



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал
Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси
(Journal of Civil Protection)
Том 8, № 1, 2024

Редакционная коллегия:

главный редактор:

Полевода
Иван Иванович

кандидат технических наук,
доцент

зам. главного редактора:

Гончаренко
Игорь Андреевич

доктор физико-математических наук,
профессор

Платонов
Александр Сергеевич

кандидат физико-математических
наук, доцент

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

С декабря 2023 г. журнал включен в российский перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, по 5 научным специальностям отрасли технических наук: 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, 2.10.1. Пожарная безопасность, 2.10.2. Экологическая безопасность, 2.10.3. Безопасность труда, 3.2.6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

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

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

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

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

Контактные телефоны: +37517 340-53-93 (главный редактор)

+37517 341-32-99

Сайт Университета гражданской защиты: www.ucsp.by

Email редакции: vestnik@ucsp.by

ISSN 2519-237X (print)

ISSN 2708-017X (online)

© Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Материалы, применяемые в сфере предупреждения и ликвидации ЧС, производстве техники. Технологии их применения

Рева О.В., Врублевский А.В. Гидрометаллургический синтез медных композитов в присутствии оксидов церия и ниобия для защиты аварийно-спасательного оборудования 5

Иванов И.Ю., Навроцкий О.Д., Доукешева Е.А. Огнетушащая и пленкообразующая способность огнетушащих составов на основе фторированных поверхностно-активных веществ 21

Технологии и программное обеспечение в сфере предупреждения и ликвидации ЧС, промышленной и пожарной безопасности

Штепа В.Н., Покорный С.Г., Муслимов Э.Н. Подходы к созданию и использованию компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения 32

Промышленная безопасность. Повышение надежности технических объектов и оборудования. Охрана труда

Ковтун В.А., Короткевич С.Г. Исследование ускорений, возникающих под действием инерционных нагрузок в конструкциях цистерн пожарных автомобилей при движении к месту ликвидации чрезвычайных ситуаций 43

Брайкова А.М., Саевич К.Ф., Базыльчук Т.А., Якубович М.Ю., Бондарев Д.В., Козорез А.С. Анализ химического состава осадка корпуса скважинного электронасосного агрегата 57

Отока А.Г., Холодилов О.В. Повышение безопасности железнодорожного крана ЕДК-2000 аварийно-восстановительного поезда путем своевременного выявления дефектов в пирамидальных опорных подставках 70

Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Экологическая безопасность

Целых Е.Д., Скворцов Д.А., Ахтямов М.Х., Кузьмичев Е.Н. Изменения оперативных индикаторных характеристик сердечно-сосудистой системы пожарных-спасателей, определяющих группу риска 81

Нахай Д.М., Байков В.И., Миканович Д.С. Особенности подъема неньютоновских жидкостей в пористом материале 98

Научное обеспечение гражданской защиты

Абдуллаев А.А., Колеснева И.П., Тихонов М.М. Совершенствование методики оценки эффективности действий должностных лиц временного штаба управления ликвидацией аварийного разлива нефти в акватории Каспийского моря 106

Правила предоставления статей 116

CONTENTS

Materials used for emergency prevention and elimination, as well as equipment production. Application technologies of these materials

Reva O.V., Vrublevskiy A.V. Hydrometallurgical synthesis of copper composites in the presence of cerium and niobium oxides for protection of rescue equipment 5

Ivanov I.U., Navrotsky O.D., Doukesheva E.A. Fire extinguishing and film-forming ability of fire extinguishing compositions based on fluorinated surfactants 21

Technologies and software in the sphere of emergency prevention and elimination, industrial and fire safety

Shtepa V.N., Pokornyy S.G., Muslimov E.N. Approaches to the creation and use of computer-integrated complex for monitoring and forecasting of emergency risks at municipal and industrial wastewater disposal facilities 32

Industrial safety. Improving the reliability of technical facilities and equipment. Labor protection

Kovtun V.A., Korotkevich S.G. Research of accelerations arising under the action of inertial loads in the structures of fire truck tanks when moving to the place of emergency liquidation 43

Braikova A.M., Saevich K.F., Bazylchuk T.A., Yakubovich M.Yu., Bondarev D.V., Kozorez A.S. Chemical composition analysis of sediment on the casing of well-bore electric pump unit 57

Otoka A.G., Kholodilov O.V. Improving the safety of the EDK-2000 emergency recovery train railway crane by timely detecting defects in the pyramidal support stands 70

Safety in emergencies. Ecological safety

Tselykh E.D., Skvortsov D.A., Akhtyamov M.H., Kuzmichev E.N. Changes in operational indicator characteristics of the cardiovascular system of firefighter-rescuers defining the risk group 81

Nakhay D.M., Baykov V.I., Mikanovich D.S. Peculiarities of lifting of non-Newtonian fluids in porous material 98

Scientific support of civil defense

Abdullaev A.A., Kolesneva I.P., Tikhonov M.M. Improving the methodology of evaluating the effectiveness of the actions of officials of temporary control headquarters for emergency oil spill elimination in the Caspian water area 106

Rules of submitting articles for publication 116

ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МЕДНЫХ КОМПОЗИТОВ В ПРИСУТСТВИИ ОКСИДОВ ЦЕРИЯ И НИОБИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рева О.В., Врублевский А.В.

Цель. Определить оптимальные условия гидрометаллургического синтеза новых наноструктурированных материалов с улучшенными функциональными свойствами для модификации деталей аварийно-спасательного оборудования.

Методы. В работе использованы следующие методы исследования: гравиметрия, вольтамперометрия, рентгенография, рентгеноспектральный анализ, сканирующая электронная микроскопия, ГОСТированные методы испытаний физико-механических свойств металлопокрытий.

Результаты. Определено, что из кремнефтористого электролита меднения, модифицированного оксидной фазой, формируются покрытия с существенно искаженной кристаллической решеткой, без примесей аморфных фаз. В допустимом диапазоне плотностей тока в кремнефтористых электролитах минимизированы побочные процессы; при этом оксид церия проявляет электроактивность, а оксид ниобия – нет, создавая диффузионные затруднения и замедляя скорость осаждения меди. Включения в покрытия соединений церия и ниобия не обнаружено, однако приповерхностные слои включают оксиды меди и кремния. Микроструктура поверхности покрытий Cu-CeO_2 и $\text{Cu-Nb}_2\text{O}_5$ плотная и равномерная. При введении в электролит CeO_2 размеры зерен, формирующих кристаллиты композитов, заметно меньше, чем в медных пленках, синтезированных при таких же условиях; тогда как присутствие в электролите оксида ниобия на микроструктуру пленок практически не влияет. Установлено, что композиты, синтезированные в присутствии CeO_2 , с наиболее равномерной и мелкозернистой морфологией поверхности обладают повышенной коррозионной устойчивостью и на 10–20 % большей твердостью по сравнению с медными.

Область применения исследований. Защита от коррозии и повышение эксплуатационных характеристик деталей пожарной аварийно-спасательной техники, герметизация резьбовых соединений трубопроводов различного назначения.

Ключевые слова: композиционные коррозионностойкие покрытия, наноструктурированные материалы, электрохимическое осаждение защитных пленок, модифицированные электролиты меднения, оксидная фаза, коррозионная устойчивость.

(Поступила в редакцию 27 ноября 2023 г.)

Введение

Аварийно-спасательное оборудование в процессе эксплуатации подвергается интенсивной коррозии, которая, в свою очередь, существенно ускоряет механический износ деталей механизмов, изготовленных из низкосортных железных и алюминиевых сплавов. Ускоренная коррозия именно деталей пожарной аварийно-спасательной техники (ПАСТ) вызвана как воздействием веществ, применяемых для ликвидации ЧС (пенообразователи, порошки, суспензии), так и агрессивных газов, выделяющихся при горении различных материалов. Нанесение защитных покрытий на детали различного назначения может существенно повысить эксплуатационные характеристики и срок службы деталей ПАСТ, сократить количество поломок и средства, затрачиваемые на ремонт и замену изношенных деталей.

Некоторые детали, например резьбовые соединения, подвергающиеся постоянной разборке-сборке при ремонте и техобслуживании, обычно покрыты медью и ее мягкими сплавами, т.к. твердые покрытия для данных целей не подходят. Проблема недостаточной механической и коррозионной устойчивости медных пленок может быть решена путем синтеза композиционных материалов, содержащих в медной матрице наноразмерные частицы

оксидов и карбидов цветных металлов, соединений бора, фосфора, кремния и др., модифицирующих состав и структуру покрытий, придавая им улучшенные физико-механические характеристики.

Существует ряд способов нанесения защитных металлических покрытий: кратковременное погружение в ванну с расплавленным металлом; изготовление биметаллических листов; гальваническое осаждение из водных растворов электролитов, газофазное напыление; диффузионное покрытие – обработка порошками при повышенной температуре в специальном барабане [1; 2]. В настоящее время широкое распространение получили новые технологии нанесения металлических покрытий за счет удара о поверхность металлических частиц со сверхзвуковой скоростью [2], в которых ускорение частиц осуществляется сжатым воздухом. При этом обеспечивается нанесение металлических покрытий из порошковых материалов (алюминиевые, медные, цинковые, никелевые, оловянные, свинцовые, баббитовые) газодинамическим методом.

Также все большее распространение получает гидрометаллургический (электрохимический) способ нанесения покрытий для получения коррозионноустойчивых, износостойчивых, уплотняющих покрытий, обладающих специфическими оптическими, теплофизическими, электрофизическими и другими свойствами или необычным сочетанием физико-механических характеристик [3–8]. По сравнению с остальными, данный метод не требует применения специального сложного оборудования, вакуумирования, высоких температур, дефицитных веществ (металлических порошков); толщина слоя металла может быть заданной и равномерной на деталях сложной формы; возможно наращивание модифицирующих частиц, осаждаемыми металлами и сплавами [7–12]. Существенным преимуществом данного метода является также возможность варьирования в широких пределах природы осаждаемых покрытий за счет регулирования относительной скорости комплекса химических реакций (окислительно-восстановительных, гидролиза, ионного обмена, комплексообразования), протекающих на поверхности катода [3; 5–10].

Основными способами регулирования скорости и закономерностей электрохимического синтеза являются: регулирование состава электролита (уровень pH, присутствие поверхностно-активных веществ, лигандов и других добавок), температуры, плотности тока, перенапряжения, гидродинамических условий (перемешивание, скорость потока раствора или движения электрода) [3; 5–8]. Повышение плотности тока возможно лишь до некоторого предела, поскольку при достижении определенного перенапряжения наблюдается формирование дендритов и порошков, что связано с истощением прикатодного слоя реагирующими ионами [8; 12]. Усиление перемешивания само по себе обычно не изменяет характера слоев, но смещает области получения металлов и сплавов различного типа в направлении повышения допустимой плотности тока [3; 5; 6; 12; 13]. Очень велика роль уровня pH электролита, от которого зависит, во-первых, скорость выделения водорода и, следовательно, выход металла по току; во-вторых, возможность образования вблизи катода нерастворимых оксидов и гидроксосоединений, изменяющих кинетику электроосаждения и структуру осадков. От pH электролита может непосредственно зависеть и состав электроактивных частиц, поскольку протон и гидроксил могут включаться в координационную сферу разряжающегося иона.

Несмотря на перспективность и явные преимущества во многих отношениях электрохимического осаждения защитных покрытий из растворов, в этой области имеется много нерешенных проблем. К наиболее трудным и актуальным из них относится совместное осаждение металлов из растворов с формированием двойных и тройных сплавов с регулируемым химическим и фазовым составом. Еще более сложной задачей является получение композиционных материалов, дозированно и равномерно сочетающих фазы металлов и неметаллическую составляющую (например, кислородсодержащие соединения металлов, карбиды, нитриды, бориды и т.д.). Кроме того, ряд перспективных веществ не может быть использован в качестве дисперсной фазы вследствие растворения их в электролите, поскольку большинство гальванических систем имеют сильно кислую или щелочную среду [4; 6; 8–13].

Композиты на основе меди с включением неметаллических дисперсных частиц имеют повышенную твердость, износостойкость, жаростойкость и прочность при повышенных температурах. Для их получения применяются наиболее распространенные хорошо изученные электролиты меднения: сульфатный, этилендиаминовый, пирофосфатный. В последнее время все чаще используют высокоскоростной кремнефтористый электролит меднения, обеспечивающий скорость электрокристаллизации до 80–100 мкм/ч. Реверсирование тока приводит к повышенному включению частиц в покрытие. Блескообразующие добавки – тиомочевина (0,02 г/л), аллилтиомочевина (0,1 г/л) и 3-формил-изо-тиоционат приводят к увеличению содержания дисперсных частиц в покрытии и их твердости [9]. В литературе описаны следующие соединения в качестве дисперсной фазы, вводимой в электролиты меднения: графит, бор, дисульфит молибдена и вольфрама, нитрид бора, сульфат бария, слюда, тальк, карбиды бора, хрома, кремния, титана, ванадия, циркония, тантала; окислы алюминия, циркония, магния, кремния, титана, циркония, цезия; бориды циркония, хрома, корунд [9; 11; 12].

Авторами [14; 15] синтезированы из кремнефтористых электролитов композиты $\text{Cu-V}_2\text{O}_5$ и установлены условия получения защитных покрытий с повышенными функциональными свойствами. В качестве дисперсной фазы в данной работе были выбраны оксиды церия (IV) и ниобия (V), металлокомпозиты на основе которых очень мало изучены.

Оксиды церия и ниобия представляются перспективными модификаторами композитных металлов, поскольку они весьма тугоплавкие (2400 и 1500 °С соответственно), химически стойкие (CeO_2 растворим только в горячих концентрированных H_2SO_4 и HNO_3 , а $\beta\text{-Nb}_2\text{O}_5$ реагирует только с фторидами и горячими растворами щелочей) и экологически безопасны (применяются для производства стекол, огнеупорной керамики, оксид церия разрешен для применения в солнцезащитных кремах как поглотитель УФ-излучения) [16–18].

Медь и церий способны образовывать сплав, что может положительным образом повлиять на свойства композитов [19–21]. Так, в металлургической системе Ce-Cu существуют пять интерметаллических соединений, из которых CeCu_6 и CeCu_2 плавятся конгруэнтно при температурах 940 и 820 °С соответственно. Соединения CeCu , CeCu_4 и CeCu_5 образуются по перитектическим реакциям. Растворимость Cu в твердом Ce весьма незначительна и составляет 0,16–0,44 ат. % при температуре 300–870 °С. При низких температурах твердый металлургический сплав включает индивидуальные металлы. Сведений о гальванических сплавах Cu-Ce в литературе нет, исследование электрохимических систем Cu-CeO_2 начато в работах [22; 23].

Наоборот, сплав меди и ниобия в литературе практически не описан. Основные легирующие элементы ниобиевых сплавов – молибден, вольфрам, ванадий, титан, тантал – образуют с ниобием непрерывный ряд твердых растворов. Ниобиевые сплавы также легируют цирконием, гафнием, алюминием, оловом, германием и др., которые взаимодействуют с ниобием с образованием промежуточных фаз или ограниченных твердых растворов. Сплавы ниобия с никелем, кобальтом, хромом, вольфрамом, молибденом, титаном и алюминием применяют для изготовления деталей реактивных двигателей, ракет, газовых турбин, оболочек урановых тепловыделяющих элементов ядерных реакторов. Карбид ниобия с карбидами титана, вольфрама и других металлов используется для получения сверхтвердых термостойких сплавов [16].

Сведения о типе диаграммы состояния Cu-Nb очень малочисленны и противоречивы. Одни исследователи находят в системе равновесие перитектического типа и расслоение в жидком состоянии; другие авторы считают, что в системе имеют место равновесие эвтектического типа и пологая кривая ликвидуса, а появление несмешиваемости в жидком состоянии объясняют сильным влиянием загрязнения Nb примесями, особенно O [19–21]. Однако электрохимический синтез часто сопровождается формированием соединений, которые в системах идентичного процентного состава металлургическими методами получить невозможно, причем полученная система достаточно стабильна, и рекристаллизация происходит

только при достаточно высоких температурах (более 300 °С), следовательно, предсказать результаты гидрометаллургического синтеза в системе, включающей оксид ниобия, не представляется возможным.

С учетом вышеизложенного цель работы состояла в разработке методов электрохимического синтеза композитов Cu-Nb₂O₅ и Cu-CeO₂ с улучшенными функциональными свойствами для герметизации и защиты от коррозии резьбовых соединений деталей ПАСТ. Для чего требовалось изучить закономерности синтеза композитов, зависимость свойств защитных пленок от их состава и микроструктуры; определить оптимальные условия получения покрытий с высокими функциональными свойствами.

Основная часть

Методы исследования. Покрытия получали электрохимическим осаждением меди из кремнефтористого электролита состава: CuSiF₆ – 250 г/дм³, H₂SiF₆ – 15 мл/дм³; pH 1–0,5 при плотностях тока j от 1 до 12 А/дм²; концентрации неметаллической фазы CeO₂ или Nb₂O₅ 0,25–1 г/дм³ на пластинки из никелированной стали Ст-3 при температуре 20±2 °С. В процессе нанесения покрытия электролит в емкости перемешивался с помощью магнитной мешалки с частотой 4–5 Гц. Концентрация оксидов ограничивается тем фактом, что при содержании выше 1,0 г/дм³ твердые частицы начинают ощутимо влиять на скорость побочных процессов, мешающих осаждению покрытия, и оседают на дно ванны даже при интенсивном перемешивании.

Толщину покрытий оценивали весовым методом по приросту массы после окончания осаждения покрытий, принимая плотность покрытий равной 8,9 г/см³ (Cu), поскольку включения неметаллической фазы весьма незначительны. Взвешивание производили на аналитических весах SE224-C с погрешностью ±0,02 мг.

Для определения фазового состава пленок использовали рентгеновский дифрактометр ДРОН-4.0. Съемку рентгенограмм проводили на кобальтовом излучении со скоростью 1 град/мин. Идентификацию линий на рентгенограммах проводили с использованием данных картотеки JSPDS [24].

Для изучения микроструктуры осаждаемых покрытий использовали растровый сканирующий электронный микроскоп марки LEO-1420. Элементный состав пленок определялся методом электронно-зондового микрорентгеновского анализа на рентгеновском микроанализаторе (EDX) типа RONTEC, являющегося приставкой к электронному микроскопу LEO-1420. Чувствительность прибора – 1–2 мол. %. Глубина индентруемого слоя – 3 мкм.

Коррозионную устойчивость полученных покрытий изучали путем измерения потери массы с единицы площади поверхности образцами с толщиной покрытия 30±2 мкм после пребывания их 30–90 мин в одномолярных растворах серной кислоты и гидроксида натрия при температуре 50 °С согласно ГОСТ 9.909-86¹.

Величину адгезионной прочности медного покрытия к подложке измеряли по ГОСТ 9.302-88² и ГОСТ 9.311-2021³ методом нанесения сетки царапин и методом термоудара. Сетка царапин с шагом 1 мм наносится с помощью острого шила или тонкого лезвия. При термическом ударе стальные детали с покрытием нагревали в муфельной печи до температуры 300 °С, после чего опускали в воду с температурой 10 °С. Если при этом испытании

¹ Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях: ГОСТ 9.909-86. – Введ. 01.07.87. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 22 с.

² Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля: ГОСТ 9.302-88. – Введ. 01.01.90. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 40 с.

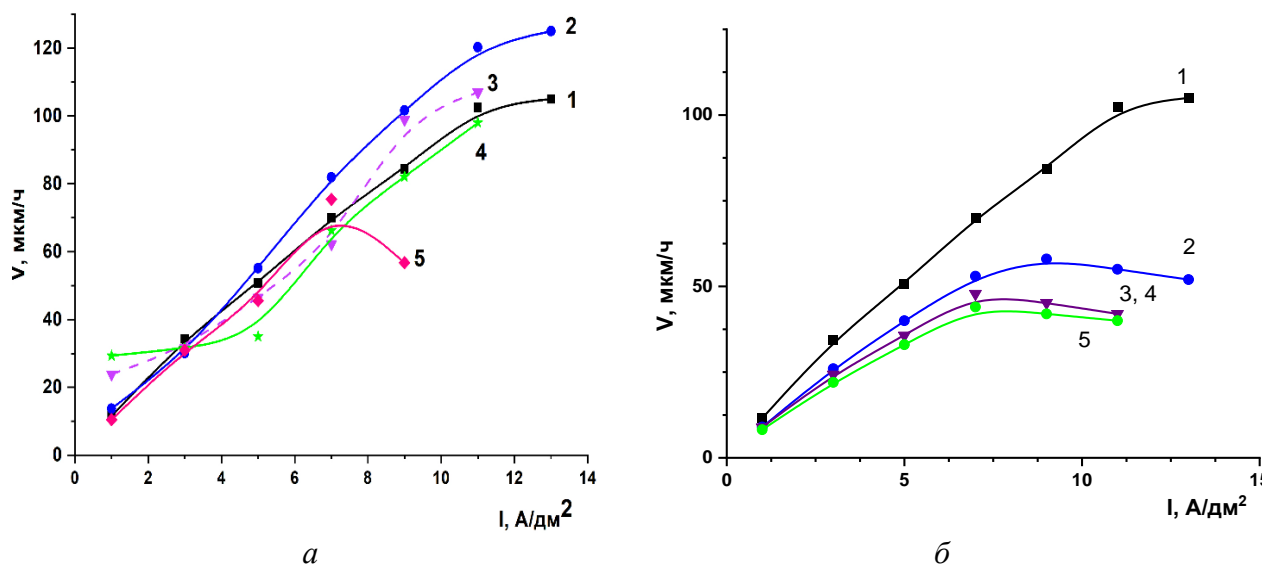
³ Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений: ГОСТ 9.311-2021. – Введ. 01.06.22, взамен ГОСТ 9.311-87. – М.: ФГБУ «РСТ», 2022. – 15 с.

медное покрытие в месте нанесения царапин сохраняет сцепление с подложкой, то величина адгезии составляет не менее 1000 Н/м.

Микротвердость образцов измерялась по методике Виккерса на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 25 г. Данная методика основана на вдавливании алмазной пирамиды в исследуемую поверхность с последующим измерением глубины вдавливания.

Величина пластичности покрытий определялась по ГОСТ 9.302-88 и ГОСТ 9.311-2021 путем полного перегиба (в 2 стороны) фольги с композиционным покрытием вокруг цилиндра с радиусом 0,5 мм и определением количества перегибов, которые способны выдержать покрытие до растрескивания. Способность покрытия к пайке определялась путем припаивания на его поверхность медной проволоочки стандартным оловянным припоем. Далее под углом 90° к поверхности определялось усилие отрыва припоя от поверхности покрытия.

Результаты и обсуждение. При изучении зависимости скорости осаждения композиционных покрытий от различных факторов (плотность тока, концентрация оксидной фазы) было установлено следующее. При внесении в раствор оксида церия (IV) до 0,5 г/дм³ скорость осаждения пленок возрастает, хотя обычно осаждение композитов происходит медленнее, чем основного металла матрицы (рис. 1а). Очевидно, это связано с формированием каталитически активных центров на поверхности подложки в присутствии соединений церия. С увеличением концентрации CeO₂ от 0,75 до 1,0 г/дм³ скорость осаждения покрытия постепенно уменьшается (рис. 1а), по всей видимости, по причине нарастания диффузионных затруднений в присутствии в объеме электролита твердых частиц. Кроме того, заметный перегиб на кривых 3–5 по мере увеличения концентрации оксида церия в электролите смещается все в более низкую область плотностей тока, что иллюстрируется образованием на поверхности покрытий темных пятен оксо- и гидроксосоединений меди. Таким образом, при концентрации оксида церия в электролите не более 1 г/дм³ и плотности тока до 8 А/дм² почти во всех случаях скорость формирования покрытий превосходит (либо практически равна) скорости осаждения меди из исходного кремнефтористого электролита.



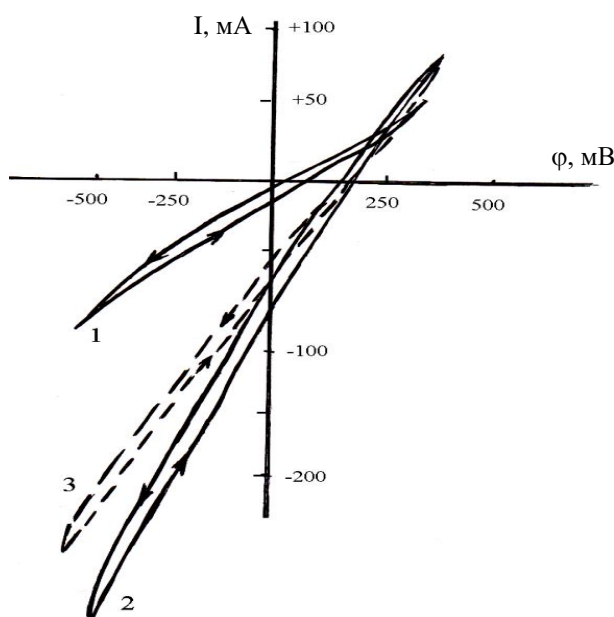
1 – базовый электролит;
 электролиты с концентрацией оксидной фазы: 2 – 0,25 г/дм³; 3 – 0,50 г/дм³; 4 – 0,75 г/дм³; 5 – 1 г/дм³

Рисунок 1. – Зависимость скорости осаждения медных и композиционных покрытий от плотности тока в присутствии CeO₂ (а) и Nb₂O₅ (б)

Обратная картина наблюдается при введении в электролит оксида ниобия (рис. 1б). Скорость осаждения металла даже при минимальном содержании Nb₂O₅ заметно снижается, причем наличие оксидной фазы в объеме раствора значительно сильнее влияет на закономерности гальваносинтеза, чем ее концентрация. Вероятно, это связано как с особенностями

сольватации твердых частиц, так и с фактическим отсутствием взаимодействия меди и ниобия в твердой фазе.

Результаты вольтамперометрического исследования модифицированного оксидом церия кремнефтористого электролита меднения свидетельствуют, что во всех исследованных электролитах в допустимом диапазоне плотностей тока не наблюдается видимых побочных процессов, выделения водорода и образования на поверхности электрода продуктов неполного восстановления меди и олова; выход по току составляет более 95 %. Катодное восстановление ионов меди в исходном электролите начинается при потенциале +70 мВ и до -500 мВ не сопровождается ни диффузионными затруднениями, ни формированием побочных продуктов (рис. 2, кривая 1). В присутствии в электролите CeO_2 в незначительных концентрациях (0,25–0,5 г/дм³) наблюдается существенное смещение начала восстановления меди в область более положительных потенциалов до +150 мВ (рис. 2, кривая 2) с резким возрастанием катодных токов при тех же потенциалах по сравнению с исходным электролитом. Таким образом, обнаруженное гравиметрическими исследованиями ускорение осаждения меди в присутствии оксида церия происходит вследствие существенной деполяризации восстановления ионов меди. По мере возрастания концентрации в электролите оксида церия до 0,75–1 г/дм³ эта деполяризация несколько снижается (рис. 2, кривая 3), но к исходной зависимости не возвращается. Таким образом, электрокристаллизация меди из кремнефтористого электролита при наличии в растворе оксида церия протекает с деполяризацией меди при отсутствии диффузионных затруднений при катодных токах до 300 мА/см² со скоростью до 120 мкм/ч, что подтверждает вывод об электроактивности частиц CeO_2 в кислых кремнефтористых электролитах.



