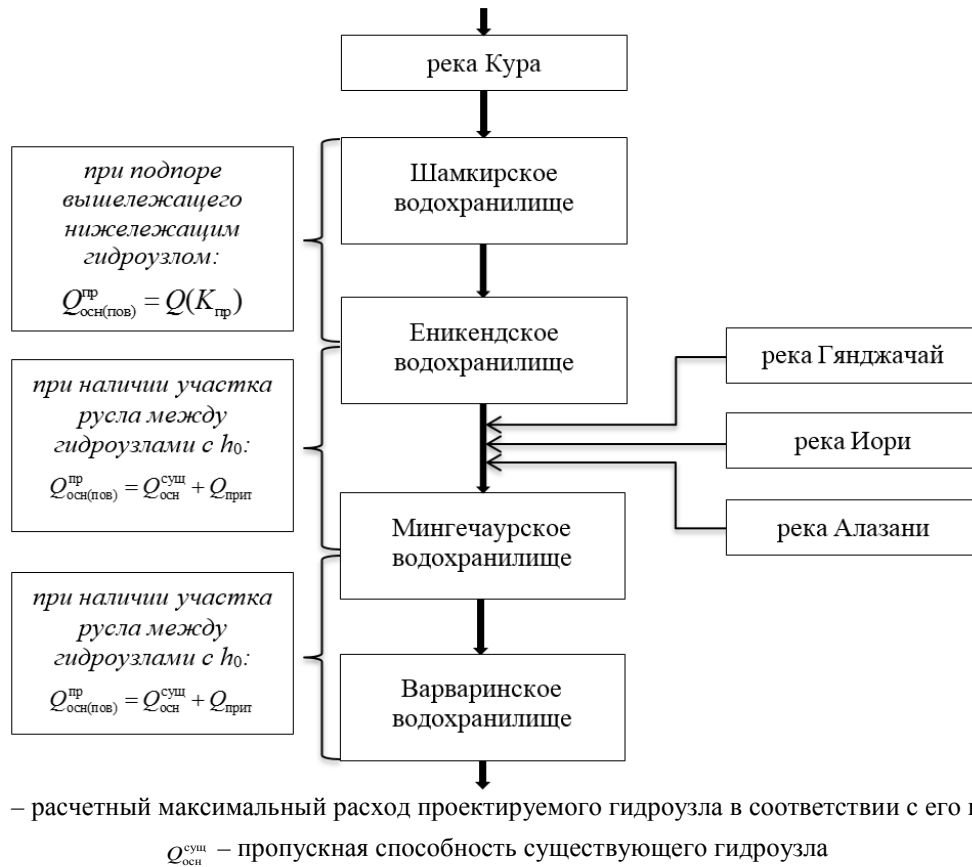


Рисунок 2. – Схема определения расчетных расходных характеристик каскада гидроузлов на реке Кура

**Определение масштаба и размеров моделей ГТС.** При определении масштаба уменьшения моделей ГТС исходили из проектных значений их размеров, размеров руслового лотка (длина – 15,0 м, ширина – 1,0 м), а также пропускной способности треугольного водослива. Исходя из перечисленных условий масштаб моделей составил 1 : 250. С учетом ограниченной длины руслового лотка моделирование уровня режима каскада гидроузлов осуществлялось попарно для каждой схемы регулирования: по схеме 1 – Шамкирское с Еникендским (рис. 1а); по схеме 2 – Еникендское с Мингечаурским, Мингечаурское с Варваринским (рис. 1б).

Основные расчетные характеристики моделируемых гидроузлов приведены в таблице 2. Геометрические параметры ГТС и значения расходов различной обеспеченности для натуральных условий и модели приведены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Таблица 2. – Значения основных характеристик моделируемых гидроузлов

Наименование водохранилища	Максимальный форсированный уровень, м	Уровень мертвого объема, м	Нормальный подпорный уровень, м	Объем, млн м <sup>3</sup>	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>
Шамкирское	159,9	143,5	158,0	2677,0	115,0
Еникендское	104,3	96,5	104,0	158,0	22,61
Мингечаурское	85,5	67,5	83,0	15730,0	605,0
Варваринское	18,8	12,6	18,4	62,0	21,4

Таблица 3. – Параметры ГТС каскада водохранилищ (для натуральных условий)

Название водохранилища	$B$ , м	$H$ , м	$m_1$	$m_2$	$Q_{10\%}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_5\%$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_1\%$ , м <sup>3</sup> /с
Шамкирское	10,0	70,0	1 : 2,5	1 : 2,5	33,5	167,7	3310,0
Еникендское	10,0	27,0	1 : 2,5	1 : 2,5	390,0	1950,0	3250,0
Мингечаурское	10,0	80,0	1 : 2,5	1 : 2,5	2330,0	2600,0	3890,0
Варваринское	3,0	23,0	1 : 2,5	1 : 2,5	476,4	2382,0	3970,0

Таблица 4. – Параметры ГТС каскада водохранилищ (для модели)

Название водохранилища	$B$ , м	$H$ , м	$m_1$	$m_2$	$Q_{10\%}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_5\%$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_1\%$ , м <sup>3</sup> /с
Шамкирское	0,04	0,28	1 : 2,5	1 : 2,5	0,00003	0,00017	0,00028
Еникендское	0,04	0,11	1 : 2,5	1 : 2,5	0,00039	0,00197	0,00329
Мингечаурское	0,04	0,32	1 : 2,5	1 : 2,5	0,00236	0,00263	0,00324
Варваринское	0,01	0,09	1 : 2,5	1 : 2,5	0,00048	0,00241	0,00402

Примечание к таблицам 3–4:  $B$  – ширина плотины по гребню;  $H$  – высота плотины;  $m_1$ ,  $m_2$  – коэффициенты заложения верхового и низового откоса соответственно;  $Q_{(10\%, 5\%, 1\%)}$  – расход воды через водосброс 10, 5 и 1 % обеспеченности.

**Разработка сценарного подхода возникновения аварийных ситуаций на гидроузлах.** При проведении лабораторных исследований применялся сценарный подход возникновения аварийных ситуаций на различных ступенях каскада. При разработке сценариев принималось допущение о возможности возникновения аварии только на одном из водоемов, образующих каскад. Указанные сценарии основаны на проведенном анализе литературных источников, данных натурных наблюдений и оценке состояния сооружений напорного фронта.

Таким образом, при моделировании учитывались следующие сценарии возникновения аварийных ситуаций:

**сценарий 1** – перелив воды через гребень плотины. Реализация указанного сценария возможна при неисправности водосбросных сооружений, а также вследствие возникновения сверхрасчетного паводка либо сверхрасчетной боковой приточности. Нарушение режима эксплуатации водосбросных сооружений происходит в результате их естественного старения, что, в свою очередь, приводит к заклиниванию, механическому повреждению затворов и выходу их из работоспособного состояния [8].

Сверхрасчетный паводок возможен при одновременном возникновении таких опасных природных процессов и явлений, как очень сильный дождь; сильный ветер, генерирующий образование волн и ветрового нагона; интенсивное снеготаяние при положительных температурах и высоком запасе снежного покрова, высокие уровни воды;

**сценарий 2** – разрушение напорного фронта вышележащего гидроузла с последующим переливом через гребень плотины на нижележащем гидроузле. Реализация указанного сценария возможна при протекании абразионных процессов напорных верховых откосов и коренных берегов водохранилищ, а также при нарушении режима фильтрации тела плотины и возникновении контактного выпора в местах примыкания плотины к водосбросным сооружениям и коренным берегам. Моделирование расходных характеристик при данном сценарии осуществлялось от стадии образования прорана в теле плотины с его последующим увеличением до уровня воды, соответствующего уровню мертвого объема. Непосредственно моделирование уровня режима осуществлялось путем регулирования расходных характеристик через треугольный водослив. Механизм и скорость образования прорана в теле плотины принимались на основании исследований [9–11].

**Описание лабораторной установки и порядок проведения исследований.** Основной целью проведения лабораторных исследований было установление зависимости между уровнем поднятия воды в нижележащем водоеме  $H$  (м), расходом  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) и временем ее поступления  $T$  (с), а также влияние сценариев возникновения аварии на вышележащем гидроузле.

Схема лабораторной установки приведена на рисунке 1.

Установка представляет собой гидравлический лоток шириной 1,0 м и длиной 15,0 м. Непосредственно к лотку примыкает мерный бак 1, в котором установлен треугольный водослив 2. Для достижения равномерного движения жидкости по лотку в мерном баке устроена ниша глубиной 0,3 м для гашения энергии водного потока.

При расположении водоемов по схеме 1 в лотке были сконструированы плотины, приведенные на рисунке 1а. Расстояние от треугольного водослива 3 до первой плотины

принималось постоянным и равным 2,0 м, расстояние между водоемом 1 и водоемом 2 по схеме 1 принималось равным 3,25 м. При расположении водоемов по схеме 2 (рис. 1б) расстояние между ними принималось равным 12 м. Кроме того, при данной схеме расположения водоемов дополнительно устанавливался участок русла длиной, равной разнице между кривой свободной поверхности потока и участком русла с нормальной глубиной  $h_0$ . Уклон русла соответствовал естественному и составлял 0,0014.

В качестве материала изготовления моделей ГТС была использована клееная фанера, защищенная полиэтиленовым покрытием. Места примыкания моделей к лотку, а также места соединений отдельных элементов друг с другом герметизировались силиконовым герметиком.

Регистрация изменения уровня воды ( $\Delta H = H_2 - H_1$ ) в водоемах осуществлялась с использованием мерных игл 3. Крепление игл осуществлялось на специальных подставках. Все иглы были оснащены световой индикацией при касании их водной поверхности. Точность измерения отметки уровней воды с помощью мерных игл составляла 0,1 мм.

Перед проведением лабораторных исследований осуществлялось заполнение водой тарированного бака и водоемов до уровня, соответствующего нормальному подпорному уровню водохранилищ.

Подача воды в гидравлический лоток с постоянным расходом осуществлялась через треугольный водослив 2. Расход, проходящий через треугольный водослив 2 и поступающий в лоток, определялся по тарировочной кривой и проверялся по формуле Кинга [1]:

$$Q = 1,343H^{2,47}, \quad (5)$$

где  $H$  – геометрический напор на водосливе, м.

После достижения устойчивого (ламинарного) потока через водослив производилась регистрация уровня в каждом водоеме через равные интервалы времени (каждые 10 с при расходах 1 и 5 % обеспеченности, каждые 20 с при расходах 10 % обеспеченности).

При проведении исследований по схеме 1 мерные иглы устанавливались в центральной части каждого водоема (рис. 1а). При расположении водоемов по схеме 2 иглы устанавливались в верхнем бьефе водоемов, соединяющихся участком русла (рис. 1б).

После каждой серии экспериментальных исследований модели восстанавливались либо заменялись новыми, заново заполнялись водой до нормального подпорного уровня.

При моделировании работы каскада водохранилищ по сценарию 1 осуществлялось поддержание постоянных расходов (1, 5 и 10 % обеспеченности) с одновременной регистрацией изменения уровня в ниже- и вышележащих водоемах.

Для каждой схемы расположения гидроузлов и сценария возникновения чрезвычайной ситуации выполнялось по 8 серий однотипных исследований.

Скорость поднятия уровня воды в верхних бьефах водоемов  $v_{\text{п}}$  (м/с) определялась на основании полученных экспериментальных данных по следующим зависимостям:

– при расположении водоемов по схеме 1:

$$v_{\text{п}} = K_v \frac{\Delta H}{\Delta T}, \quad (6)$$

где  $\Delta H = H_2 - H_1$  – разница между наивысшим  $H_2$  и начальным  $H_1$  уровнем воды, соответствующим нормальному подпорному уровню, м;

$\Delta T = T_2 - T_1$  – разность между моментами времени, соответствующими  $H_2$  и  $H_1$ , с;

$K_v = S_1 / S_2$  – коэффициент, учитывающий изменение площади водного зеркала водохранилища от величины напора.  $S_1$  и  $S_2$  – значения площади водного зеркала водохранилища при напоре, соответствующем нормальному подпорному уровню ( $H_1$ ) и уровню перелива воды через гребень плотины ( $H_2$ ) соответственно. Указанный параметр принимает значения

от 0 до 1 и определяется индивидуально для каждого гидроузла на основании зависимостей  $S = f(H)$ , разрабатываемых на стадии проектирования;

– при расположении водоемов по схеме 2:

$$v_{\text{п}} = K_v \frac{\Delta H}{\Delta T_p + \Delta T}, \quad (7)$$

где  $\Delta T_p$  – время движения воды по участку русла с нормальной глубиной, с.

### Заключение

Разработанная методика лабораторных исследований позволяет моделировать уровень аварийной работы гидроузлов с учетом высоких водосбросных расходов и определить скорости изменения уровня воды в каждой ступени каскада водохранилищ. Отличительной особенностью методики является учет величины боковой приточности через расходные характеристики вышележащего гидроузла в каскаде. Кроме того, методика учитывает схемы расположения водоемов в каскаде (в подпоре и с наличием участка свободного русла с нормальной глубиной), а также сценарии возникновения чрезвычайных ситуаций на гидроузлах. Результаты проведенных исследований будут являться составной частью методики по оценке риска возникновения чрезвычайных ситуаций применительно к Азербайджанской Республике.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чугаев, Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости) / Р.Р. Чугаев. – 4-е изд. – Ленинград: Энергоиздат, Ленингр. отд., 1982. – 672 с.
2. Френкель, Н.З. Гидравлика / Н.З. Френкель. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 456 с.
3. Пастухов, С.М. Оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидроузлах Республики Беларусь, расположенных в каскадах: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.02 / С.М. Пастухов. – Минск, 2011. – 132 л.
4. Исмайлыв, Г.Х. Моделирование режима работы каскада гидроузлов Верхневолжской водохозяйственной системы / Г.Х. Исмайлыв, А.В. Перминов // Природообустройство. – 2020. – № 2. – С. 99–103. DOI: 10.26897/1997-6011-2020-2-99-104.
5. Счисленок, В.Н. Совершенствование управления каскадом волжских водохранилищ на основе гидродинамических моделей и ГИС-технологий / В.Н. Счисленок [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2002. – № 2. – С. 8–12.
6. Беднарук, С.Е. О планировании мероприятий по снижению риска ущербов от наводнений / С.Е. Беднарук // Безопасность энергетических сооружений: научно-технический и производственный сборник. – 2003. – Вып. 11. – С. 407–414.
7. Беднарук, С.Е. Опыт управления каскадом волжскокамских водохранилищ с использованием имитационных математических моделей в период весеннего половодья [Электронный ресурс] / С.Е. Беднарук, Ю.Г. Мотовилов // Управление водно-ресурсными системами в экстремальных условиях: сб. статей междунар. конф., Москва, 4–5 июня 2008 г. – М., 2008. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
8. Малик, Л.К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности / Л.К. Малик. – М.: Наука, 2005. – 354 с.
9. Левкевич, В.Е. Анализ экспериментальных данных по моделированию уровня режима каскадов водохранилищ при возникновении аварийных ситуаций / В.Е. Левкевич, С.М. Пастухов // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2010. – № 2 (12). – С. 14–25.
10. Пастухов, С.М. Методика лабораторных исследований уровня режима водохранилищ, расположенных в каскадах / С.М. Пастухов // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2010. – № 2 (12). – С. 4–13.
11. Богославчик, П.М. Резервные водосбросы с размываемыми грунтовыми вставками на малых водохранилищах и прудах гидромелиоративных систем: дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / П.М. Богославчик. – Минск, 1986. – 158 л.



**Лабораторные исследования уровня режима каскада гидроузлов  
Азербайджанской Республики**

**Laboratory studies of the level mode of the cascade of hydraulic units  
of the Republic of Azerbaijan**

***Пастухов Сергей Михайлович***

кандидат технических наук, доцент

Министерство по чрезвычайным  
ситуациям Республики Беларусь,  
отдел науки и инновационного развития,  
начальник отдела

Адрес: ул. Революционная, 5,  
220030, г. Минск, Беларусь

Email: plamennyj98@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1437-1913

***Sergey M. Pastukhov***

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Ministry of Emergency Situations  
of the Republic of Belarus,  
Science and Innovation Development  
Department, Head of Department

Address: Revolyutsionnaya str., 5,  
220030, Minsk, Belarus

Email: plamennyj98@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1437-1913

***Османов Хикмет Собирович***

Министерство по чрезвычайным ситуациям  
Азербайджанской Республики,  
главное управление кадровой политики,  
начальник управления

Адрес: ул. М. Мушвига, 501,  
AZ1073, г. Баку, Азербайджан

Email: az.hikmet@gmail.com

***Khikmet S. Osmanov***

Ministry of Emergency Situations  
of the Republic of Azerbaijan,  
Main Department of Personnel Policy,  
Head of Department

Address: M. Mushviga str., 501,  
AZ1073, Baku, Azerbaijan

Email: az.hikmet@gmail.com

***Бузук Александр Вячеславович***

Министерство по чрезвычайным  
ситуациям Республики Беларусь,  
отдел науки и инновационного развития,  
главный специалист

Адрес: ул. Революционная, 5,  
220030, г. Минск, Беларусь

Email: uk007@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-8356-9977

***Aleksandr V. Buzuk***

Ministry of Emergency Situations  
of the Republic of Belarus,  
Science and Innovation Development  
Department, Chief Specialist

Address: Revolyutsionnaya str., 5,  
220030, Minsk, Belarus

Email: uk007@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-8356-9977

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.447>

## LABORATORY STUDIES OF THE LEVEL MODE OF THE CASCADE OF HYDRAULIC UNITS OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN

Pastukhov S.M., Osmanov X.S., Buzuk A.V.

*Purpose.* To determine the rate of change in the water level in each stage of the cascade on the river Kura, taking into account the value of the lateral inflow and depending on the scenario of an emergency at maximum discharge flows.

*Methods.* Laboratory studies of the level regime of artificial water bodies and methods of modeling steady-state uneven smoothly varying fluid movement.

*Findings.* A technique has been developed for laboratory studies of the level regime of a cascade of hydrosystems, which makes it possible to establish the dependence of the level of water rise  $H$  (m) in the underlying reservoir located in the cascade on the flow rate  $Q$  (m<sup>3</sup>/s) and the time of its arrival  $T$  (s) under various scenarios of the occurrence of an accident on the overlying hydrolic units, as well as to determine the values of the rate of rise of the water level in the headwaters of reservoirs.

*Application field of research.* The research results are an integral part of the methodology for assessing the risk of emergencies at artificial water bodies located in cascades, which makes it possible to assess the probabilistic measure of the danger of emergencies, and the development of short and medium-term forecasts of emergencies.

*Keywords:* (water) storage reservoir, hydrolic units' cascade, similarity criteria, modeling, risk assessment, emergency situations.

(The date of submitting: October 26, 2021)

### REFERENCES

1. Chugaev R.R. *Gidravlika (tekhnicheskaya mekhanika zhidkosti) [Hydraulics (technical fluid mechanics)]*: 4th edition. Leningrad: Energoizdat, 1982. 672 p. (rus)
2. Frenkel' N.Z. *Gidravlika [Hydraulics]*. Moscow: Gosenergoizdat, 1956. 456 p. (rus)
3. Pastukhov S.M. *Otsenka riska vozniknoveniya chrezvychaynykh situatsiy na gidrouzlahk Respubliki Belarus', raspolozhennykh v kaskadakh [Assessment of the risk of emergencies at hydrolic units of the Republic of Belarus located in cascades]*. PhD tech. sci. diss.: 05.26.02. Minsk, 2011. 132 p. (rus)
4. Ismaylyov G.Kh., Perminov A.V. Modelirovanie rezhima raboty kaskada gidrouzlov Verkhnevolzhskoy vodokhozyaystvennoy sistemy [Modeling of the operating mode of the hydraulic units cascade of the Upper Volga management system]. *Prirodoobustroystvo*, 2020. No. 2. Pp. 99–103. (rus). DOI: 10.26897/1997-6011-2020-2-99-104.
5. Schislenok V.N. et al. Sovershenstvovanie upravleniya kaskadom volzhskikh vodokhranilishch na osnove gidrodinamicheskikh modeley i GIS-tekhnologiy [Improving the management of the cascade of the Volga reservoirs based on hydrodynamic models and GIS technologies]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*, 2002. No 2. Pp. 8–12. (rus)
6. Bednaruk, S.E. O planirovani meropriyatiy po snizheniyu riska ushcherbov ot navodneniy [On planning measures to reduce the risk of flood damages] / S.E. Bednaruk // Bezopasnost' energeticheskikh sooruzheniy: scientific, technical and production collection, 2003. Iss. 11. Pp. 407–414. (rus)
7. Bednaruk S.E., Motovilov Yu.G. Opyt upravleniya kaskadom volzhskokamskikh vodokhranilishch s ispol'zovaniem imitatsionnykh matematicheskikh modeley v period vesennego polovod'ya [The experience of managing a cascade of Volzhskokamsk water storage reservoirs using simulation mathematical models during the spring flood]: electronic resource. *Proc. Intern. conf. «Upravleniye vodno-resursnymi sistemami v ekstremal'nykh usloviyakh»*, Moscow, June 4–5, 2008. 1 electronic optical disc (CD-ROM). (rus)
8. Malik L.K. *Factory riska povrezhdeniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Problemy bezopasnosti [Risk factors of hydraulic structures damage. Safety concerns]*. Moscow: Nauka, 2005. 354 p. (rus)
9. Levkevich V.E., Pastukhov S.M. Analiz eksperimental'nykh dannykh po modelirovaniyu urovnennogo rezhima kaskadov vodokhranilishch pri vozniknovenii avariynykh situatsiy [Analysis of experimental data on modeling the level regime of reservoir cascades in the event of emergency situations]. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2010. No. 2 (12). Pp. 14–25. (rus)

10. Pastukhov S.M. Metodika laboratornykh issledovaniy urovennogo rezhima vodokhranilishch, raspolozhennykh v kaskadakh [Technique for laboratory studies of the level regime of reservoirs located in cascades]. *Vestnik Komandno-inzhenerного института MChS Respubliki Belarus'*, 2010. No. 2 (12). Pp. 4–13. (rus)
11. Bogoslavchik P.M. *Rezervnye vodosbrosy s razmyvaemymi gruntovymi vstavkami na malykh vodokhranilishchakh i prudakh gidromeliorativnykh sistem* [Reserve spillways with soil inserts that can be eroded at small water reservoirs and ponds of irrigation and drainage systems]. PhD tech. sci. diss.: 06.01.02. Minsk, 1986. 158 p.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.458>

УДК 519.248:614.8

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА ВЫЗОВА В СИСТЕМЕ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Сережкин В.Н.

*Цель.* Получить оценку вероятности отказа от обслуживания вызова для нестационарного режима функционирования системы массового обслуживания с отказами.

*Методы.* Операционный метод решения систем линейных дифференциальных уравнений.

*Результаты.* Выражения для оценки вероятности отказа, зависящей от интенсивности потока вызовов  $\lambda$  и интенсивности обслуживания  $\mu$ .

*Область применения исследований.* Моделирование оперативно-тактической деятельности органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, вероятность отказа, система массового обслуживания, определитель матрицы.

(Поступила в редакцию 6 мая 2021 г.)

### Введение

При математическом моделировании оперативно-тактической деятельности органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям используют методы теории массового обслуживания, поскольку пожарная аварийно-спасательная часть представляет собой систему массового обслуживания (СМО), где каналами обслуживания являются отделения на основных или специальных автомобилях. Пусть  $\lambda$  – интенсивность потока вызовов оперативных отделений, который предполагается пуассоновским потоком. Это означает, что вероятность поступления  $k$  вызовов за время  $t$  определяется по формуле Пуассона

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}. \quad (1)$$

Пусть  $t_{\text{обс.}}$  – среднее время обслуживания вызова,  $\mu = 1/t_{\text{обс.}}$  – интенсивность обслуживания,  $\alpha = \lambda \mu^{-1}$  – приведенная интенсивность потока (коэффициент загрузки СМО). Предполагается, что время обслуживания вызова имеет показательное распределение с параметром  $\mu$ . Как отмечается в работе [1], функционирование отделений на специальных автомобилях, например автолестницах, можно моделировать на основе  $n$ -канальной системы массового обслуживания с отказами. Обозначим через  $E_i$ ,  $i = \overline{0, n}$ , – все возможные состояния СМО в момент времени  $t$ . То есть в состоянии  $E_0$  нет вызовов на обслуживание, а в состоянии  $E_i$ ,  $i > 0$ , обслуживанием вызовов занято  $i$  отделений (каналов).

Размеченный граф состояний такой СМО имеет вид, показанный на рисунке 1.

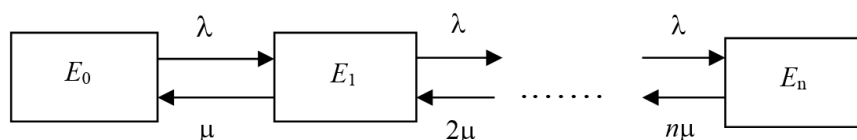


Рисунок 1. – Размеченный граф состояний

Для определения характеристик СМО необходимо определить вероятности  $p_i(t)$ ,  $i = \overline{0, n}$ , ее нахождения в состоянии  $E_i$ . Очевидно, что  $p_0(t) + p_1(t) + \dots + p_n(t) = 1$ . В начальный момент времени

$$p_0(0) = 1, \quad p_1(0) = p_2(0) = \dots = p_n(0) = 0. \quad (2)$$

Вероятность отказа в обслуживании вызова  $p_{\text{отк.}} = p_n(t) = q(t)$  <sup>обозн.</sup> равна вероятности того, что в момент времени  $t$  будут заняты все  $n$  каналов (все отделения заняты обслуживанием вызовов).

**Основная часть**

Для установившегося режима функционирования СМО существуют предельные вероятности ее нахождения в состоянии  $E_i, i = \overline{0, n}$ ,

$$\bar{p}_i = \lim_{t \rightarrow \infty} p_i(t),$$

которые определяются по формулам Эрланга

$$\bar{p}_i = \frac{\alpha^i}{i!} \left( \sum_{j=0}^n \frac{\alpha^j}{j!} \right)^{-1}. \tag{3}$$

В частности, в предельном случае

$$\bar{q} = \bar{p}_n = \frac{\alpha^n}{n!} \left( \sum_{j=0}^n \frac{\alpha^j}{j!} \right)^{-1}. \tag{4}$$

В общем случае функции  $p_i(t)$  удовлетворяют системе дифференциальных уравнений Эрланга – Колмогорова

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), \\ \frac{dp_k(t)}{dt} = -(\lambda + k\mu)p_k(t) + \lambda p_{k-1}(t) + (k+1)\mu p_{k+1}(t), & k = \overline{1, n-1}, \\ \frac{dp_n(t)}{dt} = -n\mu p_n(t) + \lambda p_{n-1}(t). \end{cases} \tag{5}$$

При  $n = 1$  система (5) с начальными условиями (2) имеет точное решение, для которого

$$q(t) = p_1(t) = \frac{\alpha}{1 + \alpha} (1 - e^{-(\lambda + \mu)t}). \tag{6}$$

Аналитическое решение системы (5) в общем случае приводит к необходимости решения алгебраических уравнений  $n$ -й степени, что затрудняет нахождение вероятностей  $p_i(t)$ . В данной работе получена оценка для вероятности отказа  $q(t)$ . В основе вывода лежит операционный метод решения систем линейных дифференциальных уравнений. Все используемые далее определения и формулы можно найти в работе [3].

Заменим функции  $p_i(t), i = \overline{0, n}$ , их изображениями, полученными преобразованием Лапласа

$$X_i = X_i(p) = \int_0^{\infty} e^{-pt} p_i(t) dt, \quad 0 < p \in \mathbb{C}.$$

После замены оригиналов  $p_i(t)$  на их изображения  $X_i$  система (5) примет вид:

$$\begin{cases} pX_0 - 1 = -\lambda X_0 + \mu X_1, \\ pX_k = -(\lambda + k\mu)X_k + \lambda X_{k-1} + (k+1)\mu X_{k+1}, \quad k = \overline{1, n-1}, \\ pX_n = -n\mu X_n + \lambda X_{n-1}. \end{cases} \quad (7)$$

Разделив все уравнения системы (7) на  $\mu$  и положив  $y = p\mu^{-1}$ , представим ее в матричном виде:

$$AX = M, \quad (8)$$

где  $X = (X_0, X_1, \dots, X_n)^T$ ,  $M = (\mu^{-1}, 0, \dots, 0)^T$ ,  $A$  – квадратная матрица порядка  $n + 1$ , имеющая вид:

$$A = \begin{pmatrix} y + \alpha & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -\alpha & y + \alpha + 1 & -2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -\alpha & y + \alpha + 2 & -3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & -\alpha & y + \alpha + n - 1 & -n \\ 0 & \dots & 0 & 0 & -\alpha & y + n \end{pmatrix}.$$

Если определитель  $\det A \neq 0$ , то матричное уравнение (8) имеет единственное решение:

$$X = A^{-1}M = \frac{1}{\det A} \begin{pmatrix} A_{11} & \dots & A_{1,n+1} \\ A_{21} & \dots & A_{2,n+1} \\ \dots & \dots & \dots \\ A_{n+1,1} & \dots & A_{n+1,n+1} \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \mu^{-1} \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{\mu^{-1}}{\det A} \begin{pmatrix} A_{11} \\ A_{12} \\ \dots \\ A_{1,n+1} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где  $A_{ij}$  – алгебраическое дополнение элемента  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца матрицы  $A$ .

Вычислим значение  $\det A$ . Для этого обозначим через  $A_k = A_k(y)$  главную подматрицу матрицы  $A$ , расположенную в строках и столбцах с номерами  $k, k + 1, \dots, n + 1$ ,  $k = \overline{1, n + 1}$ . В частности,  $A_1 = A$ ,  $A_{n+1} = (y + n)$ . Порядок матрицы  $A_k$  равен  $n - k + 2$ .

Введем в рассмотрение матрицы  $U_n$  порядка  $n$  и  $Y$  порядка  $n + 1$ :

$$U_n = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} y & y & y & y & \dots & y \\ -\alpha & y + 1 & y & y & \dots & y \\ 0 & -\alpha & y + 2 & y & \dots & y \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 0 & -\alpha & y + n \end{pmatrix}.$$

Из этих определений следует, что  $U_{n+1}A = Y$ . Определим теперь алгебраические дополнения  $A_{1k} = A_{1k}(y)$  элементов первой строки матрицы  $A$ . Очевидно, что  $A_{11} = \det A$ ,  $A_{1,n+1} = (-1)^{n+2}(-\alpha)^n = \alpha^n$ . При  $k = \overline{2, n}$  будем иметь:

$$A_{1k} = (-1)^{1+k} \det \begin{pmatrix} -\alpha & * & \dots & * & \dots & * \\ 0 & -\alpha & \dots & * & \dots & * \\ 0 & \dots & 0 & -\alpha & \dots & * \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & A_{k+1} \end{pmatrix} = \alpha^{k-1} \det A_{k+1}.$$

Определитель матрицы  $A$ :

$$\det A = \det(U_{n+1}A) = \det Y = y\Delta_{n+1}, \quad n \geq 0, \quad (10)$$

где

$$\Delta_{n+1} = \Delta_{n+1}(y) = \det \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ -\alpha & y+1 & y & y & \dots & y \\ 0 & -\alpha & y+2 & y & \dots & y \\ \hline 0 & \dots & 0 & 0 & -\alpha & y+n \end{pmatrix}.$$

Очевидно, что  $\Delta_1 = 1$ ,  $\Delta_2 = y + 1 + \alpha$ . Разлагая последовательно определитель  $\Delta_{n+1}$  по элементам последней строки, для  $n \geq 2$  получим рекуррентную формулу:

$$\Delta_{n+1} = (y+n)\Delta_n + \alpha \left( y\Delta_{n-1} + \alpha \left( y\Delta_{n-2} + \dots + \alpha(y\Delta_1 + \alpha) \right) \right),$$

$$\Delta_{n+1} = (y+n)\Delta_n + \alpha^n + y \sum_{i=1}^{n-1} \alpha^i \Delta_{n-i}. \quad (11)$$

Обозначим через  $B_r(t)$ ,  $r = 0, 1, 2, \dots$  следующий многочлен степени  $r + 1$ :

$$B_r(t) = \alpha^{r+1} + \sum_{i=0}^r C_{r+1}^i t(t+1)\dots(t+r-i)\alpha^i, \quad \alpha > 0, \quad (12)$$

где  $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ .