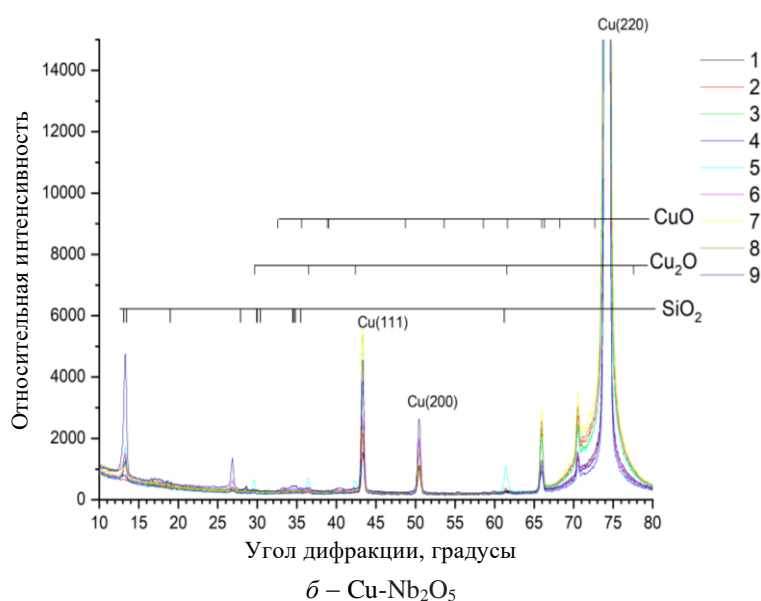
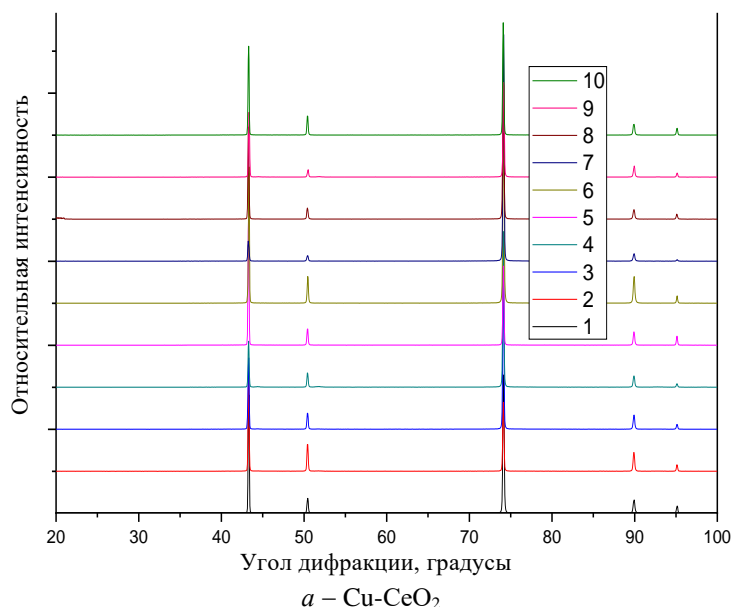
1 – исходный электролит меднения;
электролиты с концентрацией оксида церия: 2 – 0,25 г/дм³; 3 – 1 г/дм³

Рисунок 2. – Циклические вольтамперные кривые

Поскольку частицы оксида ниобия проявили ярко выраженное отсутствие электроактивности в кремнефтористом растворе меднения с сильно выраженными диффузионными затруднениями и пассивацией поверхности катода, подробное вольтамперометрическое исследование электролита, содержащего Nb_2O_5 , представляется нецелесообразным.

При изучении фазового состава композитов было установлено, что во всех исследуемых покрытиях $\text{Cu-Nb}_2\text{O}_5$ и Cu-CeO_2 вне зависимости от условий синтеза (концентрации оксидной фазы и плотности тока) присутствует только кристаллическая медь и ее соединения,

хотя с очень искаженной кристаллической решеткой (рис. 3). На всех рентгенограммах проявляются линии меди, соответствующие поликристаллическому состоянию решетки. Линий кристаллических церия и ниобия не выявлено ни на одной рентгенограмме, возможно, вследствие очень малого их содержания. В некоторых покрытиях (полученных при $j = 5$ и 9 А/дм^2 , концентрации $[\text{CeO}_2] = 0,5\text{--}0,75 \text{ г/дм}^3$) выявлены дифракционные пики, которые могут быть отнесены к твердому раствору меди и церия (рис. 3а), но они очень слабые, что свидетельствует о малом количестве вещества и затрудняет его точную идентификацию.



Для образцов 1–5 – плотность тока $j = 5 \text{ А/дм}^2$, для образцов 6–10 – $j = 9 \text{ А/дм}^2$.
Концентрация оксида в каждой серии возрастает от 0 до 1 г/дм^3 с шагом $0,1 \text{ г/дм}^3$

Рисунок 3. – Рентгенограммы покрытий с толщиной слоя 30 мкм

Кроме того, во всех покрытиях в кристаллическом состоянии в ощутимых количествах присутствуют оксиды меди и кремния, которые, очевидно, выталкиваются в приповерхностную зону в процессе синтеза. Аморфных фаз, для которых характерно присутствие широких дифракционных максимумов (до нескольких градусов на полувысоте), в исследованных покрытиях не выявлено; все дифракционные линии четкие и узкие (рис. 3а).

Для всех изученных композитов Cu-CeO₂ доминирующими являются рефлексы текстуры (200) и (222) в сочетании с достаточно интенсивным рефлексом (111), появление в растворе твердой неметаллической фазы приводит к интенсификации роста текстуры (200) перпендикулярно подложке и снижению интенсивности пика (111); т.е. при кристаллизации металла наблюдается одновременное развитие на поверхности растущих пленок двух текстур под углом 45° по отношению друг к другу. Таким образом, введение в растворы частиц оксида церия повышает поликристалличность интегрального покрытия, что, как правило, положительно сказывается на его механической прочности, упругости, пластичности. Для композитов Cu-Nb₂O₅ вне зависимости от концентрации оксида ниобия в кремнефтористом электролите меднения доминирующим является рефлекс текстуры (220) при наличии линий (200) и (111), т.е. сохраняется характерное для кремнефтористого электролита наличие двух одновременно формирующихся текстур под углом 45°.

Параметры решетки меди, рассчитанные по рентгеновским линиям, почти при всех режимах синтеза выше табличных значений, что может указывать на то, что в покрытиях имеются сжимающие механические напряжения, обусловленные изменением параметра решетки. Такое поведение параметра решетки может быть обусловлено либо внедрением атомов церия/ниобия, что не подтверждается исследованием состава покрытий; либо уменьшением размеров зерен, формирующих покрытия, что действительно имеет место, как показано ниже.

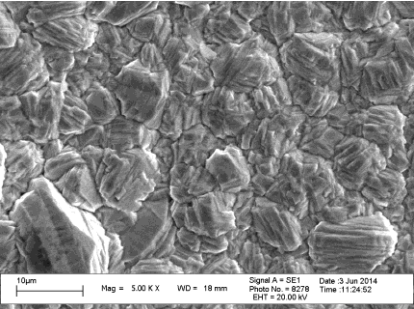
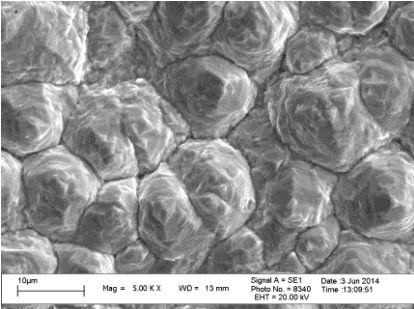
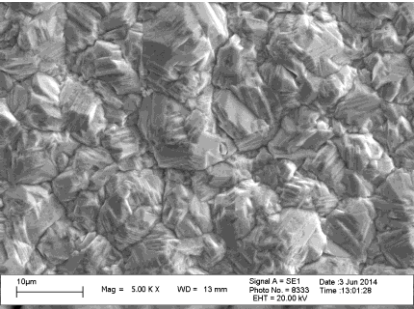
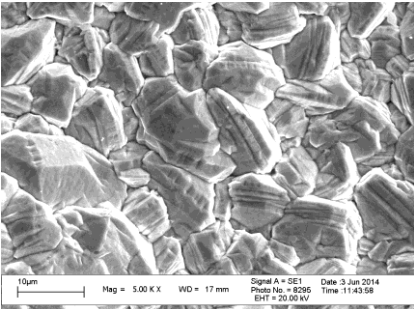
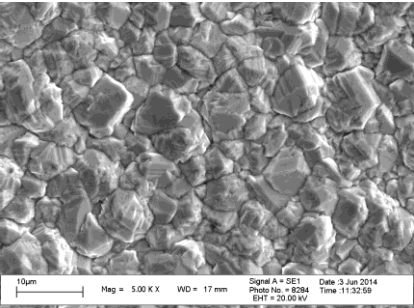
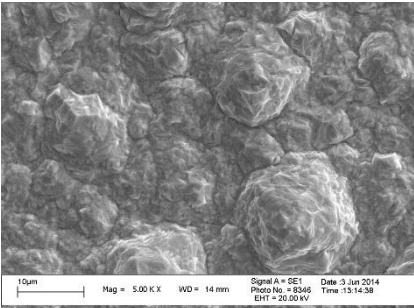
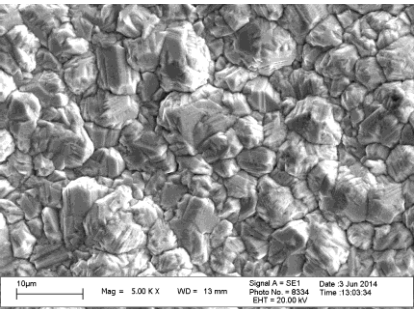
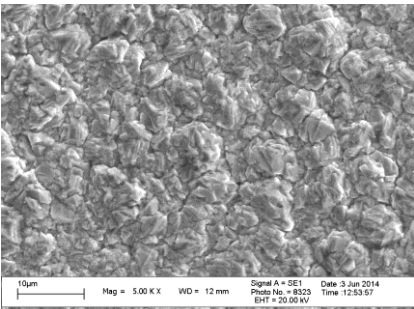
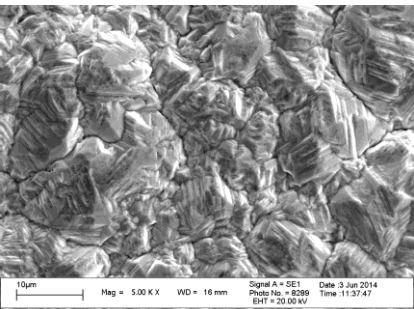
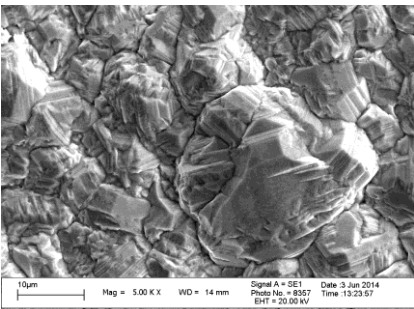
Так как рентгенофазовый анализ (РФА) не выявил присутствия в изучаемых пленках церия и ниобия в каком-либо состоянии, химический состав поверхностной зоны покрытий был изучен методом рентгеноспектрального анализа, поскольку неметаллические примеси обычно выталкиваются в процессе осаждения на поверхность электрохимических покрытий. Результаты рентгеноспектрального анализа приповерхностной зоны композитов (3 мкм) свидетельствуют о наличии в их составе достаточно ощутимых количеств кислорода, фтора и кремния, явно захваченных из комплексных ионов электролита; тогда как соединений церия и ниобия обнаружено не было.

Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) было установлено, что медные пленки, синтезированные при плотности тока 1–5 А/дм², образованы крупными кристаллитами пирамидально-вытянутой формы с размером 5–12 мкм с четко выраженными ступенями роста под углом к поверхности, что четко согласуется данными РФА (табл. 1).

При повышении плотности тока до 7–10 А/дм² кристаллиты приобретают несколько более округлый вид и слегка уменьшаются (до 3–8 мкм), хотя общий развитый рельеф поверхности сохраняется. При введении в кремнефтористый электролит меднения частиц оксида церия практически при всех плотностях тока в оптимальном диапазоне общая макроструктура покрытия несколько сглаживается и выравнивается, размеры кристаллитов во всех покрытиях составляют в среднем 5–10 мкм (табл. 1). С ростом концентрации в электролите неметаллической фазы наблюдается измельчение элементов и граней, составляющих кристаллиты со все более плотным их сжиманием. Наиболее мелкозернистые пленки формируются при концентрации оксида церия 0,5–0,75 г/дм³, при плотностях тока 7–9 А/дм². Дальнейшее повышение плотности тока вызывает некоторое разрыхление покрытий за счет включения продуктов неполного восстановления меди.

Принципиально важным является тот факт, что, несмотря на отсутствие в металлической матрице соединений церия, микроструктура покрытий, осажденных из электролита, содержащего неметаллическую фазу, отличается от структуры чисто медных пленок при любых плотностях тока. Эти данные коррелируют с результатами исследований медных покрытий с другой оксидной фазой: V₂O₅, TiO₂. Микроструктура покрытий, полученных в присутствии оксида церия, существенно более равномерная и мелкозернистая. По мере увеличения плотности тока плотно слепленные грубые ступенчатые пирамиды преобразуются в поверхность типа «взбитый крем». Эти особенности микроструктуры оказывают, как представлено ниже, существенное влияние на функциональные свойства покрытий.

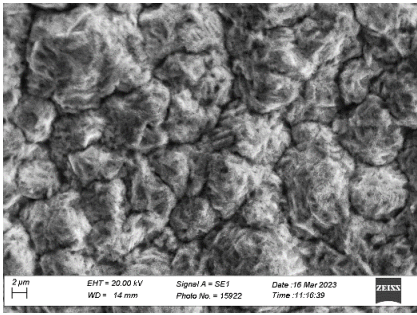
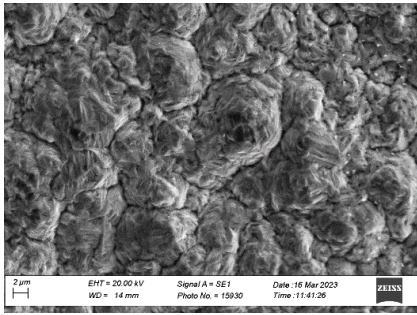
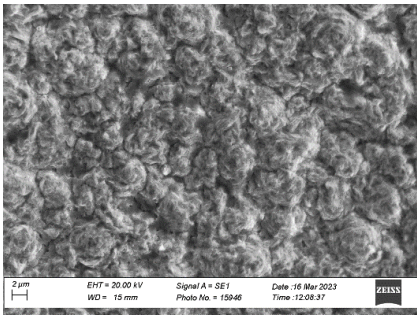
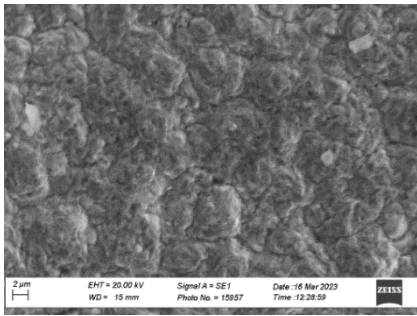
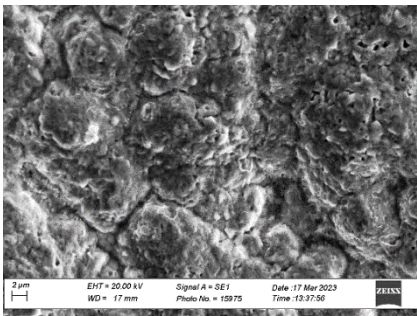
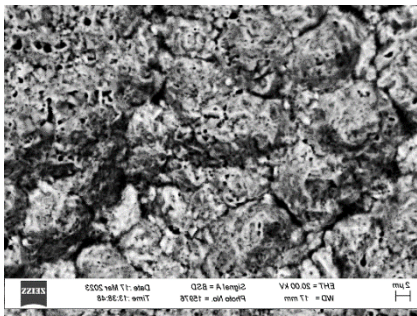
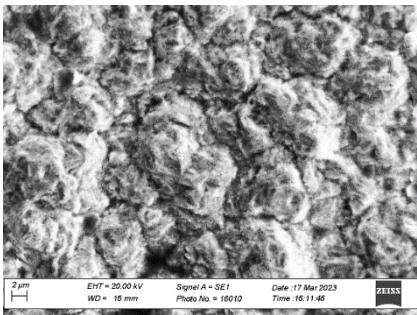
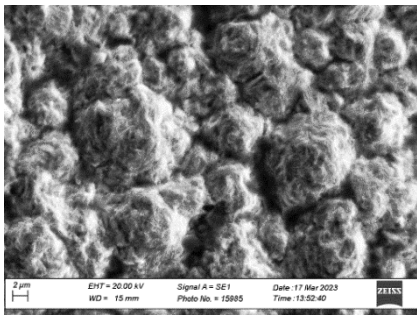
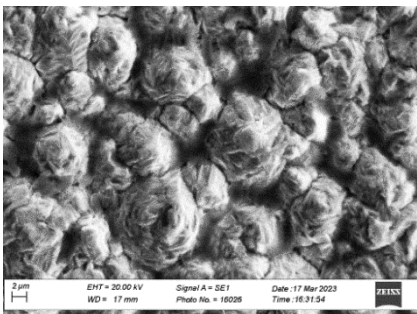
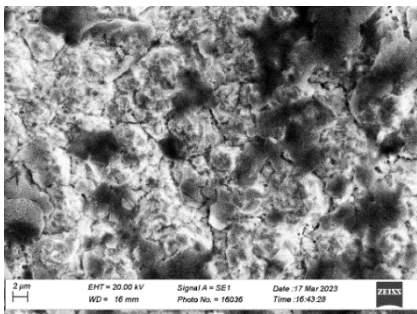
Таблица 1. – Морфология поверхности пленок Cu-CeO₂, осажденных при различных плотностях тока и концентрациях оксида церия (толщина слоя покрытий $S = 30 \pm 2$ мкм, увеличение в 5000 раз)

[CeO ₂], г/дм ³	Плотность тока $j = 5$ А/дм ²	Плотность тока $j = 9$ А/дм ²
0		
0,25		
0,5		
0,75		
1		

При изучении микроструктуры покрытий, полученных при введении в кремнефтористый электролит частиц оксида ниобия, обнаружено, что при любой концентрации неметаллической фазы и всех плотностях тока в оптимальном диапазоне микроструктура покрытий

практически не отличается от структуры чисто медных пленок (табл. 2), что дополнительно подтверждает неактивность частиц Nb_2O_5 в кремнефтористом электролите меднения, которые, очевидно, только создают диффузионные затруднения и пассивируют катод.

Таблица 2. – Морфология поверхности пленок $Cu-Nb_2O_5$, осажденных при различных плотностях тока и концентрациях оксида ниобия (толщина слоя покрытий $S = 30 \pm 2$ мкм, увеличение в 5000 раз)

$j, A/dm^2$	$[Nb_2O_5] = 0,5 \text{ г/дм}^3$	$[Nb_2O_5] = 1 \text{ г/дм}^3$
2		
4		
6		
8		
10		

В связи с обнаруженными фактами исследование функциональных свойств покрытий, полученных в присутствии в электролите оксида ниобия, представляется нецелесообразным, в отличие от композитов с оксидом церия.

При измерении адгезии исследуемых покрытий к подложке путем нанесения сетки надрезов и отслаивания ни одно из покрытий не удалось отделить от основы. Также при испытаниях методом термоудара от 300 до 10 °С отслаивания покрытий от стальной основы не наблюдается. Следовательно, адгезия покрытий к подложке составляет не менее 1000 Н/м, что удовлетворяет условиям эксплуатации резьбовых колец, метизных деталей и насосных сеток.

Результаты измерения микротвердости покрытий с толщиной 30–35 мкм, полученных при различных плотностях тока и концентрациях оксида церия в электролите, приведены в таблице. Полученные данные свидетельствуют, что в целом все изученные материалы достаточно мягкие, поскольку состоят практически из чистой меди.

Таблица 3. – Зависимость микротвердости покрытий Cu-CeO₂ от условий синтеза

j , А/дм ²	[CeO ₂], г/дм ³	Твердость, гПа
9	0 (Cu)	1,31 ± 0,124
5	0,25	1,42 ± 0,113
5	0,75	1,60 ± 0,168
9	0,25	1,34 ± 0,164
9	0,75	1,63 ± 0,162

Микротвердость гальванической меди, осажденной из кремнефтористого электролита, составляет 1,31 гПа. При введении в раствор неметаллической фазы вне зависимости от плотности катодного тока микротвердость покрытий возрастает на 10–20 % по сравнению с исходной медью. Эта зависимость коррелирует с изменениями микроструктуры покрытий. Наивысшей микротвердостью обладают композиты, полученные из раствора с концентрацией [CeO₂] = 0,75 г/дм³, характеризующиеся наиболее мелкозернистой и плотной морфологией поверхности. Предположительно, именно эти покрытия должны обладать и другими высокими функциональными характеристиками.

Результаты испытаний коррозионной устойчивости полученных композитов в одномолярных растворах серной кислоты и гидроксида натрия показали, что их устойчивость в кислых средах практически такая же, как исходной меди, осажденной при такой же плотности тока. Чуть большей коррозионной стойкостью отличаются композиты, полученные при содержании оксида церия 0,5–0,75 г/дм³, которые отличаются уплотненной микроструктурой поверхности. С увеличением длительности испытаний растворение покрытий в коррозионной среде несколько замедляется. Вероятно, это связано с тем, что приповерхностные слои гальванопокрытия (1–2 нм) всегда содержат оксиды металлов, которые относительно легко растворяются в кислотах. После снятия верхнего окисленного слоя механизм жидкостной коррозии явно изменяется.

При испытаниях стойкости полученных покрытий в щелочных средах было установлено, что во всех случаях наблюдается не растворение пленок, а накопление на их поверхности продуктов коррозии; причем существенного различия между композитами, синтезированными в различных условиях, не обнаружено. По всей вероятности, после оседания на поверхность испытываемого покрытия рыхлого слоя гидроксидов меди особенности микроструктуры поверхности нивелируются и скорость дальнейших процессов определяется только скоростью диффузии ионов меди через этот рыхлый гидратированный слой. Таким образом, коррозионная стойкость композитов Cu-CeO₂ в щелочных средах не отличается от показателей для меди; а в кислых – несколько превышает их.

При испытаниях пластичности покрытий путем двойного перегиба фольги с композиционным покрытием вокруг цилиндра с малым радиусом ($R < 0,5$ мм) было установлено,

что до растрескивания покрытия способны выдержать 3–5 полных перегиба, что соответствует пластичности чистой меди – 4 перегиба. Наиболее пластичны покрытия, осажденные при плотности тока 9 А/дм^2 и содержании CeO_2 в электролите $0,5 \text{ г/дм}^3$.

Способность к пайке всех изученных покрытий достаточно высока: припаянная к поверхности оловянным припоем медная проволока не может быть оторвана вручную без разрывной машины, что свидетельствует об адгезионном взаимодействии припоя с изучаемым покрытием не менее чем 800 Н/м^2 .

Заключение

В результате проведенных исследований были установлены оптимальные условия гидрометаллургического синтеза пластичных композитов на основе меди из высокоскоростного кремнефтористого электролита с высокой адгезией к основе, повышенной твердостью и коррозионной устойчивостью, за счет дозированного введения в электролит неметаллической фазы CeO_2 в количестве $0,5\text{--}0,75 \text{ г/дм}^3$, обладающих пластичностью и паяемостью на уровне чистой меди.

Доказано, что частицы оксида ниобия не проявляют электроактивности в кремнефтористом растворе меднения и даже в малых концентрациях создают диффузионные затруднения, что вызывает замедление кристаллизации меди и резко усиливает пассивацию поверхности катода. Наоборот, частицы оксида церия являются электроактивными и ускоряют формирование покрытий.

Наличие частиц Nb_2O_5 в электролите не влияет на микроструктуру получаемых покрытий и, соответственно, на их свойства, тогда как присутствие частиц CeO_2 заметно влияет на параметры кристаллической решетки и микроструктуру осадков. Установлено, что несмотря на отсутствие в составе покрытий церия или его соединений, кристаллическая решетка Cu очень искажена и поликристаллична; параметр кристаллической решетки больше табличных значений для стандартной кубической решетки меди. Размеры зерен, слагающих кристаллиты композитов, заметно меньше, чем в медных пленках, синтезированных при таких же условиях, а сами зерна имеют очень плотную упаковку.

Установлено, что композиты Cu-CeO_2 с наиболее равномерной и мелкозернистой морфологией поверхности обладают несколько повышенной коррозионной устойчивостью и на 10–20 % большей микротвердостью по сравнению с гальванической медью. Полученные материалы могут выполнять роль надежной герметизации в резьбовых соединениях пенных коммуникаций, топливо- и маслопроводов пожарной аварийно-спасательной техники, т.к. при более высоких физико-механических свойствах они имеют высокую пластичность и способность к пайке, а также коэффициент термического расширения как у меди. Композиционные электрохимические покрытия, синтезированные из модифицированных кислых кремнефтористых электролитов, в перспективе являются надежной защитой от жидкостной и аэрозольной коррозии метизных деталей аварийно-спасательной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Защитные покрытия: учеб. пособие / М.Л. Лобанов [и др.]. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. – 200 с.
2. Козлов, И.А. Холодное газодинамическое напыление покрытий (обзор) / И.А. Козлов [и др.] // ТРУДЫ ВИАМ. – 2020. – № 8 (90). – С. 77–93. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-8-77-93. EDN: WVBSVT.
3. Беленький, М.А. Электроосаждение металлических покрытий: справочник / М.А. Беленький, А.Ф. Иванов. – М.: Металлургия, 1985. – 288 с.
4. Поветкин, В.В. Структура и свойства электролитических сплавов / В.В. Поветкин, Н.М. Ковенский, Ю.Н. Устиновщиков. – М.: Наука, 1992. – 254 с.
5. Лошкарев, Ю.М. Электроосаждение меди в присутствии блескообразующих и выравнивающих добавок. Обзор / Ю.М. Лошкарев, Е.М. Говорова // Защита металлов. – 1998. – Т. 34, № 5. – С. 451–468.

6. Гальванотехника: справочник / под ред. А.М. Гинберга, А.Ф. Иванова, Л.Л. Кравченко. – М.: Металлургия, 1987. – 736 с.
7. Кудрявцев, Н.Т. Электролитические покрытия металлами / Н.Т. Кудрявцев. – М.: Химия, 1979. – 352 с.
8. Мельников, П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П.С. Мельников. – Изд. 2-е. – М.: Машиностроение, 1991. – 380 с.
9. Антропов, Л.И. Теоретическая электрохимия: учебник / Л.И. Антропов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1984. – 519 с.
10. Грилихес, С.Я. Электролитические и химические покрытия. Теория и практика / С.Я. Грилихес, К.И. Тихонов. – Ленинград: Химия, 1990. – 288 с.
11. Антропов, Л.И. Композиционные электрохимические покрытия и материалы / Л.И. Антропов, Ю.Н. Лебединский. – Киев: Техника, 1986. – 200 с.
12. Гамбург, Ю.Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов / Ю.Д. Гамбург. – М.: Янус-К, 1997. – 384 с.
13. Grujicic, D., Electrodeposition of copper: the nucleation mechanisms / D. Grujicic, B. Pesic // *Electrochimica Acta*. – 2002. – Vol. 47, iss. 18. – P. 2901–2912. – DOI: 10.1016/S0013-4686(02)00161-5.
14. Рева, О.В. Износ- и коррозионностойкие медные гальванопокрытия, модифицированные оксидом ванадия / О.В. Рева, С.А. Михалюк // Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий: сборник материалов Республиканского научно-технического семинара, Минск, 6–7 декабря 2011 г. – Минск: БГТУ, 2011. – С. 83–87.
15. Рева, О.В. Защитные композиционные гальванопокрытия, модифицированные оксидом ванадия / О.В. Рева [и др.] // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: сб. материалов 11-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–30 мая 2014 г. – Минск: Беларуская навука, 2014. – С. 368–371.
16. Справочник химика: в 7 т. / под ред. Б.П. Никольского [и др.]. – 3-е изд., испр. – Ленинград: Химия, 1971. – Т. 2: Основные свойства неорганических и органических соединений. – 1168 с.
17. Лидин, Р.А. Химические свойства неорганических веществ: учеб. пособие / Р.А. Лидин, В.А. Молочко, Л.Л. Андреева; под ред. Р.А. Лидина. – 3-е изд., испр. – М.: Химия, 2000. – 480 с.
18. Неорганическая химия: в 3 т. / под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: Академия, 2007. – Т. 3: Химия переходных элементов. – Кн. 1. – 352 с.
19. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: справочник / под ред. О.А. Банных [и др.]. – М.: Металлургия, 1986. – 440 с.
20. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди: справочник / под ред. С.В. Шухардина. – М.: Наука, 1979. – 248 с.
21. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник в 3 т. / под ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996–2001. – 3 т.
22. Рева, О.В. Композиционные защитные покрытия Cu-CeO₂ для метизных деталей аварийно-спасательной техники / О.В. Рева, А.В. Врублевский // Пожарная и аварийная безопасность. – 2022. – № 4 (27). – С. 60–64. – EDN: MTAUFW.
23. Рева, О.В. Гальваносинтез композиционных медных покрытий с повышенной твердостью и коррозионной стойкостью / О.В. Рева, Е.В. Августинчик, А.А. Гудков // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Минск, 15 апреля 2022 г. – В 2 т. – Минск: УГЗ, 2022. – Т. 1. – С. 126–128.
24. Powder Diffraction File [Electronic resource]. JcpDS. Int. Centre for Diffraction Data. Swarthmore, 1989. – Mode of access: <https://www.icdd.com/>. – Date of access: 15.11.2023.

Гидрометаллургический синтез медных композитов в присутствии оксидов церия и ниобия для защиты аварийно-спасательного оборудования

Hydrometallurgical synthesis of copper composites in the presence of cerium and niobium oxides for protection of rescue equipment

Рева Ольга Владимировна

кандидат химических наук, доцент

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

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

Email: volha107@rambler.ru

SPIN-код: 9028-4876

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 Chemical, Biological, Radiation and Nuclear Protection, Professor

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

Email: volha107@rambler.ru

ORCID: 0000-0003-4006-8678

Врублевский Александр Васильевич

кандидат химических наук, доцент

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

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

Email: 63063@mail.ru

SPIN-код: 4899-0018

Alexander V. Vrublevskiy

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 Chemical, Biological, Radiation and Nuclear Protection, Professor

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

Email: 63063@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4179-5407

HYDROMETALLURGICAL SYNTHESIS OF COPPER COMPOSITES IN THE PRESENCE OF CERIUM AND NIOBIUM OXIDES FOR PROTECTION OF RESCUE EQUIPMENT

Reva O.V., Vrublevskiy A.V.

Purpose. To determine the optimal conditions for the hydrometallurgical synthesis of new nanostructured materials with improved functional properties for modifying parts of emergency rescue equipment.

Methods. The following research methods were used: gravimetry, voltammetry, radiography, X-ray spectral analysis, scanning electron microscopy, standard methods for testing the physical and mechanical properties of metal coatings.

Findings. It has been determined that coatings with a significantly distorted crystal lattice, without admixtures of amorphous phases are formed from a silicofluoride copper plating electrolyte, modified with an oxide phase. In the permissible range of current densities in silicofluoride electrolytes, side processes are minimized; in this case, cerium oxide exhibits electroactivity, but niobium oxide does not, creating diffusion difficulties and slowing down the rate of copper deposition. Inclusions of cerium and niobium compounds in the coatings were not detected, but the near-surface layers include copper and silicon oxides. The surface microstructure of Cu-CeO₂ and Cu-Nb₂O₅ coatings is dense and uniform. When CeO₂ is introduced into the electrolyte, the sizes of the grains composing the crystallites of the composites are noticeably smaller than in pure copper films synthesized under the same conditions; whereas the presence of niobium oxide in the electrolyte has virtually no effect on the microstructure of the films. It has been established that composites, synthesized in the presence of CeO₂, with the most uniform and fine-grained surface morphology, have increased corrosion resistance and 10–20 % higher microhardness compared to copper ones.

Application field of research. Corrosion protection and performance enhancement of fire rescue equipment parts, sealing of threaded joints of pipelines for various purposes.

Keywords: composite corrosion-resistant coatings, nanostructured materials, electrochemical deposition of protective films, modified copper plating electrolytes, oxide phase, corrosion resistance.

(The date of submitting: November 27, 2023)

REFERENCES

1. Lobanov M.L., Kardonina N.I., Rossina N.G., Yurovskikh A.S. *Zashchitnye pokrytiya* [Protective coatings]: tutorial. Ekaterinburg: Ural University Press, 2014. 200 p. (rus)
2. Kozlov I.A., Leshchev K.A., Nikiforov A.A., Demin S.A. Kholodnoe gazodinamicheskoe napylenie pokrytiy (obzor) [Cold spray coatings (review)]. *Proceedings of VIAM*, 2020. No. 8 (90). Pp. 77–93. (rus). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-8-77-93. EDN: WVBSVT.
3. Belen'kiy M.A., Ivanov A.F. *Elektroosazhdenie metallicheskih pokrytiy* [Electrodeposition of metal coatings]: handbook. Moscow: Metallurgiya, 1985. 288 p. (rus)
4. Povetkin V.V., Kovenskiy N.M., Ustinovshchikov Yu.N. *Struktura i svoystva elektroliticheskikh splavov* [Structure and properties of electrolytic alloys]. Moscow: Nauka, 1992. 254 p. (rus)
5. Loshkarev Yu.M., Govorova E.M. Elektroosazhdenie medi v prisutstvii bleskoobrazuyushchikh i vyravnivayushchikh dobavok. Obzor [Electrodeposition of copper in the presence of brightening and leveling additives. Review]. *Protection of Metals*, 1998. Vol. 34, No. 5. Pp. 451–468. (rus)
6. *Gal'vanotekhnika* [Electroplating]: handbook. Ed. by A.M. Ginberg, A.F. Ivanov, L.L. Kravchenko. Moscow: Metallurgiya, 1987. 763 p. (rus)
7. Kudryavtsev N.T. *Elektroliticheskie pokrytiya metallami* [Electrolytic coatings by metals]. Moscow: Khimiya, 1979. 352 p. (rus)
8. Mel'nikov P.S. *Spravochnik po gal'vanopokrytiyam v mashinostroenii* [Handbook of electroplating in mechanical engineering]. Moscow: Mashinostroenie, 1991. 380 p. (rus)
9. Antropov L.I. *Teoreticheskaya elektrokimiya* [Theoretical electrochemistry]: textbook. Moscow: Vysshaya shkola, 1984. 519 p. (rus)
10. Grilikhes S.Ya., Tikhonov K.I. *Elektroliticheskie i khimicheskie pokrytiya. Teoriya i praktika* [Electrolytic and chemical coatings. Theory and practice]. Leningrad: Khimiya, 1990. 288 p. (rus)
11. Antropov L.I., Lebedinskiy Yu.N. *Kompozitsionnye elektrokhimicheskie pokrytiya i materialy* [Composite electrochemical coatings and materials]. Kyiv: Tekhnika, 1986. 200 p. (rus)

12. Gamburg Yu.D. *Elektrokhimicheskaya kristallizatsiya metallov i splavov* [Electrochemical crystallization of metals and alloys]. Moscow: Yanus-K, 1997. 384 p. (rus)
13. Grujicic D., Pesic B. Electrodeposition of copper: the nucleation mechanisms. *Electrochimica Acta*, 2002. Vol. 47, iss. 18. Pp. 2901–2912. DOI: 10.1016/S0013-4686(02)00161-5.
14. Reva O.V., Mikhalyuk S.A. Iznoso- i korrozionnostoykie mednye gal'vanopokrytiya, modifitsirovannye oksidom vanadiya [Wear- and corrosion-resistant copper electroplatings modified with vanadium oxide]. *Proc. Republican scientific-technical seminar «Sozdanie novykh i sovershenstvovanie deystvuyushchikh tekhnologiy i oborudovaniya naneseniya gal'vanicheskikh i ikh zameshchayushchikh pokrytiy»*, Minsk, December 6–7, 2011. Minsk: Belarusian State Technological University, 2011. Pp. 83–87. (rus)
15. Reva O.V., Mikhalyuk S.A., Kuznetsov B.V., Zlotkiy S.V. Zashchitnye kompozitsionnye gal'vanopokrytiya, modifitsirovannye oksidom vanadiya [Protective composite electroplating coatings modified with vanadium oxide]. *Proc. 11th Intern. scientific-technical conf. «Novye materialy i tekhnologii: poroshkovaya metallurgiya, kompozitsionnye materialy, zashchitnye pokrytiya, svarka»*, May 28–30, 2014. Minsk: Belaruskaya navuka, 2014. Pp. 368–371. (rus)
16. *Spravochnik khimika* [Chemist's Handbook]: in 7 vol. Ed. by B.P. Nikol'skiy et al. Leningrad: Khimiya, 1971. Vol. 2: *Osnovnye svoystva neorganicheskikh i organicheskikh soedineniy* [Basic properties of inorganic and organic compounds]. 1168 p. (rus)
17. Lidin R.A., Molochko V.A., Andreeva L.L. *Khimicheskie svoystva neorganicheskikh veshchestv* [Chemical properties of inorganic substances]: tutorial. Moscow: Khimiya, 2000. 480 p. (rus)
18. *Neorganicheskaya khimiya* [Inorganic chemistry]: in 3 vol. Ed. by Yu.D. Tret'yakov. Moscow: Akademiya, 2007. Vol. 3: *Khimiya perekhodnykh elementov* [Chemistry of transition elements]. Book 1. 352 p. (rus)
19. *Diagrammy sostoyaniya dvoynykh i mnogokomponentnykh sistem na osnove zheleza* [State diagrams of binary and multicomponent iron-based systems]: handbook. Ed. by O.A. Bannykh et al. Moscow: Metallurgiya, 1986. 440 p. (rus)
20. *Dvoynye i mnogokomponentnye sistemy na osnove medi* [Dual and multi-component copper systems]: handbook. Ed. by S.V. Shukhardin. Moscow: Nauka, 1979. 248 p. (rus)
21. *Diagrammy sostoyaniya dvoynykh metallicheskh sistem* [Phase diagrams of binary metal systems]: handbook in 3 vol. Ed. by N.P. Lyakishev. Moscow: Mashinostroenie, 1996–2001.
22. Reva O.V., Vrublevskiy A.V. Kompozitsionnye zashchitnye pokrytiya Cu-CeO₂ dlya metiznykh detaley avariyno-spatatel'noy tekhniki [Composite protective coatings Cu-CeO₂ for threaded details of emergency rescue equipment]. *Fire and emergency safety*, 2022. No. 4 (27). Pp. 60–64. (rus). EDN: MTAUFW.
23. Reva O.V., Avgustinchik E.V., Gudkov A.A. Gal'vanosintez kompozitsionnykh mednykh pokrytiy s povyshennoy tverdost'yu i korrozionnoy stoykost'yu [Galvanic synthesis of composite copper coatings with increased hardness and corrosion resistance]. *Proc. XVI Intern. scientific-practical conf. of young scientists «Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy»*, April 15, 2022. Minsk: University of Civil Protection, 2022. Vol. 1. Pp. 126–128.
24. Powder Diffraction File. JcpDS. Int. Center for Diffraction Data. Swarthmore, 1989. Available at: <https://www.icdd.com/> (accessed: November 15, 2023).

ОГNETУШАЩАЯ И ПЛЕНКООБРАЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОГNETУШАЩИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ФТОРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Иванов И.Ю., Навроцкий О.Д., Доукешева Е.А.

Цель. Разработать и апробировать методики определения пленкообразующей способности и огнетушащей эффективности составов на основе фторированных и углеводородных поверхностно-активных веществ (ПАВ) при подаче в виде мелкодисперсной воды.

Методы. Общая методология работы предусматривала использование теоретических методов исследования (анализ, синтез, сравнение). Время устойчивости на поверхности горючей жидкости паронепроницаемой водной пленки и эффективность тушения пленкообразующими водными химическими огнетушащими составами оценивались экспериментальным путем. Полученные экспериментальные данные обрабатывались с использованием метода оценивания и выражения неопределенности измерений.

Результаты. Разработана и апробирована лабораторная методика по определению времени устойчивости паронепроницаемой водной пленки из растворов на основе фторированных и углеводородных ПАВ на поверхности горючей жидкости. Разработана и апробирована лабораторная методика определения огнетушащей эффективности мелкодисперсной воды с добавками ПАВ при тушении модельного очага пожара класса В. Разработанные методики позволяют с небольшими затратами проводить исследования по разработке новых рецептур огнетушащих веществ, применяемых в виде мелкодисперсной воды.

Экспериментально установлено, что изменение концентрации углеводородных ПАВ от 0 до 4 % приводит к снижению межфазного натяжения от 5,86 до 1,26 мН·м⁻¹, увеличению коэффициента растекания водного раствора по поверхности горючей жидкости от -1,06 до 2,58 мН·м⁻¹ и повышению огнетушащей эффективности E_v в 25 раз при тушении модельного очага. Увеличение коэффициента растекания водной пленки приводит к увеличению огнетушащей эффективности огнетушащих составов на основе фторированных и углеводородных ПАВ.

Область применения исследований. Полученные результаты могут быть использованы при разработке рецептуры пленкообразующих огнетушащих составов для тушения пожаров.

Ключевые слова: фторированное поверхностно-активное вещество, углеводородное поверхностно-активное вещество, поверхностное натяжение, межфазное натяжение, огнетушащая эффективность, время тушения, интенсивность подачи огнетушащего вещества.

(Поступила в редакцию 10 января 2024 г.)

Введение

Огнетушащая эффективность – основной показатель качества огнетушащего вещества, определяющий область и способ его применения. На огнетушащую эффективность пленкообразующих огнетушащих составов могут влиять ряд параметров, такие как коэффициент растекания пленкообразующего раствора по поверхности горючей жидкости, время жизни водной пленки на поверхности горючей жидкости, кратность и устойчивость образующей пены и т.д. [1–7].

Известно, что ключевым условием для обеспечения растекания водного раствора по поверхности горючей жидкости является сумма значений поверхностного натяжения водного раствора на границе с воздухом и межфазного поверхностного натяжения, которая

должна быть меньше поверхностного натяжения углеводорода. Для снижения поверхностного натяжения до необходимых величин в составе пленкообразующего раствора применяют фторированные ПАВ (далее – ФПАВ) [8].

За пленкообразующую эффективность водного раствора ПАВ принимается способность образования на поверхности горючей жидкости водной пленки и время защитного действия пленки до разрыва [9]. Данные характеристики водных растворов ПАВ в ходе исследования принимаются как основные параметры, определяющие огнетушащую эффективность водных пленкообразующих растворов.

Насколько экологически чистым будет пленкообразующий состав, зависит в первую очередь от количества ФПАВ в растворе, как наиболее стойкого органического загрязнителя. Научная идея при разработке данных составов заключается в уменьшении содержания ФПАВ в пленкообразующих водных огнетушащих составах при сохранении огнетушащей эффективности. Для определения возможности снижения содержания ФПАВ следует провести исследование с целью установления взаимного влияния углеводородных ПАВ (далее – УПАВ) и ФПАВ на огнетушащую эффективность и выявить физико-химические свойства растворов ПАВ, при которых создаются наилучшие условия для тушения горючей жидкости.

Основная часть

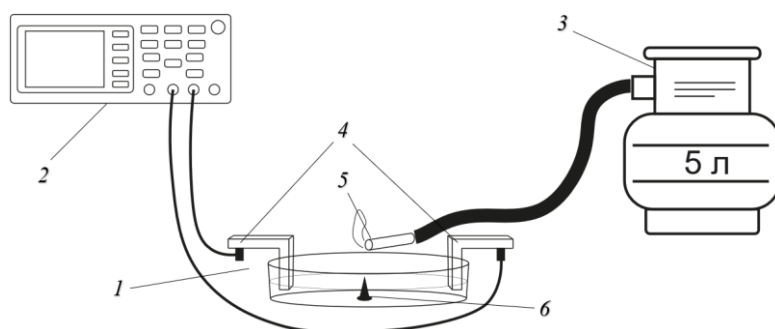
Используя комбинации из разного процентного соотношения УПАВ и ФПАВ, установили процентные соотношения данных ПАВ с наибольшей огнетушащей эффективностью водного раствора.

Для испытаний применялись 4 образца с процентным содержанием УПАВ 0, 1, 2 и 4 % соответственно. Описание составов образцов огнетушащих веществ (далее – ОТВ), которые использовались в исследованиях, приведено в таблице 1.

Таблица 1. – Описание исследуемых образцов ОТВ

Образец	Состав ОТВ, мас. д., %			
	УПАВ	ФПАВ	составитель	вода
Образец 1	0	2	20	78
Образец 2	1	2	20	77
Образец 3	2	2	20	76
Образец 4	4	2	20	74

Лабораторная методика оценки пленкообразующей эффективности. Известно, что при применении в качестве огнетушащего вещества пленкообразующих пенообразователей их огнетушащая эффективность зависит от свойств формируемой паронепроницаемой водной пленки на поверхности горючей жидкости [8]. Для проведения лабораторных исследований по установлению скорости образования, толщины и времени устойчивости паронепроницаемой водной пленки на поверхности горючей жидкости используется методика, представленная в работе [10], схема лабораторной установки изображена на рисунке 1.



1 – чашка Петри; 2 – цифровой мультиметр; 3 – газовый баллон;
4 – посеребренные пластины; 5 – горелка; 6 – шуруп

Рисунок 1. – Схема лабораторной установки для оценки пленкообразующей способности

В таблицах 2 и 3 приведены применяемые для проведения испытаний оборудование и средства измерений.

Таблица 2. – Экспериментальное оборудование для оценки пленкообразующей эффективности

Наименование оборудования	Характеристика
Чашка Петри	Диаметр – $100 \pm 0,1$ мм; высота – $20 \pm 0,1$ мм; материал – стекло
Штатив лабораторный Бунзена	–
Баллон газовый бытовой (пропан, бутан и их смеси)	Емкость – 5 л
Посеребренные пластины	Ширина – 8 мм; толщина – 3,5 мм
н-гептан эталонный	Согласно ГОСТ 25828-83
Карта видеозахвата	Макс. поддерживаемое разрешение: 3840×2160 4K UHD; интерфейсы – HDMI, USB 3.0

Таблица 3. – Средства измерений для оценки пленкообразующей эффективности

Наименование	Диапазон измерений	Цена деления	Погрешность
Секундомер Electronika RI-01	0 ч 00 мин 00 с – 9 ч 59 мин 59,99 с	0,01 с	$\pm(9,6 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{изм.}} + 0,01 \text{ с})$
Цифровой мультиметр	от 0,01 до 500 Ом	0,01 Ом	$\pm 0,15 \% \text{ от } R_{\text{изм.}} + 10^*$
	от 500 до 5000 Ом	0,1 Ом	$\pm 0,15 \% \text{ от } R_{\text{изм.}} + 5^*$
	от 5 до 50 кОм	0,001 кОм	$\pm 0,15 \% \text{ от } R_{\text{изм.}} + 5^*$
	от 50 до 500 кОм	0,01 кОм	$\pm 0,15 \% \text{ от } R_{\text{изм.}} + 5^*$
	от 500 до 5000 кОм	0,1 кОм	$\pm 0,3 \% \text{ от } R_{\text{изм.}} + 5^*$
	от 5 до 50 МОм	0,001 МОм	$\pm 1 \% \text{ от } R_{\text{изм.}} + 10^*$

Примечание. $T_{\text{изм.}}$ – значение измеренного интервала времени; $R_{\text{изм.}}$ – значение измеренного сопротивления.
* – LSB-ошибка (least-significant-bit).

В центр металлического противня диаметром 250–300 мм, высотой борта 35–40 мм, служащего для предотвращения случайного разлива жидкости, помещается лабораторный штатив Бунзена, на который устанавливается чашка Петри диаметром 100 мм и измерительное устройство с датчиками электропроводности, которые подключаются к цифровому мультиметру.

Исследования проводятся при следующих параметрах окружающей среды:

- температура 18–25 °С;
- влажность 65,0–74,0 %;
- атмосферное давление 84,0–106,7 кПа.

В центр чашки Петри вертикально на плоскую шляпку устанавливается шуруп длиной 12–16 мм и диаметром 2–3 мм с резьбой по всей длине, без следов деформации и механической коррозии. В чашку Петри аккуратно заливается 30 мл н-гептана, не нарушая положения шурупа, причем шляпка шурупа и часть резьбы должны находиться под слоем горючего. Пипет-дозатор устанавливается на объем 0,75 мл и наполняется исследуемым раствором. Включается секундомер и на острие шурупа с помощью пипет-дозатора по одной капле выливается исследуемый раствор в течение 45 ± 3 с. Начало образования водной пленки контролируется по значениям цифрового мультиметра, а время устойчивости паронепроницаемой водной пленки путем подноса горячей горелки на расстоянии 15 мм от поверхности зеркала жидкости каждые 15 с после нанесения исследуемого раствора на поверхность н-гептана. Отсутствие воспламенений гептана и кратковременных вспышек от источника зажигания свидетельствует о наличии пленки. При загорании горючей жидкости фиксируется прошедшее время.

При проведении испытаний для повышения точности фиксируемых значений применяется программное обеспечение с поддержкой SCPI-команд¹ для управления цифровым мультиметром и выводом измеряемых значений в рабочее окно персонального компьютера.

¹ Standard Commands for Programmable Instruments (стандартные команды для программируемых приборов) – язык команд для приборов, предназначенный для работы с диагностическими и измерительными устройствами.

Для фиксации событий в ходе проведения испытаний применяется видеочамера с выводом изображения в рабочее окно персонального компьютера. После проведения испытаний видеофайлы анализируются покадрово (рис. 2).

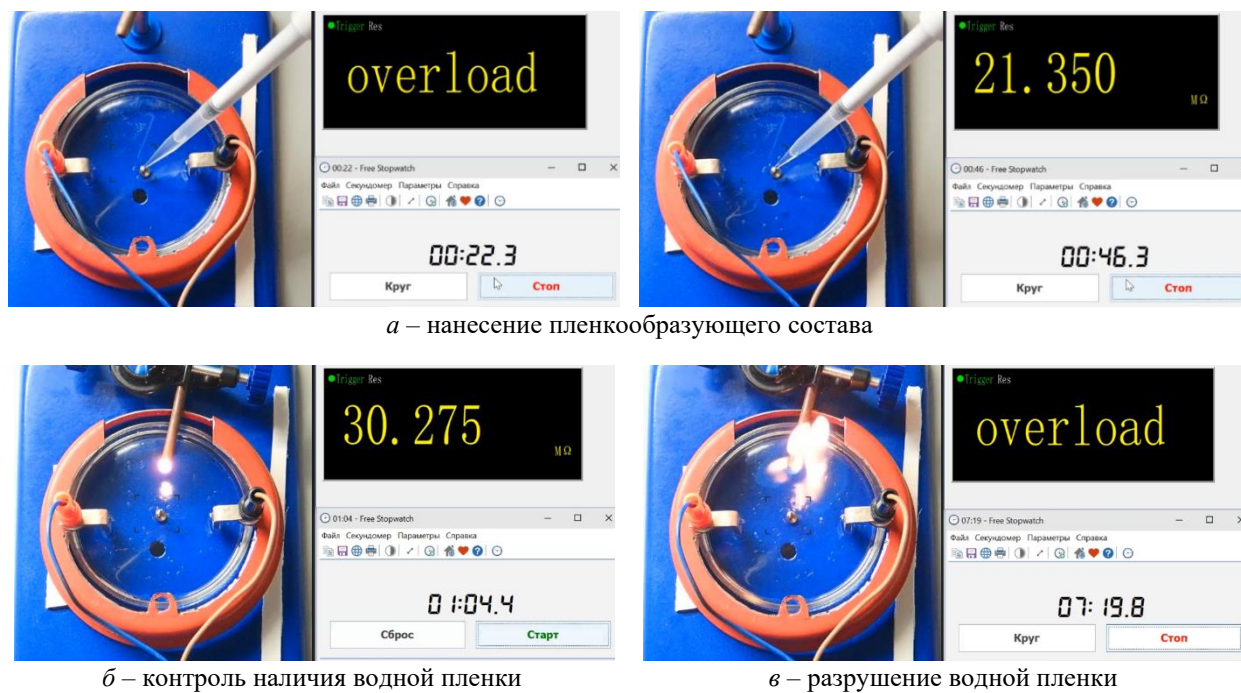


Рисунок 2. – Схема лабораторной установки для оценки пленкообразующей способности

Лабораторная методика определения огнетушащей эффективности. Разработанная методика позволяет при постоянных условиях (камера сгорания, модельный очаг пожара, количество горючего вещества, кратность воздухообмена, расположение и расход форсунки, давление подачи ОТВ) установить огнетушащую эффективность исследуемых составов для установок тушения мелкодисперсной водой на основе пленкообразующего пенообразователя [11].

В таблицах 4 и 5 приведены применяемые для проведения испытаний оборудование и средства измерений.

Таблица 4. – Экспериментальное оборудование для определения огнетушащей эффективности

Наименование оборудования	Характеристика
Бокс для испытаний	Диаметр – 580 ± 1 мм; высота – 820 ± 1 мм
Емкость для ОТВ	Рабочее давление – 0,8 МПа; объем – 10 л
Противень для создания модельного очага пожара класса В	Диаметр – 170,0 ± 0,1 мм; высота – 70,0 ± 0,1 мм
Воздушный безмасляный компрессор	Ресивер – 50 л; производительность на входе – 280 л/мин; максимальное давление – 0,8 МПа
н-гептан эталонный	Согласно ГОСТ 25828-83
Форсунка MR 1.5 Marolex Z12/15	Расход жидкости – 0,6 л/мин; тип – с регулируемым углом струи
Шланг армированный маслостойкий для сжатого воздуха	Диаметр шланга – 6 мм (внутренний), 12 мм (внешний); толщина стенки – 3 мм; длина шланга – 5 м
Клапан электромагнитный	Время открытия/закрытия – 15–35 мс
Карта видеозахвата	Макс. поддерживаемое разрешение: 3840×2160 4K UHD; интерфейсы – HDMI, USB 3.0
USB-реле	Количество каналов – 2; максимальный коммутируемый ток – 10 А
Цифровой фотоаппарат	Максимальное разрешение видео: 3840×2160 скорость съемки – 20 кадр/с

Таблица 5. – Средства измерений для определения огнетушащей эффективности

Наименование	Диапазон измерений	Цена деления	Погрешность
Секундомер Elektronika RI-01	0 ч 00 мин 00 с – 9 ч 59 мин 59,99 с	0,01 с	$\pm(9,6 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{изм. нач.}} + 0,01 \text{ с})$
Манометр МВПЗ-УМ-1,5-М20×1,5	0–1000 кПа	5 кПа	$\pm 1,5 \% (\pm 15 \text{ кПа})$
Весы электронные серии Radwag WL2/C/A2	от 0,5 г до 2 кг	0,01 г	$\pm 0,03 \text{ г}$

Испытания проводятся при таких же параметрах окружающей среды, как и при проведении лабораторных исследований по установлению скорости образования, толщины и времени устойчивости на поверхности горючей жидкости паронепроницаемой водной пленки на поверхности горючей жидкости.

Перед началом испытаний проводится калибровка установки по интенсивности подачи ОТВ. Для этого противень модельного очага помещается в установку, включается подача ОТВ и определяется объем ОТВ, попавший в противень за определенный промежуток времени.