Очевидно, что  $B_0(t) = t + \alpha$ ,  $B_1(t) = t(t+1) + 2\alpha t + \alpha^2$ . Положим  $B_{-1}(t) = 1$ . Многочлены  $B_r(t)$  были введены в работе [2, с. 91]. В этой работе доказано, что  $B_r(t)$  имеет  $r + 1$  простых отрицательных корней (следовательно,  $B_r(t) > 0$  при  $t \geq 0$ ) и выполняется соотношение

$$B_r(t) = tB_{r-1}(t+1) + \alpha B_{r-1}(t), \quad r = 0, 1, \dots \quad (13)$$

**Лемма 1.** Многочлены  $B_r(t)$  связаны соотношением

$$tB_r(t+1) = (r+1+t)B_r(t) - \alpha(r+1)B_{r-1}(t). \quad (14)$$

Для доказательства достаточно сравнить коэффициенты при степенях  $\alpha^i$  в левой и правой частях соотношения (14). В правой части этот коэффициент равен

$$\begin{aligned} & (r+1+t)C_{r+1}^i t(t+1)\dots(t+r-i) - (r+1)C_r^{i-1} t(t+1)\dots(t+r-i) = \\ & = (r+1+t)C_{r+1}^i t(t+1)\dots(t+r-i) - iC_{r+1}^i t(t+1)(t+2)\dots(t+r-i) = \\ & = C_{r+1}^i t(t+1)(t+2)\dots(t+r-i)(t+r+1-i), \end{aligned}$$

что совпадает с коэффициентом при  $\alpha^i$  в левой части.

**Лемма 2.** При  $r \geq 1$  многочлены  $B_r(t)$  связаны рекуррентной формулой

$$B_r(t) = (r+t)B_{r-1}(t) + \alpha^{r+1} + (t-1) \sum_{i=1}^r \alpha^i B_{r-1-i}(t). \quad (15)$$

Доказательство проводится индукцией по  $r$  с использованием формул (13) и (14). При  $r = 1$  утверждение леммы легко проверяется. Пусть  $r > 1$ . Рассмотрим разность

$$\begin{aligned}
 & B_r(t) - (r+t)B_{r-1}(t) - \alpha^{r+1} - (t-1) \sum_{i=1}^r \alpha^i B_{r-1-i}(t) = \\
 & \stackrel{(13)}{=} tB_{r-1}(t+1) + \alpha B_{r-1}(t) - (r+t)B_{r-1}(t) - \alpha^{r+1} - (t-1) \sum_{i=1}^r \alpha^i B_{r-1-i}(t) = \\
 & \stackrel{(14) \text{ для } r-1}{=} (r+t)B_{r-1}(t) - \alpha B_{r-2}(t) + \alpha B_{r-1}(t) - (r+t)B_{r-1}(t) - \alpha^{r+1} - (t-1) \sum_{i=1}^r \alpha^i B_{r-1-i}(t) = \\
 & \stackrel{(15) \text{ для } r-1}{=} -\alpha B_{r-2}(t) + \alpha[(r-1+t)B_{r-2}(t) + \alpha^r + (t-1) \sum_{i=1}^{r-1} \alpha^i B_{r-2-i}(t)] - \alpha^{r+1} - (t-1) \sum_{i=1}^r \alpha^i B_{r-1-i}(t) = \\
 & = (t-1)[\alpha B_{r-2}(t) + \sum_{i=1}^{r-1} \alpha^{i+1} B_{r-2-i}(t) - \sum_{i=1}^r \alpha^i B_{r-1-i}(t)] \equiv 0.
 \end{aligned}$$

Что и требовалось доказать.

**Лемма 3.** Для всех  $n \geq 0$  справедливо равенство

$$\Delta_{n+1} = B_{n-1}(y+1). \tag{16}$$

Действительно, при  $n = 0$  или  $n = 1$  утверждение очевидно. Пусть  $n > 1$ . Применяя индуктивное предположение, формулу (11) и лемму 2, находим

$$\begin{aligned}
 \Delta_{n+1} & \stackrel{(11)}{=} (n+y)\Delta_n + \alpha^n + y \sum_{i=1}^{n-1} \alpha^i \Delta_{n-i} = \\
 & \stackrel{(16) \text{ для } n}{=} (n+y)B_{n-2}(y+1) + \alpha^n + y \sum_{i=1}^{n-1} \alpha^i B_{n-2-i}(y+1) = [y+1=t] = \\
 & = (n-1+t)B_{n-2}(t) + \alpha^n + (t-1) \sum_{i=1}^{n-1} \alpha^i B_{n-2-i}(t) \stackrel{(15) \text{ при } r=n-1}{=} B_{n-1}(t) = B_{n-1}(y+1).
 \end{aligned}$$

Утверждение доказано.

Таким образом, в силу (10), (16) и свойства многочленов  $B_r(t)$  определитель  $\det A = yB_{n-1}(y+1) \neq 0$ . И с учетом этого из формулы (9) получим

$$X_k(p) = \frac{A_{1,k+1}(y)}{\mu y B_{n-1}(y+1)} = \frac{A_{1,k+1}(p\mu^{-1})}{p B_{n-1}(p\mu^{-1}+1)}, \quad k = \overline{0, n}. \tag{17}$$

Для определения оригиналов  $p_k(t)$  нужно найти разложение в сумму простейших дробей правых частей равенств (17). Нахождение такого разложения хорошо известно. Рассмотрим случай  $k = n$ .

$$X_n(p) = \frac{\alpha^n}{p B_{n-1}(p\mu^{-1}+1)}.$$

Пусть  $f(y) = yB_{n-1}(y+1) = (y-\lambda_0)(y-\lambda_1)\dots(y-\lambda_n)$ ,  $\lambda_0 = 0$ ,  $\lambda_i \neq \lambda_j$  при  $i \neq j$ , – многочлен степени  $n+1$ . Как было отмечено выше, простые корни  $\lambda_i < 0$  при  $i > 0$ . Пусть  $f_i(y) = f(y)(y-\lambda_i)^{-1}$  – многочлены степени  $n$ ,  $i = \overline{0, n}$ .

Так как [3, с. 229]

$$\frac{\alpha^n}{\mu f(y)} = \frac{\alpha^n}{\mu} \sum_{i=0}^n \frac{1}{f_i(\lambda_i)} \cdot \frac{1}{y-\lambda_i} = \alpha^n \sum_{i=0}^n \frac{1}{f_i(\lambda_i)} \cdot \frac{1}{p-\mu\lambda_i},$$

оригинал  $p_n(t)$  равен



$$p_n(t) = \alpha^n \sum_{i=0}^n \frac{1}{f_i(\lambda_i)} e^{\mu \lambda_i t}. \quad (18)$$

Так как  $y = e^x - 1$  и  $y = x$  – эквивалентные бесконечно малые функции при  $x \rightarrow 0$ , то для малых значений  $t$  справедливо соотношение

$$\begin{aligned} q(t) = p_n(t) &= \alpha^n \sum_{i=0}^n \frac{1}{f_i(\lambda_i) e^{-\mu \lambda_i t}} \approx \alpha^n \sum_{i=0}^n \frac{1}{f_i(\lambda_i) (1 - \mu \lambda_i t)} = \\ &= \frac{\alpha^n}{\mu t} \sum_{i=0}^n \frac{1}{f_i(\lambda_i) \left( \frac{1}{\mu t} - \lambda_i \right)} = \frac{\alpha^n}{\mu t f \left( \frac{1}{\mu t} \right)} = \frac{\alpha^n}{B_{n-1} \left( \frac{1}{\mu t} + 1 \right)}. \end{aligned}$$

Таким образом, для достаточно малых значений  $t$  имеет место оценка вероятности отказа от обслуживания вызова, зависящая только от параметров  $\alpha$  и  $\mu$

$$q(t) \approx \alpha^n / B_{n-1} \left( \frac{1}{\mu t} + 1 \right).$$

### Заключение

Полученный результат дает возможность оценить вероятность отказа от обслуживания вызова для многоканальной системы массового обслуживания с отказами для нестационарного режима функционирования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Брушлинский, Н.Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы / Н.Н. Брушлинский – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.
2. Хинчин, А.Я. Математические методы теории массового обслуживания [Электронный ресурс] / А.Я. Хинчин // Тр. МИАН СССР, 1955. – Т. 49. – С. 3–122. – Режим доступа: <http://mi.mathnet.ru/rus/tm/v49/p3>. – Дата доступа: 10.02.2021.
3. Жевняк, Р.М. Высшая математика: в 5 ч. / Р.М. Жевняк, А.А. Карпук. – Минск.: Выш. школа, 1984–1988. – Ч. 4. – 1987. – 240 с.
4. Ивченко, Г.И. Теория массового обслуживания / Г.И. Ивченко, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко. – М.: Выш. школа, 1982. – 256 с.

**Оценка вероятности отказа вызова в системе массового обслуживания**  
**Estimation of the probability of a call failure in a queuing system**

***Серезжин Валентин Николаевич***

кандидат физико-математических наук,  
доцент

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

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

Email: [valserezhkin@mail.ru](mailto:valserezhkin@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-2676-942X

***Valentin N. Serezhkin***

PhD in Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor

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

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

Email: [valserezhkin@mail.ru](mailto:valserezhkin@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-2676-942X

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.458>

## ESTIMATION OF THE PROBABILITY OF A CALL FAILURE IN A QUEUING SYSTEM

Serezhkin V.N.

*Purpose.* To obtain an estimate of the probability of failure to service a call for a non-stationary mode of operation of a queuing system with failures.

*Methods.* An operational method for solving systems of linear differential equations.

*Findings.* Expressions for estimating the probability of failure, depending on the intensity of the call flow  $\lambda$  and the intensity of service  $\mu$ .

*Application field of research.* Modeling of operational and tactical activity of bodies and departments for emergency situations.

*Keywords:* mathematical modeling, probability of failure, queuing system, matrix determinant.

(The date of submitting: May 6, 2021)

### REFERENCES

1. Brushlinskiy N.N. *Sistemnyy analiz deyatel'nosti Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby* [System analysis of the activities of the State Fire Service]. Moscow: Moscow Institute of Fire Safety of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1998. 255 p. (rus)
2. Khinchin, A.Ya. Matematicheskie metody teorii massovogo obsluzhivaniya [Mathematical methods of the queuing theory]. *Trudy Matematicheskogo Instituta imeni V.A. Steklova*, 1955. Vol. 49. Pp. 3–122. (rus). Url: <http://mi.mathnet.ru/rus/tm/v49/p3>.
3. Zhevnyak R.M., Karpuk A.A. *Vysshaya matematika* [Higher mathematics]: in 2 parts. Minsk: Vysheyshaya shkola, 1984–1988. Part 4. 1987. 240 p.
4. Ivchenko G.I., Kashtanov V.A., Kovalenko I.N. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Queuing theory]. Moscow: Vysshaya shkola, 1982. 256 p.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.466>

УДК 578.834.1, 5, 575.112

## КОРОНАВИРУСНАЯ ПАНДЕМИЯ: ФАКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ОПАСНОЙ ИНФЕКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОТИВОСТОЯНИЯ

Спринджук М.В., Берник В.И., Бэтгэрэл Б., Владыко А.С., Титов Л.П.,  
Скрягина Е.М., Скрягин А.Е., Яцкевич Н.В., Кончиц А.П., Климук Д.А.,  
Калоша Н.И., Кудин А.С., Глинская Т.Н., Солодовникова В.В.

*Цель.* Междисциплинарно изучить и кратко описать ключевые вопросы эпидемиологии, этиологии коронавирусной инфекции, сопутствующих инфекций (в частности, туберкулеза и ВИЧ-инфекции), а также вопросы применения арсенала средств медицинской кибернетики, биоинформатики и других смежных физико-математических и технических наук для решения задач в области эпидемиологии, моделирования и мониторинга заболевания, медицинской профилактики и лечения пациентов.

*Методы.* Анализ публикаций из общедоступных баз данных по проблеме исследования: Google scholar (<https://scholar.google.ru>), EBSCO (<https://www.ebsco.com>), КиберЛенинка (<https://cyberleninka.ru>), PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>), IEEE explore (<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>), BioRxiv (<https://www.biorxiv.org>).

*Результаты.* Освещены современные данные этиологии и эпидемиологии новой коронавирусной инфекции. Представлены возможности применения в данной предметной области современных методов биоинформатики и искусственного интеллекта, математического моделирования и прогноза. Отображены избранные аспекты применения иммуноинформатики и разработки эффективных и безопасных вакцин, реальные возможности применения медицинских дронов для борьбы с COVID-19.

*Область применения исследований.* Материал статьи может быть использован как полезный источник информации для ученых, работников медицинских, биологических, биотехнологических и смежных специальностей, а также в образовательном процессе, реализуемом учреждениями высшего образования и дополнительного образования специалистов. Статья будет интересна широкому кругу читателей.

*Ключевые слова:* коронавирус, пандемия, биоинформатика, системы медицинского назначения, геномика, особо опасные инфекции, математическое моделирование, иммуноинформатика, медицинские дроны, прогнозирование, противовирусная терапия.

(Поступила в редакцию 10 августа 2021 г.)

### Введение

Вспышка *новой коронавирусной инфекции COVID-19* началась в середине декабря 2019 г. в Ухане (Китай) и распространилась по всему миру.

За период с декабря 2019 г. по август 2021 г. в мире умерло около 4 280 663 больных с подтвержденным диагнозом новой коронавирусной инфекции. За это же время в Беларуси умерло 3503 пациента, в России – 162 509, на Украине – 53 065<sup>1</sup>.

Основным источником коронавирусной инфекции является больной человек, в том числе находящийся в инкубационном периоде заболевания.

### Клиническая картина заболевания и вопросы ранней диагностики

Пути передачи инфекции: воздушно-капельный (при кашле, чихании, разговоре), воздушно-пылевой и контактный. Факторы передачи: воздух, пищевые продукты и предметы обихода, контаминированные SARS-CoV-2. Инкубационный период варьируется от 2 до 20 суток. Из клинических проявлений регистрируются: головные боли (8 %), кровохарканье (5 %), диарея (3 %), тошнота, рвота, сердцебиение, потеря вкуса и обоняния, боли в мышцах и суставах, цианоз конечностей. Данные симптомы в дебюте инфекции могут наблюдаться

<sup>1</sup> COVID-19 Coronavirus pandemic [Electronic resource] // COVID Live Update: Death from the Coronavirus – Worldometr. – Mode of access: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>. – Date of access: 05.08.2021.

в отсутствие повышения температуры тела. Одышка, как правило, наблюдается на 6–е–8–е сутки от момента заражения. Гипоксемия (снижение SpO<sub>2</sub> менее 88 %) развивается более чем у 30 % пациентов. Средний возраст больных в провинции Ухань составлял около 41 года, наиболее тяжелые формы развивались у пациентов пожилого возраста (60 и более лет) и страдающих коморбидной патологией. Наиболее часто у больных COVID-19 были отмечены следующие сопутствующие заболевания: сахарный диабет – 20 %, артериальная гипертензия – 15 %, другие сердечно-сосудистые заболевания – 15 %. Легкое течение COVID-19 наблюдается приблизительно у 80 % больных (случаи без развития пневмонии или с пневмонией среднетяжелого течения), тяжелое течение в 15 % (пневмония с острой дыхательной недостаточностью (ОДН), частота дыхания более 30 в минуту, SpO<sub>2</sub> ≤ 93 %, PaO<sub>2</sub> / FiO<sub>2</sub> ≤ 300, очаги диффузных инфильтративных изменений – более 50 % легочной ткани, появившиеся через 24–48 часов от начала болезни). Крайне тяжелое течение – 3 % (ОДН, септический шок, синдром полиорганной недостаточности). В числе биологических маркеров COVID-19 фигурирует лейкопения – 33,7 %, лимфопения – 82,1 %, тромбоцитопения – 36,2 %, повышение ЛДГ (лактат дегидрогеназы) более 250 U/л – 41,5 %, высокие концентрации D-димера. С-реактивный белок и прокальцитонин при коронавирусной пневмонии находятся в пределах референсных значений или незначительно повышены. Повышение СРБ (С-реактивного белка) и прокальцитонина свидетельствует о присоединении бактериальной инфекции и коррелирует с тяжестью течения, распространенностью воспалительной инфильтрации и неблагоприятным прогнозом при бактериальных осложнениях. С практической точки зрения наиболее важно пациентам с подозрением на коронавирусную инфекцию выполнять компьютерную томографию органов грудной клетки (КТ ОГК). Изменения на КТ наблюдаются у 76 % больных (изменения по типу матового стекла – 50 %, односторонние инфильтраты – 37,2 %, двухсторонние инфильтраты – 46 %, интерстициальные изменения – 13,6 %). На КТ основными типичными проявлениями вирусной пневмонии COVID-19 являются многочисленные уплотнения легочной ткани по типу матового стекла, преимущественно округлой формы, различной протяженности с или без консолидации с утолщением септ или без, периферической, мультилобарной локализации. Нехарактерные признаки: уплотнения легочной ткани по типу матового стекла центральной и прикорневой локализации, единичные солидные узелки; наличие кавитаций, плевральный выпот; лимфоаденопатия (по А.А. Зайцеву, 2020) [1; 2].

Потенциально зараженными COVID-19 следует считать всех вступавших в контакт с пациентами с подтвержденной инфекцией COVID-19 или вернувшихся из стран высокого риска за 14 дней до появления следующих симптомов: 1) лихорадка (даже при отсутствии симптомов поражения дыхательных путей); 2) кашель; 3) острая респираторная инфекция любой степени тяжести (с лихорадкой или без нее); 4) тяжелая острая респираторная инфекция, требующая госпитализации; 5) клинические/рентгенологические признаки пневмонии. Контакты определяются как: 1) совместное проживание с подтвержденным носителем инфекции; 2) прямой или тесный контакт (любой продолжительности) с инфицированным человеком или его биологическими жидкостями без использования соответствующих средств защиты; 3) нахождение в пределах двух метров от человека с подтвержденной инфекцией (по Е.Л. Никонову, С.В. Кашину, Р.О. Куваеву, А.А. Резвой) [3].

В литературе активно анализируется поиск *правильного статистического описания инфекционных вспышек* в интересах развития эпидемиологии и медицинского страхования. Это было бы невозможно сделать без учета ряда конкретных деталей эпидемического процесса.

Первые же исследования по схеме «случай – контроль» позволили установить, что новый вирус отличается высокой степенью заразности и передается преимущественно воздушно-капельным путем.

Начало заражения протекает со слабовыраженной симптоматикой и нечетко определенным инкубационным периодом. Наличие вируса в биологических жидкостях можно определить по результатам обратной транскриптазно-полимеразной цепной реакции в ре-

жиме реального времени (ПЦР-теста), проводимой, как правило, уже после проявления типичных симптомов заболевания. Диагностические пробы выделяются из носоглотки, однако тест не гарантирует безошибочной работы. При проверке характеристик теста на когорте носителей SARS-CoV-2 ложноотрицательные результаты наблюдались в 28–37 % случаев [4].

В бессимптомный период обнаружить носителей вируса обычно не удается, однако зарегистрировано четыре подтвержденных случая передачи COVID-19 на территории Германии в результате контакта в период деловых переговоров с представителем китайского бизнеса, не имевшим симптомов заболевания [4]. Сообщения китайских врачей также подтверждают возможность такого способа заражения. Установлено, что риску инфицирования наиболее подвержены лица с ослабленным иммунитетом или хроническими заболеваниями, несмотря на то что шансы заражения новым вирусом имеют все, независимо от возраста. Большинство лиц с клиническими признаками были в возрасте от 28 до 89 лет [4].

Для изучения течения эпидпроцесса разработано несколько специализированных веб-серверов: Meta-MUMS COVID-19 [5], GISAID<sup>2</sup>.

### Этиология пандемии

В связи со вспышкой новой коронавирусной инфекции в Китае исследование значеня коронавирусов для возникновения инфекционных заболеваний и эпидемий стало особо актуальным. Коронавирусы (Coronaviridae, CoVs) – семейство РНК-содержащих вирусов (включает 2 подсемейства, 5 родов, 39 видов), которые у различных млекопитающих и человека способны вызывать острые респираторные заболевания различной степени тяжести, такие как ближневосточный респираторный синдром (Middle East Respiratory Syndrome, MERS) и тяжелый острый респираторный синдром (Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS). Коронавирусы потенциально поражают практически все органы жертвы, наибольший ущерб наносится респираторной, сердечно-сосудистой и пищеварительной системам, особенно страдает печень, что может усугубляться фармакотерапией, в тяжелых случаях вовлекается центральная нервная система.

SARS известен с ноября 2002 г. Впервые появился в Китайской Народной Республике (КНР), провинции Гуандун. Пандемия 2003 г. Выявлен 8461 случай (916 смертей, 10,8 %) в 35 странах, ущерб 59 млрд долларов США.

MERS известен с 2012 г. Впервые выявлен на Аравийском полуострове, в Саудовской Аравии. С марта 2012 г. по апрель 2018 г. – 2224 подтвержденных случая, в том числе 834 с летальным исходом (37,5 %). Республика Корея, 2015 г., – крупная вспышка с заражением медработников: 186 заболевших, из них 36 человек погибло (летальность 19,4 %) [6; 7].

До эпидемических вспышек SARS в 2002 г. и MERS в 2012 г. коронавирусы не считались высокопатогенными для человека, т.к. ранее циркулировавшие в человеческой популяции вирусы у иммунокомпетентных лиц вызывали в основном только легкие формы заболевания. Тяжелые, часто летальные формы пневмоний, возникавшие при вспышках SARS и MERS у лиц без иммунодефицита, заставили по-новому оценить патогенность коронавирусов для человека. Была доказана возможность передачи CoVs от человека к человеку.

Официальная информация о вспышке пневмонии неизвестной этиологии в Ухане (Wuhan City), столице провинции Хубэй (Hubei Province of China), появилась впервые 31 декабря 2019 г. из центра Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в Китае (WHO China Country Office). 3 января 2020 г. это новое заболевание было подтверждено у 44 пациентов. Все они – взрослые жители города Уханя, связанные с местным рынком животных и морепродуктов Хуанань. 7 января 2020 г. китайскими властями было подтверждено, что причиной вспышки является новый штамм коронавируса. 12 января 2020 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) присвоила новому коронавирусу временное название – 2019-

<sup>2</sup> GISAID – phylogenetics [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.gisaid.org/phylogenetics/>. – Date of access: 05.08.2021.

nCoV (2019 novel coronavirus, новый коронавирус 2019), постоянное название – Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) было дано Международным комитетом по таксономии вирусов (International Committee of Taxonomy of Viruses, ICTV) в феврале 2020 г. (Д.В. Горенков и др., 2020) [6]. В России первые случаи инфекции, вызванной коронавирусом 2019-nCoV, были зафиксированы 31 января 2020 г. у двух граждан Китая.

Первый полный геном нового коронавируса был определен в декабре 2019 г. из мокроты и крови пациента с тяжелой пневмонией.

Природным резервуаром вируса SARS-CoV-2 являются летучие мыши. Дополнительным резервуаром могут служить млекопитающие, поедающие летучих мышей, с дальнейшим распространением среди людей. Филогенетические исследования выделенных штаммов показали, что геномные последовательности вирусов, найденных в летучих мышах, на 99 % идентичны тем, что выделены у пациентов с COVID-19 (С.В. Сметанина, 2020) [7].

Коронавирусы – РНК-содержащие вирусы, являющиеся возбудителями зоонозных инфекций, которые передаются между животными (циветтовые кошки, верблюды-дромадеры и др.) и людьми. Коронавирусы были впервые выделены в 1975 г., в настоящее время выделяют 4 подсемейства (альфа, бета, дельта и гамма) и более 30 видов, список которых постоянно пополняется. Причина появления новых коронавирусов, вызывающих тяжелые и быстро распространяющиеся заболевания, – *спонтанные (селективные и неконтролируемые) мутации*. Поэтому все виды коронавирусов потенциально могут быть опасными для человека. На долю коронавирусов может приходиться от 10 до 30 % ежегодных случаев острых респираторных вирусных инфекций.

Наибольшее число случаев коронавирусной инфекции регистрируется в зимнее и весеннее время. Источник этой инфекции – заболевшие и носители. Пути передачи – воздушно-капельный и контактно-бытовой, реализуемый через контаминированные коронавирусом предметы обихода. Выделение вируса SARS-CoV-2 от больного максимально в первые 1–3 суток от начала болезни и может начинаться за 48 ч до начала заболевания. Вирус SARS-CoV-2 может быть выделен из фекалий. У выздоровевших пациентов лабораторные тесты могут быть положительными после исчезновения симптомов. Подавляющее большинство случаев заражения возникает при контакте с клинически манифестированными случаями (у 1–5 % из 38 тысяч близких контактов развивается COVID-19), передача в большинстве случаев осуществляется в семейных кластерах (75–85 % кластеров), доказательств передачи инфекции от детей взрослым не обнаружено. Патогенез коронавирусной инфекции заключается в колонизации и разрушении коронавирусами эпителиоцитов верхних дыхательных путей. При недостаточном иммунитете процесс переходит на альвеолы и сопровождается разрушением сурфактанта, избыточной экссудацией и резким снижением газообмена. У переболевших лиц развивается стойкий типоспецифический иммунитет и происходит замещение пораженных участков стенок альвеол соединительной тканью (Б.К. Романов, 2020) [8].

Биоинформационный анализ генома SARS-CoV-2 показал около 50 % подобия со средиземноморским респираторным синдромом, 80 % с коронавирусом SARS и 88 % с вирусами летучих мышей [9].

Для идентификации этиологии, таксономии, онтологии и филогенеза SARS-CoV-2 вируса по данным секвенирования применяется следующее программное обеспечение: Pangolin<sup>3</sup>, NextClade<sup>4</sup>, Genome detective [10; 11].

<sup>3</sup> Pangolin COVID-19. Lineage Assigner. Phylogenetic Assignment of Named Global Outbreak LINeages [Electronic resource] // COG-UK. – Mode of access: <https://pangolin.cog-uk.io/>. – Date of access: 05.08.2021.

<sup>4</sup> Nextclade. Clade assignment, mutation calling, and sequence quality checks [Electronic resource] // Nextclade. – Mode of access: <https://clades.nextstrain.org/>. – Date of access: 05.08.2021.

### Коронавирус, туберкулез и вирус иммунодефицита человека

Публикаций по теме COVID-19 инфекции у ВИЧ-инфицированных пациентов и больных с ВИЧ-ассоциированным туберкулезом *относительно немного* [12–26]. Подробное описание их иммунологического и клинического статуса в доступной литературе практически отсутствует. Существует гипотеза, что пациенты названных групп получают противовирусную терапию, которая препятствует развитию коронавирусной инфекции (рис. 1).



Другие гипотетические лекарственные средства: фитоэстрогены (содержат, например, свекла и морковь, бурбон, кверцетин [Ante Tomasovic, 2021]) статины, ингибиторы ангиотензин-превращающего фермента, аспирин и ибупрофен, ингибиторы протонной помпы, протеаз, ремантадин, осельтамивир, лопинавир/ритонавир, китайские травы, мед, блокаторы интерлейкина-6, фактора некроза опухолей. Анти-COVID-19 антибиотики: фторхинолоны, тетрациклины, макролиды, метронидазол и противопротозойные антибиотики.

Нуклеозиды: ганцикловир, ацикловир, ремдесивир<sup>5</sup>

**Рисунок 1. – Схема этиотропного лечения COVID-19**

Для изучения фармакогеномики и физической химии противовирусных лекарственных средств применяется следующее программное обеспечение: MEGADOCK, MOLS, DOCK, AutoDock, AutoDock Vina [27–31].

### Полногеномное секвенирование, биоинформатика и искусственный интеллект

Современные технологии высокопроизводительного секвенирования позволяют выделить и амплифицировать сравнительно самый крупный геном РНК коронавируса [32–37]. Анализ полученных биоинформационных данных дает возможность идентифицировать и классифицировать элементарные структуры генома для сравнительного анализа с известными геномами различных микроорганизмов, растений и млекопитающих. С усовершенствованиями и доступностью компьютерной техники появились новые возможности эффективно изучать биоинформационные данные, под которыми понимают геномный текст и соответствующие метаданные. В широком смысле данного термина под такими данными подразумевается сигнальная информация от биологических объектов, которая может иметь не только текстовый формат, но и представление в виде изображений, звука, видео и т.п.

Современные персональные компьютеры позволяют обрабатывать геномическую информацию в объеме 500 ГБ и более, что десять лет назад было практически невозможно. Появилось новое программное обеспечение и онлайн-базы данных для сравнения и аннотирования новых просеквенированных геномов, что обогащает научное познания живой природы, микробиологии и эпидемиологии особо опасных вирусов в частности.

<sup>5</sup> COVID-19 Studies from the World Health Organization Database [Electronic resource] // ClinicalTrials.gov. – Mode of access: [https://clinicaltrials.gov/ct2/who\\_table](https://clinicaltrials.gov/ct2/who_table). – Date of access: 05.08.2021.



Биоинформационные методы обработки данных позволяют изучать мутационную изменчивость патогенов, прогнозировать их резистентность к дезинфектантам и антибиотикам, изучать эволюцию и миграцию микробов, позволяют идентифицировать мишени фармакотерапии. На примерах различных вирусов накоплен практический опыт применения технологий получения и обработки данных полногеномного секвенирования для изучения природы микробов [38–44].

Новая коронавирусная инфекция требует изучения геномов и их динамики, только по этим данным можно обоснованно судить о ее природе, эволюции, структурным мишеням, происхождению и т.д.

Структурно новый коронавирус представляет собой сферические частицы диаметром 120 нм. Оболочка вириона содержит булавовидные отростки (S, spike), белки оболочки (E), мембранный белок (M), нуклеокапсидный белок (N). Геном представлен +РНК длиной примерно 30 000 нуклеотидов, +РНК содержит кэп-структуру и поли(А)-последовательность.

Генетический код SARS-CoV-2 на 70 % аналогичен SARS-CoV-1 и, соответственно, SARS-CoV-2 способен использовать тот же рецептор АПФ-2 (*ангиотензин-превращающего фермента*) для проникновения в клетку, что и SARS-CoV. Однако сродство S пептида SARS-CoV-2 к АПФ-2 человека примерно в 10–20 раз выше, чем у шипа SARS-CoV, что облегчает его трансмиссию от человека к человеку. Понимание структуры и функции поверхностного гликопротеида может помочь в создании лекарственных средств на основе моноклональных антител, а также разработке вакцин (Н.П. Митьковская, И.А. Карпов и др., 2020) [45].

Размер геномов коронавирусов варьирует от 26 до 32 тысяч нуклеотидов и представлен 6–11 открытыми рамками считывания, кодирующими полипротеин, состоящий из 9680 аминокислот.

Первая открытая рамка считывания (ОРС) составляет 67 % целого генома и кодирует 16 неструктурных белков, в то время как оставшиеся ОРС кодируют вирусассоциированные дополнительные и структурные белки.

Неструктурные белки включают цистеиновые вирусные протеазы, РНК-зависимую РНК-полимеразу, геликазу, а остальные, вероятно, вовлечены в транскрипцию и репликацию SARS-CoV-2 вируса. В составе генома находятся четыре главных структурных белка, включающих гликопротеины шипов поверхности вируса (S = spike), мембранный нуклеокапсидный протеин (N), конвертный оболочечный белок (E = envelope) и ряд дополнительных белков, которые также представлены открытыми рамками считывания [46].