Интенсивность подачи ОТВ определяется по формуле:

$$I_{\text{по}} = \frac{V}{t \cdot S}, \quad (1)$$

где V – объем раствора ОТВ, л, t – время подачи ОТВ, с; S – площадь противня модельного очага пожара, м^2 ($S = 0,0026 \text{ м}^2$).

Огнетушащая эффективность пленкообразующего огнетушащего состава определяется на модельном очаге пожара класса В с использованием установки, которая представлена на рисунке 3. Исследуемый раствор пленкообразующего огнетушащего состава готовится непосредственно перед проведением испытаний и заливается в емкость б, которая с помощью воздушного шланга подключается к компрессору 7. При испытаниях на компрессоре по показанию манометра устанавливается рабочее давление 4 МПа. Из емкости с ОТВ к трубопроводу, на котором установлен распылитель, подводится воздушный шланг.



1 – бокс для испытаний (камера сгорания); 2 – питающий трубопровод с электромагнитным клапаном для подачи огнетушащего вещества с установленным на конце регулируемым распылителем; 3 – поддон; 4 – вентиляционные отверстия с воздуховодами; 5 – дверца со смотровым окном для установки внутри бокса модельного очага пожара; 6 – емкость для ОТВ; 7 – компрессор с манометром; 8 – видеочкамера

Рисунок 3. – Лабораторная установка для определения огнетушащей эффективности

Для минимизации погрешностей при проведении испытаний процесс управления установкой автоматизирован за счет применения быстродействующего электромагнитного клапана, который управляется USB-реле посредством ПЭВМ.

Проведение испытаний начинается с подготовки модельного очага пожара класса В [12]. В противень с помощью мерной емкости заливается $200,0 \pm 0,1$ мл воды и сверху $300,0 \pm 0,1$ мл горючей жидкости. После наполнения противня горючей жидкостью и установления его в испытательный бокс выдерживается время 60 ± 2 с, после чего горючая жидкость поджигается. Время свободного горения горючей жидкости составляет 30 ± 1 с.

После истечения времени свободного горения горючей жидкости открывается электромагнитный клапан и через распылитель происходит подача ОТВ на тушение модельного очага пожара. С помощью секундомера фиксируется время от начала подачи пленкообразующего состава до полного прекращения горения горючей жидкости. После окончания горения раствор пленкообразующего огнетушащего состава подается еще 10 ± 1 с.

Продолжительность тушения ограничивается временем $t_{\max} = 300$ с, по истечении которого возможно самопроизвольное затухание модельного очага пожара. Если тушение модельного очага пожара не наступало за данный промежуток времени, то испытание прекращалось.

После прекращения подачи ОТВ определяется наличие водной пленки на поверхности горючей жидкости. Для этого на расстоянии 15 мм от поверхности проводят зажженной зажигалкой с выносной трубкой с периодичностью 15 ± 1 с. Отсутствие воспламенения горючей жидкости от источника зажигания свидетельствует о наличии пленки. Фиксируется время, прошедшее с момента прекращения подачи ОТВ до момента воспламенения горючей жидкости. Для каждого образца огнетушащего состава проводится не менее пяти измерений времени тушения. За итоговый результат испытаний принимается среднее арифметическое результатов измерений времени тушения. Процесс тушения модельного очага пожара фиксируется с помощью видеокамеры 8. После испытаний видеофайлы анализируются кадровой.

Для установления количественной оценки огнетушащей эффективности разрабатываемых составов рассчитывается показатель эффективности тушения E_t [12]. Он объединяет два главных параметра тушения: удельный расход раствора пенообразователя $V_{\text{по}}$ (л/м²) и время тушения $t_{\text{туш}}$ (с). Показатель E_t позволяет оценить, какую площадь можно потушить 1 л раствора пенообразователя за единицу времени.

Чем выше абсолютное значение показателя E_t , тем выше огнетушащий эффект. Показатель E_t (м²/(л·с)) рассчитывается по следующей формуле:

$$E_t = (V_{\text{по}} \cdot t_{\text{туш}})^{-1}. \quad (2)$$

Так как $V_{\text{по}} = I_{\text{по}} \cdot t_{\text{туш}}$, то показатель эффективности тушения можно записать в виде:

$$E_t = (I_{\text{по}} \cdot t_{\text{туш}}^2)^{-1}. \quad (3)$$

Результаты и обсуждение. Для оценки влияния концентрации УПАВ на пленкообразующую способность водных растворов ОТВ были проведены исследования образцов 1–4 (табл. 1) с использованием описанной выше лабораторной установки. Результаты исследований приведены в таблице 6.

Таблица 6. – Результаты определения физико-химических показателей исследуемых образцов

Образец	Поверхностное натяжение, мН·м ⁻¹	Межфазное натяжение, мН·м ⁻¹	Коэффициент растекания, мН·м ⁻¹	Время с момента нанесения состава до воспламенения н-гептана, с
Образец 1 (0 % УПАВ)	15,70 ± 0,05	5,86 ± 0,05	-1,06	0
Образец 2 (1 % УПАВ)	16,04 ± 0,05	3,08 ± 0,05	1,38	881 ± 0,1
Образец 3 (2 % УПАВ)	15,87 ± 0,05	1,82 ± 0,05	2,81	586 ± 0,1
Образец 4 (4 % УПАВ)	16,66 ± 0,05	1,26 ± 0,05	2,58	463 ± 0,1

Как видно из таблицы, увеличение концентрации УПАВ приводит к значительному снижению межфазного натяжения с $5,86 \pm 0,05$ до $1,26 \pm 0,05$ мН·м⁻¹ и незначительному повышению поверхностного натяжения с $15,70 \pm 0,05$ до $16,66 \pm 0,05$ мН·м⁻¹. Вследствие этого повышение концентрации УПАВ приводит к увеличению коэффициента растекания. Исходя из полученных результатов можно предположить, что повышение коэффициента растекания должно приводить к образованию более устойчивой пленки на поверхности горючей жидкости, однако экспериментальные данные по времени устойчивости пленки (время с момента нанесения состава до воспламенения), приведенные в таблице 6, противоречат данному предположению. Исходя из изложенного можно сделать вывод, что есть оптимальный интервал значений коэффициента растекания, в котором время устойчивости пленки на поверхности горючей жидкости максимально.

С использованием лабораторной установки для проведения испытания огнетушащих водных составов проведены испытания по определению огнетушащей эффективности исследуемых образцов (табл. 7). Интенсивность подачи огнетушащего вещества при проведении испытаний составляла $0,032 \pm 0,003$ л/с·м². Указанное значение было выбрано аналогичным интенсивности подачи раствора пенообразователя при испытании огнетушащей эффективности пенообразователей².

Таблица 7. – Результаты исследования огнетушащей эффективности пленкообразующих образцов ОТВ

Образец	Время тушения $t_{\text{туш}}$ модельного очага пожара, с	Наличие пленки	Показатель E_t при тушении модельного очага пожара, м ² /л·с·10 ²
Образец 1 (0 % УПАВ)	$17,9 \pm 3,3$	нет	0,10
Образец 2 (1 % УПАВ)	$8,2 \pm 2,8$	да	0,54
Образец 3 (2 % УПАВ)	$6,3 \pm 2,0$	да	1,33
Образец 4 (4 % УПАВ)	$4,0 \pm 1,7$	да	2,50

Как видно из таблиц 6 и 7, при увеличении коэффициента растекания пленкообразующего состава время тушения им модельного очага уменьшается.

Несмотря на то что образец 1 не образует пленку на поверхности горючей жидкости, результат тушения был положительный, что свидетельствует о наличии у мелкодисперсной воды с добавками нескольких механизмов тушения. В то же время, если сравнивать испытанные составы по показателю E_t , образец 4 в 25 раз лучше по огнетушащей эффективности, чем образец 1. Также следует отметить отсутствие прямой зависимости показателя E_t от коэффициента растекания, что также свидетельствует о том, что мелкодисперсная вода с добавками может иметь несколько механизмов тушения.

Заключение

Разработана и апробирована лабораторная методика по определению времени устойчивости паронепроницаемой водной пленки из растворов на основе ФПАВ и УПАВ на поверхности горючей жидкости, а также лабораторная методика определения огнетушащей эффективности мелкодисперсной воды с добавками ПАВ при тушении модельного очага пожара класса В. Данные методики позволяют с небольшими затратами проводить исследования по разработке новых рецептур огнетушащих веществ, применяемых в виде мелкодисперсной воды.

Экспериментально установлено, что изменение концентрации УПАВ от 0 до 4 % приводит к снижению межфазного натяжения от 5,86 до 1,26 мН·м⁻¹, увеличению коэффициента растекания водного раствора по поверхности горючей жидкости от -1,06 до 2,58 мН·м⁻¹ и по-

² Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016. – Взамен СТБ ГОСТ Р 50588-99. – Введ. 12.08.16. – Минск, Госстандарт, 2016. – 42 с.

вышению огнетушащей эффективности E_t в 25 раз при тушении модельного очага. Увеличение коэффициента растекания водной пленки приводит к увеличению огнетушащей эффективности огнетушащих составов на основе ФПАВ и УПАВ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект T23M-061 «Пленкообразующий огнетушащий состав для автоматических установок пожаротушения водой и пеной на основе фторированных поверхностно-активных веществ»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шароварников, А.Ф. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение / А.Ф. Шароварников, С.А. Шароварников. – М.: Пожнаука, 2005. – 335 с. – EDN: UWCCSP.
2. Корольченко, Д.А. Тушение горючих жидкостей пеной из пленкообразующих пенообразователей / Д.А. Корольченко, А.А. Волков // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 8. – С. 45–55. – DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.45-55. – EDN: ZTUOXN.
3. Кремнийсодержащие производные органических кислот в качестве не загрязняющих окружающую среду огнегасящих пленкообразующих пен на водной основе: пат. RU 2017107082 / Д. Блунк, С. Из, Р.Х. Хетцер [и др.]. – Опубл. 29.11.2019. – EDN: RIKSZS.
4. Холмберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг, Б. Линдман; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2013. – 528 с. – ISBN 978-5-94774-363-0. – EDN: QKBQZV.
5. Нигметзянов, А.Р. Разработка композиции фторсодержащего пленкообразующего пенообразователя с применением отечественных компонентов / А.Р. Нигметзянов [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17, № 14. – С. 93–96. – EDN: STIAIV.
6. Емельянов, В.К. Влияние коллоидно-химических свойств белорусских неионогенных поверхностно-активных веществ на огнетушащую эффективность / В.К. Емельянов, С.Г. Котов, Т.А. Савицкая // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2 (32). – С. 18–27. – EDN: WCNRZF.
7. Котов, С.Г. Исследование пленкообразующей и изолирующей способности растворов фторированных поверхностно-активных веществ / С.Г. Котов, О.Д. Навроцкий, Д.С. Котов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 5. – С. 25–35. – EDN: NWHDL D.
8. Иванов, И.Ю. Обзор основных характеристик пленкообразующих пенообразователей и способы их контроля / И.Ю. Иванов, Я.А. Кондакова, О.Д. Навроцкий // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 41–47. – EDN PATKDW.
9. Иванов, И.Ю. Исследование фторированных поверхностно-активных веществ для разработки пленкообразующего огнетушащего состава / И.Ю. Иванов [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2022. – Т. 6, № 4. – С. 415–428. – DOI 10.33408/2519-237X.2022.6-4.415. – EDN: DGPXST.
10. Иванов, И.Ю. Методика контроля образования водной пленки пленкообразующих огнетушащих составов на поверхности горючей жидкости / И.Ю. Иванов, О.Д. Навроцкий, Е.А. Доукешева // Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве: сб. материалов X Междунар. заочной науч.-практ. конф., Минск, 22 дек. 2023 г. – Минск: УГЗ, 2024. – С. 146–151.
11. Иванов, И.Ю. Лабораторная методика оценки огнетушащей эффективности составов для установок тушения мелкодисперсной водой / И.Ю. Иванов, О.Д. Навроцкий, Е.А. Доукешева // Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве: сб. материалов X Междунар. заочной науч.-практ. конф., Минск, 22 дек. 2023 г. – Минск: УГЗ, 2024. – С. 151–155.
12. Камлюк, А.Н. Пенные оросители для автоматических установок пожаротушения: монография / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2023. – 244 с.

**Огнетушащая и пленкообразующая способность огнетушащих составов
на основе фторированных поверхностно-активных веществ**
**Fire extinguishing and film-forming ability of fire extinguishing compositions
based on fluorinated surfactants**

Иванов Игорь Юрьевич

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: igor.ivanovwork8@gmail.com
SPIN-код: 3880-5485

Igor Yu. Ivanov

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: igor.ivanovwork8@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1072-2432

Навроцкий Олег Дмитриевич

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
SPIN-код: 4031-1141

Oleg D. Navrotskiy

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4137-2519

Дукешева Елена Анатольевна

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: doukesheva@mail.ru

Elena A. Doukesheva

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: doukesheva@mail.ru
ORCID: 0009-0001-3192-4228

FIRE EXTINGUISHING AND FILM-FORMING ABILITY OF FIRE EXTINGUISHING COMPOSITIONS BASED ON FLUORINATED SURFACTANTS

Ivanov I.U., Navrotsky O.D., Doukeshcheva E.A.

Purpose. To develop and test methods for determining the film-forming ability and fire extinguishing efficiency of compositions based on fluorinated and hydrocarbon surfactants when supplied in the form of water mist.

Methods. The general methodology of the work included the use of theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison). The stability time of a vapor-proof aqueous film on the surface of a flammable liquid and the evaluation of the extinguishing efficiency of film-forming aqueous chemical fire extinguishing compounds were carried out experimentally. The obtained experimental data were processed using the estimation method and expression of measurement uncertainty.

Findings. A laboratory technique has been developed and tested for determining the stability time of a vapor-proof aqueous film from the solutions based on fluorinated and hydrocarbon surfactants on the surface of a flammable liquid. A laboratory method for determining the fire extinguishing effectiveness of finely dispersed water with surfactant additives when extinguishing a model class B fire has been developed and tested. The developed methods allow, at low cost, to conduct research on the development of new formulations of fire extinguishing agents used in the form of water mist.

It has been experimentally established that a change in the concentration of hydrocarbon surfactants from 0 to 4 % leads to a decrease in interfacial tension from 5.86 to 1.26 mN·m⁻¹, an increase in the spreading coefficient of an aqueous solution over the surface of a flammable liquid from -1.06 up to 2.58 mN·m⁻¹ and increasing the fire extinguishing efficiency E_i by 25 times when extinguishing a model fire. An increase in the spreading coefficient of the water film leads to an increase in the fire extinguishing efficiency of fire extinguishing compositions based on fluorinated and hydrocarbon surfactants.

Application field of research. The results obtained can be used in developing the formulation of film-forming fire extinguishing compositions for extinguishing fires.

Keywords: fluorinated surfactant; hydrocarbon surfactant; surface tension, interfacial tension, fire extinguishing efficiency, extinguishing time, intensity of fire extinguishing agent supply.

(The date of submitting: January 10, 2024)

REFERENCES

1. Sharovarnikov A.F., Sharovarnikov S.A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svoystva, primeneniye* [Foam concentrates and fire extinguishing foam, Structure, properties, application]. Moscow: Pozhnauka, 2005. 335 p. (rus). EDN: UWCCSP.
2. Korol'chenko D.A., Volkov A.A. Tushenie goryuchikh zhidkostey penoy iz plenkoobrazuyushchikh penoobrazovateley [Extinguishing of flammable liquids by film forming foaming agents]. *Fire and Explosion Safety*, 2017, Vol. 26, No. 8. Pp. 45–55. (rus). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.45-55. EDN: ZTUOXN.
3. Blunk D., Ie S., Hetzer R.H. [et al.] *Kremniysoderzhashchie proizvodnye organicheskikh kislot v kachestve ne zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredyu ognegasyashchikh plenkoobrazuyushchikh pen na vodnoy osnove* [Silicon-containing derivatives of organic acids as non-polluting extinguishing film-forming water-based foams]: patent RU 2017107082. Published November 29, 2019. (rus). EDN: RIKSZS.
4. Holmberg K., Jönsson B., Kronberg B., Lindman B. *Surfactants and polymers in aqueous solutions*: translation from English. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2013. 528 p. (rus). ISBN 978-5-94774-363-0. EDN: QKBQZV.
5. Nigmatzyanov A.R., Kil'diyarov A.R., Bazunova M.V., Valiev D.R., Zaikov G.E. Razrabotka kompozitsii ftorsoderzhashchego plenkoobrazuyushchego penoobrazovatelya s primeneniem otechestvennykh komponentov [Development of a composition of a fluorine-containing film-forming foaming agent using domestic components]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2014. Vol. 17, No. 14. Pp. 93–96. (rus). EDN: STIAIV.
6. Emel'yanov V.K., Kotov S.G., Savitskaya T. A. Vliyanie kolloidno-khimicheskikh svoystv belorusskikh neionogennykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na ognetyashchuyu effektivnost' [Influence of

- colloid-chemical properties of Belarusian non-ionogenic surfactants on fire extinguishing efficiency]. *Emergency Situations: Prevention and Elimination*, 2012. No. 2 (32). Pp. 18–27. (rus). EDN: WCNRZF.
7. Kotov S.G., Navrotsky O.D., Kotov D.S. Issledovanie plenkoobrazuyushchey i izoliruyushchey sposobnosti rastvorov ftorirovannykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv [Investigation of the film-forming and insulating ability of solutions of fluorinated surfactants]. *Fire and explosion safety*, 2011. Vol. 20, No. 5. Pp. 25–35. (rus). EDN: NWHDL.
 8. Ivanov I.Yu., Kondakova Ya.A., Navrotsky O.D. Obzor osnovnykh kharakteristik plenkoobrazuyushchikh penoobrazovatelye i sposoby ikh kontrolya [Review of the main characteristics of film-forming foaming agents and methods of their control]. *Proc. V Intern. scientific-practical conf. «Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tekhnologii»*. Ivanovo Fire Rescue Academy of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2021. Pp. 41–47. (rus). EDN: PATKDW.
 9. Ivanov I.Yu., Navrotsky O.D., Kondakova Ya.A., Krasavin V.E., Busel M.O. Issledovanie ftorirovannykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv dlya razrabotki plenkoobrazuyushchego ognetushashchego sostava [Research of fluorinated surfactants for the development of a film-forming fire extinguishing composition]. *Journal of Civil Protection*, 2022. Vol. 6, No. 4. Pp. 415–428. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2022.6-4.415. EDN: DGXST.
 10. Ivanov I.Yu., Navrotsky O.D., Doukeshva E.A. Metodika kontrolya obrazovaniya vodnoy plenki plenkoobrazuyushchikh ognetushashchikh sostavov na poverkhnosti goryuchey zhidkosti [Methodology for controlling the formation of aqueous film of film-forming extinguishing compositions on the surface of a combustible liquid]. *Proc. X Intern. extramural scientific-practical conf. «Problemy obespecheniya bezopasnosti lyudey pri pozhare i vzryve»*, Minsk, December 22, 2023. Minsk: University of Civil Protection, 2024. Pp. 146–151. (rus)
 11. Ivanov I.Yu., Navrotsky O.D., Doukeshva E.A. Laboratornaya metodika otsenki ognetushashchey effektivnosti sostavov dlya ustanovok tusheniya melkodispersnoy vodoy [Laboratory methodology for evaluating the extinguishing effectiveness of formulations for water mist extinguishing plants]. *Proc. X Intern. extramural scientific-practical conf. «Problemy obespecheniya bezopasnosti lyudey pri pozhare i vzryve»*, Minsk, December 22, 2023. Minsk: University of Civil Protection, 2024. Pp. 151–155. (rus)
 12. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. *Pennyne orositeli dlya avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya* [Foam sprinklers for automatic fire extinguishing installations]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2023. 244 p. (rus)

ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ КОММУНАЛЬНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДООТВЕДЕНИЯ

Штепа В.Н., Покорный С.Г., Муслимов Э.Н.

Цель. Проанализировать и обосновать функциональные задачи практического использования компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения.

Методы. Системный анализ и функциональное моделирование информационных систем.

Результаты. Подтверждена актуальность и перспективность внедрения информационных систем оценки состояния водоотведения с задачей прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций. Построен полный поточный граф компьютерно-интегрированного комплекса, проанализированы матрицы путей и вспомогательная матрица, что позволило выделить его подсистемы. Обоснованы функциональные задачи компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения в рамках концепта «Цифровой водоканал». Разработаны подходы по включению комплекса в единую государственную систему контроля водных объектов с предотвращением (недопущением) негативных последствий действия чрезвычайных ситуаций.

Область применения исследований. Цифровизация водопроводно-канализационных хозяйств. Инновационные решения противодействия чрезвычайным ситуациям.

Ключевые слова: противодействие чрезвычайным ситуациям, водоотведение, информационные системы, цифровизация, водные объекты, экологическая безопасность.

(Поступила в редакцию 13 ноября 2023 г.)

Введение

В соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций от 25 сентября 2015 г. № 70/1 «Преобразование нашего мира: повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» одной из целей устойчивого развития является обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех. По данным государственного водного кадастра, в 2020 г. изъятие поверхностных вод и добыча подземных вод в Республике Беларусь составили 1326 млн м³, в том числе из поверхностных водных объектов – 529 млн м³, из подземных вод – 797 млн м³. Анализ водопользования за последние пять лет показал, что в целом есть тенденция к его снижению: объем добычи (изъятия) вод сократился на 8,6 %, в том числе подземных вод – на 2,6 %.

В то же время в Республике Беларусь сброс сточных вод (СВ) осуществляется преимущественно в поверхностные водные объекты¹. Его доля составляет 89,8 % от общего объема сброса сточных вод в окружающую среду. При этом за последние пять лет данный показатель снизился на 1,3 % и составляет 1034,5 млн м³, из них 1018,2 млн м³ – в водотоки. В структуре сточных вод наибольший объем занимают нормативно очищенные сточные воды – 692,5 млн м³, или 66,9 % от объема сброса сточных вод в поверхностные водные объекты. Сброс недостаточно очищенных сточных вод в поверхностные водные объекты в 2020 г. составил 2,7 млн м³, или 0,3 % от общего объема сброса сточных вод в поверхностные

¹ Водный кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-3 [Электронный ресурс] // Информационно-правовая система ЭТАЛОН-ONLINE: etalonline.by. – Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=Hk1400149>. – Дата доступа: 12.11.2023.

водные объекты. Для организации сброса сточных вод в окружающую среду применяется 2741 очистное сооружение (ОС), из них на 319 проводится искусственная биологическая очистка с выпуском в поверхностные водные объекты. К 2025 г. планируется обеспечить 79,3 % населения централизованными системами водоотведения (канализации).

При этом системы водоотведения коммунально-промышленных объектов относятся к критической инфраструктуре, поскольку в результате возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС) создаются условия для техногенных загрязнений территорий, развития болезней и эпидемий с потенциальным катастрофическим воздействием на людей и окружающую среду. В соответствии с внутренними нормативными документами предприятий водопроводно-канализационных хозяйств допускаются следующие жесткие временные интервалы в нарушении их работы: не более 8 ч (суммарно) в течение одного месяца, 4 ч одновременно (в том числе при аварии) [1].

Поэтому обоснованно и крайне актуально создать компьютерно-интегрированный комплекс мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения (КИК МиПРЧСВ) с задачей превентивного выявления первой стадии ЧС (начального накопления отклонений от нормального состояния или процесса) и интегрировать его в систему общегосударственного экологического мониторинга водных ресурсов.

Основная часть

Анализ современных научно-практических разработок. Международная стратегия уменьшения опасности бедствий ООН (UNISDR) определяет управление рисками стихийных бедствий как систематический процесс использования управленческих решений, организационных ресурсов, операционных умений и навыков внедрения, стратегий, политик и совершенствования способности к реакции, направленный на уменьшение негативного воздействия опасности и возможности стихийных бедствий [1; 2].

При этом в современных условиях развития промышленной инфраструктуры городов более высокая степень очистки может потребоваться при сбросе больших расходов сточных вод в маломощные или уже сильно загрязненные водоемы, для которых нельзя рассчитывать на их самоочищающуюся способность и которые нередко являются источниками централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. В мире, по сути, достигнут технический и практический предел классической очистки, основанной на традиционных технологических решениях для очистных станций. Таким образом, системы биологической очистки сточных вод должны обеспечивать более глубокое удаление биогенных элементов, поэтому остро стоит вопрос о внедрении современных технологий и методов интенсификации работы ОС с целью более глубокой редукции загрязнителей СВ (особенно по соединениям азота и фосфора).

Вопросам разработки систем информационного обеспечения управления в различных отраслях, в том числе для управления водными ресурсами, посвящен ряд работ отечественных и зарубежных авторов: Р.З. Хамитова, М.А. Шахраманьяна, В.В. Кульбы, В.И. Данилова-Данильяна, В.Г. Пряжинской, М.В. Болгова, Б.Г. Ильасова, В.И. Васильева, Н.И. Юсуповой, Р. Аблера, Э. Кодда, Р. Томлинсона, Д. Мэйдмента, Ш. Шекхара, М. Эгенхофера.

Среди причин аварий на очистных сооружениях исследователями [2; 3] выделяются: – некорректное проектирование: девиация общей нагрузки (колебания качественного и количественного состава) поступающих сточных вод относительно среднесуточной и среднечасовой нагрузки (например, отсутствие подготовки СВ на локальных ОС у потребителей водных ресурсов); неправильно рассчитанная мощность и характеристики оборудования, очистные сооружения не справляются с нагрузкой и выходят из строя; отсутствие учета особых климатических условий района, в котором находится объект;

– некачественное отношение к планированию, обслуживанию и ремонту ОС: для продолжительной и эффективной работы очистных сооружений требуется должное обслуживание всех узлов систем очистки;

– нештатные ситуации природного и техногенного характера: сюда относятся залповые поступления загрязнителей, наводнения, землетрясения и прочие катаклизмы.

В то же время на интенсивность возникновения аварийных ситуаций сетей водоотведения оказывают влияние многие причины и факторы, тесно связанные между собой [4; 5]: качественные показатели сточной жидкости, попадающей в сети; материал трубопроводов; диаметр и толщина стенки труб; негерметичность трубопроводов; нарушение стыковых соединений труб, деформация тела труб; геология; наличие и агрессивность грунтовых вод; срок эксплуатации; глубина заложения; динамические нагрузки на трубопровод; гидравлический режим работы сети водоотведения; образование осадка на внутренней поверхности трубопроводов; засорение сетей водоотведения.

Среди созданных информационных решений можно выделить городскую систему поддержки принятия решений (UDSS) [6] – управление водными ресурсами, где используются датчики, подключенные к инструментальным средствам для сбора данных о параметрах использовании воды. Информация о приборах и средствах записывается по беспроводной сети и отправляется в приложение UDSS на мобильном устройстве пользователя.

В Российской Федерации функционирует автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) – программный продукт, использование которого осуществляется с целью обеспечения процедуры управления водными ресурсами, а также государственного контроля и надзора за их использованием и охраной [7]. В своем роде АИС ГМВО – это интеграция информационных ресурсов в области мониторинга водных объектов.

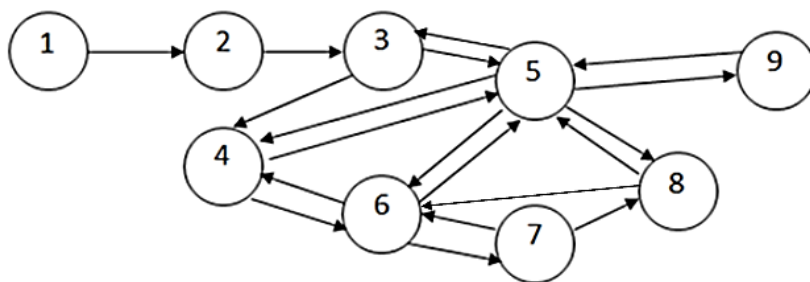
Автоматизированная информационная система «Государственный водный реестр» (АИС ГВР) [7] представляет собой единое информационное пространство, содержащее сведения об имеющихся водных объектах, водопользователях и инфраструктуре. АИС ГВР позволяет автоматически формировать выписки из ГВР, выборки и отчеты. Автоматизированная система «Водопользование» является модулем АИС ГВР. С ее помощью автоматизируются процессы деятельности Федерального агентства водных ресурсов в части предоставления права пользования водными объектами.

Международный программный продукт Aquastat [6] собирает, анализирует и распространяет данные по странам о водопользовании с акцентом на орошаемой земледелии в Африке, Азии, Латинской Америке и странах Карибского бассейна. Цель такой системы – поддерживать развитие сельского хозяйства и сельских районов через рациональное использование водных и земельных ресурсов путем предоставления наиболее точной информации в последовательной и стандартизированной форме.

Вместе с тем существующие научно-прикладные разработки не рассматривают системы водоотведения и водные объекты как единый информационный комплекс, что не позволяет реализовывать прогнозирование рисков ЧС; существующие решения функционируют по принципу постдействия: реагируют на уже сложившуюся негативную ситуацию, что крайне опасно для окружающей природной среды и людей.

Системный анализ компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения. На основе технологического анализа [8–10] составлен полный поточный граф информационно-аналитического продукта, который бы позволил превентивно противодействовать ЧС в геоэкосистемах, где вершинами являются его функциональные элементы, а дугами – связи между ними.

На основе полного поточного графа (рис. 1) составляем матрицу путей (табл. 1). Если на графе есть путь любой длины из вершины i в вершину j , то на пересечении i -й строки и j -го столбца ставится 1, в противном случае – 0.



1 – абоненты системы водоотведения; 2 – модуль импактного мониторинга, промежуточного хранения и передачи данных; 3 – информационно-аналитический модуль обработки результатов импактного мониторинга; 4 – интеллектуальный модуль прогнозирования параметров сети водоотведения, 5 – защищенная база данных (знаний) процессов водоотведения; 6 – программно-аппаратный комплекс автоматизированной системы управления технологическими процессами очистных сооружений; 7 – очистные сооружения; 8 – аккредитованная лаборатория; 9 – внешние системы (например: ГИС, оповещения о ЧС, облачные сервисы)

Рисунок 1. – Полный поточный граф КИК МиПРЧСВ

На основе матрицы путей P строится вспомогательная матрица S (табл. 2), элементы которой вычисляются по формуле $s_{ij} = p_{ij}p_{ji}$.

Таблица 1. – Матрица путей P

		Номер вершины графа, j								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер вершины графа, i	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	0	1	1
	6	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	7	0	0	0	0	0	1	1	1	0
	8	0	0	0	0	1	1	0	1	0
	9	0	0	0	0	1	0	0	0	1

Таблица 2. – Вспомогательная матрица S

		Номер вершины графа, j								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер вершины графа, i	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	4	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	5	0	0	1	1	1	1	0	1	1
	6	0	0	0	1	1	1	1	0	0
	7	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	8	0	0	0	0	1	0	0	1	0
	9	0	0	0	0	1	0	0	0	1

Анализ матрицы S позволяет определить элементы, входящие в состав системы. Если в i -й строке имеется только один ненулевой элемент s_{ii} (на главной диагонали), то такой элемент обоснованно считать отдельной подсистемой. На основе анализа матрицы путей P и полного поточного графа S КИК МиПРЧСВ можно сделать вывод, что все выделенные подсистемы, входящие в такой комплекс, обладают признаками сложной структуры с возможностью очерчения отдельных подкомплексов.

На более детальном проектировании последних необходимо акцентировать внимание при дальнейших исследованиях повышения экологической устойчивости и управляемости водоотведения коммунально-промышленных объектов.

Функциональные задачи компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения. При создании КИК МиПРЧСВ необходимо акцентировать внимание на процессы (рис. 2): получения данных о параметрах водоотведения, в том числе от экспертов предметной области; преобразования данных в информацию; формирования моделей, например, имитационного и продукционного типа; создания прогнозов с дальнейшей передачей их лицам, принимающим решения; итерационности (цикличности) и адаптивности работы КИК МиПРЧСВ.



Рисунок 2. – Последовательность создания и использования компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения

Тогда функции, помимо аналитических и прогностических, которые должен выполнять КИК МиПРЧСВ:

- дистанционное автоматическое считывание информации с приборов учета (ПУ) с заданной периодичностью;
- архивирование данных текущих значений, а также данных часовых и суточных архивов, формируемых ПУ;
- предоставление текущей информации о параметрах по запросу диспетчера;
- формирование отчетных форм о потреблении ресурсов за заданный период (на основании текущих данных и архивов энергонезависимой памяти ПУ);
- контроль состояния объектов системы водоотведения;
- графическое сообщение о заданных нештатных ситуациях;
- разделение объема предоставления информации и сведений о нештатных ситуациях, выявленных ПУ по группам пользователей;
- закрытый доступ к данным на автоматизированных рабочих местах;
- визуальное представление схемы потребления и производства ресурсов для каждого источника (например, канализационная насосная станция, контрольный колодец) и суммарно по выбранной группе источников.

Таким образом, комплекс можно будет интегрировать в концепт «Цифровой водоканал», с дополнительным охватом задач водоснабжения [11] (рис. 3).

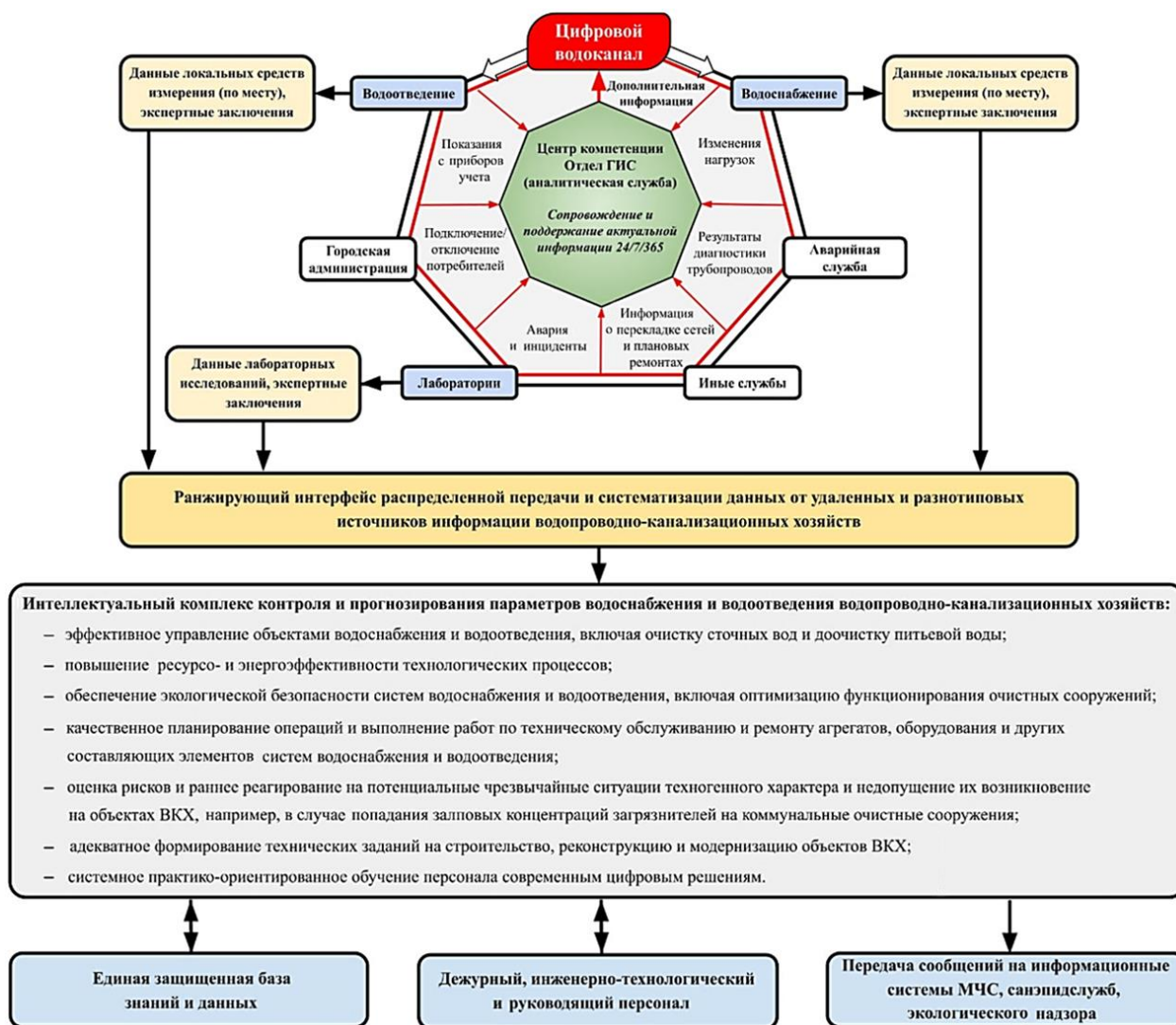


Рисунок 3. – Схема использования компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения в рамках концепта «Цифровой водоканал» (разработчик концепта – ООО «ПроГИС»)

Включение компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения в распределенную систему мониторинга водных объектов. Цифровые модели КИК МиПРЧСВ и аппаратные решения, при включении их в информационное поле общегосударственных систем контроля состояния водных объектов, обеспечат инструментальный и аналитический контроль и реализуют единые задачи:

- учет в открытых водоемах и каналах, сбор, контроль, прогноз, хранение и визуализация показаний расхода;
- гидрологический и гидрологический мониторинг как контроль водохозяйственной деятельности, непрерывный мониторинг и сигнализация водоносных горизонтов, контроль запасов подземных вод;
- аналитический прогноз состояния водных ресурсов;
- анализ и предупреждение о возникновении аварийных ситуаций и угрозы ЧС;
- интерактивные диспетчерские ГИС-системы оперативного и достоверного состояния сетей и объектов для работы ситуационных центров, аварийных служб и диспетчерских;
- расчет и прогнозирование истощений, потенциального объема, построение 3D-модели ГИС зон ЧС;

– анализ и прогнозирование с использованием искусственного интеллекта экологической ситуации, включая имитационное моделирование рисков ЧС;

– превентивное планирование средств и действий по недопущению наступления ЧС на водных объектах с использованием биотехнологических и электротехнологических разработок [12].

Компьютерно-интегрированный комплекс должен обеспечить защищенную интерактивную модель безопасного доступа к информации систем водного хозяйства, содержащей государственную тайну, не используя операционную систему Windows.

Научно-обоснованное объединение интеллектуальных информационных продуктивных и технологических разработок VI-технологического уклада позволит создать единый информационно-технологический комплекс (ЕИТК) прогнозирования и превентивного противодействия (недопущения) ЧС на водных объектах.

Тогда целесообразно реализовать следующий укрупненный алгоритм осуществления мер по превентивному противодействию (недопущению) ЧС на водных объектах с использованием КИК МиПРЧСВ:

1. Системный анализ и математическое моделирование водохозяйственного комплекса региона, имитационное моделирование ситуаций возникновения ЧС – для разработки технического задания по созданию ЕИТК.

2. Проектирование и создание ЕИТК: синтез распределенной интеллектуальной информационной системы мониторинга и прогнозирования рисков ЧС, куда КИК МиПРЧСВ войдет отдельной подсистемой, с параллельной установкой на наиболее экологически опасных объектах (например, полигоны хранения промышленно-коммунальных отходов, иловые поля очистных сооружений, специфические производства) технологических агрегатов очистки водных растворов, нацеленных на противодействие возникновению ЧС;

3. Адаптивное штатное функционирование ЕИТК, формирование базы данных и знаний водохозяйственного комплекса региона с оперативным контролем и прогнозом рисков ЧС; дополнение (корректировка) рабочих аспектов использования технологических комплексов очистки водных растворов (например, расчет запасов реагентов, локализацию места (объекта) расположения оборудования, уточнение перечня и (или) значений загрязнителей воды).

Заключение

Ключевыми задачами при создании компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения являются: получение данных о процессах водоотведения, в том числе от экспертов предметной области; преобразование данных в информацию; формирование моделей, например, имитационного и производственного типа; создание прогнозов с дальнейшей передачей их лицам, принимающим решения; итерационность (цикличность) и адаптивность работы.

В рамках концепта «Цифровой водоканал» КИК МиПРЧСВ целесообразно использовать для выполнения задач технологического анализа и прогнозирования, в том числе рисков ЧС.

Интеграция КИК МиПРЧСВ в информационное поле общегосударственных систем контроля состояния водных объектов обеспечит научно-обоснованное объединение интеллектуально-аналитических и технологических продуктов VI технологического уклада, что позволит создать единый информационно-технологический комплекс прогнозирования и превентивного противодействия (недопущения) ЧС на водных объектах.

Дальнейшие исследования перспективно нацелить на разработку концепции построения математических моделей отдельных подсистем компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барашкова, П.С. Информационные системы в области управления водными ресурсами [Электронный ресурс] / П.С. Барашкова, М.Д. Коровина, А.А. Шавва // ИТпортал. – 2018. – № 1 (17). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-sistemy-v-oblasti-upravleniya-vodnymi-resursami>. – Дата доступа: 12.11.2023. – EDN: RUFOJA.
2. Chen, Y. GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment / Y. Chen. [et al.]. – UK, Wallingford: IAHS Press, 2004. – 422 p. – ISBN 1-901502-72-4.
3. Орлов, Н.В. Геоинформационные системы в управлении водными ресурсами / Н.В. Орлов // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XXXII Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 25 ноября 2019 г. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2019. – С. 58–60. – EDN: QCBKGI.
4. Crosier, S. ArcGIS 9: Getting started with ArcGIS / S. Crosier. – ESRI, 2004. – 265 p. – ISBN 1589480910.
5. Date, C.J. Moving forward with relational [interview by David Kalman] / C.J. Date // DBMS. – 1994. – Vol. 7, No. 10. – Pp. 62–74.
6. Magiera, E. Integrated Support System for Efficient Water Usage and Resources Management (ISSEWATUS) / E. Magiera, W. Froelich // Procedia Engineering. – 2014. – Vol. 89. – P. 1066–1072. – DOI: 10.1016/j.proeng.2014.11.226.
7. Рожко, В.Н. Опыт внедрения и перспективные направления развития автоматизированной системы управления технологическим процессом водоснабжения и водоотведения / В.Н. Рожко // Наука и технологии – ЖКХ: научно-информационный бюллетень / Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси. – 2019. – № 1. – С. 48–55.
8. Гончаров, Ф.І. Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислової та харчової індустрій / Ф.І. Гончаров, В.М. Штепа // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. пр. / Укр. наук.-досл. ін-т прогноз. та випробув. техн. і технол. для с.-г. вир-ва ім. Леоніда Погорілого. – Дослідницьке (Київ. обл.), 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2. – С. 97–104.
9. Штепа, В.Н. Обоснование и схемы использования ранжирующих измерительных систем экологического мониторинга и интеллектуального анализа режимов водоотведения / В.Н. Штепа, Н.Ю. Золотых, С.Ю. Киреев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки: научный журнал. – 2023. – № 1. – С. 94–103. – DOI: 10.52928/2070-1683-2023-33-1-94-103. – EDN: RXIJZE.
10. Штепа, В.Н. Управление эколого-энергетической эффективностью водопроводно-канализационных хозяйств / В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец, Н.Ю. Золотых // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве: сборник трудов / Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси; под общ. ред. В.О. Китикова. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 209–215.
11. Штепа, В.Н. Использование виртуальной меры энергоэффективности водоочистки при цифровизации водопроводно-канализационного хозяйства / В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец, Я.Ю. Ёрш // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Шлядинские чтения – 2022): материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. с элементами науч. шк. и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых, Пенза, 24–26 окт. 2022 г. – Пенза: ПГУ, 2022. – С. 182–186. – EDN: BKQOTS.
12. Штепа, В.Н. Инновационные технологии очистки многокомпонентных водных растворов с противодействием чрезвычайным ситуациям техногенного происхождения / В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец // Природнае асяроддзе Палесся і перспектывы развіцця: зборнік навуковых прац X міжнароднай навуковай канферэнцыі «Природнае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання», Брэст, 14–16 верасня 2022 г. / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі; рэдкал. М.В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст: Альтернатива, 2022. – Вып. 14. – С. 184–187.

Подходы к созданию и использованию компьютерно-интегрированного комплекса мониторинга и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций на объектах коммунально-промышленного водоотведения

Approaches to the creation and use of computer-integrated complex for monitoring and forecasting of emergency risks at municipal and industrial wastewater disposal facilities

Штепа Владимир Николаевич

доктор технических наук, доцент

Учреждение образования «Полесский государственный университет»,
проректор по научной работе

Адрес: ул. Пушкина, 4,
225710, г. Пинск, Беларусь

Email: tpoless@gmail.com

SPIN-код: 2834-2138

Vladimir N. Shtepa

Grand PhD in Technical Sciences,
Associate Professor

Educational Institution
«Polesky State University»,
Vice Rector for Research

Address: Pushkina str., 4,
225710, Pinsk, Belarus

Email: tpoless@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2796-3144

Покорный Сергей Геннадьевич

Общество с ограниченной
ответственностью «АТМ»,
директор

Адрес: ул. Балтийская, 14,
125315, г. Москва, Россия

Email: info@1sim.ru

Sergey G. Pokornyy

Limited Liability Company «АТМ»,
Director

Address: Baltiyskaya str., 14,
125315, Moscow, Russia

Email: info@1sim.ru

Муслимов Эдуард Ниязович

Инженер-консультант по разработке
экспертных систем

Адрес: г. Минск, Беларусь

Email: muslimoven@mail.ru

Eduard N. Muslimov

Consulting engineer
for expert systems development

Address: Minsk, Belarus

Email: muslimoven@mail.ru

APPROACHES TO THE CREATION AND USE OF COMPUTER-INTEGRATED COMPLEX FOR MONITORING AND FORECASTING EMERGENCY RISKS AT MUNICIPAL AND INDUSTRIAL WASTEWATER DISPOSAL FACILITIES

Shtepa V.N., Pokornyy S.G., Muslimov E.N.

Purpose. To analyze and justify the functional tasks of practical use of computer-integrated complex for monitoring and forecasting the emergency risks at municipal and industrial wastewater disposal facilities.

Methods. System analysis and functional modeling of information systems.

Findings. The relevance and prospects of the introducing information systems for assessing the state wastewater disposal with the task of predicting the emergency risks have been confirmed. The complete flow graph of computer-integrated complex was constructed, path matrices and an auxiliary matrix were analyzed, which made it possible to identify the subsystems of this complex. The functional tasks of the computer-integrated complex for monitoring and forecasting the emergency risks at municipal and industrial wastewater disposal facilities within the framework of the «Digital Water Utility» concept are substantiated. The approaches have been developed to include the complex in unified state system for monitoring water bodies with the prevention (avoidance) of negative consequences of emergency situations.

Application field of research. Digitalization of water supply and sewage facilities. Innovative solutions of counteraction to emergencies.

Keywords: counteraction to emergencies, waste water disposal, information systems, digitalization, water bodies, environmental safety.

(The date of submitting: November 13, 2023)

REFERENCES

1. Barashkova, P.S., Korovina, M.D., Shavva, A.A. Informatsionnye sistemy v oblasti upravleniya vodnymi resursami [Information systems in the field of water resources management]. *ITportal*, 2018. No 1 (17). Url: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-sistemy-v-oblasti-upravleniya-vodnymi-resursami>. (rus). EDN: RUFOJA.
2. Chen Yangbo, Takara Kaoru, Cluckie Ian, Smedt F. *GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment*. IAHS Press, Wallingford, UK, 2004. 422 p. ISBN 1-901502-72-4.
3. Orlov N.V. Geoinformatsionnye sistemy v upravlenii vodnymi resursami [Geoinformation systems in water resources management]. *Proc. XXXII Intern. scientific-practical. conf. «Sovremennye tekhnologii: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii»*, Penza, November 25, 2019. Penza: Nauka i Prosveshchenie, 2019. Pp. 58–60. (rus). EDN: QCBKGJ.
4. Crosier S. *ArcGIS 9: Getting started with ArcGIS*. ESRI, 2004. 265 p. ISBN 1589480910.
5. Date C.J. Moving forward with relational [interview by David Kalman]. *DBMS*, 1994. Vol. 7, No. 10. Pp. 62–74.
6. Magiera E., Froelich W. Integrated Support System for Efficient Water Usage and Resources Management (ISS-EWATUS). *Procedia Engineering*, 2014. Vol. 89. Pp. 1066–1072. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.11.226.
7. Rozhko V.N. Opyt vnedreniya i perspektivnye napravleniya razvitiya avtomatizirovannoy sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessom vodopostavki i vodoотвождения [Experience of implementation and promising directions of development of an automated process control system for water supply and water disposal]. *Science and Technology – Housing and Communal Services: scientific and information bulletin*. Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus, 2019. No. 1. Pp. 48–55. (rus)
8. Goncharov, F.I., Shtepa V.M. Metodolohiia pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky ob'ektiv ahropromyslovoi ta kharchovoi industrii [Methodology for improving the environmental safety of agro-industrial and food industry facilities]. *Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy: zbirnyk naukovykh prats* [Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for Ukrainian agriculture: collection of scientific papers]. Doslidnytske: Ukrainian research institute of forecasting and testing the equipment and technologies for agricultural production named after Leonid Pogorelov, 2012. No. 16 (30), book 2. Pp. 97–104. Url: <https://rep.polessu.by/handle/123456789/18046>. (ukr)

9. Shtepa, V.N. Zolotyh, N.Yu., Kireev, S.Yu. Obosnovanie i skhemy ispol'zovaniya ranzhiruyushchikh izmeritel'nykh sistem ekologicheskogo monitoringa i intellektual'nogo analiza rezhimov vodootvedeniya [Rationale and schemes use ranking measuring systems of environmental monitoring and intelligent analysis water disposal modes]. *Herald of Polotsk State University. Series F. Civil engineering. Applied sciences*, 2023. No. 1. Pp. 94–103. (rus). DOI: 10.52928/2070-1683-2023-33-1-94-103. EDN: RXIJZE.
10. Shtepa V.N., Shikunets A.B., Zolotyh N.Yu. Upravlenie ekologo-energeticheskoy effektivnost'yu vodoprovodno-kanalizatsionnykh khozyaystv [Management of ecological and energy efficiency of water supply and sewerage farms]. *Nauchno-tekhnicheskiiy progress v zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve* [Scientific and technical progress in housing and communal services]: collection of works. Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk: BSTU, 2022. Pp. 209–215. Url: <https://rep.polessu.by/handle/123456789/27285>. (rus)
11. Shtepa, V.N. Shikunets, A.B., Ersh, Ya.Yu. Ispol'zovanie virtual'noy mery energoeffektivnosti vodoochistki pri tsifrovizatsii vodoprovodno-kanalizatsionnogo khozyaystva [The use of a virtual measure of water treatment energy efficiency while the digitalization of water supply and sewerage facilities]. *Proc. of XIV Intern. scientific-technical conf. with elements of scientific school and competition of research works for students and young scientists «Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noj informacii (Shlyandinskie chteniya – 2022)»*, Penza, Oktober 24–26, 2022. Penza State University, 2022. Pp. 182–186. (rus). EDN: BKQOTC.
12. Shtepa, V.N. Shikunets A.B. Innovatsionnye tekhnologii ochistki mnogokomponentnykh vodnykh rastvorov s protivodeystviem chrezvychaynym situatsiyam tekhnogennogo proiskhozhdeniya [Innovative technologies for purification of multicomponent aqueous solutions with counteraction to emergencies of anthropogenic origin]. In book: *Pryrodnaye asyaroddzye Palyessya i pyerspyektyvy razvitstsya* [Natural environment of Polesie and prospects of development]: *Proc. of X Intern. scientific conf. «Pryrodnaye asyaroddzye Palyessya i navukova-praktychnyya aspekty ratsyyanal'naha resursakarystannya»*, Brest, September 14–16, 2022. Polesie Agrarian-Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus. Brest: Al'ternativa, 2022. Pp. 184–187. Url: <https://rep.polessu.by/handle/123456789/26819>. (rus)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИНЕРЦИОННЫХ НАГРУЗОК В КОНСТРУКЦИЯХ ЦИСТЕРН ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ДВИЖЕНИИ К МЕСТУ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Ковтун В.А., Короткевич С.Г.

Цель. Экспериментальное исследование влияния режимов движения пожарных автомобилей на уровень значений ускорения, возникающего в конструкциях цистерн под действием инерционных нагрузок. Для достижения поставленной цели проводимая работа включала выбор необходимого измерительного оборудования, определение мест установки датчиков и условий проведения эксперимента, обработку полученных экспериментальных данных.

Методы. При проведении исследований использовано современное измерительное оборудование, включающее анализатор шума и вибрации Larson-Davis 2900, пьезоэлектрические акселерометры типа 352C18. Полученные экспериментальные результаты измерений подлежали обработке с использованием математических методов анализа для учета погрешностей измерений.

Результаты. Представлены результаты экспериментальных исследований общего уровня ускорения, возникающего на стенках и дне резервуара конструкций цистерн при различных режимах движения пожарных автомобилей. В результате обработки данных получены зависимости, связывающие параметры (скорость, ускорение, торможение, поворот) и условия (вид дорожного покрытия), характеризующие особенности режимов движения пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317, со значениями ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкциях цистерн объемом 5, 8 и 10 м³. Полученные максимальные значения ускорения, которые составляют от 7,4 до 25,2 м/с², свидетельствуют о значительных инерционных нагрузках, возникающих в конструкциях цистерн, и в значительной мере зависят от режимов движения пожарных автомобилей и дорожного покрытия. Полученные данные подтверждают, что пожарные автоцистерны эксплуатируются в более тяжелых условиях, по сравнению с автомобилями иного типа.

Область применения исследований. Пожарные аварийно-спасательные подразделения, производственно-технические центры, промышленные предприятия и высшие учебные заведения.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, цистерна, режим движения, датчик, ускорение.

(Поступила в редакцию 8 января 2023 г.)

Введение

Оценка прочности технических конструкций является основой для определения их остаточного ресурса, работоспособности и безопасной эксплуатации. При проектировании и эксплуатации автотранспорта для точной оценки нагруженности элементов и узлов конструкций экспериментально определяют механические характеристики воздействия, которому подвергаются исследуемые объекты. Процесс перевозки жидких грузов характеризуется большими перемещениями центра масс груза в цистерне. Это обусловлено, в первую очередь ежедневной эксплуатацией пожарных автомобилей в режимах «ускорение», «торможение», «поворот» [1]. В соответствии с СТБ 2511-2017¹ испытаниям подвергают технически исправный пожарный автомобиль при полной массе. Пробеговые испытания пожарного автомобиля должны проводиться при нормальных значениях внешней

¹ Автомобили пожарные основные. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2511-2017. – Введ. 31.07.17 (с отменой НПБ 101-2005). – Минск: Госстандарт Респ. Беларусь, 2017. – 52 с.