Наиболее значимое биоинформатическое исследование было выполнено Т. Коуама и соавторами [9; 47], которые сравнили с референсным геномом более 10 000 геномов и изучили эволюцию нового коронавируса. Ученые обнаружили, что существует несколько вариантов генома SARS-CoV-2 и что кластер мутаций D614G стал наиболее распространенным вариантом с декабря 2019 г. Эволюционный анализ показал структурированную передачу геномной информации с возможностью множественного внедрения в популяцию.

Мутационный вариант D614G находится в эпитопе В-клеток с высокоиммунодоминантным регионом, поэтому может повлиять на эффективность вакцины. Наиболее частое изменение нуклеотидной пары оснований – С > Т [48].

Для изучения генома нового коронавируса уже имеется опыт применения следующего программного обеспечения:

- 1) разработаны специализированные веб-серверы для накопления и анализа данных [49];
- 2) компьютерные программы для сборки и картирования/выравнивания геномических данных [50; 51];
- 3) программное обеспечение для аннотирования нуклеотидных и аминокислотных последовательностей [52];
- 4) программное обеспечение для поиска и анализа структурных мишеней вакцин [53; 54].

Секвенирование вирусов не играет основной роли для лабораторного диагноза SARS-CoV-2 инфекции, но может быть полезно:

- 1) для подтверждения наличия вируса;
- 2) мониторинга геномных мутаций вируса, которые могут повлиять на эффективность медицинских мероприятий, в том числе на результаты диагностических тестов;
- 3) молекулярных эпидемиологических исследований, для которых оно поставяет ключевую информацию.

Таким образом, биоинформационный анализ геномов коронавируса SARS-CoV-2 – это актуальная перспективная тема, где особый научный интерес представляет изучение мутационного, филогенетического и иммунного профиля образцов данных, полученных от пациентов в Беларуси.

Наибольший опыт биоинформационного анализа полных геномов вируса COVID-19 накоплен учеными из Китая [55], Италии, Испании и США [56]. Опубликовано 4 монографии, в главах которых подробно рассматриваются вопросы биоинформационного анализа коронавируса COVID-19 [57–60]. Подробные результаты анализа полных геномов SARS-CoV-2 вируса по данным, полученным на территории Беларуси, пока не опубликованы. Имеются единичные публикации по теме биоинформатики SARS-CoV-2 инфекции белорусских авторов [61; 62].

### Математическое моделирование и прогноз. Существующие стратегии прогнозирования эпидемий

Динамическое моделирование передачи [63; 64] и распространения COVID-19 инфекции (рис. 2) разрабатывается научными коллективами в разных странах в связи с острой актуальностью темы [65–71].



Рисунок 2. – Схематическая модель основных методов математического моделирования передачи новой коронавирусной инфекции (по источнику [75] с дополнениями и изменениями)

Известные математические модели распространения коронавирусной инфекции можно классифицировать следующим образом:

- 1) *статистические*, основанные на линейной и логистической регрессиях и *других методах машинного обучения и технологии искусственного интеллекта* (рис. 3), где зависимая переменная прогнозируется;
- 2) *объектно-ориентированные* и модели на основе компартиментов-объектов и их состояний, свойств и отношений (SIR – susceptible, infected, recovered, SEIRS – susceptible, exposed, infected, recovered, succumbed). Особенно часто в литературе можно встретить SEIR (susceptible-exposed-infectious-removed) модель;
- 3) *гибридные и смешанные* модели [72–74].



Рисунок 3. – Искусственный интеллект и иерархия его основных групп методов [76]

Для модификации и усовершенствования таких моделей применяют следующие вычислительные методы и алгоритмы [77; 78]:

- 1) метод наименьших квадратов;
- 2) многослойные нейронные сети [79];
- 3) случайные леса;
- 4) модификации метода ближайших соседей;
- 5) методы опорных векторов;
- 6) кластеризацию данных (рис. 4).

Для того чтобы тестировать, валидировать и визуализировать модель, могут понадобиться реальные данные из локальных или глобальных эпидемиологических служб. К качеству таких данных предъявляются высокие требования.

Существует *стандартный подход к среднесрочному прогнозированию развития эпидемий*, основанный на обобщенной логистической модели роста, или модели роста Ричардса, иногда используют модели субэпидемической волны, основанные на исследовании запаздывания развития эпидемии. Особый интерес имеет построение краткосрочных прогнозов высокой точности для распространения подтвержденных случаев заболевания, а также анализа количества смертей и выздоровлений. Тема построения краткосрочных прогнозов развития новой коронавирусной инфекции (КВИ) крайне актуальна в последние 2 месяца. Существуют исследования, посвященные прогнозированию распространения эпидемии как в отдельных странах и территориях, так и в мире в целом. При этом горизонт краткосрочного прогнозирования обычно составляет 3–7 дней.

По применяемому математическому аппарату к построению математических прогнозных моделей исследования можно разделить условно на 3 категории:

1. Классические эпидемиологические модели переходов состояний; авторегрессионные модели скользящего среднего (ARIMA, autoregressive integrated moving average); модели адаптивного сглаживания. Так, в КНР инструменты эпидемиологического моделирования применялись в работе для краткосрочного прогнозирования развития эпидемии КВИ. Использовалась классическая модель SIR (susceptible-infected-recovered), проигнорировавшая инкубационный период заболевания и смертность КВИ, что не позволило обеспечить высокое качество получаемых прогнозов и удлинить горизонт прогнозирования. В других работах используются усложненные модели, учитывающие как выбывание инфицированных из-за смертности (модель SIRD в КНР), так и инкубационный период заболевания (модель SEIR) для краткосрочного прогнозирования развития эпидемии в Мексике. В ряде работ классические эпидемиологические модели модифицируются. Например, в работе К. Prem [80] с соавторами (2020) для прогноза развития эпидемии классическая модель SEIR была адаптирована к половозрастной структуре населения страны.

2. Модели, основанные на анализе временных рядов, в частности ARIMA-модели, являются сложно настраиваемыми при проведении полного анализа, однако дают практически всегда хороший результат там, где требуется качественный прогноз на среднесрочный и краткосрочный период. D. Benvenuto [81] с соавторами (2020) оценивали модель ARIMA

для прогнозирования эволюции пандемии КВИ в мире на данных 1,5-месячной динамики (январь – февраль 2020 г.) и пришли к выводу, что оптимальной будет модель с порядком интегрирования  $d = 2$ .

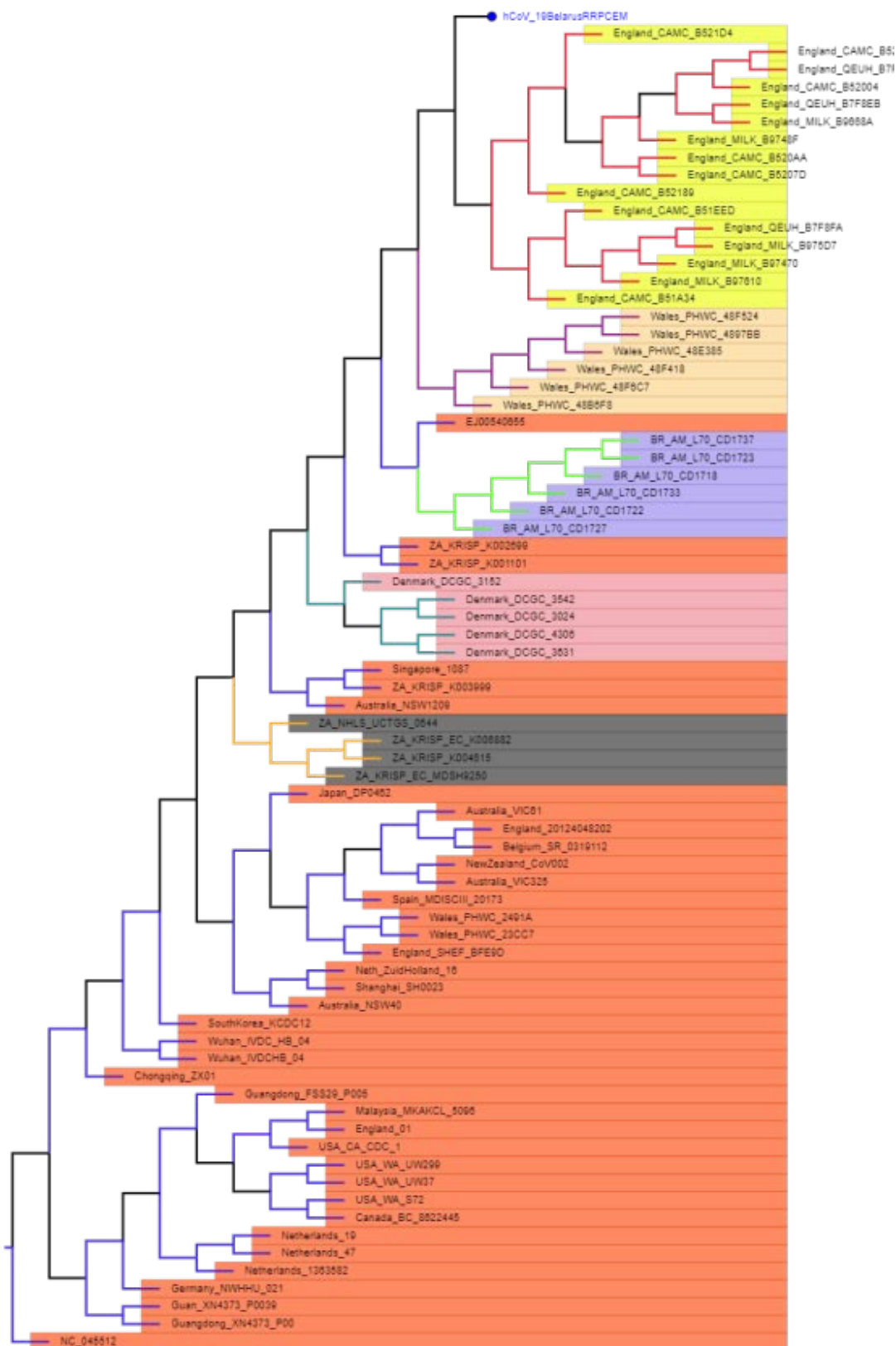


Рисунок 4. – Прямоугольная филогенограмма одного из последних просеквенированных в Беларуси образцов SARS-Cov-2 (показано синим цветом)

3. Достаточно популярным инструментом прогнозирования развития распространения коронавирусной инфекции являются адаптивные модели экспоненциального сглаживания. Так, Z. Zhang [82; 83] и соавторы (2020) используют мультипликативную модель Хольта – Уинтерса, а в работе для подбора прогнозных моделей для разных стран применены различные спецификации моделей адаптивного сглаживания Хольта, Брауна и др. Также модель Хольта была использована для прогнозирования развития эпидемии КВИ в Нигерии. Простое экспоненциальное сглаживание использовалось также в исследовании F. Zhang и соавторов [84] (2020), а мультипликативные модели экспоненциального сглаживания (Хольта – Уинтерса) – в научной статье F. Petropoulos и S. Makridakis [85; 86] (2020). Основным недостатком всех этих работ является отсутствие объяснения выбора соответствующей спецификации моделей, а также отсутствие «объяснения» подбора гиперпараметров моделей прогнозирования. Таким образом, анализ источников позволил определиться с использованием методов краткосрочного прогнозирования развития эпидемии КВИ в России: модель ARIMA, модель экспоненциального сглаживания Хольта–Уинтерса и эпидемиологическая модель SIRD ( $D = deceased$ , умершие).

Применение модели ARIMA также требует постоянного «дообучения» моделей на разных этапах развития эпидемии, и всякий раз приходилось менять не только оцениваемые коэффициенты модели, но и число гиперпараметров модели. Кроме того, несмотря на то, что наименьшее расхождение прогноза с фактическими данными показала модель ARIMA, данный инструмент хорошо подходит для краткосрочного прогнозирования (сроком до 7 дней). Для чуть более отдаленной перспективы горизонта планирования предпочтительно использовать эпидемиологическую модель SIRD или ее модификации. Особенностью применения эпидемиологической модели SIRD является то, что в ней принимаются постоянными значения коэффициентов, отвечающих за вероятность инфицирования, вероятность излечения и вероятность смерти.

Однако коронавирусная эпидемия в России требует от руководства страны и регионов вырабатывать меры сдерживания ее развития, что сказывается на изменении траектории эпидемии и, как следствие, приводит к тому, что коэффициенты подобной модели становятся переменными. Динамическое оценивание изменяющихся коэффициентов составляет отдельную задачу. В статье [87] авторы с шагом в 5 дней переобучают коэффициенты модели по вновь поступившим данным, что оправданно для получения краткосрочных прогнозов (до 10 дней) высокой точности (по И.А. Лакману и др., 2020).

В Беларуси математическое моделирование передачи COVID-19 еще мало изучено [88], доступные открытые данные для научных исследований отсутствуют.

Анализ и моделирование местной эпидемиологической ситуации необходимы для оценки профилактических и лечебных мероприятий, для сравнения ситуации со странами-соседями, прогресса белорусской науки и образования, а также для роста профессионализма и конкурентоспособности научных коллективов.

### **Иммуноинформатика и разработка эффективных и безопасных вакцин**

Противокоронавирусные вакцины можно классифицировать следующим образом:

- 1) субъединичные вакцины (как правило, на основе рекомбинантного белка S или его рецептор-связывающего домена);
- 2) ДНК-вакцины на основе генетических конструкций, кодирующих белок S или его рецептор-связывающий домен;
- 3) векторные вакцины на основе непатогенных вирусов (аденовирусов, вируса Vaccinia и др.), в геном которых встроены один или несколько генов коронавирусов;

4) убитые цельновирионные вакцины;  
5) ослабленные живые вакцины, полученные путем генно-инженерных модификаций дикого вируса [89].

Передача вируса COVID-19 от человека к человеку наблюдалась во многих странах, нехватка одноразовых средств индивидуальной защиты и продолжительное выживание коронавируса на поверхностях предметов окружающей среды усугубила и без того сложную эпидемиологическую ситуацию и повысила риск внутрибольничных инфекций. Поэтому необходимо проводить углубленные исследования, чтобы усовершенствовать профилактику, диагностику и лечение для общей цели защиты миллиардов уязвимых людей во всем мире.

В настоящее время нет абсолютно эффективной и безопасной профилактической вакцины против COVID-19 [90].

Геном SARS-CoV-2 человека подобен геному других РНК-вирусов и кодирует четыре основных структурных белка, включая поверхностный шип (S), малую оболочку-конверт (E), мембранный белок (M), и белки нуклеокапсида (N). Геном коронавируса также содержит 5'-неструктурные ( $n = 16$ ) и клоносцифичные вспомогательные гены ( $n = 6$ , они функционально недостаточно изучены). Бетакоронавирусы HCoV-OC и HCoV-NKU1 также имеют в составе генома дополнительный структурный белок гемагглютинин-эстеразы (HE), который может усиливать опосредованную S-белком вирусную инфекцию и образование инфекционных вирионов [91].

Примечательно, что SARS-CoV-2 и SARS-CoV имеют общий консервативный эпитоп в RBD (receptor binding domain, рецептор-связывающий домен), который может быть важным фактором при оценке антигенности вакцины против SARS-CoV-2 и перекрестных защитных реакций антител.

Несмотря на относительно легкое течение заболевания, наблюдаемое у большинства младенцев и детей, и с учетом относительной легкости передачи SARS-CoV-2, вакцины, нацеленные на эту аудиторию, также должны быть разработаны. Вполне вероятно, что потребуется несколько вакцин-кандидатов, каждая из которых предназначена для определенных групп населения с повышенным риском [91].

Ряд доклинических исследований, модели на животных и другие мероприятия были недавно выполнены для ускорения разработки вакцины против SARS-CoV-2. Данные такой научной активности свидетельствуют о следующем:

1) белок S является основной мишенью нейтрализующих антител;  
2) многие из этих антител нацелены на RBD белка S;  
3) нейтрализующие антитела, полученные в результате вакцинации или адаптивно перенесенные, являются защитными, что показано на моделях лабораторных животных (например, мышах, кроликах и обезьянах);

4) были выполнены клинические испытания двух вакцин MERS (*Middle East Respiratory Syndrome*, вирус ближневосточного респираторного синдрома) вакцины на основе ДНК, состоящей из S-белка и дефицитного по репликации аденовируса шимпанзе, экспрессирующего S-белка. Обе вызывают устойчивые ответы появления титра антител;

5) вакцина на основе вектора вируса Анкары, экспрессирующая S-белок, была использована для вакцинирования верблюдов и значительно снизила вирусную нагрузку и секрецию вирусов в организме-хозяине;

6) большинство вакцин-кандидатов также индуцировали клеточный иммунитет, который считается критически важным для выведения вируса. Работа в этих областях продолжается в расширенном масштабе особенно с появлением нового коронавируса, являющегося этиологией пандемии.

Поскольку иммунный ответ на SARS-CoV-2 еще не полностью охарактеризован, у нас есть ограниченное представление о вирусных белках, которые могут быть важными

мишенями иммунной системы. В этом отношении прогнозирующие вычислительные алгоритмы могут оказаться полезными инструментами для идентификации иммуногенных Т-клеточных и В-клеточных эпитопов, которые могут ускорить рациональный дизайн вакцины против SARS-CoV-2. Вычислительные алгоритмы обработки биоинформационных данных коронавируса обладают преимуществом быстрого скрининга всей последовательности аминокислот.

Ряд исследователей идентифицировали как Т-клеточные, так и В-клеточные эпитопы из S-белка SARS-CoV-2, которые были консервативными во всех клинических изолятах. Это позволяет предположить, что данные эпитопы могут использоваться для развития эффективно защищающих вакцин [92–99].

Ряд других исследований идентифицировали Т-клеточные и В-клеточные эпитопы SARS-CoV-2 априори на основе оценки антигенности В-клеток или аффинности связывания HLA (антигены лейкоцитов человека), с несколькими разработками полипептидных вакцин-кандидатов и моделированием их связывания с молекулами HLA и TLR (толл-рецепторы) [100–103].

Существует также подход, когда применяется комбинации подходов *in silico* для идентификации подмножеств Т-клеточных (CD4 + и CD8 +) и В-клеточных (линейных и конформационных) эпитопов из протеома SARS-CoV-2 в качестве кандидатов на пептидную основу при разработке вакцины [91].

Эти исследования демонстрируют очевидную пользу применения биоинформатики и компьютерных технологий.

Вакцины на основе векторов представляют собой форму живых аттенуированных вакцин, которые адаптируют существующие, успешные и безопасные вирусные векторы (например, герпес, аденовирус, корь) для экспрессии белков коронавируса при иммунизации. Многие из этих векторов не способны к репликации в клетках человека, в то время как другие способны только к ограниченной репликации и имеют определенные профили безопасности. Рекомбинантные версии их вирусных векторов могут быть быстро получены, экспрессия белков подтверждена, а вакцины можно быстро развить. Эти платформы также имеют существенные положительные данные по безопасности и иммуногенности для других патогенов, которые могут еще больше ускорить их развитие [104; 105].

Создание эпитопных вакцин состоит из трех основных этапов:

- 1) идентификация и характеристика потенциальных эпитопов;
- 2) выбор активных эпитопов для включения в вакцину;
- 3) сборка эпитопов в вакцину [106].

Иммуногенные элементы вакцины должны обладать следующими свойствами: 1) быть нетоксичными; 2) неаллергенными; 3) термостабильными; 4) способными вызывать гуморальный и клеточно-опосредованный иммунный ответ.

Аналогичным подходам последовали ul Qamar et al. [107] и Bhattacharya et al. [54; 100], разработавшие мультиэпитопные вакцины против SARS CoV-2. Ученые рассмотрели семь антигенных белков, взятых в качестве мишеней, из которых, что любопытно, был исключен S-белок из-за низкой антигенности, и выбрали несколько эпитопов для создания вакцины. Второе исследование, однако, сосредоточено только на S-белке, из которого авторы идентифицировали несколько В- и Т-клеточных эпитопов, которые затем собраны в вакцину, дополнительно оптимизированную с помощью молекулярной стыковки.

Однако может возникнуть несколько проблем:

- неблагоприятный порядок эпитопов, который может привести к неправильному расщеплению пептидов и неэффективным вакцинам;
- образование неэпитопов, которые могут иметь пагубные последствия. Эту ситуацию можно усугубить, если использовать более длинные вставки;
- комбинаторный взрыв количества возможных схем, делающий проблему экспериментально неразрешимой.

Для целей иммуноинформатики имеется опыт применения различного программного обеспечения и веб-серверов:

- 1) для прогнозирования эпитопов хелперных Т-лимфоцитов (НТЛ) [108];
- 2) прогнозирования иммуногенности [109];
- 3) прогнозирования третичной структуры;
- 5) прогнозирования токсичности;
- 6) прогнозирования аллергии;
- 4) проверки модели;
- 5) задач классической биоинформатики (поиска сходства, картирования, выравнивания, кластеризации, докинг-анализ, сборки, аннотации, визуализации).

Моделирование завершается использованием молекулярного проектирования трехмерной структуры вакцины и ее рецептора (TLR3, мембранный белок, относится к группе толл-подобных рецепторов) [106].

Для изучения иммунных свойств вируса по геномным данным применяются программные инструменты Vaxign [110; 111], IEDB [112], Vaxigen [113], BCpred и Veripred и аналогичные [114–117].

### **Применение современной беспилотной авиации и подводных дронов для борьбы с COVID-19**

Транспортная и военная робототехника может быть использована для целей борьбы с особо опасными инфекциями следующим образом:

- 1) для доставки вакцин и лекарственных средств в труднодоступные регионы<sup>6, 7</sup> [118];
- 2) раннего мониторинга воздушной, земляной и водной среды на предмет наличия вирусных и бактериальных частиц, токсичных продуктов обмена веществ микро- и макроорганизмов [119];
- 3) мониторинга нахождения, распределения и перемещения популяций человека и животных [120];
- 4) мониторинга, распознавания и уничтожения воздушных, наземных и подводных объектов, распыляющих опасные для здоровья человека вещества. Такими объектами могут быть не только военная техника, но и представители животного мира, например летучие мыши и насекомые;
- 5) с целью распыления дезинфектантов, антисептиков.

### **Заключение**

Дальнейшими направлениями применения математических и кибернетических методов для целей изучения коронавирусной пандемии могут быть:

- 1) разработка интегрированных конвейеров обработки геномных данных для формирования рекомендаций по разработке пептидов для разработки новых вакцин и лекарственных средств;
- 2) изучение метагеномов COVID-19 с целью поиска наиболее вирулентных и патогенных штаммов и вирусно-бактериальных сочетаний;
- 3) разработка эффективных методов искусственного интеллекта, альтернативных конволюционным нейронным сетям;

<sup>6</sup> Chaturvedi, A. Drones to deliver Covid-19 vaccines in India's remote corners? Govt invites bids [Electronic resource] / A. Chaturvedi // Hindustan Times. – June 13, 2021. – Mode of access: <https://www.hindustantimes.com/india-news/drones-to-deliver-covid-19-vaccines-in-india-s-remote-corners-govt-invites-bids-101623570575400.html>. – Date of access: 05.08.2021.

<sup>7</sup> Boudway, I. Medical Drone Startup to Begin Covid Vaccine Delivery in April [Electronic resource] / I. Boudway // Bloomberg. – February 4, 2021. – Mode of access: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-02-04/medical-drone-startup-to-begin-covid-vaccine-delivery-in-april>. – Date of access: 05.08.2021.



4) создание доступных бесплатных информационных ресурсов для хранения и обработки геномных данных, данных эпидемиологической статистики, изображений легких и других органов-мишеней для поиска и обоснование значимости новых прогностических биомаркеров и их ансамблей;

5) разработка портативных сенсоров-анализаторов для детекции вирусных частиц в окружающей среде;

6) разработка долгосрочных прогностических моделей эволюции вирусов;

7) создание персонифицированных вакцин на основе изучения генотипа пациента;

8) создание единых баз данных для регистрации побочных эффектов вакцин и антикоронавирусных лекарств;

9) усовершенствование и разработка облачных сред и хранилищ для анализа данных;

10) разработка информационных систем для обоснования эффективности и безопасности вакцин и лекарственных средств с целью создания единого протокола лечения коронавирусной инфекции и разработки единственной универсальной эффективной общедоступной вакцины;

11) разработка эффективной хемофилактики как альтернативы прививкам.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проектов:

Ф21МН-001 «Математическое моделирование передачи и распространения COVID-19 инфекции на основе систем дифференциальных уравнений и алгоритмов обработки данных с применением технологии машинного обучения», номер госрегистрации 20213518 от 27.09.2021;

М21КОВИД-026 «Ретроспективный анализ клинического и иммунологического статуса групп COVID-19 пациентов с сопутствующим туберкулезом и ВИЧ-инфекцией по данным РНПЦ пульмонологии и фтизиатрии г. Минска», номер госрегистрации 20210456 от 31.03.2021;

М21COVID-001 «Разработка и скрининг мукозной вакцины против COVID-19 на основе векторной платформы кишечного аденовируса», номер госрегистрации 20210889 от 26.04.2021.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Камкин, Е.Г. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19): временные методические рекомендации / Е.Г. Камкин [и др.]. – М.: Министерство Здравоохранения Российской Федерации, 2020. – Режим доступа: <https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/058/211/original/BMP-13.pdf>. – Дата доступа: 21.10.2021.
2. Зайцев, А.А. Практические рекомендации по ведению пациентов с нетяжелой внебольничной пневмонией / А.А. Зайцев, А.И. Синопальников // Русский медицинский журнал. – 2020. – Т. 28, № 4. – С. 19–23.
3. Никонов, Е.Л. COVID-19: инфекционная безопасность в эндоскопическом отделении. Методические рекомендации / Е.Л. Никонов [и др.] // Московская медицина. – 2020. – № S2 (36). – С. 64–71.
4. Обеснюк, В.Ф. Динамика локальной эпидемической вспышки COVID-19 через призму компартмент-моделирования / В.Ф. Обеснюк // Анализ риска здоровью. – 2020. – Т. 2, № 2. – С. 83–91. DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.09
5. Sokouti, M. Meta-MUMS COVID-19 web server: an online daily monitoring server for comparative and cumulative epidemiological analysis / M. Sokouti [et al.] // Journal of public health. – 2021. – 3 p. DOI: 10.1007/s10389-020-01433-6.
6. Горенков, Д.В. Вспышка нового инфекционного заболевания COVID-19: β-коронавирусы как угроза глобальному здравоохранению / Д.В. Горенков [и др.] // БИОпрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 6–20. DOI: 10.30895/2221-996X-2020-20-1-6-20.
7. Сметанина, С.В. Новая коронавирусная инфекция (COVID-19): эпидемиология, клиника, диагностика, лечение и профилактика / С.В. Сметанина // Московская медицина. – 2020. – № S1 (35). – Р. 14–15.

8. Романов, Б.К. Коронавирусная инфекция COVID-2019 // Безопасность и риск фармакотерапии. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 3–8. DOI: 10.30895/2312-7821-2020-8-1-3-8.
9. Koyama, T. Variant analysis of SARS-CoV-2 genomes / T. Koyama, D. Platt, L. Parida // Bulletin of the World Health Organization. – 2020. – Vol. 98, No. 7. – P. 495–504. DOI: 10.2471/BLT.20.253591.
10. Vilsker, M. Genome Detective: an automated system for virus identification from high-throughput sequencing data / M. Vilsker [et al.] // Bioinformatics. – 2019. – Vol. 35, Iss. 5. – P. 871–873. DOI: 10.1093/bioinformatics/bty695.
11. Cleemput, S. Genome Detective Coronavirus Typing Tool for rapid identification and characterization of novel coronavirus genomes / S. Cleemput [et al.] // Bioinformatics. – 2020. – Vol. 36, Iss. 11. – P. 3552–3555. DOI: 10.1093/bioinformatics/btaa145.
12. Adadi, P. Living with HIV in the time of COVID-19: A glimpse of hope / P. Adadi, O.N. Kanwugu // Journal of Medical Virology. – 2020. – Vol. 93, Iss. 1. – P. 59–60. DOI: 10.1002/jmv.26118.
13. Adepoju, P. Tuberculosis and HIV responses threatened by COVID-19 / P. Adepoju // The Lancet HIV. – 2020. – Vol. 7, Iss. 5. – P. e319–e3–20. DOI: 10.1016/S2352-3018(20)30109-0.
14. Algarin, A.B., Symptoms, Stress, and HIV-Related Care Among Older People Living with HIV During the COVID-19 Pandemic, Miami, Florida / A.B. Algarin [et al.] // AIDS and Behavior. – 2020. – Vol. 24, Iss. 8. – P. 2236–2238. DOI: 10.1007/s10461-020-02869-3.
15. Amimo F. What does the COVID-19 pandemic mean for HIV, tuberculosis, and malaria control? / F. Amimo, B. Lambert, A. Magit // Tropical Medicine and Health. – 2020. – Vol. 48. – Article 32. DOI: 10.1186/s41182-020-00219-6.
16. Ballester-Arnal, R. The Virus that Changed Spain: Impact of COVID-19 on People with HIV / R. Ballester-Arnal, M.D. Gil-Llario // AIDS and Behavior. – 2020. – Vol. 24, Iss. 8. – P. 2253–2257. DOI: 10.1007/s10461-020-02877-3.
17. Beima-Sofie, K. «Keep It Going if You Can»: HIV Service Provision for Priority Populations During the COVID-19 Pandemic in Seattle, WA / K. Beima-Sofie [et al.] // AIDS and Behavior. – 2020. – Vol. 24, Iss. 10. – P. 2760–2763. DOI: 10.1007/s10461-020-02902-5.
18. Blanco, J.L. COVID-19 in patients with HIV: clinical case series / J.L. Blanco [et al.] // The Lancet HIV. – 2020. – Vol. 7, Iss. 5. – P. e314–e316. DOI: 10.1016/S2352-3018(20)30111-9.
19. Childs, K. Hospitalized patients with COVID-19 and human immunodeficiency virus: a case series / K. Childs [et al.] // Clinical Infectious Diseases. – 2020. – Vol. 71, Iss. 8. – P. 2021–2022. DOI: 10.1093/cid/ciaa657.
20. Dourado, I. Adapting to the COVID-19 Pandemic: Continuing HIV Prevention Services for Adolescents Through Telemonitoring, Brazil / I. Dourado [et al.] // AIDS and Behavior. – 2020. – Vol. 24, Iss. 7. – P. 1994–1999. DOI: 10.1007/s10461-020-02927-w.
21. Drain, P.K. SARS-CoV-2 pandemic expanding in sub-Saharan Africa: Considerations for COVID-19 in people living with HIV / P.K. Drain, N. Garrett // EClinicalMedicine. – 2020. – Vol. 22. – Article 100342. DOI: 10.1016/j.eclinm.2020.100342.
22. Harkness, A. Understanding the Impact of COVID-19 on Latino Sexual Minority Men in a US HIV Hot Spot / A. Harkness, V. Behar-Zusman, S.A. Safren // AIDS and Behavior. – 2020. – Vol. 24, Iss. 7. – P. 2017–2023. DOI: 10.1007/s10461-020-02862-w.
23. Lodge, W. II COVID-19, HIV, and Migrant Workers: The Double Burden of the Two Viruses / W. Lodge II, S. Kuchukhidze // AIDS Patient Care STDs. – 2020. – Vol. 34, No. 6. – P. 249–250. DOI: 10.1089/apc.2020.0092.
24. Logie, C.H. How Do We Balance Tensions Between COVID-19 Public Health Responses and Stigma Mitigation? Learning from HIV Research / C.H. Logie, J.M. Turan // AIDS and Behavior. – 2020. – Vol. 24, Iss. 7. – P. 2003–2006. DOI: 10.1007/s10461-020-02856-8.
25. Sagaon-Teyssier, L. The COVID-19 response must integrate people living with HIV needs in Sub-Saharan Africa: the case of Mali / L. Sagaon-Teyssier [et al.] // Tropical Medicine and Health. – 2020. – Vol. 48. – Article 41. DOI: 10.1186/s41182-020-00228-5.
26. Marziali, M.E. Physical Distancing in COVID-19 May Exacerbate Experiences of Social Isolation among People Living with HIV / M.E. Marziali [et al.] // AIDS and Behavior. – 2020. – Vol. 24, Iss. 8. – P. 2250–2252. DOI: 10.1007/s10461-020-02872-8.
27. Uciechowska-Kaczmarzyk, U. Docking software performance in protein-glycosaminoglycan systems / U. Uciechowska-Kaczmarzyk, I. Chauvot de Beauchene, S.A. Samsonov // Journal of Molecular Graphics and Modelling. – 2019. – Vol. 90. – P. 42–50. DOI: 10.1016/j.jmgm.2019.04.001.