среды², при этом приводится операционная карта городского движения пожарного автомобиля при выезде «по тревоге», которая включает такие режимы движения, как разгон до скорости 40 км/ч, разгон до скорости 50 км/ч, торможение до скорости 35 км/ч, разгон до скорости 65 км/ч, замедление двигателем до скорости 30 км/ч, разгон до скорости 70 км/ч, торможение до полной остановки. В соответствии с ГОСТ 22576-90³ измерения проводят на твердом гладком чистом и сухом участке дороги с хорошим сцеплением. Анализ существующих испытаний пожарных автомобилей показал, что рассматриваемые режимы движения не отражают в должной мере реальных условий их эксплуатации, например, ввиду возникающих пожаров в сельской местности и природных экосистемах, в связи с чем необходимо дополнительно рассматривать режим движения по проселочным и грунтовым дорогам. При этом операционная карта городского движения для пожарного автомобиля в режиме выезда «по тревоге» не учитывает наиболее нагруженных режимов движения, но встречающихся при эксплуатации: экстренное торможение до полной остановки пожарного автомобиля и вхождение в поворот на предельно допустимой скорости. В данных условиях конструкции цистерн испытывают значительные инерционные нагрузки, передаваемые через раму шасси и от перевозимой жидкости. Таким образом, целью работы является экспериментальное исследование влияния режимов движения пожарных автомобилей на уровень значений ускорения, возникающего в конструкциях цистерн под действием инерционных нагрузок.

Вибродиагностика является современным и точным средством контроля состояния сложных технических систем, которые подвержены воздействиям множества факторов в различных условиях эксплуатации. К таким в первую очередь относится автомобильный транспорт [2–4]. В общем случае в целях вибрационного контроля состояния машин используют акселерометры, выходной сигнал которых подвергается соответствующему преобразованию для получения требуемой величины⁴. Акселерометры являются датчиками инерционного типа. Их выходной сигнал пропорционален ускорению поверхности, на которой они установлены. Выбор датчика зависит от условий его применения. Проведенный анализ показал, что применение пьезоэлектрических виброизмерительных преобразователей (акселерометров) позволит оценить величину максимальных значений ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкциях цистерн пожарных автомобилей в зависимости от различных режимов движения. Для проведения экспериментальных исследований выбраны однокомпонентные пьезоэлектрические акселерометры типа 352С18. В акселерометрах серии 352 в качестве пьезоэлемента используется пьезо-керамика⁵. Согласно данным периодической аттестации датчиков погрешность по коэффициенту преобразования не превышает 5 %. При обработке данных, получаемых от акселерометров, использовался анализатор шума и вибрации Larson-Davis 2900.

Таким образом, целью работы является экспериментальное исследование влияния режимов движения пожарных автомобилей на уровень инерционных нагрузок, возникающих в конструкциях цистерн. В качестве объекта исследований выбраны наиболее распространенные модели цистерн объемом 5 м³ пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337, а также 8 и 10 м³ на шасси МАЗ-6317.

² Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды: ГОСТ 15150-1969. – Введ. 01.01.71. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1971. – 57 с.

³ Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний: ГОСТ 22576-90. – Введ. 01.01.92. – Минск: Гос. комитет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1992. – 15 с.

⁴ Вибрация и удар. Датчики инерционного типа для измерений вибрации и удара. Устанавливаемые характеристики: ГОСТ ИСО 8042-2002. – Введ. 01.04.08. – М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 8 с.

⁵ Вибропреобразователи компании GLOBALTEST [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://globaltest.ru/ru/katalog/datchiki/vibropreobrazovateli/uskoreniya/>. – Дата доступа: 17.11.2019.

Основная часть

Методика проведения исследований. План проведения эксперимента включал следующие мероприятия:

- подготовку пожарного автомобиля;
- подготовку измерительного оборудования;
- определение мест установки датчиков и условий проведения эксперимента;
- проведение трех циклов измерения ускорения, возникающего в конструкции цистерны под действием инерционных нагрузок при различных режимах движения пожарного автомобиля;
- анализ полученных результатов измерений.

Принятая методика исследований была ориентирована на экономию материальных средств, необходимых для проведения экспериментов. Подготовка пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317 включала выведение из боевого расчета, а также для цистерны объемом 5 м³ частичную разборку путем снятия фальш-панелей (рис. 1а). При проведении исследований использовались четыре пьезоэлектрических акселерометра. Поверхность элементов конструкций, на которую устанавливаются датчик, была проверена на гладкость и наличие загрязнений, в отдельных местах подвергнута дополнительной шлифовке. Исследуемая поверхность цистерны не обладает магнитными свойствами и ее нельзя подвергать сверлению, поэтому для надежности крепления датчика наиболее эффективен способ установки на специальный клей на основе цианокриата. На рисунке 1б показан выбранный метод крепления акселерометра к поверхности конструкции цистерны пожарного автомобиля. Расхождение между осью чувствительности акселерометра и направлением измерений должно быть сведено к минимуму, в противном случае это вызовет появление погрешности измерений, что обусловлено поперечной чувствительностью акселерометра. Особенно большими эти погрешности будут в случае, когда колебания в поперечном направлении значительно превышают колебания в направлении оси чувствительности. При установке датчика на стенку цистерны и фиксации кабеля необходимо учитывать так называемый кабельный эффект, т.к. при движении кабель наводит на вход усилителя электродвижущую силу, возникающую в результате трения изоляции при движении автомобиля. Выбранным способом защиты являлось радиальное соединение кабеля с акселерометром, установленным на поверхности конструкции.

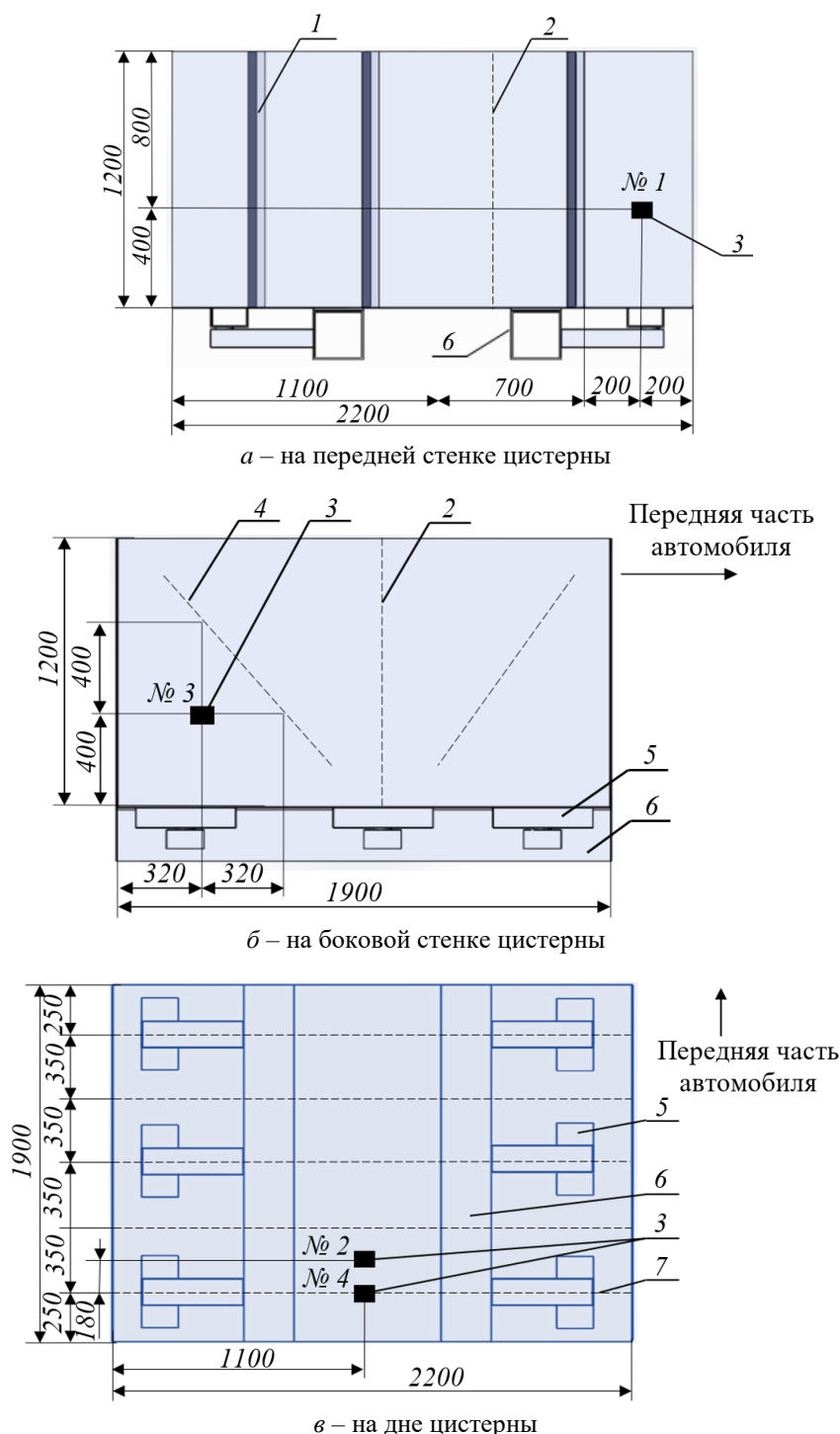


1 – поверхность конструкции; 2 – отсутствие натяжения кабеля; 3 – место фиксации кабеля на поверхности
Рисунок 1. – Общий вид надстройки пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 без фальш-панели цистерны (а), а также способ крепления датчика на стенку цистерны и фиксации кабеля (б)

Работа измерительного оборудования осуществлялась при температуре внешней среды 22 °С. При подготовке измерительного комплекса Larson-Davis 2900 выполнена установка нулевого значения ускорения, а также нахождение диапазона изменения значений исследуемого параметра. Испытания были сведены к измерению общего уровня ускорения,

возникающего в конструкции цистерны при различных параметрах и условиях движения пожарных автомобилей. На измерительном комплексе устанавливались следующие настройки: усреднение сигнала – экспоненциальное, время усреднения 1 с, вид оконной функции быстрого преобразования Фурье – окно Хеннинга.

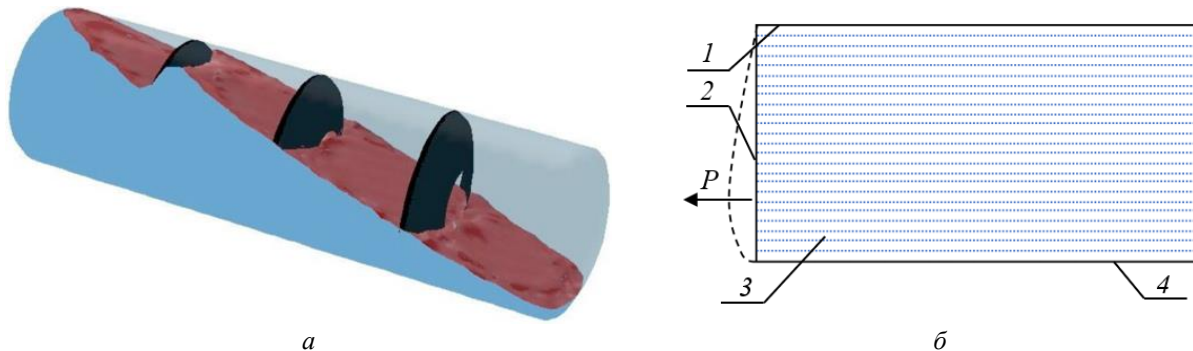
На рисунке 2 представлены места установки четырех акселерометров на стенках и дне конструкции цистерны объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337.



- 1 – ребра жесткости; 2 – тавровое соединение волнолома и боковой стенки;
- 3 – расположение акселерометров; 4 – внутренние ребра жесткости; 5 – кронштейн;
- 6 – лонжерон; 7 – поперечные профили П-образного сечения внутри цистерны

Рисунок 2. – Схема расположения акселерометров на цистерне объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 (размеры в мм)

Датчики 1, 2, 3 устанавливались снаружи конструкции цистерны на равноудаленном расстоянии от сварных швов, ребер жесткости и иных конструктивных элементов, влияющих на жесткость цистерны а также с учетом моделей (рис. 3а) [1; 5–8] и схем (рис. 3б) гидравлического нагружения. Так, согласно представленной схеме гидравлического нагружения конструкции цистерны, устанавливать датчики на ее передней и боковой стенках следует на высоте 1/3 от дна цистерны. Это необходимо для установления максимального уровня возникающего ускорения в момент торможения от действия гидравлического нагружения жидкости. Место установки датчика у правого края, отвечающего за учет влияния колебаний элементов конструкции в момент нагружения, зависит от расположения внутри волноломов, а также ребер жесткости на передней стенке.



1 – крыша; 2 – передняя стенка; 3 – перевозимая жидкость; 4 – дно; P – давление жидкости, Па
Рисунок 3. – Модель распределения жидкого груза в конструкции резервуара при уровне заполнения 60 % в момент торможения автомобиля (а) [7] и схема прогиба стенки цистерны под действием инерционных нагрузок (б)

Для наиболее полного представления о величине регистрируемых измерительным комплексом ускорений, характеризующих действующие эксплуатационные нагрузки, на основании анализа условий работы пожарных автомобилей, нормативно-технической документации и особенностей эксплуатации пожарной аварийно-спасательной техники на территории Республики Беларусь определены характерные эксплуатационные режимы, соответствующие реальным условиям следования автомобиля к месту возникновения чрезвычайной ситуации. Режим 1 включает движение по прямому участку асфальтированной дороги с максимально допустимой скоростью 50–70 км/ч. Режим 2 учитывает эксплуатацию пожарного автомобиля в сельской местности и включает движение по грунтовым дорогам категории VI-б⁶ с допустимой скоростью 20–30 км/ч⁷. Анализ нагрузок на конструкцию цистерн, возникающих в городских условиях движения пожарного автомобиля в режимах «ускорение», «торможение», «поворот», представлен в режимах 3 и 4. Режим 3 включает движение по прямому участку асфальтированной дороги с последующим замедлением двигателем до максимально допустимой скорости для вхождения в поворот под углом 90°, а режим 4 – ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 км/ч и экстренное торможение до полной остановки пожарного автомобиля [9].

Эксперимент проводился при полностью заполненной водой цистерне, как требует специфика работы пожарного автомобиля. Боевым уставом органов и подразделений по ЧС Республики Беларусь по организации тушения пожаров⁸ определено, что «заправка автоцистерн

⁶ Автомобильные дороги: СН 3.03.04-2019. – Введ. 26.12.19 (с отменой ТКП 45-3.03-19-2006 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 55 с.

⁷ Внутрихозяйственные автомобильные дороги в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях и организациях: СП 99.13330.2016. – Введ. 01.07.17. – М.: Стандартинформ, 2017. – 58 с.

⁸ Боевой устав органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь по организации тушения пожаров [Электронный ресурс]: приказ М-ва по чрезв. ситуациям Респ. Беларусь, 4 янв. 2021 г., № 1. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/zakonodatelstvo-v-sfere-deyatelnosti-mchs/npa-mchs/prikazy/>. – Дата доступа: 25.05.2021.

водой после ликвидации пожара производится на ближайших к пожару водоисточниках, обеспечивающих заправку в кратчайшие сроки». Обоснование длины испытательных участков для характерных режимов движения пожарного автомобиля представлено в виде схемы на рисунке 4. При этом каждый участок можно условно разбить на 3 отрезка пути движения пожарного автомобиля, для которых устанавливается определенная последовательность действий.

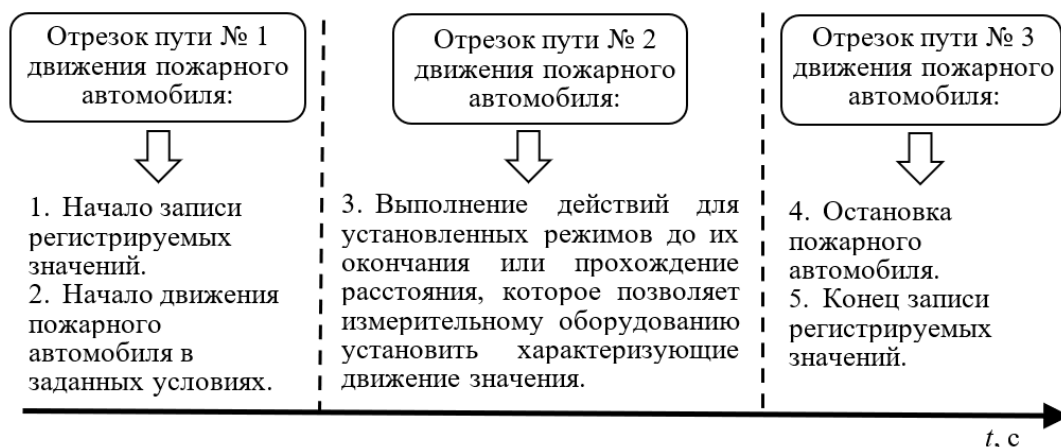


Рисунок 4. – Схематическое представление последовательности действий на каждом отрезке испытательного участка при движении пожарного автомобиля в характерных режимах

В результате исследований фиксируются зависимости получаемых значений ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкциях цистерн, от времени движения пожарного автомобиля.

Результаты исследований. Эксперименты в каждом режиме движения пожарных автомобилей проводились с повторением по 3 раза. В общей сложности проведено по 12 циклов измерений для каждой марки автомобиля. В качестве примера на рисунке 5 представлены результаты зафиксированных значений ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкции цистерны объемом 5 м^3 при движении пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337, которые были получены после обработки данных измерительным комплексом Larson-Davis 2900.

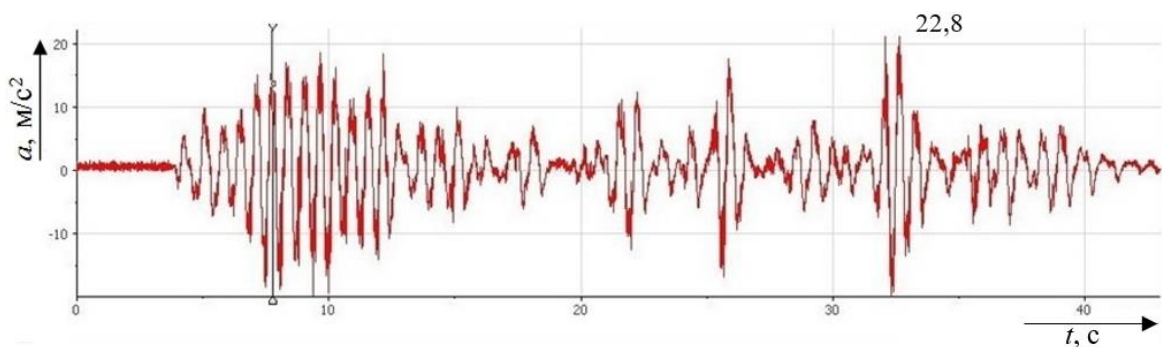


Рисунок 5. – Зависимость возникающих значений ускорения от времени движения пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч, зафиксированных датчиком 2 при проведении эксперимента 4

На передней и боковой стенках датчики 1 и 3 измеряли продольные и поперечные значения ускорения соответственно, возникающие под действием инерционных нагрузок в конструкции, на дне конструкции датчики 2 и 4 проводили измерения в вертикальном направлении. Полный перечень проведенных испытаний и полученные максимальные значения ускорения для пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 с цистерной объемом 5 м^3 представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Параметры и условия испытаний, а также зафиксированные максимальные значения ускорения, m/c^2

№ эксп-та	№ режима движения	№ датчика	Максимальные значения ускорения a_{max} , m/c^2
1	1. Движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч	1	7,3
		2	6,6
		3	6,2
		4	6,3
2	1. Движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч	1	7,7
		2	6,2
		3	6,3
		4	6,8
3	1. Движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч	1	7,2
		2	5,7
		3	5,9
		4	6,7
4	2. Движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч	1	14,7
		2	22,8
		3	15,5
		4	21,7
5	2. Движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч	1	14,1
		2	22,5
		3	15,2
		4	22,2
6	2. Движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч	1	14,3
		2	21,5
		3	15,7
		4	21,4
7	3. Движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч с последующим замедлением двигателем до скорости 10–15 км/ч для вхождения в левый поворот на 90°	1	17,2
		2	10,0
		3	17,7
		4	11,5
8	3. Движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч с последующим замедлением двигателем до скорости 10–15 км/ч для вхождения в левый поворот на 90°	1	16,8
		2	9,9
		3	17,4
		4	10,3
9	3. Движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч с последующим замедлением двигателем до скорости 10–15 км/ч для вхождения в левый поворот на 90°	1	16,1
		2	10,5
		3	18,5
		4	10,7
10	4. Ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 ± 2 км/ч и экстренное торможение до полной остановки	1	16,1
		2	10,2
		3	15,7
		4	11,7
11	4. Ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 ± 2 км/ч и экстренное торможение до полной остановки	1	15,4
		2	10,6
		3	14,9
		4	10,9
12	4. Ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 ± 2 км/ч и экстренное торможение до полной остановки	1	15,8
		2	10,8
		3	15,6
		4	11,5

Длина испытательных участков для режима 1 составляла 850–900 м; для режима 2 – 480–500 м; для режима 3 – 280–300 м; для режима 4 – 100–110 м (рис. 6).



а – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч, режим 1



б – движение по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч, режим 2



в – движение по прямому участку асфальтированной дороги со скоростью 50 ± 2 км/ч с последующим замедлением до скорости 10–15 км/ч для вхождения в левый поворот на 90° , режим 3



г – ускорение с места по прямому участку асфальтированной дороги до скорости 30 ± 2 км/ч и экстренное торможение до полной остановки, режим 4

Рисунок 6. – Режимы исследования значений ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкции цистерны объемом 5 м^3 пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337

Обработка полученных экспериментальных данных проведена в соответствии с ГОСТ 8.207-76⁹, ГОСТ Р 8.736-2011¹⁰ и [10]. За результат измерения принято среднее арифметическое от полученных максимальных значений ускорения, в которые предварительно введены поправки для исключения систематических погрешностей.

В таблице 2 представлены максимальные значения ускорения, полученные при испытаниях цистерны объемом 5 м^3 пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 после обработки экспериментальных данных.

⁹ Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений: ГОСТ 8.207-76. – Введ. 01.01.77. – М.: Пост. Гос. ком. стандартов Сов. Мин. СССР, 1976. – 8 с.

¹⁰ Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: ГОСТ Р 8.736-2011. – Введ. 13.12.11. – М.: Федеральное агентство по технич. регулированию и метрологии, 2011. – 23 с.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют, что наибольшие значения ускорения, возникающего в конструкции цистерны объемом 5 м³ под действием инерционных нагрузок при движении пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337, возникают при установке акселерометров на место, определенное путем проведения замеров на равноудаленное расстояние от сварных швов, ребер жесткости и иных конструктивных элементов, влияющих на жесткость цистерны.

Таблица 2. – Максимальные значения ускорения, зафиксированные в конструкции цистерны объемом 5 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-5337 во время испытаний

Режим движения пожарного автомобиля	Максимальные значения ускорения a_{max} , м/с ²			
	датчик 1: вертикальная установка	датчик 2: горизонтальная установка	датчик 3: вертикальная установка	датчик 4: горизонтальная установка
Режим 1	7,4 ± 0,7	6,2 ± 0,5	6,1 ± 0,3	6,6 ± 0,5
Режим 2	14,4 ± 1,0	22,3 ± 1,7	15,3 ± 1,1	21,8 ± 1,5
Режим 3	17,4 ± 1,3	10,2 ± 0,9	17,9 ± 1,4	8,8 ± 0,7
Режим 4	15,8 ± 1,2	9,7 ± 1,1	15,6 ± 0,8	9,9 ± 0,4

Аналогичные исследования проведены с использованием пожарных автомобилей на шасси МАЗ-6317 с конструкцией цистерны объемом 8 и 10 м³. Сравнительный анализ результатов исследований показал, что наименьшие значения ускорения возникают при движении пожарного автомобиля по прямому участку асфальтированной дороги. Фиксируемые датчиками значения ускорения, возникающего под действием инерционных нагрузок в конструкции цистерны при движении в режиме 1, обусловлены перепадом скорости движения автомобиля 48–52 км/ч и смещением центра тяжести жидкости. При движении пожарного автомобиля по грунтовой дороге категории VI-б (режим 2) зафиксированы наибольшие значения ускорения, величина которых при проведении эксперимента возрастала в момент движения автомобиля по дорожным неровностям. Испытания при движении пожарного автомобиля в режиме 3 показали, что максимальные значения ускорения зафиксированы на боковой стенке цистерны, противоположной направлению поворота. На закруглении дороги жидкость в цистерне смещается в сторону, противоположную направлению поворота, при этом значительно снижается скорость движения пожарного автомобиля, чтобы минимизировать смещение центра тяжести, способной привести к опрокидыванию. При торможении автомобиля (режим 4) жидкий груз смещается к передней стенке цистерны, при этом воздействуя значительной нагрузкой, о чем свидетельствуют показания максимальных значений ускорения на передней стенке конструкций цистерн пожарного автомобиля. Полученные результаты свидетельствуют о том, что величина инерционных нагрузок, возникающих в конструкциях цистерн, в значительной мере зависит от режимов движения пожарного автомобиля.

В таблице 3 представлены экспериментально установленные максимальные значения ускорения, возникающего на стенках и дне резервуаров конструкций цистерн объемом 5, 8 и 10 м³ под действием инерционных нагрузок при исследуемых режимах движения пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317.

Таблица 3. – Максимальные значения ускорения a_{max} (м/с²), зафиксированные на стенках и дне резервуаров конструкций цистерн во время испытаний пожарных автомобилей

Режим движения пожарного автомобиля	Объем цистерны и модель шасси пожарного автомобиля		
	5 м ³ на шасси МАЗ-5337	8 м ³ на шасси МАЗ-6317	10 м ³ на шасси МАЗ-6317
Режим 1	7,4 ± 0,7	9,2 ± 0,8	10,8 ± 0,9
Режим 2	22,3 ± 1,7	24,6 ± 1,8	25,2 ± 1,9
Режим 3	17,9 ± 1,4	18,1 ± 1,5	19,4 ± 1,5
Режим 4	15,8 ± 1,2	22,7 ± 1,7	22,9 ± 1,8

В результате проведенных исследований определено, что основное влияние на уровень возникающих значений ускорения оказывают гидравлическое нагружение и силовое

воздействие со стороны рамы шасси на конструкцию цистерны в зависимости от дорожного покрытия.

Заключение

В данной работе проведены исследования общего уровня ускорения, возникающего в конструкциях цистерн при различных режимах движения пожарных автомобилей. При выполнении эксперимента применялось современное вибродиагностическое оборудование: измерительный комплекс Larson-Davis 2900 и пьезоэлектрические акселерометры типа 352С18. В ходе проведения испытаний и обработки данных получены зависимости, связывающие параметры (скорость, ускорение, торможение, поворот) и условия (вид дорожного покрытия), характеризующие особенности режимов движения пожарных автомобилей на шасси МАЗ-5337 и МАЗ-6317, со значениями ускорения, возникающего на стенках и дне резервуара конструкций цистерн объемом 5, 8 и 10 м³ под действием инерционных нагрузок.

Результаты свидетельствуют о том, что величина инерционных нагрузок, возникающих в конструкциях цистерн, в значительной мере зависит от режимов движения пожарного автомобиля и дорожного покрытия. Полученные данные позволили установить, что при движении пожарного автомобиля по грунтовой дороге категории VI-б с допустимой скоростью 20–30 км/ч зафиксированы наибольшие значения ускорения, которые составили 22,3 м/с² для цистерн пожарного автомобиля объемом 5 м³ на шасси МАЗ-5337; 24,6 м/с² для цистерн объемом 8 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-6317 и 25,2 м/с² для цистерн объемом 10 м³ пожарного автомобиля на шасси МАЗ-6317.

Величина возникающих ускорений обосновывается колебательными движениями конструкции цистерны, что обуславливают режимы и условия движения к месту ликвидации чрезвычайных ситуаций. Это свидетельствует о том, что пожарные автоцистерны эксплуатируются в более тяжелых условиях, по сравнению с автомобилями иного типа. Полученные для каждого режима движения максимальные значения ускорения, которые составляют от 7,4 до 25,2 м/с², необходимы для установления точного уровня нагруженности конструкций цистерн и могут быть использованы для дальнейших расчетов с использованием конечно-элементного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий, М.С. Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн / М.С. Высоцкий, Ю.М. Плескачевский, А.О. Шимановский. – Минск: Белавтотракторостроение, 2006. – 320 с. – EDN: TQLXFY.
2. Liguori, A. Study of Tank Containers for Foodstuffs / A. Liguori [et al.] // Machines. – 2021. – Vol. 9. – P. 1–21. – DOI: 10.3390/machines9020044.
3. Орлов, Д.В. Диагностика вибраций узлов транспортных средств методом вейвлет анализа границ сфокусированного оптического изображения [Электронный ресурс] / Д.В. Орлов, В.Е. Махов, И.Ф. Кацан // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 3. – 14 с. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2465>. – Дата доступа: 12.07.2023.
4. Hajdu, F. Examination of chaotic vibrations during operation of a fire truck / F. Hajdu, R. Kuti // Multi-disciplinary Academic Conference on Engineering, IT and Artificial Intelligence in Prague (MAC-EITAI). – 2018. – P. 163–170.
5. Kovtun, V. Optimization of Fire Truck's Tanks on the Chassis MAZ-6317 by the Method of Computer Simulation / V. Kovtun [et al.] // International Journal «NDT Days». – 2019. – Vol. II, iss. 4. – P. 495–500.
6. Ковтун, В.А. Компьютерное моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей / В.А. Ковтун, С.Г. Короткевич, В.А. Жаранов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 81–90. – DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.81. – EDN: YSGWWC.
7. Kandasamy, T. An analysis of baffles designs for limiting fluid slosh in partly filled tank trucks / T. Kandasamy, S. Rakheja, A.K. W. Ahmed // The Open Transportation Journal. – 2010. – Vol. 4. – P. 23–32. – DOI: 10.2174/1874447801004010023.

8. Wang, W. A numerical study of the effects of the T-shaped baffles on liquid sloshing in horizontal elliptical tanks / W. Wang, Z. Guo, Y. Peng, Q. Zhang // *Ocean Engineering*. – 2016. – Vol. 111. – P. 543–568. – DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.11.020.
9. Кулаковский, Б.Л. Устойчивость пожарной автоцистерны против заноса при торможении / Б.Л. Кулаковский // *Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. – 2010. – Т. 11, № 1. – С. 73–84. – EDN: SMWLKL.
10. Гребенникова, И.В. Методы математической обработки экспериментальных данных: учебно-методическое пособие / И.В. Гребенникова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 124 с. – EDN: UWVVLV.

**Исследование ускорений, возникающих под действием инерционных нагрузок
в конструкциях цистерн пожарных автомобилей при движении
к месту ликвидации чрезвычайных ситуаций**

**Research of accelerations arising under the action of inertial loads in the structures
of fire truck tanks when moving to the place of emergency liquidation**

Ковтун Вадим Анатольевич

доктор технических наук, профессор
Филиал «Институт профессионального
образования» государственного учреждения
образования «Университет гражданской
защиты Министерства по чрезвычайным
ситуациям Республики Беларусь», кафедра
оперативно-тактической деятельности
и техники, профессор

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

Email: vadimkov@yandex.ru

SPIN-код: 3383-9618

Vadim A. Kovtun

Grand PhD in Technical Sciences, Professor
Branch «Institute of Vocational Education»
of the State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Operational-Tactical Activity
and Technical Equipment, Professor

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

Email: vadimkov@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9510-132X

Короткевич Сергей Геннадьевич

кандидат технических наук

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

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

Email: korotkevichsergei@mail.ru

SPIN-код: 4719-8914

Sergey G. Korotkevich

PhD in Technical Sciences

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

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

Email: korotkevichsergei@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9388-0881

RESEARCH OF ACCELERATIONS ARISING UNDER THE ACTION OF INERTIAL LOADS IN THE STRUCTURES OF FIRE TRUCK TANKS WHEN MOVING TO THE PLACE OF EMERGENCY ELIMINATION

Kovtun V.A., Korotkevich S.G.

Purpose. Experimental study of the influence of fire trucks driving modes on the level of acceleration values occurring in tank structures under the action of inertial loads. To achieve the goal, the work included the selection of the necessary measuring equipment, determination of sensor installation locations and experimental conditions, processing of the obtained experimental data.

Methods. During the research, modern measuring equipment was used, including the Larson-Davis 2900 noise and vibration analyzer, piezoelectric accelerometers of type 352C18. The obtained experimental measurement results were processed using mathematical analysis methods taking into consideration measurement errors.

Findings. The experimental studies results of the acceleration's general level occurring on the walls and bottom of tank structures under various modes of movement of fire trucks are presented. As a result of data processing, the dependencies were obtained linking the parameters (speed, acceleration, braking, turning) and conditions (type of road surface) characterizing the features of the modes of movement of fire trucks on the chassis of MAZ-5337 and MAZ-6317 with the values of acceleration arising under the action of inertial loads in tank structures having a volume of 5, 8 and 10 m³. The obtained maximum acceleration values, which range from 7.4 to 25.2 m/s², indicate significant inertial loads occurring in tank structures and largely depend on the driving modes of fire trucks and the road surface. The data obtained confirm that fire tankers are operated in more severe conditions compared to other types of vehicles.

Application field of research. Firefighting rescue units, production and technical centers, industrial enterprises and higher educational institutions.

Keywords: fire truck, tank, driving mode, sensor, acceleration.

(The date of submitting: January 8, 2024)

REFERENCES

1. Vysotskiy M.S., Pleskachevsky Yu.M., Shimanovskiy A.O. Dinamika avtomobilnykh i zheleznodorozhnykh tsistern [Dynamics of truck and rail tanks]. Minsk, Belavtotraktorostroenie Publ., 2006. 320 p. (rus). EDN: TQLXFY.
2. Liguori A., Formato A., Pellegrino A., Vilecco F. Study of Tank Containers for Foodstuffs. *Machines*, 2021. Vol. 9. Pp. 1–21. DOI: 10.3390/machines9020044.
3. Orlov D.V., Makhov V.E., Katsan I.F. Diagnostika vibratsiy uzlov transportnykh sredstv metodom veyvlet analiza granits sfokusirovannogo opticheskogo izobrazheniya [Diagnostics of vibrations of vehicle assemblies by the method of wavelet analysis of the boundaries of a focused optical image]. *Engineering Journal of Don*, 2014. No. 3. 14 p. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2465> (accessed: July 12, 2023). (rus)
4. Hajdu F., Kuti R. Examination of chaotic vibrations during operation of a fire truck. *Multidisciplinary Academic Conference on Engineering, IT and Artificial Intelligence in Prague (MAC-EITAI)*, 2018. Pp. 163–170.
5. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Mirchev Y., Lodnya V. Optimization of Fire Truck's Tanks on the Chassis MAZ-6317 by the Method of Computer Simulation. *International Journal «NDT Days»*, 2019. Vol. 2, iss. 4. Pp. 495–500.
6. Kovtun V.A., Korotkevich S.G., Zharanov V.A. Kompyuternoe modelirovanie i issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruktsiy tsistern pozharnykh avtomobiley [Computer simulation and research of the stress-strain state of fire tank truck construction]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 81–90. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.81. EDN: YSGWWC.
7. Kandasamy T., Rakheja S., Ahmed A.K.W. An analysis of baffles designs for limiting fluid slosh in partly filled tank trucks. *The Open Transportation Journal*, 2010. Vol. 4. Pp. 23–32. DOI: 10.2174/1874447801004010023.
8. Wang W., Guo Z., Peng Y., Zhang Q. A numerical study of the effects of the T-shaped baffles on liquid sloshing in horizontal elliptical tanks. *Ocean Engineering*, 2016. Vol. 111. Pp. 543–568. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.11.020.

9. Kulakovskiy B.L. Issledovanie ustoychivosti pozharnoy avtotsisterny protiv zanosa pri tormozhenii [Investigation of the stability of a fire truck against skidding while braking]. *Vestnik komandno-inzhernogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2010. No. 1 (11). Pp. 73–84. (rus). EDN: SMWLKL.
10. Grebennikova I.V. Metody matematicheskoy obrabotki eksperimental'nykh dannykh [Methods of mathematical processing of experimental data]: tutorial. Yekaterinburg: Ural University, 2015. 124 p. (rus). EDN: UWVOLV.

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКА НА КОРПУСЕ СКВАЖИННОГО ЭЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА

**Брайкова А.М., Саевич К.Ф., Базыльчук Т.А.,
Якубович М.Ю., Бондарев Д.В., Козорез А.С.**

Цель. Определение химического состава образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата, эксплуатировавшегося в течение нескольких лет в условиях Курско-Белгородской аномалии; выявление возможных причин выхода из строя агрегата и разработка рекомендаций по эксплуатации оборудования.

Методы. Разработана программа исследования образца осадка, включающая определение массовой доли органических веществ (органической составляющей осадка) весовым методом, массовой доли железа спектрофотокolorиметрическим методом на спектрофотометре СФ-2000, массовой доли марганца титриметрическим методом, содержания цинка, кадмия, свинца и меди методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе вольтамперометрическом АВА-3.

Результаты. Установлено содержание органических веществ в осадке (50,1 %), определены массовые доли железа (5,6 %), марганца (6,6 %), свинца (3,4 %), цинка (0,017 %), меди (0,005 %), кадмий не обнаружен. Сформулированы вероятные причины накопления осадка на поверхности скважинного электронасосного агрегата. На основании полученных результатов исследования предложены рекомендации по эксплуатации погружных электронасосных агрегатов, включающие в первую очередь необходимость забора и анализа проб воды из скважины перед монтажом оборудования.

Область применения исследований. На основании полученных результатов исследования образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата сформулированы рекомендации по эксплуатации оборудования.

Ключевые слова: осадок, скважинный электронасосный агрегат, химический состав, титрование, спектрофотокolorиметрия, инверсионная вольтамперометрия.

(Поступила в редакцию 16 ноября 2023 г.)

Введение

Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь утверждены Правила по обеспечению промышленной безопасности при бурении скважин (от 17 мая 2021 г. № 34), регламентирующие требования к бурильному оборудованию, процессам его монтажа, эксплуатации, демонтажа, обслуживания и т.д. Из подготовленных скважин для подъема воды и перемещения жидкости потребителям в различных отраслях и сферах (ЖКХ, промышленности, сельском хозяйстве, строительстве и т.д.) повсеместно используются скважинные электронасосные агрегаты. Одной из основных задач, стоящих перед водным хозяйством Республики Беларусь, является обеспечение надежной подачи воды определенного качества потребителю, что требует бесперебойной и эффективной работы скважинных электронасосных агрегатов [1; 2].

Эффективность работы и долговечность насосных систем зависят от целого ряда влияющих факторов. Ключевое значение имеет состав материалов, используемых для изготовления оборудования. В большинстве случаев изготовители используют стали и сплавы, устойчивые к коррозионно-агрессивным средам. При эксплуатации насосных систем необходимо контролировать температурные режимы работы агрегатов, поскольку высокие температуры могут привести к перегреву, а низкие – к замерзанию и повреждению оборудования. Кроме того, крайне важно учитывать основные показатели качества воды, с которой работают насосные системы, такие как содержание механических примесей различной природы (металлопримеси, песок, глина, водоросли), кислотность, химический состав.

Механические примеси могут приводить к засорению систем механизмов, повышенная кислотность и содержание химически активных веществ – к коррозии материалов насосов

и водоподающего оборудования, высокое содержание солей, обуславливающих жесткость воды, – к образованию осадка труднорастворимых веществ на внутренних поверхностях деталей механизмов.

Отсутствие мониторинга показателей качества воды скважин, а также контроля условий эксплуатации оборудования может привести к снижению производительности, повреждению и преждевременному выходу из строя скважинных насосных агрегатов.

Цель работы – определить химический состав образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата, используя материальную базу учебной лаборатории кафедры физикохимии материалов и производственных технологий учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет»; выявить возможные причины выхода из строя агрегата и разработать рекомендации по эксплуатации оборудования.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования выступил образец осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата, эксплуатировавшегося в течение нескольких лет в условиях Курско-Белгородской аномалии. Образовавшийся осадок по предположению предприятия-изготовителя скважинного электронасосного агрегата послужил причиной преждевременного выхода из строя оборудования. В связи с этим возникла необходимость изучить химический состав осадка и на основании проведенного исследования сформулировать вероятные причины выхода из строя оборудования.

Осадок черного цвета с включениями рыжего цвета достаточно легко поддавался растиранию в ступке, что позволило его гомогенизировать. Внешний вид образца осадка до и после гомогенизации представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. – Внешний вид образца осадка, представленного для исследования

С учетом поставленной цели и возможностей материально-технической базы учебной лаборатории была разработана следующая программа исследования образца осадка:

1. Определить массовую долю органических веществ (органической составляющей осадка) весовым методом.
2. Определить массовую долю железа спектрофотокориметрическим методом на спектрофотометре СФ-2000.
3. Определить массовую долю марганца титриметрическим методом.
4. Определить содержание цинка, кадмия, свинца и меди в осадке методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе вольтамперометрическом АВА-3.

Определение массовой доли органических веществ в образце осадка весовым методом предполагает предварительное его озоление. При этом руководствовались ГОСТ 27784 «Методы определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв»¹, ГОСТ Р 56881-2016 «Биомасса. Определение зольности стандартным методом»², ГОСТ 26929 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов»³.

Для проведения озоления применяли программируемую двухкамерную печь ПДП-18М, состоящую из камер выпаривания и озоления. В три чистых кварцевых стаканчика взвесили с погрешностью не более 0,001 г навески гомогенизированного образца осадка. Далее стаканчики выдерживали в камере высушивания 30 мин при температуре 105 °С, затем в течение 60 мин при температуре 180 °С. Далее температуру повысили до 250 °С и выдержали еще 30 мин. Затем стаканчики с образцами осадка переместили в камеру озоления и выдержали при температуре 525 °С в течение 45 мин.

Стаканчики с зольным остатком доставали из камеры озоления, помещали в эксикатор, охлаждали и взвешивали с погрешностью не более 0,001 г. Несгоревшие угольные включения обрабатывали 30 %-м раствором перекиси водорода (2–2,5 см³), раствором концентрированной азотной кислоты (1–2 см³). Стаканчики помещали в камеру выпаривания и выдерживали при температуре 180 °С до полного высыхания содержимого. Далее их помещали в камеру озоления и выдержали при температуре 525 °С в течение 30 мин. Данный цикл «обработка окислителями – высушивание – озоление – охлаждение – взвешивание» проводили до тех пор, пока разность двух последовательных взвешиваний составила менее 0,005 г. Следует отметить, что озоление образца осадка проводили в течение 6 ранее описанных циклов. Внешний вид полученного осадка после пройденных циклов озоления представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. – Внешний вид образца осадка после озоления до постоянной массы

Массовую долю органической составляющей осадка в процентах рассчитывали по формуле:

$$\omega = m_2 / m_1 \cdot 100 \%,$$

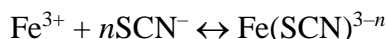
где m_1 и m_2 – массы навески гомогенизированного образца осадка до и после высушивания и озоления.

¹ Методы определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв: ГОСТ 27784. – Введ. 25.07.88. – М.: ГК СССР по стандартам, 1988. – 6 с.

² Биомасса. Определение зольности стандартным методом: ГОСТ Р 56881-2016. – Введ. 09.03.16. – М.: Стандартинформ, 2019. – 8 с.

³ Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов: ГОСТ 26929-94. – Введ. 01.01.96. – М.: Стандартинформ, 2010. – 9 с.

Определение содержания железа в образце осадка проводили фотометрическим методом, основанным на взаимодействии Fe^{3+} с роданидом калия или аммония с образованием комплексного соединения кроваво-красного цвета:



с последующим сравнением оптической плотности окрашенного раствора золь анализируемого образца и раствора железа с известной концентрацией железа⁴. Исследование проводили на спектрофотометре марки СФ-2000.

Озоленный образец осадка массой 0,890 г растворяли в 20 см³ 0,1 моль/дм³ соляной кислоты. Для анализа из полученного раствора отбирали аликвоту объемом 1 см³, переносили в мерную колбу вместимостью 50 см³, добавляли 2 см³ 33 %-й азотной кислоты, 6 капель 30 %-го раствора пероксида водорода, 40 см³ раствора роданида калия, концентрацией 0,05 г/см³.

Методика предполагает построение градуировочного графика. С этой целью готовили серию стандартных растворов, содержащих железо (г/дм³): 0,001; 0,002; 0,003; 0,004. Для учета примеси железа в применяемых реактивах готовили контрольный раствор. Оптическую плотность стандартных растворов, а также раствора, содержащего анализируемую пробу, определяли при длине волны 490 нм в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 10 мм.

Содержание марганца Mn (II) определяли сочетанием обратного титрования и титрования по заместителю [3]. Суть метода заключается во взаимодействии Mn (II) образца осадка с избытком перманганата калия. Затем непрореагировавший остаток перманганата калия вступает во взаимодействие с йодидом калия, в результате которого выделяется йод. Выделившийся йод оттитровывают тиосульфатом натрия.

Определение содержания Zn, Cd, Pb и Cu при их совместном присутствии проводили на анализаторе вольтамперометрическом марки АВА-3 (Санкт-Петербург). В состав анализатора входит трехэлектродная ячейка, состоящая из индикаторного углеситаллового электрода, хлоридсеребряного электрода сравнения и вспомогательного платинового электрода (рис. 3).

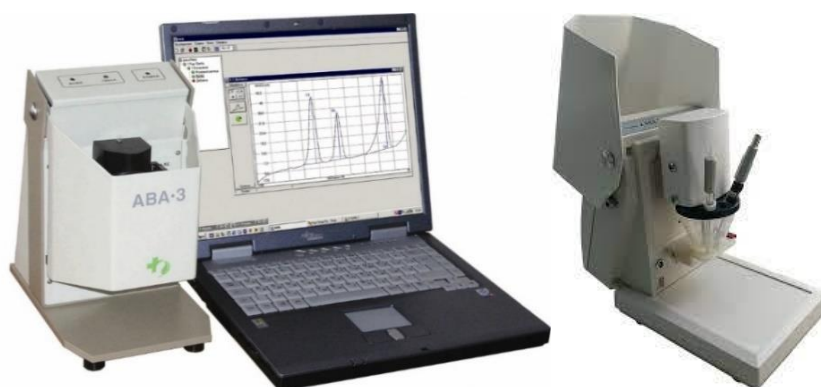


Рисунок 3. – Внешний вид анализатора вольтамперометрического АВА-3

В качестве фонового электролита, необходимого для обеспечения электропроводимости и растворения подготовленной пробы исследуемого объекта, при определении Zn, Cd, Pb и Cu использовали водный раствор, содержащий 0,5 моль/дм³ муравьиной кислоты. В состав фонового электролита дополнительно вводили 0,1 г/дм³ Hg²⁺. Этот прием применяется для того, чтобы углеситалловому электроду придать свойства ртутного пленочного. В процессе электролиза исследуемого раствора на поверхности индикаторного углеситаллового

⁴ Корма растительные. Методы определения железа: ГОСТ 27998-88. – Введ. 23.12.88. – М.: ГК СССР по стандартам, 1988. – 14 с.

электрода концентрируют ионы Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} и Cu^{2+} , образуя с ртутью амальгаму⁵. В результате уменьшаются пределы обнаружения и определения тяжелых металлов и, следовательно, возрастает чувствительность методики инверсионно-вольтамперометрического анализа содержания тяжелых металлов при их совместном присутствии.

Подготовку твердой пробы к анализу необходимо осуществлять методом мокрой минерализации. Минеральный остаток образца осадка, полученный при определении массовой доли органических веществ (масса навески осадка 0,648 г), использовали для определения содержания тяжелых металлов в образце осадка. Полученную золу растворили в 10 см³ раствора фонового электролита (раствор 0,5 моль/дм³ муравьиной кислоты).

Определение цинка, кадмия, свинца и меди при их совместном присутствии выполняли при следующих условиях: потенциал накопления – минус 1400 мВ; время накопления – 60 с; регистрация вольтамперной кривой от -1350 до +450 мВ при скорости развертки потенциала 500 мВ/с [4]. Определение неизвестных концентраций металлов проводили методом добавок. В качестве добавки использовали стандартный раствор, содержащий 3 мг/дм³ цинка и по 2 мг/дм³ свинца, кадмия и меди.

Результаты исследования и их обсуждение

Расчет массовой доли органических веществ проводили по трем пробам образца осадка. Массы навесок гомогенизированного образца осадка до озоления (m_1 , г) составили: 0,648; 0,745; 0,890. Массы образцов осадка после озоления (m_2 , г) составили соответственно: 0,321; 0,388; 0,433. Расчет среднего значения массовой доли органической составляющей осадка проводили следующим образом:

$$\omega_1 = 0,321/0,648 \cdot 100 \% \approx 49,5 \%;$$

$$\omega_2 = 0,388/0,745 \cdot 100 \% \approx 52,1 \%; \quad \omega_{\text{среднее}} = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)/3 = 50,1 \%;$$

$$\omega_3 = 0,433/0,890 \cdot 100 \% \approx 48,7 \%;$$

На рисунке 4 представлена градуировочная зависимость, построенная программой спектрофотометра СФ-2000 по результатам определения оптической плотности растворов стандартных образцов в координатах: содержание железа, г/дм³ – оптическая плотность раствора.



Рисунок 4. – Градуировочный график содержания железа в осадке на спектрофотометре СФ-2000

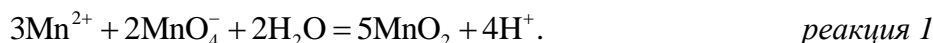
После измерения оптической плотности подготовленного образца осадка программой прибора СФ-2000 по градуировочной зависимости было рассчитано содержание железа в анализируемом образце, а именно: концентрация железа в мерной колбе вместимостью

⁵ Вода природная, питьевая и сточная. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца и меди методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА: СТБ 1290-2001. – Введ. 01.04.02. – Минск: ГС Республики Беларусь, 2002. – 24 с.

50 см³, которая составила 0,050 г/дм³. Следовательно, в растворенной в мерной колбе аликвоте объемом 1 см³ содержится 0,050 г/дм³ · 50 см³ · 10⁻³ = 0,0025 г железа, а массовая доля железа в осадке массой 0,890 г, содержащемся в 20 см³ аликвоты, составит

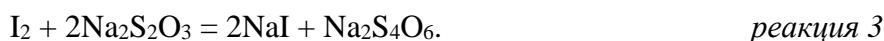
$$\omega_{\text{Fe}} = m_{\text{Fe}} / m_{\text{осад.}} \cdot 100 \% = 0,0025 \cdot 20 / 0,890 \cdot 100 \% \approx 5,6 \%$$

Для определения марганца навеску осадка массой $m_{\text{осад.}} = 0,048$ г, растворили в 5 см³ раствора уксусной кислоты в мерном цилиндре (раствор 1). Первоначально к полученному раствору 1, предположительно содержащему соединения Mn (II), добавляли по каплям 0,01 моль/дм³ раствор KMnO₄ (титрант 1) при сильном перемешивании и прибавили небольшой избыток данного титранта. При этом протекала реакция 1:



Объем суспензии в мерном цилиндре составлял 9 см³ (раствор 2). Дали осадку осесть, отобрали автоматическим дозатором порцию прозрачного раствора объемом 2 см³ для обратного титрования. К отобранной порции раствора прилили 2 см³ раствора серной кислоты ($C_{\text{H}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4$ моль-экв/дм³), ввели кристаллик KI (раствор 3) и титровали выделившийся йод раствором Na₂S₂O₃ эквивалентной концентрацией 0,01 моль-экв/дм³ (титрант 2).

При этом протекали реакции 2 и 3 соответственно:



На титрование выделившегося йода было затрачено 4 см³ ($V_{\text{титр.2}}$) тиосульфата натрия (титрант 2) эквивалентной концентрацией 0,01 моль-экв/дм³ ($C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ титр.2}}$).

Обработка результатов

Для определения массовой доли марганца в осадке выполнили следующий пересчет:

1. По закону эквивалентов содержание выделившегося в *реакции 2* йода, оттитрованного тиосульфатом натрия в процессе протекания *реакции 3*:

$$C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ титр.2}} \cdot V_{\text{титр.2}} = C_{\text{I раств.3}} \cdot V_{\text{раств.3}};$$

$$0,01 \text{ моль/дм}^3 \cdot 4 \text{ см}^3 = C_{\text{I раств.3}} \cdot 4 \text{ см}^3,$$

где $C_{\text{I раств.3}} = 0,01$ моль-экв/дм³ – концентрация йода в растворе 3, $V_{\text{раств.3}}$ – объем раствора 3.

2. Раствор 3 общим объемом 4 см³ содержал 2 см³ раствора 2, следовательно, концентрация йода в отобранной порции раствора 2 составляет 0,02 моль-экв/дм³.

3. Концентрация и количество вещества избытка KMnO₄, вступившего в *реакцию 2* с йодидом калия (не вступившего в *реакцию 1*), определяется по пропорции:

$$\frac{C_{\text{I раств.2}}}{5} = \frac{C_{\text{KMnO}_4 \text{ раств.2}}}{2},$$

$$C_{\text{KMnO}_4 \text{ раств.2}} = \frac{2}{5} \cdot 0,02 \text{ моль-экв/дм}^3 = 0,008 \text{ моль-экв/дм}^3,$$

$$n_{\text{изб.}} = C_{\text{KMnO}_4 \text{ раств.2}} \cdot V_{\text{раств.2}} = 0,008 \text{ моль-экв/дм}^3 \cdot 2 \text{ см}^3 \cdot 10^{-3} = 0,000016 \text{ моль}.$$

4. Первоначальное количество KMnO₄, добавленное к ионам марганца (реакция 1):

$$n_{\text{исх.}} = C_{\text{KMnO}_4 \text{ титр.1}} \cdot V_{\text{титр.1}} = 0,01 \text{ моль-экв/дм}^3 \cdot 4 \text{ см}^3 \cdot 10^{-3} = 0,00004 \text{ моль}.$$

5. Количество KMnO_4 , вступившего в реакцию 1, находим по разнице исходного количества и избыточного:

$$n_{\text{прореагир.}} = n_{\text{исх.}} - n_{\text{изб.}} = 0,0000384 \text{ моль.}$$

6. Количество и масса Mn^{2+} , вступившего в реакцию 1, определяется из пропорции:

$$\frac{n_{\text{MnO}_4^-}}{2} = \frac{n_{\text{Mn}^{2+}}}{3} \quad (n_{\text{MnO}_4^-} = n_{\text{прореагир.}}),$$

$$n_{\text{Mn}^{2+}} = \frac{3}{2} \cdot 0,0000384 \text{ моль} = 0,0000576 \text{ моль,}$$

$$m_{\text{Mn}^{2+}} = n_{\text{Mn}^{2+}} \cdot M_{\text{Mn}} = 0,0000576 \text{ моль} \cdot 54,938 \text{ г/моль} \approx 0,003164 \text{ г,}$$

где M_{Mn} – молярная масса марганца.