28. Paul, D.S. MOLS 2.0: software package for peptide modeling and protein–ligand docking / D.S. Paul, N. Gautham // *Journal of Molecular Modeling*. – 2016. – Vol. 22, Iss. 10. – Article 239. DOI: 10.1007/s00894-016-3106-x.
29. Ohue, M. MEGADOCK 4.0: an ultra-high-performance protein–protein docking software for heterogeneous supercomputers / M. Ohue [et al.] // *Bioinformatics*. – 2014. – Vol. 30, Iss. 22. – P. 3281–3283. DOI: 10.1093/bioinformatics/btu532.
30. Cubuk, H. Comparison of clinically approved molecules on SARS-CoV-2 drug target proteins: a molecular docking study / H. Cubuk, M. Ozbil // *Turkish Journal of Chemistry*. – 2021. – Vol. 45, № 1. – P. 35–41. DOI: 10.3906/kim-2008-35.
31. Biesiada, J. Survey of public domain software for docking simulations and virtual screening / J. Biesiada [et al.] // *Human Genomics*. – 2011. – Vol. 5, № 5. – P. 497–505. DOI: 10.1186/1479-7364-5-5-497.
32. Woo, P.C.Y. Coronavirus genomics and bioinformatics analysis / P.C.Y. Woo // *Viruses*. – 2010. – Vol. 2, Iss. 8. – P. 1804–1820. DOI: 10.3390/v2081803.
33. Abro, S.H. Bioinformatics and evolutionary insight on the spike glycoprotein gene of QX-like and Massachusetts strains of infectious bronchitis virus / S.H. Abro [et al.] // *Virology Journal*. – 2012. – Vol. 9. – Article 211. DOI: 10.1186/1743-422X-9-211.
34. Feng, D. Bioinformatics analysis of the factors controlling type I IFN gene expression in autoimmune disease and virus-induced immunity / D. Feng, B.J. Barnes // *Frontiers in Immunology*. – 2013. – Vol. 4. – Article 291. DOI: 10.3389/fimmu.2013.00291.
35. Brinkmann, A. Proficiency Testing of Virus Diagnostics Based on Bioinformatics Analysis of Simulated In Silico High-Throughput Sequencing Data Sets / A. Brinkmann [et al.] // *Journal of Clinical Microbiology*. – 2019. – Vol. 57, Iss. 8. – Article e00466-19. DOI: 10.1128/JCM.00466-19.
36. Kellam, P. Virus bioinformatics: databases and recent applications / P. Kellam, M.M. Alba // *Applied Bioinformatics*. – 2002. – Vol. 1, No. 1. – P. 37–42.
37. Xing, J.F. [Sequence analysis for genes encoding nucleoprotein and envelope protein of a new human coronavirus NL63 identified from a pediatric patient in Beijing by bioinformatics] / J.F. Xing [et al.] // *Bing Du Xue Bao*. – 2007. – Vol. 23, No. 4. – Article 245-51.
38. Zhou, Y. Mapping RNA–capsid interactions and RNA secondary structure within virus particles using next-generation sequencing / Y. Zhou, A. Routh // *Nucleic Acids Research*. – 2020. – Vol. 48, Iss. 2. – P. e12. DOI: 10.1093/nar/gkz1124.
39. Sheng, Z. Next-Generation Sequencing Analysis of Cellular Response to Influenza B Virus Infection / Z. Sheng [et al.] // *Viruses*. – 2020. – Vol. 12, Iss. 4. – Article 383. DOI: 10.3390/v12040383.
40. Zhang, Y. Rapid detection of human herpes virus by next-generation sequencing in a patient with encephalitis / Y. Zhang [et al.] // *Virology Journal*. – 2019. – Vol. 16. – Article 104. DOI: 10.1186/s12985-019-1205-x.
41. Teng, J.L.L. First Isolation and Rapid Identification of Newcastle Disease Virus from Aborted Fetus of Dromedary Camel Using Next-Generation Sequencing / J.L.L. Teng [et al.] // *Viruses*. – 2019. – Vol. 11, Iss. 9. – Article 810. DOI: 10.3390/v11090810.
42. Li, T. Metagenomic Next-Generation Sequencing of the 2014 Ebola Virus Disease Outbreak in the Democratic Republic of the Congo / T. Li [et al.] // *Journal of Clinical Microbiology*. – 2019. – Vol. 57, Iss. 9. – Article e00827-19. DOI: 10.1128/JCM.00827-19.
43. Kustin, T. A method to identify respiratory virus infections in clinical samples using next-generation sequencing / T. Kustin [et al.] // *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9. – Article 2606. DOI: 10.1038/s41598-018-37483-w.
44. Goldhill, D.H. Determining the Mutation Bias of Favipiravir in Influenza Virus Using Next-Generation Sequencing / D.H. Goldhill [et al.] // *Journal of Virology*. – 2019. – Vol. 93, Iss. 2. – Article e01217-18. DOI: 10.1128/JVI.01217-18.
45. Митьковская, Н.П. Коронавирусная инфекция COVID-19 (обзор международных научных данных) / Н.П. Митьковская [и др.] // *Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 784–815.
46. Siddell, S.G. *The Coronaviridae* / S.G. Siddell. – Boston: Springer, 1995. – 418 p. DOI: 10.1007/978-1-4899-1531-3.
47. Koyama, T. Emergence of Drift Variants That May Affect COVID-19 Vaccine Development and Antibody Treatment / T. Koyama [et al.] // *Pathogens*. – 2020. – Vol. 9, Iss. 5. – Article 324. DOI: 10.3390/pathogens9050324.

48. Koyama, T. Variant analysis of SARS-CoV-2 genomes / T. Koyama, D. Platt, L. Parida // *Bulletin of the World Health Organization*. – 2020. – Vol. 98, No. 7. – P. 495–504. DOI: 10.2471/BLT.20.253591.
49. Kong, R., COVID-19 Docking Server: An interactive server for docking small molecules, peptides and antibodies against potential targets of COVID-19 / R. Kong [et al.] // *Bioinformatics*. – 2020. – Vol. 36, Iss. 20. – P. 5109–5111. DOI: 10.1093/bioinformatics/btaa645.
50. Gibson, K.M. Validation of Variant Assembly Using HAPPIPE with Next-Generation Sequence Data from Viruses / K.M. Gibson [et al.] // *Viruses*. – 2020. – Vol. 12, Iss. 7. – Article 758. DOI: 10.3390/v12070758.
51. Neill, J.D. Simultaneous rapid sequencing of multiple RNA virus genomes / J.D. Neill, D.O. Bayles, J.F. Ridpath // *Journal of Virological Methods*. – 2014. – Vol. 201. – P. 68–72. DOI: 10.1016/j.jviromet.2014.02.016.
52. Maier, H.J. Coronaviruses. Methods and protocols / H.J. Maier, E. Bickerton, P. Britton. – New York: Humana Press, 2015. – 285 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-2438-7.
53. Chen, H.-Z. Bioinformatics analysis of epitope-based vaccine design against the novel SARS-CoV-2 / H.-Z. Chen [et al.] // *Infectious Diseases of Poverty*. – 2020. – Vol. 9. – Article 88. DOI: 10.1186/s40249-020-00713-3.
54. Bhattacharya, M. Development of epitope-based peptide vaccine against novel coronavirus 2019 (SARS-COV-2): Immunoinformatics approach / Bhattacharya M. [et al.] // *Journal of Medical Virology*. – 2020. – Vol. 92, Iss. 6. – P. 618–631. DOI: 10.1002/jmv.25736.
55. Lian, J. Epidemiological, clinical, and virological characteristics of 465 hospitalized cases of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from Zhejiang province in China / J. Lian [et al.] // *Influenza and Other Respiratory Viruses*. – 2020. – Vol. 14, Iss. 5. – P. 564–574. DOI: 10.1111/irv.12758.
56. Llanes, A. Betacoronavirus Genomes: How Genomic Information has been Used to Deal with Past Outbreaks and the COVID-19 Pandemic / A. Llanes [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2020. – Vol. 21, Iss. 12. – Article 4546. DOI: 10.3390/ijms21124546.
57. Saxena, S.K. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Epidemiology, Pathogenesis, Diagnosis, and Therapeutics / S.K. Saxena. – Singapore: Springer, 2020. – 213 p. DOI: 10.1007/978-981-15-4814-7.
58. Fong, S.J. AI-Enabled Technologies that Fight the Coronavirus Outbreak / S.J. Fong, N. Dey, J. Chaki // *Artificial Intelligence for Coronavirus Outbreak. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*. – Singapore: Springer, 2021. – P. 23–45. DOI: 10.1007/978-981-15-5936-5\_2.
59. Lal, S.K. Molecular Biology of the SARS-coronavirus / S.K. Lal. – Berlin: Springer, 2010. – 328 p. DOI: 10.1007/978-3-642-03683-5.
60. Wang, L. Animal Coronaviruses / L. Wang. – New York: Humana Press, Springer, 2016. – 218 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-3414-0.
61. Andrianov, A.M. Computational discovery of small drug-like compounds as potential inhibitors of SARS-CoV-2 main protease / A.M. Andrianov [et al.] // *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*. – 2020. – Vol. 39, Iss. 15. – P. 5779–5791. DOI: 10.1080/07391102.2020.1792989.
62. Dabravolski, S.A. SARS-CoV-2: Structural diversity, phylogeny, and potential animal host identification of spike glycoprotein / S.A. Dabravolski, Y.K. Kavalionak // *Journal of Medical Virology*. – 2020. – Vol. 92, Iss. 9. – P. 1690–1694. DOI: 10.1002/jmv.25976.
63. Sandmann, F.G. Optimising benefits of testing key workers for infection with SARS-CoV-2: A mathematical modelling analysis / F.G. Sandmann [et al.] // *Clinical Infectious Diseases*. – 2020. – Vol. 71, Iss. 12. – P. 3196–3203. DOI: 10.1093/cid/ciaa901.
64. Kucharski, A.J. Effectiveness of isolation, testing, contact tracing, and physical distancing on reducing transmission of SARS-CoV-2 in different settings: a mathematical modelling study / A.J. Kucharski [et al.] // *The Lancet Infectious Diseases*. – 2020. – Vol. 20, Iss. 10. – P. 1151–1160. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30457-6.
65. Overton, C.E. Using statistics and mathematical modelling to understand infectious disease outbreaks: COVID-19 as an example / C.E. Overton [et al.] // *Infectious Disease Modelling*. – 2020. – Vol. 5. – P. 409–441. DOI: 10.1016/j.idm.2020.06.008.
66. Badr, H.S. Association between mobility patterns and COVID-19 transmission in the USA: a mathematical modelling study / H.S. Badr [et al.] // *Lancet Infectious Diseases*. – 2020. – Vol. 20, Iss. 11. – P. 1247–1254. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30553-3.

67. Kassa, S.M. Analysis of the mitigation strategies for COVID-19: From mathematical modelling perspective / S.M. Kassa, J.B.H. Njagarah, Y.A. Terefe // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2020. – Vol. 138. – Article 109968. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.109968.
68. Ambikapathy, B. Mathematical Modelling to Assess the Impact of Lockdown on COVID-19 Transmission in India: Model Development and Validation / B. Ambikapathy, K. Krishnamurthy // *JMIR Public Health and Surveillance*. – 2020. – Vol. 6, No. 2. – Article e19368. DOI: 10.2196/19368.
69. Panovska-Griffiths, J. Can mathematical modelling solve the current Covid-19 crisis? / J. Panovska-Griffiths // *BMC Public Health*. – 2020. – Vol. 20. – Article 551. DOI: 10.1186/s12889-020-08671-z.
70. Tuite, A.R. Mathematical modelling of COVID-19 transmission and mitigation strategies in the population of Ontario, Canada / A.R. Tuite, D.N. Fisman, A.L. Greer // *Canadian Medical Association Journal*. – 2020. – Vol. 192, Iss. 19. – P. E497–E505. DOI: 10.1503/cmaj.200476.
71. Kucharski, A.J. Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study / A.J. Kucharski [et al.] // *The Lancet Infectious Diseases*. – 2020. – Vol. 20, Iss. 5. – P. 553–558. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30144-4.
72. Zheng, N. Predicting COVID-19 in China Using Hybrid AI Model / N. Zheng [et al.] // *IEEE Transactions on Cybernetics*. – 2020. – Vol. 50, No. 7. – P. 2891–2904. DOI: 10.1109/TCYB.2020.2990162.
73. Singh, S. Development of new hybrid model of discrete wavelet decomposition and autoregressive integrated moving average (ARIMA) models in application to one month forecast the casualties cases of COVID-19 / S. Singh, K.S. Parmar, J. Kumar, S.J.S. Makkhan // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2020. – Vol. 135. – Article 109866. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.109866.
74. Chakraborty, T. Real-time forecasts and risk assessment of novel coronavirus (COVID-19) cases: A data-driven analysis / I. Ghosh, T. Chakraborty // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2020. – Vol. 135. – Article 109850. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.109850.
75. Harjule, P. Mathematical models to predict COVID-19 outbreak: An interim review / P. Harjule, V. Tiwari, A. Kumar // *Journal of Interdisciplinary Mathematics*. – 2021. – Vol. 24, № 2. – P. 259–284. DOI: 10.1080/09720502.2020.1848316.
76. Saxena, A. Artificial intelligence and machine learning in healthcare / A. Saxena, S. Chandra. – Singapore: Springer, 2021. – 228 p. DOI: 10.1007/978-981-16-0811-7.
77. Banerjee, A. Use of Machine Learning and Artificial Intelligence to predict SARS-CoV-2 infection from Full Blood Counts in a population / A. Banerjee [et al.] // *International Immunopharmacology*. – 2020. – Vol. 86. – Article 106705. DOI: 10.1016/j.intimp.2020.106705.
78. Heo, L. Modeling of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) Proteins by Machine Learning and Physics-Based Refinement / L. Heo, M. Feig // *BioRxiv.org* – the preprint server for Biology. – (Preprint posted March 28, 2020). DOI: 10.1101/2020.03.25.008904.
79. Saba, A.I. Forecasting the prevalence of COVID-19 outbreak in Egypt using nonlinear autoregressive artificial neural networks / A.I. Saba, A.H. Elsheikh // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2020. – Vol. 141. – P. 1–8. DOI: 10.1016/j.psep.2020.05.029.
80. Prem, K. The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study / K. Prem [et al.] // *The Lancet Public Health*. – 2020. – Vol. 5, Iss. 5. – P. e261–e270. DOI: 10.1016/S2468-2667(20)30073-6.
81. Benvenuto, D. Application of the ARIMA model on the COVID-2019 epidemic dataset / D. Benvenuto [et al.] // *Data in Brief*. – 2020. – Vol. 29. – Article 105340. DOI: 10.1016/j.dib.2020.105340.
82. Zhang, Z. Mathematical model of Ebola and Covid-19 with fractional differential operators: Non-Markovian process and class for virus pathogen in the environment / Z. Zhang, S. Jain // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2020. – Vol. 140. – Article 110175. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.110175.
83. Zhang, Y. Evaluating Transmission Heterogeneity and Super-Spreading Event of COVID-19 in a Metropolis of China / Y. Zhang [et al.] // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – Vol. 17, Iss. 10. – Article 3705. DOI: 10.3390/ijerph17103705.
84. Zhang, F. Exponential Damping: The Key to Successful Containment of COVID-19 / F. Zhang [et al.] // *Frontiers in Public Health*. – 2020. – Vol. 8. – Article 580619. DOI: 10.3389/fpubh.2020.580619.
85. Petropoulos, F. COVID-19: Forecasting confirmed cases and deaths with a simple time-series model / F. Petropoulos, S. Makridakis, N. Stylianou // *International Journal of Forecasting*. – 2020. – Article in Press. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2020.11.010.
86. Petropoulos, F. Forecasting the novel coronavirus COVID-19 / F. Petropoulos, S. Makridakis // *PLoS One*. – 2020. – Vol. 15, Iss. 3. – Article e0231236. DOI: 10.1371/journal.pone.0231236.

87. Лакман, И.А. Возможности математического прогнозирования коронавирусной инфекции в Российской Федерации / И.А. Лакман [и др.] // Артериальная гипертензия. – 2020. – Т. 26, № 3. – С. 288–294. DOI: 10.18705/1607-419X-2020-26-3-288-294.
88. Гринчук, П.С. Физическая кинетика и моделирование распространения эпидемии / П.С. Гринчук, С.П. Фисенко // Инженерно-физический журнал. – 2021. – Т. 94, № 1. – С. 3–8.
89. Пашенков, М.В. Иммунный ответ против эпидемических коронавирусов / М.В. Пашенков, М.Р. Хаитов // Иммунология. – 2020. – Т. 41, № 1. – С. 5–19. DOI: 10.33029/0206-4952-2020-41-1-5-18.
90. Smith, T.R.F. Immunogenicity of a DNA vaccine candidate for COVID-19 / T.R.F. Smith [et al.] // Nature Communications. – 2020. – Vol. 11. – Article 2601. DOI: 10.1038/s41467-020-16505-0.
91. Poland, G.A. SARS-CoV-2 vaccine development: current status / G.A. Poland [et al.] // Mayo Clinic Proceedings. – 2020. – Vol. 95, Iss. 10. – P. 2172–2188. DOI: 10.1016/j.mayocp.2020.07.021.
92. Yarmarkovich, M. Identification of SARS-CoV-2 Vaccine Epitopes Predicted to Induce Long-Term Population-Scale Immunity / M. Yarmarkovich, J.M. Warrington, A. Farrel, J.M. Maris // Cell Reports Medicine. – 2020. – Vol. 1, Iss. 3. – Article 100036. DOI: 10.1016/j.xcrm.2020.100036.
93. Wang, D. Immunoinformatic Analysis of T- and B-Cell Epitopes for SARS-CoV-2 Vaccine Design / D. Wang [et al.] // Vaccines (Basel). – 2020. – Vol. 8, Iss. 3. – Article 355. DOI: 10.3390/vaccines8030355.
94. Tohidinia, M. Identification B and T-Cell epitopes and functional exposed amino acids of S protein as a potential vaccine candidate against SARS-CoV-2/COVID-19 / M. Tohidinia, F. Sefid // Microbial Pathogenesis. – 2020. – Vol. 148. – Article 104459. DOI: 10.1016/j.micpath.2020.104459.
95. Tilocca, B. Comparative computational analysis of SARS-CoV-2 nucleocapsid protein epitopes in taxonomically related coronaviruses / B. Tilocca [et al.] // Microbes and Infection. – 2020. – Vol. 22, Iss. 4–5. – P. 188–194. DOI: 10.1016/j.micinf.2020.04.002.
96. Shivarov, V. Potential SARS-CoV-2 Preimmune IgM Epitopes / V. Shivarov, P.K. Petrov, A.D. Pashov // Frontiers in Immunology. – 2020. – Vol. 11. – Article 932. DOI: 10.3389/fimmu.2020.00932.
97. Ranga, V. Immunogenic SARS-CoV-2 Epitopes: In Silico Study Towards Better Understanding of COVID-19 Disease-Paving the Way for Vaccine Development / V. Ranga [et al.] // Vaccines (Basel). – 2020. – Vol. 8, Iss. 3. – Article 408. DOI: 10.3390/vaccines8030408.
98. Rahman, N. Vaccine Design from the Ensemble of Surface Glycoprotein Epitopes of SARS-CoV-2: An Immunoinformatics Approach / N. Rahman [et al.] // Vaccines (Basel). – 2020. – Vol. 8, Iss. 3. – Article 423. DOI: 10.3390/vaccines8030423.
99. Quadeer, A.A. Immunodominant epitopes based serological assay for detecting SARS-CoV-2 exposure: Promises and challenges / A.A. Quadeer // EBioMedicine. – 2020. – Vol. 59. – Article 102947. DOI: 10.1016/j.ebiom.2020.102947.
100. Bhattacharya, M. A SARS-CoV-2 vaccine candidate: In-silico cloning and validation / M. Bhattacharya [et al.] // Informatics in Medicine Unlocked. – 2020. – Vol. 20. – Article 100394. DOI: 10.1016/j.imu.2020.100394.
101. Kumar, A. Exploring the SARS-CoV-2 structural proteins for Multi-Epitope vaccine development: an in-silico approach / A. Kumar [et al.] // Expert Review of Vaccines. – 2020. – Vol. 19, No. 9. – P. 887–898. DOI: 10.1080/14760584.2020.1813576.
102. Banerjee, S. Immuno-informatics approach for multi-epitope vaccine designing against SARS-CoV-2 / S. Banerjee [et al.] // bioRxiv.org – the preprint server for Biology. – (Preprint posted August 18, 2020). DOI: 10.1101/2020.07.23.218529.
103. Abraham Peele, K. Design of multi-epitope vaccine candidate against SARS-CoV-2: a in-silico study / K. Abraham Peele [et al.] // Journal of Biomolecular Structure and Dynamics. – 2021. – Vol. 39, Iss. 10. – P. 3793–3801. DOI: 10.1080/07391102.2020.1770127.
104. Case, J.B. Replication-Competent Vesicular Stomatitis Virus Vaccine Vector Protects against SARS-CoV-2-Mediated Pathogenesis in Mice / J.B. Case [et al.] // Cell Host & Microbe. – 2020. – Vol. 28, Iss. 3. – P. 465–474. DOI: 10.1016/j.chom.2020.07.018.
105. Shirvani, E. Newcastle Disease Virus as a Vaccine Vector for SARS-CoV-2 / E. Shirvani, S.K. Samal // Pathogens. – 2020. – Vol. 9, Iss. 8. – Article 619. DOI: 10.3390/pathogens9080619.
106. Estrada, E. COVID-19 and SARS-CoV-2. Modeling the present, looking at the future / E. Estrada // Physics Reports. – 2020. – Vol. 869. – P. 1–51. DOI: 10.1016/j.physrep.2020.07.005.

107. ul Qamar, M.T. Structural modeling and conserved epitopes prediction against SARS-COV-2 structural proteins for vaccine development / M.T. ul Qamar [et al.] // ResearchSquare.com – the multidisciplinary preprint. – (Preprint posted February 19, 2020). DOI: 10.21203/rs.2.23973/v1.
108. El-Awar, N. HLA Epitopes: The Targets of Monoclonal and Alloantibodies Defined / N. El-Awar, V. Jucaud, A. Nguyen // Journal of Immunology Research. – 2017. – Vol. 2017. – Article 3406230. DOI: 10.1155/2017/3406230.
109. Zhao, F. Genomic characteristics and changes of avian infectious bronchitis virus strain CK/CH/LDL/97I after serial passages in chicken embryos / F. Zhao [et al.] // Intervirology. – 2014. – Vol. 57, No. 6. – P. 319–330. DOI: 10.1159/000365193.
110. Xiang, Z. Genome-wide prediction of vaccine targets for human herpes simplex viruses using Vaxign reverse vaccinology / Z. Xiang, Y. He // BMC Bioinformatics. – 2013. – Vol. 14, Suppl. 4. – Article S2. DOI: 10.1186/1471-2105-14-S4-S2.
111. Ong, E. Vaxign-ML: supervised machine learning reverse vaccinology model for improved prediction of bacterial protective antigens / E. Ong [et al.] // Bioinformatics. – 2020. – Vol. 36, Iss. 10. – P. 3185–3191. DOI: 10.1093/bioinformatics/btaa119.
112. Vita, R. The Immune Epitope Database (IEDB): 2018 update / R. Vita [et al.] // Nucleic Acids Research. – 2019. – Vol. 47, Iss. D1. – P. D339–D343. DOI: 10.1093/nar/gky1006.
113. Almofti, Y.A. Vaccinomic approach for novel multi epitopes vaccine against severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2) / Y.A. Almofti, K.A. Abd-Elrahman, E.E.M. Eltilib // BMC Immunology. – 2021. – Vol. 22. – Article 22. DOI: 10.1186/s12865-021-00412-0.
114. Wang, Y. Determinants of antigenicity and specificity in immune response for protein sequences / Y. Wang [et al.] // BMC Bioinformatics. – 2011. – Vol. 12. – Article 251. DOI: 10.1186/1471-2105-12-251.
115. Sha, T. Bioinformatics analysis of candidate proteins Omp2b, P39 and BLS for Brucella multivalent epitope vaccines / T. Sha [et al.] // Microbial Pathogenesis. – 2020. – Vol. 147. – Article 104318. DOI: 10.1016/j.micpath.2020.104318.
116. Khodadad, N. In silico functional and structural characterization of hepatitis B virus PreS/S-gene in Iranian patients infected with chronic hepatitis B virus genotype D / N. Khodadad [et al.] // Heliyon. – 2020. – Vol. 6, Iss. 7. – Article e04332. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04332.
117. Karagoz, I.K. Using bioinformatic protein sequence similarity to investigate if SARS CoV-2 infection could cause an ocular autoimmune inflammatory reactions? / I.K. Karagoz [et al.] // Experimental Eye Research. – 2021. – Vol. 203. – Article 108433. DOI: 10.1016/j.exer.2020.108433.
118. Ozkan, O. Transporting COVID-19 testing specimens by routing unmanned aerial vehicles with range and payload constraints: the case of Istanbul / O. Ozkan, O. Atli // Transportation Letters. – 2021. – Vol. 13, Iss. 5-6. – P. 482–491. DOI: 10.1080/19427867.2021.1896063.
119. Manigandan, S. Early detection of SARS-CoV-2 without human intervention to combat COVID-19 using drone technology / S. Manigandan [et al.] // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. – 2021. – Vol. 93, Iss. 1. – P. 85–88. DOI: 10.1108/aeat-06-2020-0120.
120. Kane, B. Is it safer at the beach? Spatial and temporal analyses of beachgoer behaviors during the COVID-19 pandemic / B. Kane [et al.] // Ocean & Coastal Management. – 2021. – Vol. 205. – Article 105533. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105533.

**Коронавирусная пандемия: факты распространения и эволюции  
опасной инфекции и технологии противостояния**

**Coronavirus pandemic: facts of the spread and evolution  
of a dangerous infection and technology of confrontation**

***Спринджук Матвей Владимирович***

кандидат технических наук

Государственное научное учреждение  
«Объединенный институт проблем информатики  
Национальной академии наук Беларуси»  
лаборатория математической кибернетики,  
старший научный сотрудник

Адрес: ул. Сурганова, 6,  
220012, г. Минск, Беларусь  
Email: [stepanenkomatvei@yandex.ru](mailto:stepanenkomatvei@yandex.ru)  
ORCID: 0000-0001-9500-2954

***Matvey V. Sprindzuk***

PhD in Technical Sciences

United Institute of Informatics Problems  
of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Laboratory of Mathematical Cybernetics,  
Senior Researcher

Address: Surganova str., 6,  
220012, Minsk, Belarus  
Email: [stepanenkomatvei@yandex.ru](mailto:stepanenkomatvei@yandex.ru)  
ORCID: 0000-0001-9500-2954

***Берник Василий Иванович***

доктор физико-математических наук,  
профессор

Государственное научное учреждение  
«Институт математики Национальной академии  
наук Беларуси», отдел теории чисел,  
главный научный сотрудник

Адрес: ул. Сурганова, 11,  
220072, г. Минск, Беларусь  
Email: [bernik@im.bas-net.by](mailto:bernik@im.bas-net.by)  
ORCID: 0000-0001-8096-1079

***Vasili I. Bernik***

Grand PhD in Physical and Mathematical  
Sciences, Professor

State Scientific Institution «Institute  
of Mathematics of the National Academy  
of Sciences of Belarus», Department  
of Number Theory, Chief Researcher

Address: Surganova str., 11,  
220072, Minsk, Belarus  
Email: [bernik@im.bas-net.by](mailto:bernik@im.bas-net.by)  
ORCID: 0000-0001-8096-1079

***Бэтгэрэл Балтын***

доктор физико-математических наук,  
профессор

Институт математики и цифровых технологий  
Монгольской Академии наук,  
ученый секретарь

Адрес: пр-т Мира, 54Б,  
р-н Баянзурх, г. Улан-Батор,  
13330, Монголия  
Email: [batgerel@mas.ac.mn](mailto:batgerel@mas.ac.mn)  
ORCID: 0000-0001-6322-275X

***Balt Batgerel***

PhD in Physical and Mathematical Sciences,  
Professor

Institute of Mathematics and Digital Technology  
of the Mongolian Academy of Sciences,  
Scientific Secretary

Address: Peace av., 54B,  
Bayanzurkh District, Ulaanbaatar,  
13330, Mongolia  
Email: [batgerel@mas.ac.mn](mailto:batgerel@mas.ac.mn)  
ORCID: 0000-0001-6322-275X

***Владыко Александр Станиславович***

доктор медицинских наук, профессор

Республиканский научно-практический центр  
эпидемиологии и микробиологии, лаборатория  
биотехнологии и иммунодиагностики особо  
опасных инфекций, главный научный сотрудник

Адрес: ул. Филимонова, 23,  
220114, г. Минск, Беларусь  
Email: [vladyko@belriem.by](mailto:vladyko@belriem.by)  
ORCID: 0000-0001-6927-5043

***Alexander S. Vladyko***

Grand PhD in Medical Sciences, Professor

The Republican Research and Practical Center  
for Epidemiology and Microbiology, Laboratory  
of Biotechnology and Immunodiagnostics  
of Especially Dangerous Infections,  
Chief Researcher

Address: Filimonova str., 23,  
220114, Minsk, Belarus  
Email: [vladyko@belriem.by](mailto:vladyko@belriem.by)  
ORCID: 0000-0001-6927-5043



**Титов Леонид Петрович**

доктор медицинских наук, профессор,  
член-корреспондент НАН Беларуси

Республиканский научно-практический центр  
эпидемиологии и микробиологии,  
лаборатория экспериментальной иммунологии,  
заведующий лабораторией

Адрес: ул. Филимонова, 23,  
220114, г. Минск, Беларусь

Email: leotit@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4524-3730

**Leonid P. Titov**

Grand PhD in Medical Sciences, Professor,  
Correspondent Member of the National  
Academy of Sciences of Belarus

The Republican Research and Practical Center  
for Epidemiology and Microbiology,  
Laboratory of Experimental Immunology,  
Head of Laboratory

Address: Filimonova str., 23,  
220114, Minsk, Belarus

Email: leotit@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4524-3730

**Скрягина Елена Михайловна**

доктор медицинских наук, доцент

Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический центр  
пульмонологии и фтизиатрии»,  
заместитель директора по научной работе

Адрес: Долгиновский тракт, 157,  
220053, г. Минск, Беларусь

Email: alena.skrahina@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1460-0272

**Alena M. Skrahina**

Grand PhD in Medical Sciences,  
Associate Professor

State Institution «Republic Scientific  
and Practical Centre of Pulmonology  
and Tuberculosis»,  
Deputy Director for Science

Address: Dolginovsky tract, 157,  
220053, Minsk, Belarus

Email: alena.skrahina@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1460-0272

**Скрягин Александр Егорович**

кандидат медицинских наук, доцент

Государственное учреждение «Республиканский  
научно-практический центр пульмонологии  
и фтизиатрии», врач-фтизиатр,  
анестезиолог-реаниматолог

Адрес: Долгиновский тракт, 157,  
220053, г. Минск, Беларусь

Email: aliaksandr.skriahin@gmail.com

**Alexander E. Skryahin**

PhD in Medical Sciences, Associate Professor

State Institution «Republic Scientific  
and Practical Centre of Pulmonology  
and Tuberculosis», Phthisiologist,  
Anesthesiologist-resuscitator

Address: Dolginovsky tract, 157,  
220053, Minsk, Belarus

Email: aliaksandr.skriahin@gmail.com

**Яцкевич Наталья Викторовна**

кандидат медицинских наук, доцент

Государственное учреждение «Республиканский  
научно-практический центр пульмонологии  
и фтизиатрии», ведущий научный сотрудник

Адрес: Долгиновский тракт, 157,  
220053, г. Минск, Беларусь

Email: yahoravanatallia@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8691-1849

**Natalia V. Yatskevich**

PhD in Medical Sciences, Associate Professor

State Institution «Republic Scientific  
and Practical Centre of Pulmonology  
and Tuberculosis», Leading Researcher

Address: Dolginovsky tract, 157,  
220053, Minsk, Belarus

Email: yahoravanatallia@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8691-1849

**Кончиц Андрей Петрович**

кандидат биологических наук

Государственное научное учреждение «Институт  
леса Национальной академии наук Беларуси»,  
лаборатория лесной селекции и семеноводства,  
ведущий научный сотрудник

Адрес: ул. Пролетарская, 71,  
246050, г. Гомель, Беларусь

Email: konchits@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8823-0630

**Andrei P. Konchits**

PhD in Biological Sciences

State Scientific Institution «Forest Institute  
of the National Academy of Sciences of Belarus»,  
Forest Tree Breeding and Seed Production  
Laboratory, Leading Researcher

Address: Proletarskaya str., 71,  
246050, Gomel, Belarus

Email: konchits@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8823-0630

**Климук Дмитрий Александрович**

Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический центр  
пульмонологии и фтизиатрии», отдел  
фтизиопульмонологического мониторинга  
и оценки, заведующий отделом

Адрес: Долгиновский тракт, 157,  
220053, г. Минск, Беларусь

Email: dzklm99@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-0222-5583

**Dzmitry A. Klimuk**

State Institution «Republic Scientific  
and Practical Centre of Pulmonology  
and Tuberculosis», Department  
of Phthiopulmonological Monitoring  
and Evaluation, Head of Department

Address: Dolginovsky tract, 157,  
220053, Minsk, Belarus

Email: dzklm99@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-0222-5583

**Калоса Николай Иванович**

кандидат физико-математических наук

Государственное научное учреждение  
«Институт математики Национальной академии  
наук Беларуси», отдел теории чисел,  
старший научный сотрудник

Адрес: ул. Сурганова, 11,  
220072, г. Минск, Беларусь

Email: kalosha@im.bas-net.by

ORCID: 0000-0001-5266-9900

**Nikolai I. Kalosha**

PhD in Physical and Mathematical Sciences

State Scientific Institution «Institute  
of Mathematics of the National Academy  
of Sciences of Belarus», Department  
of Number Theory, Senior Researcher

Address: Surganova str., 11,  
220072, Minsk, Belarus

Email: kalosha@im.bas-net.by

ORCID: 0000-0001-5266-9900

**Кудин Алексей Сергеевич**

кандидат физико-математических наук

Государственное научное учреждение  
«Институт математики Национальной академии  
наук Беларуси», отдел теории чисел,  
старший научный сотрудник

Адрес: ул. Сурганова, 11,  
220072, г. Минск, Беларусь

Email: kudin@im.bas-net.by

ORCID: 0000-0002-2059-4470

**Alexey S. Kudin**

PhD in Physical and Mathematical Sciences

State Scientific Institution «Institute  
of Mathematics of the National Academy  
of Sciences of Belarus», Department  
of Number Theory, Senior Researcher

Address: Surganova str., 11,  
220072, Minsk, Belarus

Email: kudin@im.bas-net.by

ORCID: 0000-0002-2059-4470

**Глинская Татьяна Николаевна**

кандидат медицинских наук, доцент

Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический центр  
пульмонологии и фтизиатрии», ученый секретарь

Адрес: Долгиновский тракт, 157,  
220053, г. Минск, Беларусь

Email: glinsky@tut.by

ORCID: 0000-0002-5891-5989

**Tatsiana N. Glinskaya**

PhD in Medical Sciences, Associate Professor

State Institution «Republic Scientific  
and Practical Centre of Pulmonology  
and Tuberculosis», Scientific Secretary

Address: Dolginovsky tract, 157,  
220053, Minsk, Belarus

Email: glinsky@tut.by

ORCID: 0000-0002-5891-5989

**Солодовникова Варвара Валерьевна**

Государственное учреждение  
«Республиканский научно-практический центр  
пульмонологии и фтизиатрии», отдел  
лабораторной диагностики и лечения  
туберкулеза, старший научный сотрудник

Адрес: Долгиновский тракт, 157,  
220053, г. Минск, Беларусь

Email: varvaras@tut.by

ORCID: 0000-0003-1655-4000

**Varvara V. Solodovnikova**

State Institution «Republic Scientific  
and Practical Centre of Pulmonology  
and Tuberculosis», Department of Laboratory  
Diagnostics and Treatment of Tuberculosis,  
Senior Researcher

Address: Dolginovsky tract, 157,  
220053, Minsk, Belarus

Email: varvaras@tut.by

ORCID: 0000-0003-1655-4000

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.466>

## CORONAVIRUS PANDEMIC: FACTS OF THE SPREAD AND EVOLUTION OF A DANGEROUS INFECTION AND TECHNOLOGY OF CONFRONTATION

**Sprindzuk M.V., Bernik V.I., Batgerel B., Vladyko A.S., Titov L.P., Skrahina A.M., Skryahin A.E., Yatskevich N.V., Konchits A.P., Klimuk D.A., Kalosha N.I., Kudin A.S., Glinskaya T.N., Solodovnikova V.V.**

*Purpose.* To study interdisciplinary and describe briefly the key issues of epidemiology, etiology of coronavirus infection, concomitant infections (in particular, tuberculosis and HIV infection), as well as the use of an arsenal of medical cybernetics, bioinformatics and other related physical, mathematical and technical sciences for solving problems in the field of epidemiology, modeling and monitoring of the disease, medical prevention and treatment of patients.

*Methods.* The analysis of research publications from bibliographic databases such as Google scholar (<https://scholar.google.ru>), EBSCO (<https://www.ebsco.com>), CyberLeninka (<https://cyberleninka.ru>), PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>), IEEE explore (<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>), BioRxiv (<https://www.biorxiv.org>)

*Findings.* Modern data on the etiology and epidemiology of the new coronavirus infection are highlighted. The possibilities of using modern methods of bioinformatics and artificial intelligence, mathematical modeling and forecasting in this subject area are presented. Selected aspects of the use of immunoinformatics and the development of effective and safe vaccines, the real possibilities of using medical drones to combat COVID-19 are shown.

*Application field of research.* The material of the article can be used as a helpful source of information for scientists, workers in medical, biological, biotechnological and related specialties, as well as in the educational process implemented by institutions of higher education and additional education of specialists. The article will also be of interest to a wide range of readers.

*Keywords:* coronavirus, pandemic, bioinformatics, medical systems, genomics, especially dangerous infections, mathematical modeling, immunoinformatics, medical drones, forecasting, antiviral therapy.

(The date of submitting: August 10, 2021)

### REFERENCES

1. Kamkin E.G. et al. *Profilaktika, diagnostika i lechenie novoy koronavirusnoy infektsii (COVID-19) [Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19)]*: temporary methodological recommendations. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation, 2020. Available at: <https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attaches/000/058/211/original/BMP-13.pdf> (accessed: October 21, 2021). (rus)
2. Zaytsev A.A., Sinopal'nikov A.I. *Prakticheskie rekomendatsii po vedeniyu patsientov s netyazhelyy vnebol'nichnoy pnevmoniey [Practical guidelines for the patient management with non-severe community-acquired pneumonia]*. *Russkiy meditsinskiy zhurnal*, 2020. Vol. 28, No. 4. Pp. 19–23. (rus)
3. Nikonov E.L., Kashin S.V., Kuvaev R.O., Rezvaja, A.A. COVID-19: infektsionnaya bezopasnost' v endoskopicheskom otdelenii. Metodicheskie rekomendatsii [COVID-19: Infection safety in the endoscopic department. Methodological recommendations]. *Moskovskaya meditsina*, 2020. No. S2 (36). Pp. 64–71. (rus)
4. Obesnyuk V.F. Dinamika lokal'noy epidemicheskoy vspyshki SOVID-19 cherez prizmu kompartment-modelirovaniya [Dynamics of the local epidemic COVID-19 outbreak through the prism of compartment modeling]. *Health Risk Analysis*. 2020. Vol. 2, No. 2. Pp. 83–91. (rus). DOI: 10.21668/health.risk/2020.2.09.
5. Sokouti M., Sadeghi R., Pashazadeh S., Eslami S., Sokouti M., Ghojzadeh M., Sokouti B. MetaMUMS COVID-19 web server: an online daily monitoring server for comparative and cumulative epidemiological analysis. *Journal of public health*, 2021. 3 p. DOI: 10.1007/s10389-020-01433-6.
6. Gorenkov D.V., Khantimirova L.M., Shevtsov V.A., Rukavishnikov A.V., Merkulov A.V., Olefir Yu.V. Vspyshka novogo infektsionnogo zabolvaniya COVID-19:  $\beta$ -koronavirusy kak ugroza global'nomu zdravookhraneniyu [An outbreak of a new infectious disease COVID-19:  $\beta$ -coronaviruses

- as a threat to global healthcare]. *BIOpreparations. Prevention, Diagnosis, Treatment*. 2020. Vol. 20, No. 1. Pp. 6–20. (rus). DOI: 10.30895/2221-996X-2020-20-1-6-20.
7. Smetanina S.V. Novaya koronavirusnaya infektsiya (COVID-19): epidemiologiya, klinika, diagnostika, lechenie i profilaktika [New coronavirus infection (COVID-19): epidemiology, clinic, diagnosis, treatment and prevention]. *Moskovskaya meditsina*, 2020. No. S1 (35). Pp. 14–15. (rus)
  8. Romanov B.K. Koronavirusnaya infektsiya COVID-2019 [Coronavirus disease COVID-2019]. *Safety and Risk of Pharmacotherapy*, 2020. Vol. 8, No. 1. Pp. 3–8. (rus). DOI: 10.30895/2312-7821-2020-8-1-3-8.
  9. Koyama T., Platt D., Parida L. Variant analysis of SARS-CoV-2 genomes. *Bulletin of the World Health Organization*, 2020. Vol. 98, No. 7. Pp. 495–504. DOI: 10.2471/BLT.20.253591.
  10. Vilsker M., Moosa Y., Nooij S. Fonseca V., Ghysens Y., Dumon K., Pauwels R., Alcantara L.C., Eynden E.V., Vandamme A.-M., Deforche K., Oliveira T. Genome Detective: an automated system for virus identification from high-throughput sequencing data. *Bioinformatics*, 2019. Vol. 35, Iss. 5. Pp. 871–873. DOI: 10.1093/bioinformatics/bty695.
  11. Cleemput S., Dumon W., Fonseca V., Karim W.A., Giovanetti M., Alcantara L.C., Deforche K., Oliveira T. Genome Detective Coronavirus Typing Tool for rapid identification and characterization of novel coronavirus genomes. *Bioinformatics*, 2020. Vol. 36, Iss. 11. Pp. 3552–3555. DOI: 10.1093/bioinformatics/btaa145.
  12. Adadi P., Kanwugu O.N. Living with HIV in the time of COVID-19: A glimpse of hope. *Journal of Medical Virology*, 2020. Vol. 93, Iss. 1. Pp. 59–60. DOI: 10.1002/jmv.26118.
  13. Adepoju P. Tuberculosis and HIV responses threatened by COVID-19. *The Lancet HIV*, 2020. Vol. 7, Iss. 5. Pp. e319–e320. DOI: 10.1016/S2352-3018(20)30109-0.
  14. Algarin A.B., Varas-Rodriguez E., Valdivia C., Fennie K.P., Larkey L., Hu N., Ibanez G.E. Symptoms, Stress, and HIV-Related Care Among Older People Living with HIV During the COVID-19 Pandemic, Miami, Florida. *AIDS and Behavior*, 2020. Vol. 24, Iss. 8. Pp. 2236–2238. DOI: 10.1007/s10461-020-02869-3.
  15. Amimo F., Lambert B., Magit A. What does the COVID-19 pandemic mean for HIV, tuberculosis, and malaria control? *Tropical Medicine and Health*, 2020. Vol. 48. Article 32. DOI: 10.1186/s41182-020-00219-6.
  16. Ballester-Arnal, R., Gil-Llario, M.D. The Virus that Changed Spain: Impact of COVID-19 on People with HIV. *AIDS and Behavior*, 2020. Vol. 24, Iss. 8. P. 2253–2257. DOI: 10.1007/s10461-020-02877-3.
  17. Beima-Sofie K., Ortblad K.F., Swanson F. Graham S.M., Stekler J.D., Simoni J.M. “Keep It Going if You Can”: HIV Service Provision for Priority Populations During the COVID-19 Pandemic in Seattle, WA. *AIDS and Behavior*, 2020. Vol. 24, Iss. 10. Pp. 2760–2763. DOI: 10.1007/s10461-020-02902-5.
  18. Blanco J.L., Ambrosioni J., Garcia F., Martinez E., Soriano A., Mallolas J., Miro J.M. COVID-19 in patients with HIV: clinical case series. *The Lancet HIV*, 2020. Vol. 7, Iss. 5. Pp. e314–e316. DOI: 10.1016/S2352-3018(20)30111-9.
  19. Childs K., Post F.A., Norcross C., Ottaway Z., Hamlyn E., Quinn K., Juniper T., Taylor C. Hospitalized patients with COVID-19 and human immunodeficiency virus: a case series. *Clinical Infectious Diseases*, 2020. Vol. 71, Iss. 8. Pp. 2021–2022. DOI: 10.1093/cid/ciaa657.
  20. Dourado I., Magno L., Soares F., Massa P., Nunn A., Dalal Sh., Grangeiro A. Adapting to the COVID-19 Pandemic: Continuing HIV Prevention Services for Adolescents Through Telemonitoring, Brazil. *AIDS and Behavior*, 2020. Vol. 24, Iss. 7. P. 1994–1999. DOI: 10.1007/s10461-020-02927-w.
  21. Drain P.K., Garrett N. SARS-CoV-2 pandemic expanding in sub-Saharan Africa: Considerations for COVID-19 in people living with HIV. *EClinicalMedicine*, 2020. Vol. 22. Article 100342. DOI: 10.1016/j.eclinm.2020.100342.
  22. Harkness A., Behar-Zusman V., Safren S.A. Understanding the Impact of COVID-19 on Latino Sexual Minority Men in a US HIV Hot Spot. *AIDS and Behavior*, 2020. Vol. 24, Iss. 7. Pp. 2017–2023. DOI: 10.1007/s10461-020-02862-w.
  23. Lodge W. II, Kuchukhidze S. COVID-19, HIV, and Migrant Workers: The Double Burden of the Two Viruses. *AIDS Patient Care STDs*, 2020. Vol. 34, No. 6. Pp. 249–250. DOI: 10.1089/apc.2020.0092.
  24. Logie C.H., Turan J.M. How Do We Balance Tensions Between COVID-19 Public Health Responses and Stigma Mitigation? Learning from HIV Research. *AIDS and Behavior*, 2020. Vol. 24, Iss. 7. Pp. 2003–2006. DOI: 10.1007/s10461-020-02856-8.

25. Sagaon-Teyssier L., Yattassaye A., Bourrelly M., Keita B.D., Spire B. The COVID-19 response must integrate people living with HIV needs in Sub-Saharan Africa: the case of Mali. *Tropical Medicine and Health*, 2020. Vol. 48. Article 41. DOI: 10.1186/s41182-020-00228-5.
26. Marziali M.E., Card K.G., McLinden T., Wang L., Trigg J., Hogg R.S. Physical Distancing in COVID-19 May Exacerbate Experiences of Social Isolation among People Living with HIV. *AIDS and Behavior*, 2020. Vol. 24, Iss. 8. P. 2250–2252. DOI: 10.1007/s10461-020-02872-8.
27. Uciechowska-Kaczmarzyk U., Chauvot de Beauchene I., Samsonov S.A. Docking software performance in protein-glycosaminoglycan systems. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 2019. Vol. 90. Pp. 42–50. DOI: 10.1016/j.jmkgm.2019.04.001.
28. Paul D.S., Gautham N. MOLS 2.0: software package for peptide modeling and protein-ligand docking. *Journal of Molecular Modeling*, 2016. Vol. 22, Iss. 10. Article 239. DOI: 10.1007/s00894-016-3106-x.
29. Ohue M., Shimoda T., Suzuki S., Matsuzaki Y., Ishida T., Akiyama Y. MEGADOCK 4.0: an ultra-high-performance protein–protein docking software for heterogeneous supercomputers. *Bioinformatics*, 2014. Vol. 30, Iss. 22. Pp. 3281–3283. DOI: 10.1093/bioinformatics/btu532.
30. Cubuk H., Ozbil M. Comparison of clinically approved molecules on SARS-CoV-2 drug target proteins: a molecular docking study. *Turkish Journal of Chemistry*, 2021. Vol. 45, № 1. Pp. 35–41. DOI: 10.3906/kim-2008-35.
31. Biesiada J., Porollo A., Velayutham P., Kouril M., Meller J. Survey of public domain software for docking simulations and virtual screening. *Human Genomics*, 2011. Vol. 5, № 5. Pp. 497–505. DOI: 10.1186/1479-7364-5-5-497.
32. Woo P.C.Y., Huang Y., Lau S.K.P., Yuen K.-Y. Coronavirus Genomics and Bioinformatics Analysis. *Viruses*, 2010. Vol. 2, Iss. 8. Pp. 1804–1820. DOI: 10.3390/v2081803.
33. Abro S.H., Ullman K., Belak S., Baule C. Bioinformatics and evolutionary insight on the spike glycoprotein gene of QX-like and Massachusetts strains of infectious bronchitis virus. *Virology Journal*, 2012. Vol. 9. Article 211. DOI: 10.1186/1743-422X-9-211.
34. Feng D., Barnes B.J. Bioinformatics analysis of the factors controlling type I IFN gene expression in autoimmune disease and virus-induced immunity. *Frontiers in Immunology*, 2013. Vol. 4. Article 291. DOI: 10.3389/fimmu.2013.00291.
35. Brinkmann A., Andrusch A., Belka A., Wylezich C. et al. Proficiency Testing of Virus Diagnostics Based on Bioinformatics Analysis of Simulated In Silico High-Throughput Sequencing Data Sets. *Journal of Clinical Microbiology*, 2019. Vol. 57, Iss. 8. Article e00466-19. DOI: 10.1128/JCM.00466-19.
36. Kellam P., Alba M.M. Virus bioinformatics: databases and recent applications. *Applied Bioinformatics*, 2002. Vol. 1, No. 1. Pp. 37–42.
37. Xing J.F., Zhu R.N., Qian Y., Zhao L.Q., Deng J., Wang F., Sun Y. [Sequence analysis for genes encoding nucleoprotein and envelope protein of a new human coronavirus NL63 identified from a pediatric patient in Beijing by bioinformatics]. *Bing Du Xue Bao*, 2007. Vol. 23, No. 4. Article 245-51.
38. Zhou Y., Routh A. Mapping RNA–capsid interactions and RNA secondary structure within virus particles using next-generation sequencing. *Nucleic Acids Research*, 2020. Vol. 48, Iss. 2. Pp. e12. DOI: 10.1093/nar/gkz1124.
39. Sheng Z., Huang C., Liu R. Guo Y., Ran Zh., Li F., Wang D. Next-Generation Sequencing Analysis of Cellular Response to Influenza B Virus Infection. *Viruses*, 2020. Vol. 12, Iss. 4. Article 383. DOI: 10.3390/v12040383.
40. Zhang Y., Hong K., Zou Y., Bu H. Rapid detection of human herpes virus by next-generation sequencing in a patient with encephalitis. *Virology Journal*, 2019. Vol. 16. Article 104. DOI: 10.1186/s12985-019-1205-x.
41. Teng J.L.L., Wernery U., Lee H.H., Joseph S., Fung J., Elizabeth S.K., Yeong K.Y., Kinne J., Chan K.-H., Lau S.K.P., Woo P.C.Y. First Isolation and Rapid Identification of Newcastle Disease Virus from Aborted Fetus of Dromedary Camel Using Next-Generation Sequencing. *Viruses*, 2019. Vol. 11, Iss. 9. Article 810. DOI: 10.3390/v11090810.
42. Li T., Mbala-Kingebeni P., Naccache S.N., Theze J., Bouquet J. et al. Metagenomic Next-Generation Sequencing of the 2014 Ebola Virus Disease Outbreak in the Democratic Republic of the Congo. *Journal of Clinical Microbiology*, 2019. Vol. 57, Iss. 9. Article e00827-19. DOI: 10.1128/JCM.00827-19.
43. Kustin T., Ling G., Sharabi S., Ram D., Friedman N., Zuckerman N., Bucris E.D., Glatman-Freedman A., Stern A., Mandelboim M. A method to identify respiratory virus infections in clinical samples using

- next-generation sequencing. *Scientific Reports*, 2019. Vol. 9. Article 2606. DOI: 10.1038/s41598-018-37483-w.
44. Goldhill D.H., Langat P., Xie H., Galiano M., Miah Sh., Kellam P., Zambon M., Lackenby A., Barclay W.S. Determining the Mutation Bias of Favipiravir in Influenza Virus Using Next-Generation Sequencing. *Journal of Virology*, 2019. Vol. 93, Iss. 2. Article e01217-18. DOI: 10.1128/JVI.01217-18.
  45. Mit'kovskaya N.P., Karpov I.A., Arutyunov G.P., Grigorenko E.A., Ruzanov D.Yu., Statkevich T.V., Tarlovskaya E.I. Koronavirusnaya infektsiya COVID-19 (obzor mezhdunarodnyh nauchnyh dannyh). [COVID-19 coronavirus infection (review of international research data)]. *Emergency cardiology and cardiovascular risks*. 2020. Vol. 4. No. 1. Pp. 784–815. (rus)
  46. Siddell S.G. *The Coronaviridae*. Boston: Springer, 1995. 418 p. DOI: 10.1007/978-1-4899-1531-3.
  47. Koyama T., Weeraratne D., Snowdon J.L., Parida L. Emergence of Drift Variants That May Affect COVID-19 Vaccine Development and Antibody Treatment. *Pathogens*, 2020. Vol. 9, Iss. 5. Article 324. DOI: 10.3390/pathogens9050324.
  48. Koyama T., Platt D., Parida L. Variant analysis of SARS-CoV-2 genomes. *Bulletin of the World Health Organization*, 2020. Vol. 98, No. 7. P. 495–504. DOI: 10.2471/BLT.20.253591.
  49. Kong R., Yang G., Xue R., Liu M., Wang F., Hu J., Guo X., Chang Sh. COVID-19 Docking Server: An interactive server for docking small molecules, peptides and antibodies against potential targets of COVID-19. *Bioinformatics*, 2020. Vol. 36, Iss. 20. P. 5109–5111. DOI: 10.1093/bioinformatics/btaa645.
  50. Gibson K.M., Steiner M.C., Rentia U., Bendall M.L., Perez-Losada M., Crandall K.A. Validation of Variant Assembly Using HAPPIPE with Next-Generation Sequence Data from Viruses. *Viruses*, 2020. Vol. 12, Iss. 7. Article 758. DOI: 10.3390/v12070758.
  51. Neill J.D., Bayles D.O., Ridpath J.F. Simultaneous rapid sequencing of multiple RNA virus genomes. *Journal of Virological Methods*, 2014. Vol. 201. Pp. 68–72. DOI: 10.1016/j.jviromet.2014.02.016.
  52. Maier H.J., Bickerton E., Britton P. *Coronaviruses. Methods and protocols*. New York: Humana Press, 2015. 285 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-2438-7.
  53. Chen H.-Z., Tang L.-L., Yu X.-L., Zhou J., Chang Y.-F., Wu X. Bioinformatics analysis of epitope-based vaccine design against the novel SARS-CoV-2. *Infectious Diseases of Poverty*, 2020. Vol. 9. Article 88. DOI: 10.1186/s40249-020-00713-3.
  54. Bhattacharya M., Sharma A.R., Patra P., Ghosh P., Sharma G., Patra B.C., Lee S.-S., Chakraborty Ch. Development of epitope-based peptide vaccine against novel coronavirus 2019 (SARS-COV-2): Immunoinformatics approach. *Journal of Medical Virology*. – 2020. – Vol. 92, Iss. 6. – Pp. 618–631. DOI: 10.1002/jmv.25736.
  55. Lian J., Jin X., Hao Sh., Zhang X., Hu J. et al. Epidemiological, clinical, and virological characteristics of 465 hospitalized cases of coronavirus disease 2019 (COVID-19) from Zhejiang province in China. *Influenza and Other Respiratory Viruses*, 2020. Vol. 14, Iss. 5. Pp. 564–574. DOI: 10.1111/irv.12758.
  56. Llanes A., Restrepo C.M., Caballero Z., Rajeev S., Kennedy M.A., Leonart R. Betacoronavirus Genomes: How Genomic Information has been Used to Deal with Past Outbreaks and the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020. Vol. 21, Iss. 12. Article 4546. DOI: 10.3390/ijms21124546.
  57. Saxena S.K. *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Epidemiology, Pathogenesis, Diagnosis, and Therapeutics*. Singapore: Springer, 2020. 213 p. DOI: 10.1007/978-981-15-4814-7.
  58. Fong S.J., Dey N., Chaki J. AI-Enabled Technologies that Fight the Coronavirus Outbreak. *Artificial Intelligence for Coronavirus Outbreak. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*. Singapore: Springer, 2021. Pp. 23–45. DOI: 10.1007/978-981-15-5936-5\_2.
  59. Lal S.K. *Molecular Biology of the SARS-coronavirus*. Berlin: Springer, 2010. 328 p. DOI: 10.1007/978-3-642-03683-5.
  60. Wang L. *Animal Coronaviruses*. New York: Humana Press, Springer, 2016. 218 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-3414-0.
  61. Andrianov A.M., Kornoushenko Y.V., Karpenko A.D., Bosko I.P., Tuzikov A.V. Computational discovery of small drug-like compounds as potential inhibitors of SARS-CoV-2 main protease. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 2020. Vol. 39, Iss. 15. P. 5779–5791. DOI: 10.1080/07391102.2020.1792989.
  62. Dabravolski S.A., Kavalionak Y.K. SARS-CoV-2: Structural diversity, phylogeny, and potential animal host identification of spike glycoprotein. *Journal of Medical Virology*, 2020. Vol. 92, Iss. 9. Pp. 1690–1694. DOI: 10.1002/jmv.25976.

63. Sandmann F.G., White P.J., Ramsay M., Jit M. Optimizing Benefits of Testing Key Workers for Infection with SARS-CoV-2: A Mathematical Modeling Analysis. *Clinical Infectious Diseases*, 2020. Vol. 71, Iss. 12. Pp. 3196–3203. DOI: 10.1093/cid/ciaa901.
64. Kucharski A.J., Klepac P., Conlan A.J.K., Tang M.L., Fry H., Gog J.R., Edmunds W.J. Effectiveness of isolation, testing, contact tracing, and physical distancing on reducing transmission of SARS-CoV-2 in different settings: a mathematical modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*, 2020. Vol. 20, Iss. 10. Pp. 1151–1160. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30457-6.
65. Overton C.E., Stage H.B., Ahmad Sh., Curran-Sebastian J., Dark P., Das R., Fearon E., Felton T. et al. Using statistics and mathematical modelling to understand infectious disease outbreaks: COVID-19 as an example. *Infectious Disease Modelling*, 2020. Vol. 5. Pp. 409–441. DOI: 10.1016/j.idm.2020.06.008.
66. Badr H.S., Du H., Marshall M., Dong E., Squire M.M., Gardner L.M. Association between mobility patterns and COVID-19 transmission in the USA: a mathematical modelling study. *Lancet Infectious Diseases*, 2020. Vol. 20, Iss. 11. Pp. 1247–1254. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30553-3.
67. Kassa S.M., Njagarah J.B.H., Terefe Y.A. Analysis of the mitigation strategies for COVID-19: From mathematical modelling perspective. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2020. Vol. 138. Article 109968. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.109968.
68. Ambikapathy B., Krishnamurthy K. Mathematical Modelling to Assess the Impact of Lockdown on COVID-19 Transmission in India: Model Development and Validation. *JMIR Public Health and Surveillance*, 2020. Vol. 6, No. 2. Article e19368. DOI: 10.2196/19368.
69. Panovska-Griffiths J. Can mathematical modelling solve the current Covid-19 crisis? *BMC Public Health*, 2020. Vol. 20. Article 551. DOI: 10.1186/s12889-020-08671-z.
70. Tuite A.R., Fisman D.N., Greer A.L. Mathematical modelling of COVID-19 transmission and mitigation strategies in the population of Ontario, Canada. *Canadian Medical Association Journal*, 2020. Vol. 192, Iss. 19. Pp. E497–E505. DOI: 10.1503/cmaj.200476.
71. Kucharski A.J., Russell T.W., Diamond Ch., Liu Y., Edmunds J., Funk S., Eggo R.M. Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*, 2020. Vol. 20, Iss. 5. P. 553–558. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30144-4.
72. Zheng N., Du S., Wang J., Zhang H., Cui W., Kang Z., Yang T., Lou B., Chi Y., Long H., Ma M., Yuan Q., Zhang Sh., Zhang D., Ye F., Xin J. Predicting COVID-19 in China Using Hybrid AI Model. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2020. Vol. 50, No. 7. Pp. 2891–2904. DOI: 10.1109/TCYB.2020.2990162.
73. Singh S., Parmar K.S., Kumar J., Makkhan S.J.S. Development of new hybrid model of discrete wavelet decomposition and autoregressive integrated moving average (ARIMA) models in application to one month forecast the casualties cases of COVID-19. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2020. Vol. 135. Article 109866. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.109866.
74. Chakraborty T., Ghosh I. Real-time forecasts and risk assessment of novel coronavirus (COVID-19) cases: A data-driven analysis. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2020. Vol. 135. Article 109850. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.109850.
75. Harjule P., Tiwari V., Kumar A. Mathematical models to predict COVID-19 outbreak: An interim review. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 2021. Vol. 24, № 2. Pp. 259–284. DOI: 10.1080/09720502.2020.1848316.
76. Saxena A., Chandra S. *Artificial intelligence and machine learning in healthcare*. Singapore: Springer, 2021. 228 p. DOI: 10.1007/978-981-16-0811-7.
77. Banerjee A., Ray S., Vorselaars B., Kitson J., Mamalakis M., Weeks S., Baker M., Mackenzie L.S. Use of Machine Learning and Artificial Intelligence to predict SARS-CoV-2 infection from Full Blood Counts in a population. *International Immunopharmacology*, 2020. Vol. 86. Article 106705. DOI: 10.1016/j.intimp.2020.106705.
78. Heo L., Feig M. Modeling of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) Proteins by Machine Learning and Physics-Based Refinement. *BioRxiv.org – the preprint server for Biology*. Preprint posted March 28, 2020. DOI: 10.1101/2020.03.25.008904.
79. Saba A.I., Elsheikh A.H. Forecasting the prevalence of COVID-19 outbreak in Egypt using nonlinear autoregressive artificial neural networks. *Process Safety and Environmental Protection*, 2020. Vol. 141. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.psep.2020.05.029.
80. Prem K., Liu Y., Russell T.W., Kucharski A.J., Eggo R.M., Davies N. The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet Public Health*, 2020. Vol. 5, Iss. 5. Pp. e261–e270. DOI: 10.1016/S2468-2667(20)30073-6.

81. Benvenuto D., Giovanetti M., Vassallo L., Angeletti S., Ciccozzi M. Application of the ARIMA model on the COVID-2019 epidemic dataset. *Data in Brief*, 2020. Vol. 29. Article 105340. DOI: 10.1016/j.dib.2020.105340.
82. Zhang Z., Jain S. Mathematical model of Ebola and Covid-19 with fractional differential operators: Non-Markovian process and class for virus pathogen in the environment. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2020. Vol. 140. Article 110175. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.110175.
83. Zhang Y., Li Y., Wang L., Li M., Zhou X. Evaluating Transmission Heterogeneity and Super-Spreading Event of COVID-19 in a Metropolis of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020. Vol. 17, Iss. 10. Article 3705. DOI: 10.3390/ijerph17103705.
84. Zhang F., Zhang J., Cao M., Zhang Y., Hui C. Exponential Damping: The Key to Successful Containment of COVID-19. *Frontiers in Public Health*, 2020. Vol. 8. Article 580619. DOI: 10.3389/fpubh.2020.580619.
85. Petropoulos F., Makridakis S., Stylianou N. COVID-19: Forecasting confirmed cases and deaths with a simple time-series model. *International Journal of Forecasting*, 2020. Article in Press. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2020.11.010.
86. Petropoulos F., Makridakis S. Forecasting the novel coronavirus COVID-19. *PLoS One*, 2020. Vol. 15, Iss. 3. Article e0231236. DOI: 10.1371/journal.pone.0231236.
87. Lakman I.A., Agapitov A.A., Sadikova L.F., Chernenko O.V., Novikov S.V., Popov D.V., Pavlov V.N., Gareeva D.F., Idrisov B.T., Bilyalov A.R., Zagidullin N.Sh. Vozmozhnosti matematicheskogo prognozirovaniya koronavirusnoy infektsii v Rossiyskoy Federatsii [COVID-19 mathematical forecasting in the Russian Federation]. *Arterial'naya Gipertenziya*, 2020. Vol. 26. No. 3. Pp. 288–294. (rus). DOI: 10.18705/1607-419X-2020-26-3-288-294.
88. Grinchuk P.S., Fisenko S.P. Physical Kinetics and Simulation of the Spread of an Epidemic. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2021. Vol. 94, No. 1. DOI: 10.1007/s10891-021-02267-z.
89. Pashchenkov M.V., Khaitov M.R. Immunnyy otvet protiv epidemicheskikh koronavirusov [Immune response against epidemic coronaviruses]. *Immunologiya*. 2020. Vol. 41. No. 1. Pp. 5–19. (rus). DOI: 10.33029/0206-4952-2020-41-1-5-18.
90. Smith T.R.F., Patel A., Ramos S., Elwood D., Zhu X. et al. Immunogenicity of a DNA vaccine candidate for COVID-19. *Nature Communications*, 2020. Vol. 11. Article 2601. DOI: 10.1038/s41467-020-16505-0.
91. Poland G.A., Ovsyannikova I.G., Crooke S.N., Kennedy R.B. SARS-CoV-2 vaccine development: current status. *Mayo Clinic Proceedings*, 2020. Vol. 95, Iss. 10. Pp. 2172–2188. DOI: 10.1016/j.mayocp.2020.07.021.
92. Yarmarkovich M., Warrington J.M., Farrel A., Maris J.M. Identification of SARS-CoV-2 Vaccine Epitopes Predicted to Induce Long-Term Population-Scale Immunity. *Cell Reports Medicine*, 2020. Vol. 1, Iss. 3. Article 100036. DOI: 10.1016/j.xcrm.2020.100036.
93. Wang D., Mai J., Zhou W., Yu W., Zhan Y., Wang N., Epstein N.D., Yang Y. Immunoinformatic Analysis of T- and B-Cell Epitopes for SARS-CoV-2 Vaccine Design. *Vaccines (Basel)*, 2020. Vol. 8, Iss. 3. Article 355. DOI: 10.3390/vaccines8030355.
94. Tohidinia M., Sefid F. Identification B and T-Cell epitopes and functional exposed amino acids of S protein as a potential vaccine candidate against SARS-CoV-2/COVID-19. *Microbial Pathogenesis*, 2020. Vol. 148. Article 104459. DOI: 10.1016/j.micpath.2020.104459.
95. Tilocca B., Soggiu A., Sanguinetti M., Musella V., Britti D., Bonizzi L., Urbani A., Roncada P. Comparative computational analysis of SARS-CoV-2 nucleocapsid protein epitopes in taxonomically related coronaviruses. *Microbes and Infection*, 2020. Vol. 22, Iss. 4–5. P. 188–194. DOI: 10.1016/j.micinf.2020.04.002.
96. Shivarov V., Petrov P.K., Pashov A.D. Potential SARS-CoV-2 Preimmune IgM Epitopes. *Frontiers in Immunology*, 2020. Vol. 11. Article 932. DOI: 10.3389/fimmu.2020.00932.
97. Ranga V., Niemela E., Tamirat M.Z., Eriksson J.E., Airenne T.T., Johnson M.S. Immunogenic SARS-CoV-2 Epitopes: In Silico Study Towards Better Understanding of COVID-19 Disease-Paving the Way for Vaccine Development. *Vaccines (Basel)*, 2020. Vol. 8, Iss. 3. Article 408. DOI: 10.3390/vaccines8030408.
98. Rahman N., Ali F., Basharat Z., Shehroz M., Khan M.K., Jeandet P., Nepovimova E., Kuca K., Khan H. Vaccine Design from the Ensemble of Surface Glycoprotein Epitopes of SARS-CoV-2: An Immunoinformatics Approach. *Vaccines (Basel)*, 2020. Vol. 8, Iss. 3. Article 423. DOI: 10.3390/vaccines8030423.



99. Quadeer A.A. Immunodominant epitopes based serological assay for detecting SARS-CoV-2 exposure: Promises and challenges. *EBioMedicine*, 2020. Vol. 59. Article 102947. DOI: 10.1016/j.ebiom.2020.102947.
100. Bhattacharya M., Sharma A.R., Patra P., Ghosh P., Sharma G., Patra B.Ch., Saha R.P., Lee S.-S., Chakraborty Ch. A SARS-CoV-2 vaccine candidate: In-silico cloning and validation. *Informatics in Medicine Unlocked*, 2020. Vol. 20. Article 100394. DOI: 10.1016/j.imu.2020.100394.
101. Kumar A., Kumar P., Saumya K.U., Kapuganti S.K., Bhardwaj T., Giri R. Exploring the SARS-CoV-2 structural proteins for Multi-Epitope vaccine development: an in-silico approach. *Expert Review of Vaccines*, 2020. Vol. 19, No. 9. Pp. 887–898. DOI: 10.1080/14760584.2020.1813576.
102. Banerjee S., Majumder K., Gutierrez G.J., Gupta D., Mittal B. Immuno-informatics approach for multi-epitope vaccine designing against SARS-CoV-2. *BioRxiv.org – the preprint server for Biology*. Preprint posted August 18, 2020. DOI: 10.1101/2020.07.23.218529.
103. Abraham Peele K., Srihansa T., Krupanidhi S. Ayyagari V.S., Venkateswarulu T.C. Design of multi-epitope vaccine candidate against SARS-CoV-2: a in-silico study. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 2021. Vol. 39, Iss. 10. Pp. 3793–3801. DOI: 10.1080/07391102.2020.1770127.
104. Case J.B., Rothlauf P.W., Chen R.E., Kafai N.M., Fox J.M., Smith B.K. et al. Replication-Competent Vesicular Stomatitis Virus Vaccine Vector Protects against SARS-CoV-2-Mediated Pathogenesis in Mice. *Cell Host & Microbe*, 2020. Vol. 28, Iss. 3. Pp. 465–474. DOI: 10.1016/j.chom.2020.07.018.
105. Shirvani E., Samal S.K. Newcastle Disease Virus as a Vaccine Vector for SARS-CoV-2. *Pathogens*, 2020. Vol. 9, Iss. 8. Article 619. DOI: 10.3390/pathogens9080619.
106. Estrada E. COVID-19 and SARS-CoV-2. Modeling the present, looking at the future. *Physics Reports*, 2020. Vol. 869. P. 1–51. DOI: 10.1016/j.physrep.2020.07.005.
107. ul Qamar M.T., Shahid F., Ashfaq U.A., Aslam S., Fatima I., Fareed M.M., Zohaib A., Chen L.-L. Structural modeling and conserved epitopes prediction against SARS-COV-2 structural proteins for vaccine development. *ResearchSquare.com – the multidisciplinary preprint*. Preprint posted February 19, 2020. DOI: 10.21203/rs.2.23973/v1.
108. El-Awar N., Jucaud V., Nguyen A. HLA Epitopes: The Targets of Monoclonal and Alloantibodies Defined. *Journal of Immunology Research*, 2017. Vol. 2017. Article 3406230. DOI: 10.1155/2017/3406230.
109. Zhao F., Han Z., Zhang T., Shao Y., Kong X., Ma H., Liu S. Genomic characteristics and changes of avian infectious bronchitis virus strain CK/CH/LDL/97I after serial passages in chicken embryos. *Intervirology*, 2014. Vol. 57, No. 6. P. 319–330. DOI: 10.1159/000365193.
110. Xiang Z., He Y. Genome-wide prediction of vaccine targets for human herpes simplex viruses using Vaxign reverse vaccinology. *BMC Bioinformatics*, 2013. Vol. 14, Suppl. 4. Article S2. DOI: 10.1186/1471-2105-14-S4-S2.
111. Ong E., Wang, H., Wong M.U., Seetharaman M., Valdez N., He Y. Vaxign-ML: supervised machine learning reverse vaccinology model for improved prediction of bacterial protective antigens. *Bioinformatics*, 2020. Vol. 36, Iss. 10. Pp. 3185–3191. DOI: 10.1093/bioinformatics/btaa119.
112. Vita R., Mahajan S., Overton J.A., Dhanda S.K., Martini Sh., Cantrell J.R., Wheeler D.K., Sette A., Peters B. The Immune Epitope Database (IEDB): 2018 update. *Nucleic Acids Research*, 2019. Vol. 47, Iss. D1. Pp. D339–D343. DOI: 10.1093/nar/gky1006.
113. Almofti Y.A., Abd-Elrahman K.A., Eltilib E.E.M. Vaccinomic approach for novel multi epitopes vaccine against severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 (SARS-CoV-2). *BMC Immunology*, 2021. Vol. 22. Article 22. DOI: 10.1186/s12865-021-00412-0.
114. Wang Y., Wu W., Negre N.N., White K.P., Li Ch., Shah P.K. Determinants of antigenicity and specificity in immune response for protein sequences. *BMC Bioinformatics*, 2011. Vol. 12. Article 251. DOI: 10.1186/1471-2105-12-251.
115. Sha T., Li Z., Zhang C., Zhao X., Chen Zh., Zhang F., Ding J. Bioinformatics analysis of candidate proteins Omp2b, P39 and BLS for Brucella multivalent epitope vaccines. *Microbial Pathogenesis*, 2020. Vol. 147. Article 104318. DOI: 10.1016/j.micpath.2020.104318.
116. Khodadad N., Seyedian S.S., Moattari A., Haghighi S.B., Pirmoradi R., Abbasi S., Makvandi M. In silico functional and structural characterization of hepatitis B virus PreS/S-gene in Iranian patients infected with chronic hepatitis B virus genotype D. *Heliyon*, 2020. Vol. 6, Iss. 7. Article e04332. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04332.

117. Karagoz I.K., Munk M.R., Kaya M., Ruckert R., Yildirim M., Karabas L. Using bioinformatic protein sequence similarity to investigate if SARS CoV-2 infection could cause an ocular autoimmune inflammatory reactions? *Experimental Eye Research*, 2021. Vol. 203. Article 108433. DOI: 10.1016/j.exer.2020.108433.
118. Ozkan O., Atli O. Transporting COVID-19 testing specimens by routing unmanned aerial vehicles with range and payload constraints: the case of Istanbul. *Transportation Letters*, 2021. Vol. 13, Iss. 5-6. P. 482–491. DOI: 10.1080/19427867.2021.1896063.
119. Manigandan S., Thaloor Ramesh P.K., Chi N.T.L., Brindhadevi K. Early detection of SARS-CoV-2 without human intervention to combat COVID-19 using drone technology. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 2021. Vol. 93, Iss. 1. P. 85–88. DOI: 10.1108/aeat-06-2020-0120.
120. Kane B., Zajchowski C.A.B., Allen T.R., McLeod G., Allen N.H. Is it safer at the beach? Spatial and temporal analyses of beachgoer behaviors during the COVID-19 pandemic. *Ocean & Coastal Management*, 2021. Vol. 205. Article 105533. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105533.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.497>

УДК 614.8.084:159.922.76

## СПЕЦИФИКА РАБОТЫ ПО ФОРМИРОВАНИЮ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ У ДЕТЕЙ С ОСОБЕННОСТЯМИ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Адиева О.С., Каркин Ю.В., Новицкий В.В.

*Цель.* Разработка научно обоснованных теоретических положений и формирование на их основе, а также на основе проведенного социологического исследования методических рекомендаций для использования в пропагандистской деятельности с детьми с особенностями психофизического развития.

*Методы.* Определение превалирующего диагноза и возможных рисков у детей с особенностями психофизического развития, включаемых в инклюзивные классы (группы) в Республике Беларусь. Изучение опыта других стран по социализации детей с особенностями психофизического развития, а также включения их в процессы обучения и формирования культуры безопасности жизнедеятельности.

*Результаты.* Разработаны методические рекомендации по проведению занятий, направленных на формирование культуры безопасности жизнедеятельности и навыков безопасного поведения, с детьми с особенностями психофизического развития. Методические рекомендации подготовлены с целью выработки единого подхода в работе с детьми с особенностями психофизического развития, обучающимися в интегрированных (инклюзивных) группах и классах, и освещают принципы, методы и формы работы по формированию знаний и навыков безопасного поведения у детей.

*Область применения исследований.* Рекомендации предназначены в помощь администрации образовательных учреждений, педагогическим работникам учреждений образования, работникам городских и районных отделов по чрезвычайным ситуациям, проводящим занятия по обучению подрастающего поколения культуре безопасности жизнедеятельности.

*Ключевые слова:* культура безопасности жизнедеятельности, дети с особенностями психофизического развития, инклюзивное образование, пропаганда безопасности жизнедеятельности.

(Поступила в редакцию 15 июля 2021 г.)

### Введение

Необходимость обучения детей правилам безопасности жизнедеятельности подтверждается статистикой пожаров, вызванных детской шалостью. В последние годы благодаря планомерной и целенаправленной работе Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь по предотвращению гибели людей при пожарах ситуация изменилась: в 2002 г. только в Гродненской области по причине детской шалости с огнем произошло 176 пожаров, в 2010 г. в республике на пожарах погибло 35 детей, в 2019 г. – 2 ребенка, в 2020-м гибели детей на пожарах не допущено. Одна из основных причин возникновения пожаров и возгораний – игра детей с огнем. Так, в 2019 г. по этой причине в республике произошло 97 пожаров, в Гродненской области – 17. В 2020 г. дети стали виновниками огненных ЧС в республике в 95 случаях, в Гродненской области в 15 случаях.

Знание и соблюдение правил безопасной жизнедеятельности становится естественным, когда они заложены с детства. Чем раньше начать обучение малышей, тем больше шансов достичь максимального результата. Именно в раннем возрасте складываются наиболее благоприятные условия для воспитания у ребенка КБЖД.

В 2016 г. в Республике Беларусь была ратифицирована Конвенция о правах инвалидов, принятая ООН в 2006 г. Согласно данной Конвенции государства-участники обязаны обеспечивать инклюзивное образование на всех уровнях обучения.

С целью выполнения требований Конвенции в нашей стране была принята Концепция развития инклюзивного образования лиц с особенностями психофизического развития (далее – ОПФР). С этого момента, согласно пунктам Концепции, в республике увеличивается количество учебных заведений, обеспечивающих обучение детей с ОПФР, создаются классы и группы, в которых такие дети обучаются совместно со здоровыми детьми.

Важная составляющая организации работы по обучению детей безопасности жизнедеятельности – понимание того, как себя вести с ними, как им объяснять нарушения, как давать рекомендации и добиться устранения нарушений. Инспектор должен знать возрастные и психофизические особенности, а также особенности работы с детьми с ОПФР.

В связи с этим возникает необходимость в разработке и обосновании четкого подхода в формировании КБЖД у рассматриваемой категории населения. Очевидна объективная необходимость в разработке методических рекомендаций, которые позволили бы усовершенствовать работу с подрастающим поколением с ОПФР, а также проводить работу по предупреждению детской гибели на пожарах, снизить количество пожаров по причине детской шалости с огнем.

### **Основная часть**

**Историческое становление и развитие интегрированного (инклюзивного) образования.** В ходе становления и развития общества происходит изменение взглядов, культурных и моральных ценностей, принятие им новых норм и правил. Сквозь призму новых норм изменяется и отношение членов общества к вопросам морали и бытия.

Идеи инклюзивного образования также прошли долгий и сложный путь изменений. Так, в период Древних времен и Средневековья понятие инклюзии полностью игнорировалось. Это объясняется статусом, который занимали инвалиды в обществе. Людей с особенностями относили к неполноценному меньшинству, инквизиция требовала полного исключения их из жизни государства.

Эти взгляды были пересмотрены только в XVIII–XIX вв. Серьезным прорывом в развитии инклюзивного образования считается принятие международных правовых актов, первым из которых стал Закон «Об обязательном всеобщем бесплатном начальном образовании». Согласно данному документу в 1778 г. С. Гейник основал в Лейпциге первый в Германии институт для глухонемых.

В 1806 г. немецкий тифлопедагог А. Цейне и французский педагог В. Гаюи открыли первое учебное заведение для слепых детей в Германии, в 1873 г. появилось учебное заведение для незрячих в Саксонии.

В 1770 г. во Франции была открыта первая в мире частная школа – Парижский институт глухонемых, основал которую Ш.М. де Эппе, создатель мимического метода. Французский педагог А. Бланше издает «Руководство для наставника: об обучении глухонемых в народных школах» – монографию, которая внесла большой вклад в методику обучения глухонемых детей в общеобразовательных школах на основе использования мимики, жестов, дактильной азбуки.

В 1959 г. была принята Декларация о правах ребенка, которая определяла принципы защиты детства. Один из них гласит, что «ребенку, который является неполноценным в физическом, психическом или социальном отношении, должны обеспечиваться специальные режим, образование и забота, необходимые ввиду его особого состояния».

Конвенция о правах ребенка, принятая в 1989 г., сохранила данные принципы. В 1975 г. принимается Декларация о правах инвалидов, а в 2006 г. – Конвенция о правах инвалидов. Документы определяют людей с особенностями как полноценных граждан во всех сферах [1]. Развитие общества позволило людям с ограниченными возможностями здоровья стать полноценными участниками общественной жизни.

В обществе создана и внедряется модель интегрированного обучения. Это является значительным достижением, ведь еще недавно ребенок с особенностями развития не имел никаких шансов обучаться со своими сверстниками в детском саду или школе.

Интегрированное обучение и воспитание – организация специального образования, при которой обучение и воспитание лиц с ОПФР осуществляются одновременно с лицами, не относящимися к лицам с ОПФР.

Инклюзивное образование – это продолжение системы интегрированного образования. Оно предлагает новые, более совершенные и гибкие подходы к организации процесса обучения и взаимодействия с каждым обучающимся. Если оно реализовано надлежащим способом, то все дети получают преимущества в плане учебы и социальной жизни.

Социальная философия рассматривает социальную интеграцию как форму совместной жизни здоровых людей и людей с ограниченными возможностями здоровья.

Интеграция как форма социального взаимодействия предусматривает для человека с особенностями неограниченное участие во всех социальных процессах, происходящих в обществе. В современном мире это право законодательно закреплено в большинстве развитых стран мира. Основой социально-философской интеграции и инклюзии выступает принцип свободы выбора, реализуемый в социальной политике государства в сфере образования. В Республике Беларусь на данный момент принята концепция и план реализации и развития инклюзивного образования.

Согласно Конвенции ООН о правах ребенка каждый ребенок имеет право на охрану здоровья, безопасность и развитие. Все дети имеют право голоса и возможность влиять на решения, касающиеся их жизни.

Современные исследователи отмечают, что среди стран с наиболее совершенными системами законодательства в области инклюзивного образования можно выделить Канаду, Кипр, Данию, Бельгию, ЮАР, Испанию, Швецию, США и Великобританию. В этих и многих других странах инклюзивное образование существует уже 30–40 лет. Формирование инклюзивного образования является стратегическим направлением Детского фонда ООН (ЮНИСЕФ) [2].

В Италии законодательство поддерживает инклюзивное образование с 1971 г. Страна стала апробационной площадкой инклюзивной модели образования для остального мира. Количество детей с особыми образовательными потребностями, обучающихся в массовых школах, превышает 90 %. Ранний период развития таких детей итальянцы называют дикой интеграцией. Главная его цель – социализация и адаптация детей в школьное сообщество таким образом, чтобы у всех было чувство принадлежности. С самого начала принятие и уважение отличий, как неотъемлемых черт личности, ставилось на первый план. В 2003 г. министерство образования Италии обязало всех директоров образовательных учреждений принять участие в тренинге без отрыва от работы, чтобы усовершенствовать проведение в жизнь национальной политики включения в социум детей с особенностями психофизического развития. Всем учителям предписывалось пройти курс повышения квалификации, рассчитанный на 40 часов в год.

Инклюзивное образование в Великобритании существует во взаимодействии со специальным образованием, которое имеет в этой стране давнюю историю и традиции. И хотя инклюзивное образование законодательно закреплено и развивается, специальные отдельные школы продолжают функционировать и рассматриваются как часть образовательного пространства для тех детей, чьи родители выбрали для них такой путь обучения.

В США действует закон, принятый в 1990 г., – «Акт об образовании лиц с нарушениями». Он гарантирует бесплатное соответствующее нуждам ребенка обучение в системе народного образования. Родители имеют право требовать от школ заключение об учебных возможностях ребенка, в котором дается обоснование наличия или отсутствия нарушений в развитии у ребенка. На школу возлагается обязанность выявлять детей с ограниченными возможностями. Закон дает право на получение не только специального образования, но

и дополнительных услуг (транспорт, логопедические занятия, помощь психолога, аудиологическое обследование и пр.). По закону на каждого ребенка составляется письменное заключение и индивидуальная образовательная программа, предписывается обязательное обучение детей с ограничениями, насколько это возможно, в массовых школах, а также включение их в среду с минимальными ограничениями [3].

В Швеции дети с особыми нуждами ходят в обычные классы, в которых они получают необходимую поддержку (помощь в классе от специального педагога или ассистента и пользование специальными вспомогательными средствами).

Дети с выраженными нарушениями слуха, зрения, умственной отсталостью, с сочетанными нарушениями получают образование в специальных школах, которые дифференцированы по типам нарушений. И могут обучаться там до достижения ими 21–23 лет. Специальные школы в настоящее время являются центрами ресурсов по поддержке детей, включенных в классы общеобразовательных школ. Специальные школы для умственно отсталых детей интегрированы в общеобразовательную школу путем размещения классов в ее здании [1].

Таким образом, внедрение и развитие инклюзии в обществе раскрывает эволюцию отношения общества к людям с ограниченными возможностями, к их образованию и развитию. Идея инклюзивного образования свидетельствует о состоянии современного общества, в основе которого лежит гуманистическая аксиологическая парадигма – современное общество способно адекватно и толерантно воспринимать людей с ограниченными способностями, признавать их социальную субъектность.

**Нормативно-правовая база Республики Беларусь, регламентирующая деятельность по обучению населения КБЖД.** Обучение населения навыкам безопасного поведения при возникновении чрезвычайных ситуаций, воспитание чувства ответственности является одной из основных задач современного государства, а также залогом национальной безопасности.

С целью обеспечения и правомерного проведения пропагандистской работы по формированию КБЖД в Республике Беларусь принят ряд нормативных правовых документов.

Конституция Республики Беларусь<sup>1</sup> является главным законом государства, имеет высшую юридическую силу и закрепляет основополагающие принципы и нормы правового регулирования важнейших общественных отношений. На ее основе формируется вся система текущего законодательства, в ней определяется компетенция государственных органов. Конституция воздействует на развитие правовой системы, определяет правотворческую компетенцию государственных органов, в ней определяются как объекты, так и границы правового регулирования. В Конституции закрепляются виды нормативных актов и их соподчиненность.

Согласно Закону Республики Беларусь от 5 мая 1998 г. № 141-З «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»<sup>2</sup> на органы государственной власти и органы местного самоуправления возложена обязанность осуществлять подготовку и содержание в готовности необходимых сил и средств для защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обучение населения способам защиты и действиям в этих условиях.

<sup>1</sup> Конституция Республики Беларусь: с изм. и доп., принятыми на респ. референдумах 24 нояб. 1996 г. и 17 окт. 2004 г. – Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2016. – 62 с.

<sup>2</sup> О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г. № 141-З: в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.07.2020 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

Закон Республики Беларусь от 15 июня 1993 г. № 2403-ХІІ «О пожарной безопасности»<sup>3</sup> определяет порядок информирования населения о пожарах и вопросах пожарной безопасности. Закон также устанавливает обязанности граждан в области обеспечения пожарной безопасности: каждый гражданин обязан соблюдать законодательство о пожарной безопасности и международные акты, оказывать посильную помощь в тушении пожаров.

Национальная стратегия по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций на 2019–2030 годы<sup>4</sup> определяет условия для устойчивого развития государства путем повышения безопасности граждан и общества, в том числе с помощью формирования культуры безопасности жизнедеятельности во всех сферах.

Постановлением<sup>5</sup> Совета Министров от 23 мая 2013 г. № 413 определен порядок обучения руководителей и работников республиканских органов государственного управления, иных государственных организаций, подчиненных Правительству Республики Беларусь, местных исполнительных и распорядительных органов, организаций независимо от форм собственности и населения в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и гражданской обороны, а также граждан, которыми комплектуются специальные формирования органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям по мобилизации.

МЧС Республики Беларусь уделяет огромное внимание профилактической работе с населением. Работниками органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям проводятся масштабные пропагандистские акции по безопасности, работники секторов пропаганды и взаимодействия с общественностью МЧС проводят выездные занятия с населением и обучающимися в образовательных учреждениях, вручают материалы с наглядно-изобразительной продукцией, которые разъясняют требования безопасности и действия в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. Также ведется подготовка учащихся в кадетских классах, школах, центрах безопасности и полевых лагерях, организована деятельность Белорусской молодежной общественной организации спасателей-пожарных. В системе МЧС издается журнал «Юный спасатель», целевой аудиторией которого является подрастающее поколение. Издание ориентировано на обучение правилам пожарной безопасности детей и молодежи.

Таким образом, действующая нормативно-правовая база Республики Беларусь в области организации и реализации пропагандистской работы широко охватывает вопросы организации и проведения работы по формированию КБЖД со всеми категориями граждан, в том числе в системе инклюзивного (интегрированного) образования и обучения детей с ОПФР.

---

<sup>3</sup> О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь от 15 июня 1993 г., № 2403-ХІІ: в ред. Закона Респ. Беларусь от 04.01.2021 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

<sup>4</sup> Национальная стратегия по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь на 2019–2030 годы: утв. премьер-министром – начальником гражданской обороны Республики Беларусь 30.11.2018. – Минск: УГЗ, 2018. – 43 с.

<sup>5</sup> Об утверждении Положения о порядке обучения руководителей и работников республиканских органов государственного управления, иных государственных органов, подчиненных Правительству Республики Беларусь, местных исполнительных и распорядительных органов, организаций, независимо от форм собственности и населения в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и гражданской обороны, а также граждан, которыми комплектуются специальные формирования органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям по мобилизации [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 23 мая 2013 № 413: в ред. постановления Совета Министров Респ. Беларусь от 13.02.2018 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

**Формы и методы работы Министерства по чрезвычайным ситуациям с подрастающим поколением, в том числе с ОПФР.** С целью обучения подрастающего поколения правилам безопасного поведения Министерство по чрезвычайным ситуациям проводит широкомасштабную профилактическую работу. Для этого используются разнообразные формы и методы донесения информации с учетом специфики, возрастных и психофизических особенностей каждой категории граждан [4].

В Республике Беларусь работниками Министерства по чрезвычайным ситуациям проводятся 5 пропагандистских акций, целевая аудитория которых – подрастающее поколение:

– акция «Каникулы без дыма и огня!» традиционно проходит в летний период, площадкой проведения мероприятий являются пришкольные и летние оздоровительные лагеря, дошкольные учреждения.

Главная цель мероприятий – предупредить чрезвычайные ситуации по причине детской шалости с огнем, а также гибель и травматизм детей.

В этот период спасатели обучают детей и взрослых правилам пожарной безопасности: проводят тематические беседы и инструктажи, демонстрируют обучающие видеофильмы и мультфильмы, предлагают викторины и конкурсы, разбирают вместе с детьми ситуационные задачи, распространяют обучающую наглядно-изобразительную продукцию, а также обучают правилам пожарной безопасности педагогических работников и дежурный персонал учреждений образования;

– акция «Не оставляйте детей одних!» нацелена на привлечение внимания общества к проблеме детской шалости с огнем и гибели детей на пожарах, снижения количества чрезвычайных ситуаций с участием несовершеннолетних и обеспечения их безопасности. Мероприятие приурочено к Международному дню семьи и Дню защиты детей;

– акция «В центре внимания – дети!» направлена на привлечение внимания общественности к проблеме травматизма и гибели детей в огне из-за оставления их без присмотра. Традиционно мероприятия приурочены ко Дню знаний. Работники МЧС совместно с юными спасателями посещают торговые объекты, где детям и их родителям напоминают правила безопасности, проводят тематические уроки и родительские собрания, на педагогических советах напоминают учителям и работникам учреждений образования о важности соблюдения правил безопасности, проводят инструктажи, на практике отрабатывают планы эвакуации;

– акция «Молодежь за безопасность!» проходит в сентябре-октябре с целью пропаганды деятельности Белорусской молодежной общественной организации спасателей-пожарных и популяризации профессии спасателя-пожарного. Акция приурочена ко дню образования БМОСП;

– акция «Безопасный Новый год!» проводится в декабре и направлена на снижение количества пожаров и травм в результате нарушения правил пожарной безопасности при подготовке к праздникам, неосторожного обращения с пиротехническими изделиями. В рамках акции спасатели посещают учреждения образования, где в игровой форме напоминают подрастающему поколению о правилах безопасности в зимний период.

Также профилактическая акция МЧС совпадает с республиканской благотворительной акцией «Наши дети». В Гродненской области уже на протяжении пяти лет спасатели проводят благотворительное обучающее мероприятие «Безопасная елка», на которое приглашаются дети из семей, признанных находящимися в социально опасном положении, а также дети из специализированных учреждений, имеющие ОПФР.

Кроме того, в каждой области создан и функционирует центр безопасности, обеспечивающий интерактивное обучение детей, в том числе с ОПФР, а также их родителей правилам действий в различных ситуациях, а также тому, как не допустить возникновения чрезвычайной ситуации. В центрах безопасности разработаны методические материалы для проведения интегрированных занятий, проводимых в виде ролевой игры с применением метода



ситуационного моделирования на базе соответствующих технических средств и компьютерных технологий. С целью максимального охвата населения работники МЧС задействуют современные средства связи и коммуникации.

Широкой популярностью среди населения пользуется официальный сайт МЧС. Контент сайта разнообразен и позволяет каждому пользователю получить необходимую информацию о деятельности ведомства. Стоит отметить, что сайт предоставляет возможность просмотра информации и для людей с нарушениями зрения. В разделе «Мультимедиа по ОБЖ» размещена информация по формированию КБЖД у подрастающего поколения, которая будет полезна как при проведении занятий в школе, так и для самостоятельного использования.

Для категории «постарше» создан раздел «Лайфхаки МЧС», в котором разъясняются правила безопасности и приводятся алгоритмы действий на случай чрезвычайной ситуации.

На интерактивной карте можно ознакомиться прогнозными данными, предоставленными Республиканским центром по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, а также узнать оперативную обстановку в период паводков, подтоплений, пожарах в экосистемах, классах пожарной опасности в лесах и введенных запретах на их посещение.

На страницах областных управлений можно ознакомиться с оперативной обстановкой в области, узнать о проводимых мероприятиях, найти полезные рекомендации.

Кроме того, работники МЧС разрабатывают новые форматы взаимодействия с аудиторией и СМИ, соответствующие требованиям времени.

Специально подготовленный контент на тему безопасности жизнедеятельности размещается на официальной странице МЧС Беларуси «ВКонтакте» и на официальных страницах региональных управлений. Для повышения охвата аудитории полезная информация от спасателей размещалась и на других интернет-порталах.

Благодаря использованию мессенджеров Skype, Viber или WhatsApp организовано проведение различных онлайн-мероприятий. Спасатели подготовили и проводят интерактивные видеуроки безопасности с молодыми матерями, многодетными семьями и воспитанниками домов семейного типа. Для наиболее эффективного обучения используются конкурсы, мини-викторины и тематические игры. Кроме того, на доступных интернет-площадках можно посмотреть онлайн-экскурсии по музеям, центрам безопасности, пожарным частям.

Еще одним способом обсудить важные аспекты безопасности стала телефонная акция «На связи 101», целевой аудиторией являются молодые мамы, многодетные семьи, дома семейного типа, семьи, находящиеся в социально опасном положении, и т.д.

В ходе беседы работники МЧС рассказывают о безопасности в быту, о действиях в случае чрезвычайных ситуаций, отвечают на волнующие собеседников вопросы.

Спасатели подготовили много наглядно-изобразительной продукции, которая в рамках мероприятий «Безопасная корреспонденция» распространяется через отделения РУП «Белпочта», службы доставки еды, продуктов и товаров, выездную торговлю, локальные сети организаций и предприятий.

В региональных газетах на постоянной основе введены детские тематические страницы (рубрики).

На телевидении на постоянной основе транслируются тематические видеоролики, яркие сюжеты мультфильмов «Волшебная книга» и бегущие строки. Совместно с радиостанциями проводятся радиозэфиры с конкурсами и викторинами для подрастающего поколения [5].

Таким образом, МЧС Республики Беларусь использует разнообразные формы работы с населением по формированию КБЖД. Для реализации поставленных задач задействованы СМИ, проводятся обучающие занятия для взрослого населения страны, в игровой форме обучают подрастающее поколение правилам безопасной жизнедеятельности, создаются обучающие центры безопасности, где на практике отрабатываются полученные знания.

В системе специального образования создан и ежегодно обновляется банк данных о детях с ОПФР, который позволяет отслеживать тенденции в развитии специального образования, оптимизировать сеть учреждений специального образования, координировать меры по улучшению качества управления системой специального образования<sup>6</sup>.

В Кодексе об образовании тяжелые физические и (или) психические нарушения определяются следующим образом: «физические и (или) психические нарушения, выраженные в такой степени, что получение образования в соответствии с образовательными стандартами специального образования является недоступным и возможности обучения ограничиваются получением основ знаний об окружающем мире, приобретением навыков самообслуживания, получением элементарных трудовых навыков. Два и более физических и (или) психических нарушения являются множественными физическими и (или) психическими нарушениями»<sup>7</sup>.

Диапазон различий в психофизическом развитии этих детей огромен: от детей, испытывающих временные и довольно легко устранимые трудности, до детей с тяжелыми и множественными расстройствами психофизического развития. Кроме того, выраженный диапазон различий встречается у каждой категории детей с ОПФР.

Эти обстоятельства определяют необходимость разработки и применения на практике множества вариантов содержания образования, которые бы соответствовали возможностям каждого ребенка.

Педагогическая интеграция сегодня признана объективной реальностью и ставит систему образования перед необходимостью переосмыслить позицию учителя в образовательном процессе, найти способы подготовки учителей к работе в новых условиях с «другими» детьми. Успешно функционирующие специальные группы и классы, а также группы (классы) интегрированного образования и воспитания позволяют детям с особыми потребностями жить в семье и получать образование в тех же условиях, что и их сверстники.

Согласно Кодексу об образовании реализовывать программы специального обучения и воспитания имеют право учреждения дошкольного образования, учреждения общего среднего образования, иные организации, индивидуальные предприниматели, которым в соответствии с законодательством предоставлено право осуществлять образовательную деятельность, реализующие образовательные программы специального образования; учреждения дошкольного образования, учреждения общего среднего образования, иные организации, индивидуальные предприниматели, которым в соответствии с законодательством предоставлено право осуществлять образовательную деятельность, реализующие образовательные программы специального образования. Число лиц с ОПФР не должно превышать 20 % общего числа обучающихся<sup>8</sup>.

Система специального образования в Республике Беларусь в настоящее время характеризуется доступностью, вариативностью, прогрессивным движением к созданию развитой инфраструктуры «без барьеров» в образовательных учреждениях, расширением границ взаимодействия детей с особыми потребностями и обычных детей посредством развития образовательной интеграции, внедрением современных информационных и коммуникационных технологий в образовании.

Согласно статистическим данным, предоставленным областными (Минским городским) центрами коррекционно-развивающего обучения и развития по состоянию на декабрь

---

<sup>6</sup> Концепция развития инклюзивного образования лиц с особенностями психофизического развития в Республике Беларусь: утв. приказом Министра образования Респ. Беларусь, 22 июля 2015 г., № 608. – Минск, 2015. – 17 с.

<sup>7</sup> Кодекс Республики Беларусь об образовании [Электронный ресурс]: 13 янв. 2011 г., № 243-3: принят Палатой представителей 2 дек. 2010 г.: одобр. Советом Респ. 22 дек. 2010 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 23.07.2019 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

<sup>8</sup> См. сноску 7.

2020 г., видим, что на фоне уменьшения общего числа детей в возрасте до 18 лет увеличивается число детей с особыми потребностями (122 137 детей в 2009 г., 126 785 детей в 2011 г., 134 459 детей в 2015 г., 170 468 на 03.12.2020).

Под нарушением развития принято понимать любое отклонение, возникающее в младенческом или детском возрасте, которое характеризуется задержкой биологически необходимых психических функций [6]. Понятие «физическое и (или) психическое нарушения» определяется как отклонения от нормы, ограничивающие социальную деятельность и подтвержденные в порядке, установленном законодательством [7].

Приказом Министра образования Республики Беларусь от 22 июля 2015 г. утверждена Концепция развития инклюзивного образования<sup>9</sup>, согласно которой установлены задачи в образовании, требующие особого внимания и решения.

Одним из направлений является развитие инклюзивного образования лиц с особенностями психофизического развития.

Сегодня в условиях образовательной интеграции в Республике Беларусь получают образование более 60 % детей с ОПФР. Причем в последние годы происходит активное увеличение численности классов и групп интегрированного обучения и воспитания.

В настоящее время в республике функционируют 240 специальных учебных заведений, из которых 46 – специальные дошкольные учреждения, 141 – центры коррекционного и развивающего обучения и 29 реабилитационных учреждений, 28 вспомогательных школ (вспомогательных школ-интернатов), 25 средних специальных школ (средние специальные школы, школы-интернаты). Обеспечивая реализацию образовательных программ специального образования, учреждения специального обучения одновременно функционируют как ресурсные центры, т.е. являются материальной, информационной, методической основой для повышения качества специального образования и повышения квалификации учителей, работающих с детьми с особыми потребностями в образовании.

Хорошо развитая сеть пунктов профессионального образования, комплексного обучения и воспитания, а также пунктов коррекционно-педагогической помощи обеспечивает высокий процент детей с особыми потребностями, получающих специальное образование и коррекционно-педагогическую помощь (99,5 % в 2015 г., 90,2 % в 2010 г.).

Таким образом, образовательный процесс в образовательных учреждениях, реализующих образовательные программы специального образования, способствует созданию адаптивной образовательной среды, использованию специализированного оборудования, электронных учебных пособий и специальных программ в образовательном процессе.

Важной характеристикой специального образования в нашей стране является развитие интегрированного обучения и воспитания. Чтобы обеспечить наиболее полное включение в совместный учебный процесс учащихся с различными образовательными потребностями, в том числе людей с особыми потребностями, необходимо обеспечить развитие инклюзивного образования.

В целях реализации инклюзивного образования Правительством Республики Беларусь утверждена программа государственного развития «Образование и молодежная политика»<sup>10</sup> (далее – Программа). Одной из целей Программы является развитие инклюзивного образования в стране, создание образовательных учреждений, способных обеспечить качественное образование и воспитание детей с ограниченными возможностями с взаимным образованием, а также подготовка специалистов для работы в интегрированных и инклюзивных классах и группах.

<sup>9</sup> См. сноску 6.

<sup>10</sup> Государственная программа «Образование и молодежная политика» на 2016–2020 годы [Электронный ресурс]: утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь № 250, 28 марта 2016 г. // Совет Министров Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.government.by/ru/solutions/2450>. – Дата доступа: 10.07.2021.

По данным министерства образования Республики Беларусь, во всех регионах страны открыты и функционируют классы и группы интегрированного (инклюзивного) образования, обеспечивающие воспитание и обучение на уровне дошкольного и общего среднего образования. Согласно предоставленным данным в областях республики функционируют учреждения образования общего типа, осуществляющие программы интегрированного (инклюзивного) образования. Так, в республике насчитывается 752 учреждения дошкольного образования (далее – УДО) и 1281 учреждение общего среднего образования (далее – СШ), в которых функционируют классы и группы интегрированного (инклюзивного) образования. По областям и г. Гродно учреждения распределены следующим образом: Минск: УДО – 226, СШ – 85; Минская область: УДО – 148, СШ – 362; Брестская область: УДО – 146, СШ – 236; Витебская область: УДО – 140, СШ – 255; Гомельская область: УДО – 108, СШ – 326; Гродно: УДО – 50, СШ – 10; Гродненская область: УДО – 245, СШ – 229, Могилевская область: УДО – 113, СШ – 165.

При организации занятий по формированию КБЖД и среди детей, в том числе с ОПФР, следует обратить внимание на два существующих риска:

1) основным риском инклюзивного образования является возможность его частичной реализации. Для успеха инклюзивного подхода в образовании совершенно недостаточно простого определения ребенка с особыми образовательными потребностями в обычный класс и надежды на успех. Необходимо разработать четкий план работы с ребенком и взаимодействия между детьми;

2) инклюзивное образование не может быть реализовано без ответа на вопрос: «Какое лучшее обучение может получить данный обучающийся с его особыми образовательными потребностями в данном конкретном месте в данное время?». Необходимо позаботиться о том, чтобы инклюзивное образование обеспечивало всем обучающимся самое высокое качество жизни [8].

С учетом изложенного делаем вывод, что при подготовке и проведении обучающих занятий с интегрированной (инклюзивной) группой (классом) следует: во-первых, уточнить отклонение обучающихся от нормы; во-вторых, изучить ОПФР и возможные риски, подготовить план-конспект занятия с учетом выявленных особенностей.

С целью определения необходимости выработки методических рекомендаций по обеспечению обучения правилам безопасности жизнедеятельности детей, обучающихся в интегрированных (инклюзивных) классах и группах, было принято решение провести исследование в интегрированном классе средней общеобразовательной школы «Озерская средняя школа».

В ходе исследования были сформированы две группы: экспериментальная (11 человек) и контрольная (11 человек). Практическая работа проводилась в три этапа:

1. Констатирующий этап. Цель – определение уровня сформированности основ безопасности жизнедеятельности у выбранной категории школьников.

2. Формирующий этап. Цель – организация системы работы по формированию основ безопасности жизнедеятельности.

3. Контрольный этап. Цель – выявление степени эффективности проведенной ранее системы работы путем повторного определения уровня сформированности основ безопасности жизнедеятельности у школьников.

На констатирующем и контрольном этапах применялись следующие методы:

– индивидуального анкетирования детей обеих групп (проверка теоретических знаний основ безопасности жизнедеятельности);

– наблюдения за поведением детей в повседневной жизни и при проведении занятий на базе районного центра безопасности (контроль и отработка практического применения знаний).

В связи со сложившейся эпидемиологической ситуацией исследование проводилось дистанционно.

Основная задача проводимого исследования – определение уровня сформированности теоретических знаний школьников о безопасности жизнедеятельности.

Результаты проведенного исследования «Определение уровня сформированности теоретических знаний по основам безопасности жизнедеятельности» по обеим группам отражены в таблице 1.

**Таблица 1. Уровень теоретических знаний детей на этапе констатирующего эксперимента**

Группа	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень
Экспериментальная	18 % (2)	36 % (4)	46 % (5)
Контрольная	27 % (3)	55 % (6)	18 % (2)

Результаты экспериментальной группы по методике «Определение теоретических знаний по основам безопасности жизнедеятельности» представлены ниже.

Высокий уровень теоретических знаний об основах безопасности жизнедеятельности выявлен у 18 % (2 детей). Эти дети в процессе опроса проявляли активность, с удовольствием шли на контакт с экспериментатором, давали правильные ответы и могли аргументировать свой ответ. Отвечали на дополнительные вопросы, предоставляя достаточно полную и точную информацию по конкретному вопросу.

Средний уровень теоретических знаний об основах безопасности жизнедеятельности показали 36 % (4 детей). Особенность ответов детей этой группы состояла в том, что ответы детей были правильные, но неполные.

Низкий уровень определен у 46 % (5 детей). Эти дети в момент опроса на многие вопросы давали неверные ответы или не могли объяснить данный ответ. Два человека отказывались отвечать на некоторые вопросы или говорили, что не знают ответ на поставленный вопрос. Они же набрали самые низкие показатели в группе.

В контрольной группе выявлены следующие показатели. Высокий уровень сформированности теоретических знаний об основах безопасности жизнедеятельности выявлен у 27 % (3 детей). У 55 % (6 детей) выявлен средний уровень теоретических знаний. Это на 19 % (2 человека) больше, чем в экспериментальной группе. Низкий уровень выявлен у 18 % (2 детей).

В контрольной группе ответы детей были похожи на ответы детей экспериментальной группы. Особенность ответов детей в контрольной группе в том, что их ответы были более распространенные и точные.

Далее проводилось наблюдение за детьми в естественных условиях.

Задача наблюдения – выявить уровень практического применения имеющихся знаний на практике, проявление интереса детей к правилам безопасности жизнедеятельности в школе и классе.

Наблюдение за детьми проводилось в течение двух занятий с каждой группой на базе обучающих интерактивных площадок центров безопасности. Поведение детей оценивалось по следующим критериям:

- проявление интереса к правилам безопасной жизнедеятельности (проявление инициативности в решении реальных и игровых задач);
- соблюдение необходимых правил поведения;
- контроль сверстников в выполнении необходимых правил поведения.

Результаты наблюдения по группам отражены в таблице 2.

**Таблица 2. Уровень практических знаний детей при соблюдении правил безопасности жизнедеятельности**

Группа	Высокий уровень	Средний уровень	Низкий уровень
Экспериментальная	–	72 % (8)	28 % (3)
Контрольная	18 % (2)	72 % (8)	10 % (1)

В экспериментальной группе высокий уровень практического соблюдения правил безопасности жизнедеятельности не выявлен. Средний уровень показали 72 % (8 человек), низкий уровень – 28 % (3 человека).

Всего средний уровень выявлен у 72 % (16 детей), 18 % (4 детей) практически не соблюдают общепринятые правила безопасности. Этим детям присвоен низкий уровень.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает необходимость разработки методических рекомендаций по обучению школьников с учетом ОПФР правилам безопасного поведения, а также важности включения в обучение практической отработки приобретенных теоретических знаний на каждом этапе обучающего процесса, трансформации теории в практическое применение, а также обеспечение цикличности подачи и отработки полученных знаний, умений и навыков.

Для рассмотрения предлагаются методические рекомендации по обучению КБЖД (и обеспечению его эффективности) детей с нарушениями зрения в условиях инклюзивного образования (А) и методические рекомендации по обучению КБЖД и обеспечению его эффективности у обучающихся с нарушениями психического развития (трудностями в обучении) (Б).

А: 1. При проведении групповых занятий, на которых обучаются дети с нарушениями зрения, необходимо заранее уточнить количество таких детей, ознакомиться с диагнозом и характеристикой детей.

2. При организации подвижных игр особое внимание следует уделять ребенку с особыми потребностями, привлекать к оказанию помощи других детей. Не рекомендуется выбирать основной формой работы фронтальную, т.к. более эффективна предварительная работа в группах, парах и групповые формы обучения. Используйте принцип «равный обучает равного».

3. Поскольку темп работы слабовидящих детей медленнее, следует уделять больше времени выполнению заданий.

4. Затруднения в координации движений, несогласованность движений рук и глаз при нарушении зрения замедляют выполнение заданий, связанных с практической деятельностью предметов, поэтому при выполнении физических заданий дело не в точности, а в аккуратности (например, при проведении эстафеты «Потуши пожар» скорость действий не оценивается, оценивается четкость и последовательность их выполнения: вызвать спасателей, надеть «боевку», «потушить» пожар).

5. Для наглядности следует использовать яркие картинки и рассказы, которые лучше всего понимает ребенок. Обращайтесь к имеющемуся у детей жизненному опыту.

6. При обучении данной группы детей при использовании наглядно-изобразительной продукции необходимо создавать условия для лучшего визуального восприятия предмета, различения цвета, формы, размещения на фоне других предметов и его выделения.

7. Материал должен быть крупным, хорошо заметным по цвету, форме, силуэту, иметь соответствующие пропорции, т.е. пожарная машина должна быть красной, меньше дома и т.д.

8. Следует размещать предметы на доске так, чтобы они не сливались в одну линию, точку.

9. При изложении материала, связанного с тактильным осмотром предмета, время увеличивается в 2–3 раза по сравнению с выполнением визуального задания. При организации работы в парах и группах рекомендуется использовать разные материалы (войлок, пластик, бумага), чтобы задействовать компенсаторные функции (осознание, тактильное восприятие, развитие моторики). Так, для проведения занятий с дошкольниками были изготовлены игры из фетра «Номера вызова экстренных служб», «Потуши огонь» – на примере игры крестики-нолики, «Безопасная елка».

10. Рекомендуется менять вид деятельности с помощью упражнений для снятия зрительного утомления (зрительная гимнастика), делайте динамические паузы, обеспечивающие отдых глазам.

11. При работе в интегрированной (инклюзивной) группе важно говорить медленнее, задавать вопросы четко, кратко и конкретно, чтобы дети могли их понять. Не торопитесь с ответом, дайте 1–2 минуты подумать.

12. По мере того как вы знакомите с новым предметом, материалом, замедлите темп занятий, т.к. детям с нарушениями зрения требуется больше времени для восприятия и понимания задачи.

13. У выбранной категории детей преобладает последовательный метод зрительного восприятия, т.е. время воздействия предлагаемого материала увеличивается как минимум вдвое (по сравнению с нормой).

14. Старайтесь использовать принцип «равный обучает равного», следует закрепить за ребенком с нарушением здорового ребенка, поощрять их совместные достижения, подчеркивать роль каждого в достижении цели.

15. Каждое занятие необходимо завершать рефлексией. Одобрительно отметьте каждого ребенка. Попросите детей самостоятельно оценить свои действия. Если дети оценивают свои достижения низко, найдите за что похвалить, чтобы приободрить ребенка.

Б: 1. В первую очередь следует убедиться, что у детей с трудностями в обучении сохраняется положительный психологический климат. Они ценят одобрение и похвалу, которые служат стимулом и поддержкой для выполнения обязанностей и требований педагога.

2. Если ребенок гиперактивный и звукоподражательный, что отвлекает других, необходимо назначить ему помощника, выдать индивидуальное задание и сказать, что успех всего класса зависит от правильности его выполнения.

3. Способность ребенка к имитации (звукоподражанию) может быть использована в ходе занятия (попросить изобразить как звучит сирена пожарного автомобиля).

4. Важно планировать работу так, чтобы предметы, связанные с развитием уверенных поведенческих навыков, максимально соответствовали содержанию обычной учебной программы.

5. Инструкции во время урока должны быть краткими и ясными. Многоуровневые инструкции следует разбивать на отдельные части, понятные детям.

6. План выполнения задания «особенного» ребенка следует давать поэтапно, каждый раз указывая, что мы сделали, что будем делать сейчас.

7. Необходимо не допускать утомления детей, комбинировать или менять методы и приемы, а также менять виды активности так, чтобы доминирующий анализатор менялся каждый раз (используйте как можно больше анализаторов: зрительное восприятие, слушание, физическая активность и т.д.). Физическая культура и упражнения на расслабление необходимы.

8. Следует использовать карточки для индивидуальной работы и стараться привлекать сверстников к помощи «особенным» детям. Для закрепления материала, «особенному» ребенку совместно со сверстниками можно подготовить пазл «Действия во время пожара», «Правила поведения на водоеме», «Правила поведения в торговом центре» и другие в зависимости от изучаемой в ходе занятия темы. Работая в группах (парах), обучающиеся размещают действия в правильном порядке, а затем обосновывают свой выбор. Выслушав каждого, обсудив предложенные обоснованные варианты, совместно создать алгоритм действий, записать его на доске.

9. Важно обеспечивать практическую направленность изучаемого материала (от практики к теории), исходя из жизненного опыта ребенка. Используйте ситуации предметно-практического характера и деловой игры.

10. Следует соблюдать принцип необходимости и достаточности при определении объема исследуемого материала. Таким образом, если вы проводите занятия на базе центра

безопасности, не все локации стоит охватить за одно занятие. Планируйте обучение этих групп в несколько этапов (обучение приемам противопожарной защиты, практика поведения в городе и в лесу, оказание помощи и т.д.).

11. Обязательно нужно объяснять детям каждое задание, они должны получить (усвоить) конкретные инструкции по его реализации. Например, с помощью индивидуальных карточек с заданиями, где каждый элемент отрабатывается отдельно. Например, «действия при пожаре»: первый элемент – вызов спасателей, отработка номеров вызова и правильности называния адреса. Когда этот этап выполнен правильно, переходите к следующему этапу: прикрыть рот и нос, на корточках (четвереньках) выйти из задымления и так далее по каждому этапу.

12. Следует соблюдать цикличность в подаче материала. Следует строить занятие на уже изученном, возвращаясь к нему в ходе занятий. Разнообразные формы подачи учебного материала (деловые, ситуационные игры и т.д.) позволят лучше его воспринимать.

13. Важно развивать способность адекватно оценивать свою работу, показывать свой прогресс и визуально отражать успехи (например, календарь, волшебное дерево). Определите для учащегося конечный результат и время его достижения (например, неделя, месяц). Ребенок видит, куда идет, как улучшаются его результаты (благодаря систематической работе с группой (классом)).

Предлагаемые методические рекомендации по формированию культуры безопасности жизнедеятельности и навыков безопасного поведения у подрастающего поколения с учетом ОПФР предназначены в помощь администрации образовательных учреждений, педагогическим работникам учреждений образования, работникам МЧС, которые проводят занятия по обучению культуре безопасности жизнедеятельности. В данных методических рекомендациях изложены принципы, методы и формы работы по формированию знаний и навыков безопасного поведения у детей, в том числе с ОПФР.

Использование данных рекомендаций в образовательной деятельности поможет эффективно организовать процесс обучения детей, имеющих нарушения зрения в инклюзивных (интегрированных) группах.

### **Заключение**

МЧС Республики Беларусь ведет масштабную пропагандистскую работу по формированию культуры безопасности жизнедеятельности на всех этапах развития и обучения. В связи с этим совершенствование форм и методов пропагандистской работы с учетом ОПФР со всеми категориями населения необходимо и обеспечивает выполнение требований международных и государственных программ.

Результаты исследования показали, что дети с особым интересом принимают участие в практической отработке полученных теоретических знаний: вызывают спасателей, решают практические задачи на базе интерактивных площадок, активно включаются в работу, когда занятие проводят работники МЧС. Спасатели пользуются доверием и авторитетом абсолютно у каждого ребенка.

Разработанные методические рекомендации позволят повысить эффективность пропагандистской деятельности, что, в свою очередь, позволит снизить количество пожаров по причине детской шалости с огнем, детского травматизма, а также в полной мере обеспечить выполнение международных и государственных программ по созданию безбарьерной среды.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Алехина, С.В. Инклюзивное образование: история и современность: учеб.-метод. пособие / С.В. Алехина. – М.: Пед. ун-т «Первое сентября», 2013. – 33 с.
2. Амиридзе, С.П. Обзор зарубежного опыта в области инклюзивного образования / С.П. Амиридзе // Научные исследования в образовании. – 2012. – № 2. – С. 8–14.



3. Скуднова, Т.Д. Мировая практика инклюзивного образования: история и современность / Т.Д. Скуднова, М.П. Пашкова // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия «Педагогика и психология». – 2017. – Вып. 4. – С. 109–116.
4. Адиева, О.С. Обучение культуре безопасности жизнедеятельности / О.С. Адиева, Ю.В. Каркин, В.В. Новицкий // Соціально-гуманітарний вісник: зб. наук. пр. – Вип. 34. – Харків: СГ НТМ «Новий курс», 2020. – С. 65–67.
5. Адиева, О.С. Обучение подрастающего поколения правилам безопасности жизнедеятельности / О.С. Адиева // материалы XIV Международной науч.-практ. конф. курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы»: в 2 т. – Т. 2. – Минск: УГЗ, 2020. – С. 133.
6. Дефектологический словарь: в 2 т. / под ред. В. Гудониса, Б.П. Пузанова. – М.: изд-во Москов. соц.-психол. ин-та; Воронеж: изд-во НПО «МОДЭК», 2007. – 2 т.
7. Зеньковский, В.В. Психология детства / В.В. Зеньковский. – Екатеринбург: Деловая книга, 1995. – 347 с.
8. Mitchell, D. What Really Works in Special and Inclusive Education / D. Mitchell. – London: Routledge, 2013. – 368 p.

**Специфика работы по формированию культуры безопасности жизнедеятельности  
у детей с особенностями психофизического развития**  
**The specifics of the formation of life safety culture in children  
with special psychophysical development**

***Адиева Ольга Сергеевна***

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

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

Email: [gumanitar@ucp.by](mailto:gumanitar@ucp.by)

***Olga S. Adieva***

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

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

Email: [gumanitar@ucp.by](mailto:gumanitar@ucp.by)

***Каркин Юрий Владимирович***

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

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

Email: [gumanitar@ucp.by](mailto:gumanitar@ucp.by)

ORCID: 0000-0001-6517-6355

***Yuriy V. Karkin***

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

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

Email: [gumanitar@ucp.by](mailto:gumanitar@ucp.by)

ORCID: 0000-0001-6517-6355

***Новицкий Виталий Владимирович***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра гуманитарных  
наук, старший преподаватель

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

Email: [gumanitar@ucp.by](mailto:gumanitar@ucp.by)

ORCID: 0000-0002-6296-0854

***Vitaly V. Novitsky***

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

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

Email: [gumanitar@ucp.by](mailto:gumanitar@ucp.by)

ORCID: 0000-0002-6296-0854

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.497>

## THE SPECIFICS OF THE FORMATION OF LIFE SAFETY CULTURE IN CHILDREN WITH SPECIAL PSYCHOPHYSICAL DEVELOPMENT

Adieva O.S., Karkin Y.V., Novitsky V.V.

*Purpose.* Development of scientifically substantiated theoretical statements and the forming on their basis, as well as on the basis of a sociological study, methodological recommendations for use in information dissemination activities among children with psychophysical developmental disabilities.

*Methods.* Determination of the prevailing diagnosis and possible risks in children with special psychophysical development learning in inclusive classes (groups) in the Republic of Belarus. Studying the experience of other countries in the socialization of children with special psychophysical development, as well as their inclusion in the learning processes and the formation of a culture of life safety.

*Findings.* Methodological recommendations have been developed for conducting classes aimed at the formation of a culture of life safety and skills of safe behavior among children with special psychophysical development. The methodological recommendations were prepared in order to develop a unified approach in working with children having psychophysical disabilities who study in integrated (inclusive) groups and classes. The recommendations highlight the principles, methods and forms of work to form knowledge and skills of safe behavior of those children.

*Application field of research.* The recommendations are intended to help the administration of educational institutions, pedagogical workers of educational institutions, workers of city and district departments for emergency situations teaching the younger generation the culture of life safety.

*Keywords:* life safety culture, children with special psychophysical development, inclusive education, life safety information dissemination.

(The date of submitting: July 15, 2021)

### REFERENCES

1. Alekhina S.V. *Inklyuzivnoe obrazovanie: istoriya i sovremennost'* [Inclusive education: history and modernity]: tutorial. Minsk: Belarusian state pedagogical university «Pervoe sentyabrya», 2013. 33 p. (rus)
2. Amiridze S.P. Obzor zarubezhnogo opyta v oblasti inklyuzivnogo obrazovaniya [Review of foreign experience in the field of inclusive education] *Nauchnye issledovaniya v obrazovanii*, 2012. No 2. Pp. 8–14. (rus)
3. Skudnova T.D., Pashkova M.P. Mirovaya praktika inklyuzivnogo obrazovaniya: istoriya i sovremennost' [World practice of inclusive education: history and modernity] *The Bulletin of the Adyghe State University. Series «Pedagogy and Psychology»*, 2017. No. 4. Pp. 109–116. (rus)
4. Adieva O.S., Karkin Yu.V., Novitskiy V.V. Obuchenie kul'ture bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti [Life safety culture training] *Social'no-gumanitarnij visnik: collection of scientific papers*, 2020. No. 34. Pp. 65–67. (rus)
5. Adieva O.S. Obuchenie podrastayushchego pokoleniya pravilam bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti [Teaching the younger generation the rules of life safety] *Proc. XIV international scientific and practical conference of cadets (students), graduate students and adjuncts (postgraduates) «Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy»*. In 2 parts. Part 2. Minsk: UCP, 2020. P. 133. (rus)
6. *Defectological dictionary*. In 2 parts. By ed. V. Gudonisa, B.P. Puzanova. – Moscow: Moscow Socio-psychological Institute; Voronezh: Scientific and Production Association «MODEK», 2007. 2 parts. (rus)
7. Zen'kovskiy, V.V. *Psikhologiya detstva* [Psychology of childhood]. Ekaterinburg: Delovaya kniga, 1995. 347 p. (rus)
8. Mitchell D. *What Really Works in Special and Inclusive Education*. London: Routledge, 2013. 368 p.

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.514>

УДК: 614.842.83(476) «1941/1945»

## ПОЖАРНАЯ ОХРАНА БЕЛАРУСИ В МЕЖВОЕННЫЙ ПЕРИОД И В НАЧАЛЕ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Хроколов В.А.

*Цель.* Анализ состояния пожарной охраны в межвоенный период и в начале Великой Отечественной войны.

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

*Результаты.* Уточнены этапы развития пожарной охраны в период 1917–1941 гг., конкретизированы меры, предпринимаемые руководством страны по повышению эффективности деятельности пожарной охраны в межвоенный период, рассмотрены действия пожарной охраны на начальном этапе Великой Отечественной войны на территории БССР.

*Область применения исследований.* Результаты могут быть использованы в ходе проведения подготовки специалистов в сфере защиты от чрезвычайных ситуаций, а также для ознакомления с деятельностью пожарной охраны в период 1917–1941 гг.

*Ключевые слова:* пожарная охрана, пожар, пожарное вооружение, борьба с огнем, военизированная пожарная охрана, государственный пожарный надзор, война.

(Поступила в редакцию 22 апреля 2021 г.)

### Введение

После в февральской революции 1917 г. задача по обеспечению пожарной безопасности населенных пунктов была возложена на городские и земские общественные органы самоуправления, в которых создавались пожарные комиссии. Их деятельность была направлена прежде всего на поддержание элементарной пожарной безопасности и решение текущих вопросов. Стоит отметить, что в этот период централизованное управление работой пожарных организаций не осуществлялось, что снижало эффективность борьбы с пожарами. Кроме того, низкой эффективности борьбы с пожарами способствовала малочисленность пожарной охраны и ее слабое техническое оснащение. Так, в конце XIX начале XX в. на территории Могилевской губернии имелось лишь 5 сельских пожарных дружин, в Минской губернии – 3 пожарные команды, в Витебской – 1 пожарная команда, а в Гродненской их вовсе не было [2, с. 62]. Поэтому она просто была не в состоянии бороться с охватившими страну пожарами. В связи с этим основная тяжесть борьбы с огнем легла на плечи небольших добровольных пожарных команд и дружин, которые были единственной силой в небольших городах и сельской местности. Однако и их материально-техническое обеспечение оставляло желать лучшего. Так, практически весь перечень их пожарного вооружения представлял собой конный пожарный ход, который был оснащен ручным, в редких случаях паровым насосом, гидropультом, бочкой, ручными лестницами, дымовыми масками, спасательными веревками и рукавами, но даже это оборудование имелось не везде. Например, добровольная пожарная охрана Сенно состояла из 3 человек, у которых имелось 3 ручных насоса [1, с. 120]. Такая же ситуация в 1917 г. была практически на всей территории страны, при этом в Германии уже в начале XX в. появились полностью механизированные пожарные части.

### Основная часть

Переломным моментом в деятельности по обеспечению пожарной безопасности стало принятие СНК 17 апреля 1918 г. Декрета «Об организации государственных мер по борьбе с огнем», который положил начало созданию полноценной государственной системы обеспечения пожарной безопасности, а также определил ее принципиальные задачи и основ-

ные направления деятельности. Для повышения эффективности борьбы с огнем и обеспечения централизованного руководства Декретом был утвержден Пожарный совет в составе 23 человек. Для решения текущих дел и ведения делопроизводства Пожарного совета в его составе было образовано 3 отдела: общий отдел по пожарной части, решавший вопросы юридического и административного характера; пожарно-технический отдел, принимавший меры к обеспечению пожарных команд техникой; учебно-пожарно-инструкционный отдел, занимавшийся подготовкой кадров для пожарной охраны, вопросами статистики, противопожарной пропаганды среди населения. Кроме того, Декрет обязал все правительственные, частные и общественные организации исполнять постановления Пожарного совета и предоставлять в Комиссариат по делам страхования статистические данные, определяемые Пожарным советом [1, с. 121]. Это позволило не только обеспечить ведение статистического учета, но и оперативно решать задачи по обеспечению пожарной безопасности, в том числе путем разработки соответствующей нормативной правовой базы.

Параллельно предпринимались меры по повышению боеспособности подразделений пожарной охраны. С этой целью 20 июня 1918 г. всем противопожарным и общественным организациям был направлен циркуляр Пожарного совета, согласно которому исполнительной власти предлагалось взять под контроль обеспечение пожарно-техническим вооружением подразделений пожарной охраны, их укомплектованностью личным составом, а также контроль за содержанием в надлежащем виде источников противопожарного водоснабжения и подъездных путей к ним [1, с. 123].

В октябре 1918 г. Комиссариатом по делам страхования и борьбы с огнем издается Положение о местных органах противопожарного надзора, согласно которому при исполкомах областных, губернских, уездных, городских советов в городах с населением свыше 10 тыс. человек образовывались пожарные комитеты [1, с. 124]. На городские и уездные комитеты возлагались следующие задачи: регистрация пожарных организаций и наблюдение за их деятельностью, учет противопожарного инвентаря, контроль за его исправностью, составление местных обязательных постановлений, правил, инструкций, надзор за соблюдением требований закона и обязательных распоряжений по пожарной части, привлечение к ответственности лиц, виновных в их нарушениях, разработка мер пожарной безопасности, ведение пожарной статистики, работа с населением, а в задачи губернских местных пожарных комитетов входил общий надзор за соблюдением пожарной безопасности, разработка общих мероприятий по пожарной части и водоснабжению, издание обязательных постановлений по пожарной и строительной части, устройство школ и курсов для подготовки кадров пожарной охраны, руководство деятельностью местных пожарных комитетов, поощрение лиц, наиболее отличившихся при тушении пожаров.

Стоит отметить, что в данный период деятельность по созданию и становлению пожарной охраны испытывала ряд определенных трудностей. Прежде всего, это продолжающаяся гражданская война, в рамках которой для комплектования Красной армии проводилась мобилизация, в ходе которой в ряды армии было мобилизовано около 800 тыс. человек, в том числе пожарные. Это привело к тому, что в городах и селах практически не осталось боеспособных пожарных команд.

Более того, поскольку территория Беларуси являлась ареной боевых действий, те многочисленные пожарные команды, которые продолжали работать в этих условиях, не имели связи с центральными органами управления и были, как правило, предоставлены сами себе. Первая попытка восстановления их полноценной деятельности была предпринята лишь в начале 1919 г. Так, 1 января 1919 г. была провозглашена Советская Социалистическая Республика Белоруссия. Красная армия 5 января заняла Минск, куда через 2 дня была перенесена столица республики. В это же время по инициативе Минского добровольного пожарного общества началась подготовка к проведению краевого пожарного съезда, который прошел в период с 27 по 29 февраля 1919 г. В итоговом постановлении съезда принято решение о ходатайстве перед правительством о создании при Совете Народного Хозяйства Главного

пожарного управления. Однако уже в день начала съезда в связи с угрозой польского наступления на Вильно было провозглашено слияние с Литвой в Литовско-Белорусскую ССР, а 8 апреля 1919 г. в новом государственном образовании объявили военное положение, и вопросы пожарной безопасности на территории Литовско-Белорусской ССР были отодвинуты на задний план [2, с. 93].

С целью разрешения существующих трудностей в организации деятельности пожарной охраны и обеспечения централизации управления 1 декабря 1918 г. СНК издал Декрет «Об организации страхового дела в Российской Республике», согласно которому Комиссариат страхования и борьбы с огнем был преобразован в страховую отдел Высшего Совета Народного Хозяйства (далее – ВСНХ). Президиум ВСНХ 20 мая 1919 г. своим постановлением реорганизовал его в пожарно-страховой отдел (далее – ПСО) ВСНХ [3].

Образованный ПСО имел вертикальную структуру, во главе которой находилась коллегия из 9 человек. На местах организация, руководство и управление пожарным делом возлагались на ПСО губернских Советов народного хозяйства. В пределах губерний были образованы районные ПСО, в городах и уездах – городские и уездные отделы с Пожарными советами, в волостях – пожарно-страховые отделения.

ВСНХ 3 ноября 1919 г. принимает постановление «Об изменении Положения об управлении пожарным и страховым делом в РСФСР», в котором указывалось, что государство берет на себя частичное финансирование мероприятий по организации и содержанию пожарной охраны на местах. Это было связано с тем, что руководство ПСО, в состав которого входили в основном страховые деятели, не всегда правильно понимало значение пожарной охраны в жизнедеятельности государства и не способствовало ее развитию.

Отметим, что в условиях гражданской войны была произведена переориентация заводов, выпускающих пожарно-техническое вооружение, на выпуск военной продукции, как следствие, возникли проблемы с обеспечением пожарных команд даже простейшим пожарным инвентарем. Поэтому для укрепления пожарной охраны, развития ее функциональности и укрепления материально-технической базы 12 июля 1920 г. СНК принял постановление № 100 «О сосредоточении пожарного дела в НКВД». С принятием данного документа пожарное дело отделялось от страхового и передавалось в Наркомат внутренних дел. Оно вошло в состав Главного управления коммунального хозяйства НКВД в виде Центрального пожарного отдела (далее – ЦПО) с межведомственным советом [1, с. 127]. Как следствие, уже в декабре 1920 г. на территории БССР в составе НКВД республики создан пожарный подотдел. С переходом пожарной охраны в ведение НКВД в системе службы было установлено единоначалие. ЦПО руководил борьбой с пожарами, разрабатывал противопожарные меры, учитывал и распределял пожарную технику, осуществлял руководство пожарными командами и другими пожарными формированиями. НКВД четко установил круг обязанностей профессиональных пожарных команд, разработал перечень работ, возлагавшихся на них (выезд на пожары, оказание помощи при стихийных бедствиях, уборка служебных помещений и казарм), а также запретил местным органам использовать пожарные команды не по назначению. Однако пожарный подотдел НКВД БССР в условиях нехватки квалифицированных кадров, лошадей и фуража направлял усилия не столько на организацию и укрепление пожарных команд, сколько на сбор и перераспределение пожарного инвентаря среди функционирующих пожарных команд.

Летом 1920 г. в различных регионах РСФСР начали возникать крупные пожары в населенных пунктах, на промышленных объектах, в лесах. В связи с этим для предупреждения массовых пожаров и улучшения борьбы с огнем Совет труда и обороны СНК РСФСР (далее – СТО) в апреле 1921 г. принял постановление «О мерах борьбы с пожарами». В соответствии с ним при НКВД была создана специальная служба по борьбе с пожарами, которая имела право привлекать население к мероприятиям по предупреждению и ликвидации пожаров в порядке трудовой повинности.

В рамках реализации данного постановления 25 апреля 1921 г. при Совете народного хозяйства Беларуси создана Инспекция по охране промышленных предприятий от пожаров, а 24 октября 1921 г. в связи с реформированием системы НКВД пожарный подотдел был реорганизован в Белорусский пожарный отдел [2, с. 94].

Отметим, что основным видом транспорта пожарных команд в это время являлись конные обозы, однако из-за нехватки лошадей они часто простаивали. В связи с этим 18 мая 1921 г. СТО принял постановление «О производстве в месячный срок мобилизации лошадей, годных для службы в пожарных командах во всех советских учреждениях и предприятиях». Реализация данной задачи возлагалась на военное ведомство при участии Главного управления коннозаводства и коневодства.

Таким образом, Декрет СНК от 12 июля 1920 г. и постановление СТО от 18 мая 1921 г. сыграли важную роль в совершенствовании деятельности пожарной охраны, поскольку позволили не только сохранить имущество пожарных команд, но и на государственном уровне укомплектовать их за счет других ведомств.

В результате проведенной работы в 1923–1924 гг. в 41 губернском городе насчитывалось 243 пожарных формирования общей численностью 11 031 человек, из которых 2820 – добровольцы. В 207 уездных городах насчитывалось 370 пожарных формирований, общей численностью – 9878 человек, из них 2295 – добровольцы. В среднем профессиональная пожарная команда в губернском городе насчитывала 82 человека, а в уездном – 26 человек [1, с. 132]. При этом в БССР имелось 350 добровольных дружин численностью около 11 000 человек и 24 профессиональные пожарные команды численностью 420 человек. На вооружении имелось 205 повозок и 216 лошадей, 750 бочек, 13 автомобилей, 695 пожарных рукавов, 756 ручных насосов, 12 механических лестниц, 17 гидropультов и 7703 единицы мелкого пожарного инвентаря [2, с. 96].

Следует отметить, что в этот период в деятельности органов пожарной охраны БССР имелся ряд серьезных упущений, а именно: отсутствовал противопожарный надзор, наблюдался упадок предупредительных противопожарных мер, а также игнорирование гражданами элементарных строительных правил. С целью повышения уровня пожарной безопасности и оказания помощи пострадавшим на пожарах было принято решение о создании Всебелорусского пожарного общества. НКВД БССР утвердил его устав 12 декабря 1924 г., а 25 января 1925 г. оно приступило к своей работе. Однако учитывая дублирование функций ряда других ведомств, 15 ноября 1929 г. НКВД БССР принял решение «О ликвидации Всебелорусского пожарного общества» и о передаче его имущества в НКВД БССР [2, с. 101].

ВЦИК и СНК РСФСР 18 июня 1927 г. утвердили Положение «Об органах государственного пожарного надзора в РСФСР», которое стало одним из основных документов в области пожарного дела. С принятием Положения законодательно утверждалась централизация руководства пожарной охраной, а также закреплялись функции государственного пожарного надзора. В соответствии с Положением руководство пожарной охраной на территории РСФСР закреплялось за НКВД РСФСР и НКВД автономных республик. Таким образом, руководство пожарной охраной на территории Беларуси перешло в ведение НКВД БССР, кроме того, пожарная инспекция была выведена из состава коммунальных органов и стала самостоятельным структурным подразделением НКВД.

Одним из главных направлений деятельности пожарной охраны в этот период являлось последовательное усиление профилактической работы и повышение боеспособности пожарных команд. С этой целью предпринимались определенные шаги. Так, 30 января 1930 г. принят Закон «О службе в пожарных организациях», в мае этого же года НКВД РСФСР издал Единый нормативный устав для добровольных пожарных организаций. В результате проведенной работы к началу первой пятилетки в СССР насчитывалось более 400 городских пожарных команд. Кроме этого, нормативно закреплялось, что в городах с насе-

лением свыше 25 тыс. человек пожарные должны иметь на вооружении не менее двух автонасосов, а города с населением 10–15 тыс. человек – автонасос и мотопомпу, в рабочих поселках – мотопомпу [1, с. 135].

В конце 1930 г. НКВД РСФСР прекратил свою деятельность. В приказе НКВД РСФСР № 337 «О ликвидации наркомата» говорилось, что Главное управление коммунального хозяйства и Управление милиции с их полным штатом выделяются из состава НКВД и передаются в непосредственное подчинение Совету народных комиссаров РСФСР. Постановлением ВЦИК РСФСР и СНК от 20 июля 1931 г. был образован Народный комиссариат коммунального хозяйства (далее – НККХ), в ведение которого передали пожарное дело, а центральный пожарный отдел НКВД был преобразован в Центральное управление пожарной охраны НККХ [1, с. 136]. Данный шаг привел к снижению заработной платы пожарных, как следствие, к массовому оттоку их в другие ведомства. Высокая текучесть кадров и низкая укомплектованность резко снизили боеготовность пожарных команд. Это вынудило руководство страны приступить к созданию военизированной пожарной охраны на крупных промышленных предприятиях и стратегически важных объектах.

В 1934 г. произошли важные для пожарной охраны реорганизационные изменения. Так, 17 июля 1934 г. Декретом ЦИК СССР восстанавливается НКВД СССР, в структуру которого вновь входит Главное управление пожарной охраны [4]. В рамках реализации положений Декрета ЦИК БССР издает постановление об организации НКВД БССР, на который в том числе возлагались задачи:

- государственного надзора за противопожарной охраной на территории БССР;
- надзора за состоянием всех частей ведомственной пожарной охраны и оперативное управление добровольными организациями пожарной охраны;
- непосредственное руководство всеми частями городской пожарной охраны и ВПО.

Для того чтобы обеспечить единое централизованное управление, 19 июля этого же года в составе НКВД БССР приказом № 001 был организован Отдел пожарной охраны, которому в непосредственное руководство 29 августа 1934 г. были переданы все расположенные на территории республики части военизированной пожарной охраны (Могилевской фабрики искусственного волокна, БелГРЭС, Минской ТЭЦ, Осниторфа, Колодищанской радиостанции) [2, с. 103].

К концу 1930-х гг. завершился переход с конной тяги с ручными насосами, баграми на автомобильную. В БССР, помимо автонасосов и автоцистерн, начали появляться первые автомобили специальных служб. Это позволило повысить боеготовность пожарных подразделений. С целью укрепления пожарной охраны городов и местечек в сентябре 1935 г. в районных центрах были ликвидированы добровольные пожарные общества, а их имущество передавалось городским пожарным командам, поселковым или объектовым добровольным пожарным дружинам.

Не оставались без внимания в этот период и вопросы пожарного надзора. ЦИК и СНК СССР 7 апреля 1936 г. принял Положение о Государственном пожарном надзоре и о городской пожарной охране. Положение определило цели, задачи, полномочия, численность и источники содержания пожарной охраны, функции и права государственного пожарного надзора, а также возложило на него общее руководство добровольными пожарными дружинами в сельской местности.

22 июня 1941 г. в 3 часа 30 минут немецкая авиация начала наносить удары по городам Беларуси, Украины и Прибалтики [5, с. 21]. Однако вероломное нападение Германии не застало подразделения пожарной охраны врасплох. Поднятые по тревоге, они уже с первых часов войны приступили к тушению пожаров. Например, уже 22 июня под непрерывающимся огнем противника пожарные Бреста ликвидировали пожары на лесопильном заводе по ул. Воронянского и в жилых домах по ул. Ильинской [2, с. 114].



В первые дни войны столица БССР также подверглась массированным бомбардировкам. Применение противником зажигательных бомб привело к возникновению большого количества пожаров во всех частях Минска. Несмотря на регулярные авианалеты, гарнизон пожарной охраны города в количестве 400 человек и 17 автоходов, ликвидировал возникающие пожары. Пять дней продолжалась борьба за спасение города от огня, и только ночью 26 июня 1941 г., получив приказ, личный состав с имеющейся техникой и последними подразделениями Красной армии отступил из столицы в направлении Витебска и Могилева. При защите Витебска бойцы пожарной охраны на протяжении 10 дней мужественно ликвидировали пожары в городе. Так, только на фабрике «Ким» ликвидировано более 50 пожаров, а в городе и на аэродроме более сотни возгораний [2, с. 116].

В то же время в условиях быстрой оккупации территории Беларуси многие пожарные продолжали борьбу с врагом, вступив в партизанские или истребительные отряды. Так, при окружении немецкими войсками Бобруйска весь личный состав пожарной команды вошел в состав истребительного отряда, на базе которого в сентябре 1941 г. был создан партизанский отряд под руководством Ф.И. Павловского. В составе отряда под руководством младшего командира пожарной охраны была сформирована группа разведчиков, состоявшая из бойцов пожарной охраны. За три года данная группа взорвала 10 железнодорожных мостов, 6 составов с живой силой и техникой врага, а также около 50 автомашин [2, с. 120]. Помимо этого, в ряды партизан влились пожарные из Слонима, Могилева, Гомеля, Осиповичей и других городов.

Лишь во второй половине июля 1941 г. по решению Главного управления пожарной охраны НКВД СССР оставшиеся силы пожарной охраны НКВД БССР в количестве 238 бойцов и командиров под руководством начальника УПО БССР А.З. Казаченко с 18 специальными и 3 грузовыми автомобилями были направлены в распоряжение ГУПО Москвы. Прибыв в Москву 22 июля 1941 г., бойцы белорусской пожарной охраны вошли в состав Московского гарнизона пожарной охраны, где составили основу Белорусского пожарного полка<sup>1</sup>.

### **Заключение**

На основании вышеизложенного можно сделать ряд выводов:

во-первых, с установлением Советской власти придается новый виток развитию пожарной охраны, это позволило не только сохранить имеющиеся подразделения пожарной охраны, но и увеличить их количество, обеспечив при этом повышение их боеспособности;

во-вторых, в конце 1920-х гг. в составе пожарной охраны сформированы органы государственного пожарного надзора, что дало пожарной охране возможность не только ликвидировать пожары, но и осуществлять надзор за соблюдением мер пожарной безопасности, а следовательно, влиять на обстановку с пожарами;

в-третьих, к середине 1930-х гг. пожарная охрана окончательно вошла в состав НКВД. В результате чего было обеспечено единое централизованное управление подразделениями пожарной охраны и их материально-техническим обеспечением;

в-четвертых, с началом Великой Отечественной войны подразделения пожарной охраны уже с первых дней агрессии ликвидировали пожары, возникающие в результате авиаударов, а по мере оккупации территории БССР переходили в ряды партизанских и истребительных отрядов, где продолжали борьбу с врагом.

Таким образом, накануне Великой Отечественной войны пожарная охрана становится полноценной государственной службой, которая в централизованном порядке обеспечива-

<sup>1</sup> Белорусские пожарные в годы Великой Отечественной войны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/glavnoe/198867/>. – Дата доступа: 05.04.2021.

лась квалифицированными кадрами, необходимой пожарной техникой, специальными видами снаряжения. Это позволило с первых дней войны обеспечить ведение эффективной борьбы пожарами, возникающими в результате ведения боевых действий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов, В.А. История пожарной охраны. Философско-методологические проблемы пожарной безопасности: учебник / В.А. Абрамов, В.С. Сметанин; под общ. ред. проф. В.А. Абрамова. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 526 с.
2. Тетерник, А.В. Страницы истории пожарной службы Беларуси / А.В. Тетерник, В.И. Яковчук. – Минск: Технология, 2013. – 192 с.
3. Сенчук, О.Л. Становление и эволюция пожарного дела в 20-е годы XX века в РСФСР [Электронный ресурс] / О.Л. Сенчук // Известия алтайского государственного университета. – 2009. – № 4-1 (64). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-i-evolyutsiya-pozharnogo-dela-v-20-e-gg-xx-v-na-territorii-rsfsr>. – Дата доступа: 11.04.2021.
4. Назин, В.В. История пожарной охраны России / В.В. Назин – СПб., 2003. – 430 с.
5. Чельцов, Б.Ф. Зарождение и развитие противовоздушной обороны страны [Электронный ресурс] / Б.Ф. Чельцов // Военно-исторический журнал. – 2004. – С. 18–27. – Режим доступа: <http://80arvo.net/images/photos/articles/literatura/publicistika/chelcov-zarozhdenie-i-razvitie-pvo-strany/chelcov-vij-2004-12.pdf>. – Дата доступа: 08.04.2021.

---

**Пожарная охрана Беларуси в межвоенный период  
и в начале Великой Отечественной войны**  
**Fire protection service of Belarus in the interwar period  
and at the beginning of the Great Patriotic War**

*Хроколов Виталий Александрович*

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

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

Email: xrva@tut.by

ORCID: 0000-0002-6577-4061

*Vitaliy A. Khrokolov*

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

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

Email: xrva@tut.by

ORCID: 0000-0002-6577-4061

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-4.514>

## **FIRE PROTECTION SERVICE OF BELARUS IN THE INTERWAR PERIOD AND AT THE BEGINNING OF THE GREAT PATRIOTIC WAR**

**Khrokolov V.A.**

*Purpose.* Analysis of the state of the fire brigade in the interwar period and at the beginning of the Great Patriotic War.

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

*Findings.* The stages of development of fire protection in the period 1917–1941 were specified, measures taken by the country's leadership to increase the efficiency of fire protection in the interwar period were specified, the actions of fire protection in the initial stage of the Great Patriotic War on the territory of the BSSR were considered.

*Application field of research.* The results can be used in the course of training specialists in the field of protection against emergencies, as well as to familiarize with the activities of the fire brigade in the period of 1917–1941.

*Keywords:* fire protection, fire, firefighting equipment, firefighting, paramilitary fire protection, state fire control, war.

(The date of submitting: April 22, 2021)

### **REFERENCES**

1. Abramov V.A., Smetanin V.S. *Istoriya pozharnoy okhrany. Filosofsko-metodologicheskiye problemy pozharnoy bezopasnosti* [The history of the fire department. Philosophical and methodological problems of fire safety]: textbook. Moscow: State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 2005. 526 p. (rus)
2. Teternik A.V., Yakovchuk V.I. *Stranitsy istorii pozharnoy sluzhby Belarusi* [Pages of the History of the Fire Service of Belarus]. Minsk: Tekhnologiya, 2013. 192 p. (rus)
3. Senchuk O.L. Stanovleniye i evolyutsiya pozharnogo dela v 20 gody XX veka v RSFSR [Formation and evolution of fire fighting in the 20 of the XX century in the RSFSR]. *Izvestiya of Altai State University*, 2009. No. 4-1 (64). Pp. 189–193. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/stanovlenie-i-evolyutsiya-pozharnogo-dela-v-20-e-gg-xx-v-na-territorii-rsfsr> (accessed: April 11, 2021) (rus)
4. Nazin V.V. *Istoriya pozharnoy okhrany Rossii* [History of the fire protection of Russia]. SPb., 2003. (rus)
5. Cheltsov B.F. Zarozhdeniye i razvitiye protivovozdushnoy oborony strany [The origin and development of the country's air defense]. *Military History Journal*, 2004. No. 12. Pp. 18–27. available at: <http://8oapvo.net/images/photos/articles/literatura/publicistika/chelcov-zarozhdenie-i-razvitie-pvo-strany/chelcov-vij-2004-12.pdf> (accessed: April 08, 2021). (rus)

**ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ  
статей для публикации в научном журнале  
«Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси»**

1. Направляемые в Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси статьи должны представлять результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, краткие сообщения, комментарии к нормативным техническим документам, справочные материалы и т.п.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.). В этот объем входят таблицы, фотографии, графики, рисунки и список литературы.

3. Статья предоставляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала: <https://journals.ucp.by>.

4. Электронная версия статьи, подготовленная в текстовом редакторе Microsoft Word, предоставляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес: [vestnik@ucp.by](mailto:vestnik@ucp.by). Рисунки прилагаются дополнительно как отдельные файлы графического формата.

5. Материал статьи излагается в следующем порядке:

1) информация об авторах (на отдельном листе): фамилия, имя, отчество – полностью, ученая степень, ученое звание, место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны), должность, рабочий телефон, Email (обязательно), имеющиеся персональные идентификационные номера в наукометрических базах (при этом обязательным является указание SPIN-кода РИНЦ, идентификатора ORCID). Если авторов несколько, указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;

2) номер УДК (универсальная десятичная классификация);

3) название статьи;

4) аннотация (не менее 200 и не более 300 слов) является основным источником информации о статье, может публиковаться самостоятельно в реферативных журналах и информационных системах в отрыве от основного текста и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Аннотация должна раскрывать: *цель* (определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования); *методы* (излагаются подходы, методы и технологии исследования); *результаты* (приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна); *область применения исследований* (описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость);

5) ключевые слова и словосочетания статьи (не более 12 слов);

6) дата поступления статьи (месяц и год);

7) введение; основная часть статьи; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

8) указание на источник финансирования (если статья подготовлена в рамках выполнения гранта научных исследований);

9) список цитированной литературы. Для каждого источника указывается (при наличии) его DOI. Эксперты международных наукометрических баз данных негативно воспринимают включение в список цитированной литературы источников локального характера (постановлений, законов, инструкций, неопубликованных отчетов, диссертаций, авторефератов и т.п.), электронных материалов и ресурсов сети Интернет. Поэтому ссылки на такие источники рекомендуем оформлять в виде постраничных сносок со сквозной нумерацией.

На отдельной странице на английском языке приводятся следующие сведения: информация об авторах; название статьи; аннотация, обязательно включающая следующие пункты: purpose, methods, findings, application field of research; ключевые слова и словосочетания; транслитерация на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы.

Для русскоязычных источников в транслитерации на латинице приводятся фамилия, имя, отчество авторов, названия статей, журналов (если нет англоязычного названия), материалов конференций, издательств и на английском языке – названия публикаций и выходные сведения (город, том и номер издания, страницы). Для транслитерации на латиницу следует применять систему транслитерации BGN, при этом можно использовать интернет-ресурсы, например сайт: <http://translit.net>.

Основные требования к оформлению статей, предоставляемых в научный журнал, и пример оформления статьи размещены на сайте издания: <https://journals.ucp.by>.

6. Содержание разделов статьи, таблицы, рисунки, цитированная литература должны отвечать требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 7.1-2003 и Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением ВАК Беларуси от 28 февраля 2014 г. № 3.

7. Редакция оставляет за собой право на изменения, не искажающие основного содержания статьи. Рукописи отклоненных статей авторам не возвращаются.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ  
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

**Факультет заочного обучения**

**Проводит:**

**Подготовку по специальностям:**

**1-94 01 01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций»** с присвоением квалификации «Инженер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Форма обучения – заочная. Полный срок обучения – 5 лет, сокращенный – 3 года.

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

**Факультет безопасности жизнедеятельности**

**Проводит:**

**Переподготовку лиц с высшим образованием по специальностям:**

**1-94 02 73 «Ликвидация чрезвычайных ситуаций и гражданская оборона»** с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

**1-94 02 72 «Инжиниринг безопасности объектов строительства»** с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

**1-94 02 71 «Промышленная безопасность»** с присвоением квалификации «Инженер по промышленной безопасности». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

**1-59 01 06 «Охрана труда в отраслях непромышленной сферы»** с присвоением квалификации «Специалист по охране труда». Срок обучения – 19 месяцев. Форма обучения – заочная (четыре сессии).

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

**Повышение квалификации для руководящих работников и специалистов, имеющих высшее или среднее специальное образование, по образовательным программам:**

- «Экспертная деятельность»;
- «Экспертная деятельность» для работников проектных организаций;
- «Экспертная деятельность» для работников органов и подразделений по ЧС;
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Промышленная безопасность» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности предприятий химической промышленности, хранения и переработки зерна, аммиачных и хлораторных установок» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения в медицинских целях) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Радиационная безопасность, радиационный контроль» (при использовании источников ионизирующего излучения, в целях отличных от медицинских) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Основы обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (для лиц, участвующих в обеспечении ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации объектов использования атомной энергии) (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Охрана труда» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);

- «Противодействие коррупции» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Защита от чрезвычайных ситуаций» (заочная (дистанционная) форма обучения).

**Обучающие курсы для лиц, имеющих профессионально-техническое и общее среднее образование, по образовательным программам:**

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики и противодымной защиты» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)» (очная/заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Защита от чрезвычайных ситуаций» (заочная (дистанционная) форма обучения);
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Пожарно-технический минимум».

**Семинары по образовательным программам:**

- «Оказание первой помощи пострадавшим в ЧС»;
- «Расчет предела огнестойкости (железобетонных, металлических, деревянных, каменных строительных конструкций»;
- «Расчет времени эвакуации людей при пожаре»;
- «Расчет температурного режима пожара в помещении»;
- «Расчет величины противопожарных разрывов между зданиями, сооружениями и наружными установками»;
- «Расчет площади легкосбрасываемых конструкций»;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Порядок проектирования пассивной противопожарной защиты зданий различного назначения»;
- «Оптимизация затрат на обеспечение требований пожарной безопасности на основании расчетных методов»;
- «Порядок подготовки организации к пожарно-техническому обследованию»;
- «Охрана труда в организациях непромышленной сферы».

**Подготовку лиц к поступлению в учреждения образования Республики Беларусь по учебным предметам:** математика, физика, русский язык, русский язык как иностранный, белорусский язык, английский язык, немецкий язык, французский язык, история, обществоведение, химия (очная/заочная (дистанционная) форма обучения).

**Обучение проводит профессорско-преподавательский состав университета и ведущие специалисты Республики Беларусь в области пожарной и промышленной безопасности.**

Наш адрес: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25,  
ФЗО: тел/факс: (017) 340-71-89,  
ФБЖ: тел.: (017) 340-69-55, факс: (017) 340-35-58, email: [fpirk@ucp.by](mailto:fpirk@ucp.by).

Дополнительная информация размещена на сайте университета: <http://ucp.by>  
в разделе «Повышение квалификации».

Научный журнал

**Вестник**  
**Университета гражданской защиты МЧС Беларуси**  
***Том 5, № 4, 2021***

Подписано в печать 22.11.2021.  
Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 16,74. Уч.-изд. л. 15,54.  
Тираж 110 экз. Заказ 088-2021.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты Министерства  
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/259 от 14.10.2016.  
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.