7. Массовая доля марганца в осадке:

$$\omega_{\text{Mn}} = \frac{m_{\text{Mn}^{2+}}}{m_{\text{осад.}}} \cdot 100 \% = 0,003164 / 0,048 \cdot 100 \% \approx 6,6 \%$$

На рисунке 5 представлены вольтамперные кривые разности пробы образца осадка и фонового электролита, а также пробы образца осадка с добавкой стандартного раствора, содержащего 3 мг/дм³ цинка и по 2 мг/дм³ свинца, кадмия и меди, зарегистрированные в процессе определения содержания Zn, Cd, Pb и Cu на анализаторе вольтамперметрическом АВА-3.

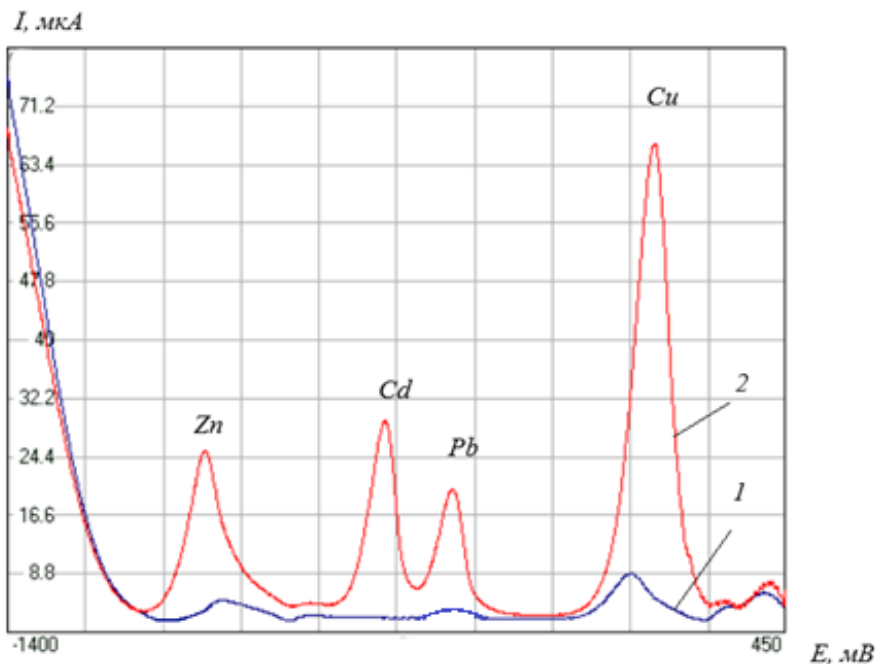


Рисунок 5. – Вольтамперные кривые разности пробы образца осадка и фонового электролита (1), а также пробы образца осадка с добавкой стандартного раствора и фонового электролита (2)

Проба содержит цинк, свинец и медь, о чем свидетельствуют максимумы токов в соответствующих областях потенциалов (кривая 1). При введении в анализируемую пробу добавки стандартного раствора, содержащего все определяемые металлы, максимумы токов увеличиваются (кривая 2). По относительному изменению высоты и площади пиков программой прибора автоматически рассчитывается концентрация металлов в анализируемой пробе [4].

По разности показателей вольтамперных кривых пробы и фона, пробы с добавкой стандартного раствора и фона специализированная компьютерная программа VALabTx, совмещенная с АВА-3, рассчитывает содержание каждого металла.

В процессе исследования установлено, что в навеске массой 648 мг содержится: 21,8 мг свинца; 0,107 мг цинка; 0,034 мг меди; кадмий не обнаружен.

Массовые доли металлов в образце осадка составляют:

$$\omega_{Pb} = 21,8/648 \cdot 100 \% \approx 3,364 \%;$$

$$\omega_{Zn} = 0,107/648 \cdot 100 \% \approx 0,017 \%;$$

$$\omega_{Cu} = 0,034/648 \cdot 100 \% \approx 0,005 \%$$

Таким образом, в результате исследования химического состава образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата, проведенного согласно разработанной программе испытаний, получили представленные в таблице 1 данные.

Таблица 1. – Массовая доля исследованных компонентов химического состава осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата

№	Компонент химического состава осадка	Массовая доля компонента, %
1	Органические вещества	50,1
2	Железо	5,6
3	Марганец	6,6
4	Свинец	3,4
5	Цинк	0,017
6	Медь	0,005
7	Кадмий	не обнаружен

Следует отметить, что более 50 % от массы осадка составляют органические вещества. Среди вероятных причин можно отметить следующие:

– высокое значение показателя окисляемости воды, обусловленное эксплуатацией скважинного электронасосного агрегата в болотистой местности, вблизи залегания торфяников и нефтегазовых месторождений (значение показателя окисляемости при этом может достигать 400 мг/дм³, в то время как норма для питьевой воды составляет не более 5 мг/дм³);

– попадание в скважину сточных вод с отходами животноводства, растениеводства и земледелия.

В осадке обнаружено относительно высокое содержание свинца (3,4 %). Одной из причин накопления Pb в природных водах является процесс его поглощения глинами. Кроме того, металл активно осаждается сероводородом, углекислым газом. Источниками поступления свинца в почвы являются:

– старые водопроводные трубы, соединенные свинцовым сварным швом;

– попадание в скважину сточных вод гальвано-производств (например, аккумуляторного завода);

– попадание в скважину сточных вод производств, использующих в качестве сырья серу (например, завода по производству резины).

Черный цвет осадка может быть обусловлен достаточно высоким содержанием соединений марганца (6,6 %). Среди самых распространенных причин попадания металла в стоки можно назвать процессы обогащения марганцевых окисленных руд, производство гальванических элементов и органический синтез. Также к накоплению металла приводит недостаточно эффективная работа водоочистных систем.

Массовая доля железа в осадке составила 5,6 %. Как следует из технической документации на скважинный электронасосный агрегат, для изготовления рабочих ступеней предприятие-изготовитель применяет полимерные и нержавеющие материалы, чугун и чугун с катафорезным покрытием, бронзу, литую нержавеющую сталь. Скорость коррозии материалов, в том числе металлов, зависит в первую очередь от агрессивности воздействующих

на них сред. К агрессивным средам, безусловно, следует относить сточные воды технических предприятий, воду с высоким содержанием газообразных веществ. Следует отметить, что при повышении температуры растворимость газов уменьшается, а скорость протекающих химических реакций увеличивается.

В исследованном образце осадка обнаружены небольшие количества цинка и меди (0,017 и 0,005 % соответственно), следовательно, соединения этих металлов не вносят существенного вклада в образование массы осадка на корпусе агрегата.

Кроме перечисленных компонентов в состав осадка входит не растворимый в ряде кислот и не разлагаемый при температуре воздействия 500 °С контаминант, предположительно SiO₂.

При растворении в соляной кислоте в части образца осадка выделялся сероводород (характерный запах). Таким образом, можно предположить, что в состав осадка входят соединения серы, например, сульфиды металлов.

Анализ полученных результатов исследования образца осадка на корпусе скважинного электронасосного агрегата позволяет сформулировать следующие рекомендации по эксплуатации оборудования:

1. После бурения скважины, перед началом монтажа и ввода погружного электронасосного агрегата в эксплуатацию, провести отбор проб воды из скважины для определения показателя окисляемости воды, показателя общей минерализации, показателя кислотности рН. (Для определения этих показателей применяется доступное оборудование и экспрессные методики. Анализ может быть выполнен силами предприятия-изготовителя).

В случае обнаружения существенного превышения предельно допустимых значений показателей, установленных для вод хозяйственно-бытового назначения, рекомендуется провести более широкий спектр исследования воды для принятия решения о возможности выполнения монтажных работ и ввода агрегата в эксплуатацию.

2. Перед монтажом оборудования изучить техническую документацию на систему водоснабжения скважины, а также оценить ее техническое состояние непосредственно на объекте. Обратит внимание на качество системы водоподвода (а именно, на степень коррозии материалов труб), если таковая имеется [4].

3. Рекомендовать потребителю предусмотреть систему дополнительной очистки (фильтрации) воды перед ее поступлением в корпус погружного электронасосного агрегата для исключения попадания песка и механических примесей.

Заключение

Исследование химического состава образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата было проведено согласно разработанной программе испытаний. Массовую долю органических веществ определяли с использованием стандартной методики кислотного («мокрого») озонирования. В результате обнаружено, что органическая составляющая осадка достигает 50,1 %. Массовую долю железа, которая в исследованном образце осадка составила 5,6 %, определяли методом фотоколориметрии на спектрофотометре СФ-2000. Для определения содержания марганца в образце осадка использовали титриметрический метод анализа, основанный на сочетании обратного титрования и титрования по заместителю. По результатам титрования выполнен расчет содержания марганца в исследованном образце (6,6 %). Для определения содержания в образце осадка Pb, Cd, Zn и Cu применили метод инверсионной вольтамперометрии. В результате установили, что массовая доля свинца в исследованном образце составляет 3,4 %; цинка – 0,017 %; меди – 0,005 %; кадмий не обнаружен.

Высокое содержание органических веществ в образце осадка обусловлено, вероятнее всего, эксплуатацией скважинного электронасосного агрегата в болотистой местности, вблизи залегания торфяников и нефтегазовых месторождений, а также попаданием в скважину сточных вод с отходами животноводства, растениеводства и земледелия.

Относительно высокое содержание марганца (6,6 %) может свидетельствовать об эксплуатации насоса в непосредственной близости от производств, например, гальванических элементов, а также накоплению металла способствует недостаточно эффективная работа водоочистных систем.

В исследованном образце осадка массовая доля железа составила 5,6 %. Для изготовления рабочих ступеней предприятие-изготовитель применяет полимерные и нержавеющие материалы, чугун и чугун с катафорезным покрытием, бронзу, литую нержавеющую сталь. Однако при эксплуатации насосов в агрессивных средах скорость коррозии материалов, в том числе металлов, существенно возрастает.

На основании полученных результатов исследования предложены рекомендации по эксплуатации погружных электронасосных агрегатов, включающие в первую очередь необходимость забора и анализа проб воды из скважины перед монтажом оборудования для определения таких показателей, как содержание железа в воде, общая минерализация, кислотность рН, жесткость воды. Кроме того, необходимо обращать внимание на качество системы водоподвода на месте монтажа оборудования (а именно, оценить степень коррозии материалов труб). Перед монтажом оборудования необходимо рекомендовать потребителю предусмотреть систему дополнительной очистки (фильтрации) воды перед ее поступлением в корпус погружного электронасосного агрегата для исключения попадания в него песка и механических примесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по применению высокоэффективного насосного оборудования для водозаборных скважин / Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.О. Китикова. – Минск: «Типография НьюГрафикс», 2021. – 72 с. – ISBN 978-985-530-784-7.
2. Козорез, А.С. Скважинные электронасосные агрегаты с синхронными электродвигателями на постоянных магнитах: монография / А.С. Козорез, В.О. Китиков, Ю.А. Башко; под общ. ред. В.О. Китикова; Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси. – Минск: Беларуская навука, 2023. – 162 с. – ISBN 978-985-08-2992-4.
3. Практикум по общей и неорганической химии: учеб. пособие для студентов вузов / В.И. Фролов [и др.]; под ред. Н.Н. Павлова, В.И. Фролова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2002. – 304 с. – ISBN 5-7107-4293-7.
4. Матвейко, Н.П. Контроль содержания тяжелых металлов в растительном сырье и лекарствах на их основе / Н.П. Матвейко [и др.] // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы докладов Междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 25–26 ноября 2015 г. / Витебский государственный технологический университет. – Витебск: ВГТУ, 2015. – С. 287–289. – EDN: UYJBYL.

Анализ химического состава осадка корпуса скважинного электронасосного агрегата
Chemical composition analysis of sediment on the casing of well-bore electric pump unit

Брайкова Алла Мечиславовна

кандидат химических наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный экономический университет», кафедра физикохимии материалов и производственных технологий, заведующий кафедрой

Адрес: Партизанский пр-т, 26,
220070, г. Минск, Беларусь

Email: Alina-tsynkel@yandex.by

SPIN-код: 6066-1763

Alla M. Braikova

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

Educational Institution
«Belarusian State Economic University»,
Chair of Physical Chemistry of Materials
and Production Technologies,
Head of the Chair

Address: Partizanskiy ave., 26,
220070, Minsk, Belarus

Email: Alina-tsynkel@yandex.by

ORCID: 0000-0003-4146-3012

Саевич Константин Федорович

доктор биологических наук, профессор

Учреждение образования «Белорусский государственный экономический университет», кафедра физикохимии материалов и производственных технологий, профессор

Адрес: Партизанский пр-т, 26,
220070, г. Минск, Беларусь

Email: konstantin.saevich@mail.ru

SPIN-код: 1791-6569

Konstantin F. Saevich

Grand PhD in Biological Sciences, Professor

Educational Institution
«Belarusian State Economic University»,
Chair of Physical Chemistry of Materials
and Production Technologies, Professor

Address: Partizanskiy ave., 26,
220070, Minsk, Belarus

Email: konstantin.saevich@mail.ru

Базыльчук Татьяна Андреевна

кандидат технических наук

Учреждение образования «Белорусский государственный экономический университет», факультет коммерции и туристической индустрии, заместитель декана

Адрес: Партизанский пр-т, 26,
220070, г. Минск, Беларусь

Email: tagap0nova@yandex.by

SPIN-код: 2648-4684

Tatyana A. Bazylchuk

PhD in Technical Sciences

Educational Institution
«Belarusian State Economic University»,
Faculty of Commerce and Tourism Industry,
Deputy Dean

Address: Partizanskiy ave., 26,
220070, Minsk, Belarus

Email: tagap0nova@yandex.by

ORCID: 0000-0001-9644-6389

Якубович Мария Юрьевна

Учреждение образования «Белорусский государственный экономический университет», факультет коммерции и туристической индустрии, студент

Адрес: Партизанский пр-т, 26,
220070, г. Минск, Беларусь

Email: macha_45@mail.ru

Maria Yu. Yakubovich

Educational Institution
«Belarusian State Economic University»,
Faculty of Commerce and Tourism Industry,
student

Address: Partizanskiy ave., 26,
220070, Minsk, Belarus

Email: macha_45@mail.ru

Бондарев Дмитрий Владимирович

Открытое акционерное общество
«Завод Промбурвод», директор

Адрес: ул. Асаналиева, 29,
220024, г. Минск, Беларусь

Email: bondarev@promburvod.com

Dmitry V. Bondarev

Open Joint-Stock Company
«Zavod Promburvod», Director

Address: Asanalieva str., 29,
220024, Minsk, Belarus

Email: bondarev@promburvod.com

Козорез Александр Сергеевич

Открытое акционерное общество
«Завод Промбурвод», заместитель
директора по коммерческим вопросам

Адрес: ул. Асаналиева, 29,
220024, г. Минск, Беларусь

Email: zavod_promburvod@mail.ru

Alexander S. Kozorez

Open Joint-Stock Company
«Zavod Promburvod»,
Deputy Director for Commercial Affairs

Address: Asanalieva str., 29,
220024, Minsk, Belarus

Email: zavod_promburvod@mail.ru

CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS OF SEDIMENT ON THE CASING OF WELL-BORE ELECTRIC PUMP UNIT

**Braikova A.M., Saevich K.F., Bazylchuk T.A.,
Yakubovich M.Yu., Bondarev D.V., Kozorez A.S.**

Purpose. Determination of the chemical composition of a sediment sample on the casing and parts of a well-bore electric pump unit, which has been operated for several years under conditions of the Kursk-Belgorod anomaly; identifying the possible causes of unit failure and developing recommendations for equipment operation.

Methods. The program for studying a sediment sample has been developed, including determination of the mass fraction of organic substances (the organic component of the sediment) by the weight method, mass fraction of iron by the spectrophotometric method on an SF-2000 spectrophotometer, the mass fraction of manganese by the titrimetric method, content of zinc, cadmium, lead and copper by stripping voltammetry on the voltammetric analyzer AVA-3.

Findings. The content of organic substances in the sediment (50.1 %), mass fractions of iron (5.6 %), manganese (6.6 %), lead (3.4 %), zinc (0.017 %), copper (0.005 %) was established, no cadmium was detected. The probable reasons for the accumulation of sediment on the surface of a well-bore electric pump unit are formulated. Based on the results of the study, the recommendations were proposed for the operation of submersible electric pump units, including above all the need to take and analyze water samples from the well before installing the equipment.

Application field of research. Based on the results obtained from studying a sample of sediment from the body of a well-bore electric pump unit, the recommendations for the operation of the equipment were formulated.

Keywords: sediment; well electric pump unit; chemical composition; titration; spectrophotometry; stripping voltammetry.

(The date of submitting: November 16, 2023)

REFERENCES

1. Kitikov V.O., Kozorez A.S., Baranovskiy I.V., Bashko Yu.A., Kravchenko A.A. *Rekomendatsii po primeniyu vysokoeffektivnogo nasosnogo oborudovaniya dlya vodozabornykh skvazhin* [Recommendations for the use of highly efficient pumping equipment for water wells]: ed. by V.O. Kitikov. Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk: NewGraphics Printing House, 2021. 72 p. ISBN 978-985-530-784-7.
2. Kozorez A.S., Kitikov V.O., Bashko Yu.A. *Skvazhinnye elektronasosnye agregaty s sinkhronnymi elektrodvigatelyami na postoyannykh magnitakh* [Downhole electric pump units with synchronous electric motors on permanent magnets]: monograph. Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk: Belaruskaya Navuka, 2023. 162 p. ISBN 978-985-08-2992-4.
3. Frolov V.I., et al. *Praktikum po obshchey i neorganicheskoy khimii* [Workshop on general and inorganic chemistry]: tutorial for university students. Ed. by N.N. Pavlov, V.I. Frolov. 2nd ed. Moscow: Drofa, 2002. 304 p. ISBN 5-7107-4293-7.
4. Matveiko N.P., Braikova A.M., Bushilo K.A., Sadovskiy V.V. *Kontrol' soderzhaniya tyazhelykh metallov v rastitel'nom syr'e i lekarstvakh na ikh osnove* [Control of the content of heavy metals in plant materials and medicines based on them]. *Proc. Intern. scientific-technical conf. «Novoe v tekhnike i tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti»* [«New in engineering and technology in textile and light industry»], Vitebsk, November 25-26, 2015: Vitebsk State Technological University. Vitebsk: VSTU, 2015. Pp. 287–289. EDN: UYJBYL.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КРАНА ЕДК-2000 АВАРИЙНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОЕЗДА ПУТЕМ СВОЕВРЕМЕННОГО ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ПИРАМИДАЛЬНЫХ ОПОРНЫХ ПОДСТАВКАХ

Отока А.Г., Холодилов О.В.

Цель. Проанализировать возможность применения методов неразрушающего контроля для выявления скрытых поверхностных дефектов в пирамидальных опорных подставках железнодорожных кранов ЕДК-2000 аварийно-восстановительных поездов.

Методы. На основании физических свойств материала объекта контроля в качестве методов выявления дефектов применялась вихретоковая и капиллярная дефектоскопия.

Результаты. На практике капиллярный и вихретоковый контроль показали отличные результаты по выявлению эксплуатационных дефектов, которые невозможно определить при визуальном осмотре пирамидальных опорных подставок железнодорожных кранов типа ЕДК-2000. В зависимости от состояния поверхности опорных подставок и технических особенностей применения методов, влияющих на их чувствительность, целесообразнее проводить капиллярный контроль в комплексе с вихретоковым. Приведены фотографии с индикаторными рисунками дефектов, выявляемых капиллярным методом в пирамидальных подставках. Описана технология вихретокового контроля опоры с учетом настройки чувствительности по мере СОП 2353.08 из сплава Д16Т.

Область применения исследований. Железнодорожный транспорт.

Ключевые слова: безопасность, пирамидальные опорные подставки, кран ЕДК-2000, аварийно-восстановительный поезд, капиллярный контроль, вихретоковый контроль.

(Поступила в редакцию 18 декабря 2023 г.)

Введение

ЕДК-2000 – самый мощный железнодорожный кран данной серии (рис. 1). Его грузоподъемность составляет 250 т, а масса крана без противовесов достигает 180 т. Краны этой серии производились на немецком предприятии KIROV, отошедшем СССР в качестве возмещения за ущерб, причиненный нацистами советской экономике. Завод решили не перевозить в СССР, а восстановить и запустить на месте. Через непродолжительное время завод возобновил работу и начал выпускать краны ЕДК. В 70-е гг. XX в. предприятие вошло в комбинат TAKRAF, в составе которого просуществовало до 1990 г., когда комбинат был ликвидирован в связи с воссоединением Восточной и Западной Германии. Таким образом, на сегодня возраст данных железнодорожных кранов, используемых в железнодорожной отрасли, свыше 30 лет, впрочем, для техники данного типа это не редкость.



Рисунок 1. – Внешний вид крана ЕДК-2000

Задачи, выполняемые краном ЕДК-2000:

- разбор завалов, оставшихся после железнодорожных катастроф (например, установка на рельсы сошедших с них вагонов и локомотивов);
- строительные и монтажные работы, выполняемые как на железнодорожных станциях, так и в полевых условиях, а также разгрузка стройматериалов;
- погрузка бревен, шпал с помощью специальных захватов.

Для выполнения работ краном необходимо поставить его на опоры. Для этого на грунт выкладываются штабелем специальные деревянные шпалы. С торцов бревна окрашены в различные цвета и укладываются друг на друга определенным образом [1; 2]. В качестве основного элемента опоры, воспринимающей нагрузку, служит пирамидальная подставка (рис. 2).



а – в верхнем поднятом (нерабочем) положении



б – в рабочем положении

Рисунок 2. – Пирамидальная подставка крана серии ЕДК

Основная часть

Состояние вопроса. Конструкционная безопасность грузоподъемного крана в эксплуатации, нарушение которой может привести к аварии всего подъемного сооружения, всегда будет оставаться приоритетом при проведении погрузочно-разгрузочных работ.

В целях подтверждения соответствия требованиям паспортных данных, эксплуатационной документации и других нормативных документов грузоподъемные краны в процессе эксплуатации должны подвергаться годовому контролю технического состояния (ГКТС) и техническому освидетельствованию (ТО). При этом ТО проводится в случаях, предусмотренных в руководстве по эксплуатации (инструкциях) на оборудование, по усмотрению собственника крана, а также после его ремонта, технического диагностирования, реконструкции, модернизации и т.д.

При ГКТС грузоподъемного крана проводится:

- проверка наличия и ведения эксплуатационной документации, соблюдения требований промышленной безопасности при эксплуатации кранов, в том числе установленных технических (технологических параметров);
- осмотр и проверка работоспособности.

Особая роль отводится проверке состояния металлоконструкций грузоподъемного крана и его сварных (клепаных) соединений.

В сварных соединениях не допускаются:

- трещины всех видов и направлений, расположенные в металле шва, по линии сплавления и в околошовной зоне основного металла, в том числе микротрещины, выявляемые при микроскопическом исследовании;
- поры диаметром более 1 мм при толщине металла до 20 мм и более 1,5 мм при толщине металла свыше 20 мм в количестве 4 штук на длине шва 400 мм с расстоянием между дефектами менее 50 мм;
- поры, расположенные в виде сплошной сетки;
- шлаковые и твердые включения;
- другие дефекты.

Повышенное внимание уделяется неразрушающему контролю (НК) элементов грузоподъемных кранов ходовых колес кранов и тележек, барабанов, крюков, шкивов тормозных, тормозных накладок грузозахватных приспособлений.

Методами НК подвергают сварные швы стыковых соединений поясов и стенок корабчатых металлоконструкций балок, колонн, стрел, приспособлений для грузоподъемных операций.

При этом визуальный контроль в объеме 100 % сварных соединений должен предшествовать всем остальным методам контроля¹.

В связи с отсутствием статистики редких факторов с тяжелыми (крупными) последствиями с участием грузоподъемных кранов, в частности кранов на железнодорожном ходу, в статье хотелось бы обратить внимание на редкие случаи разрушения пирамидальных опорных подставок кранов ЕДК-2000, которые воспринимают основную нагрузку и являются главными элементами устойчивости крана при выполнении погрузочно-разгрузочных работ.

На рисунке 3 показано разрушение пирамидальной опорной подставки, которое произошло в результате выполнения погрузочно-разгрузочных работ на железной дороге.



Рисунок 3. – Разрушение пирамидальной опорной подставки крана серии ЕДК-2000

Такое событие может привести к тяжелым последствиям. Чтобы их избежать, следует проводить с определенной периодичностью дополнительный визуальный осмотр и НК опорной пирамидальной подставки, который в целом не регламентирован для данного объекта нормативными документами.

Анализ характера разрушения показывает, что оно произошло в угловой части пирамиды с изломом ребра жесткости в виде треугольника.

¹ Об утверждении Правил по обеспечению промышленной безопасности грузоподъемных кранов [Электронный ресурс]: постановление Мин-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 22 декаб. 2018 г., № 66 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934170p>. – Дата доступа: 03.12.2023.

На практике в местах, наиболее подверженных разрушению, необходимо более тщательно осматривать поверхность пирамидальной опоры на наличие трещин, которые впоследствии устраняются сварочными работами.

С точки зрения физики процесса сваривания возникновение трещин в сварных соединениях маловероятно, поскольку металл при сварке находится сначала в жидкой фазе, а затем, при охлаждении, – в твердой. Однако факторы, обуславливающие образование сварного соединения, являются и факторами (условиями) образования в нем трещин: нагревание, плавление, кристаллизация, охлаждение в жестком закреплении, структурные, фазовые превращения, внутренние напряжения, микро- и макронеоднородности и т.п. Получение сварного соединения без трещин скорее исключение, чем правило.

Поэтому в любом сварном соединении (особенно при сварке плавлением) трещины (хотя бы микро-) присутствуют, причем в благоприятных условиях они схлопываются, а в неблагоприятных условиях – раскрываются и обнаруживают себя.

Участки, подверженные сварочным работам, необходимо повторно проверять на отсутствие трещин непосредственно после проведения работ (после ремонта). Это же относится и к сварным соединениям после предыдущего ремонта [3].

Нормативные технические документы, по которым можно было установить браковочный критерий к пирамидальным опорным подставкам, в настоящее время отсутствуют. Ремонт сваркой производится, как правило, при выполнении технического обслуживания или ремонта крана специализированной организацией.

Пирамидальная опорная подставка имеет массу 132 кг. Материал подставки представляет собой алюминий-кремниевый сплав Si 710 v (G-Al Si7 Cu 1 1w). Его химический состав и физические свойства приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Химический анализ и физические свойства материала пирамидальной опоры²

Химический состав, %				
Mg	Si	Mn	Cu	Оставшаяся часть Al
0,2–0,6	6,5–8,0	0,2–0,5	1,0–2,0	
Физические свойства				
Предел текучести, кПа/мм ²	Предел прочности при растяжении, кПа/мм ²	Удлинение разрыва, %	Твердость по Бринелю, НВ	Нагрузка при испытаниях, МПа
18	22	0,5	90–120	495

Сплав AlSi обладает отличными литейными свойствами, однако в чистом виде его нельзя упрочнять. Добавление меди и магния способствует высокой термостойкости и закалке. При этом добавление магния усиливает прочность, коррозионную стойкость и удлинение при разрыве. Марганец снижает склонность к слипанию отливки к форме во время литья, но меньше влияет на механические свойства. Поэтому полученный такой сплав достаточно прочный и устойчивый к коррозии даже в среде с соленой водой.

Максимальная нагрузка пирамидальной опоры крана ЕДК-2000 составляет 2380 кН, а габаритные размеры 1,0×1,0×0,8 (0,8 м³).

Методы и средства, применяемые на практике. Если выбирать методы НК из перечня методов, используемых на железнодорожном транспорте и с учетом материала пирамидальной опоры (сплав AlSi – токопроводящий материал), то наиболее подходящими являются вихретоковый и капиллярные методы контроля. Данные методы возможно применять и в полевых условиях.

Применение других методов НК, например магнитопорошкового, невозможно, по причине того, что он применяется только для ферромагнитных материалов.

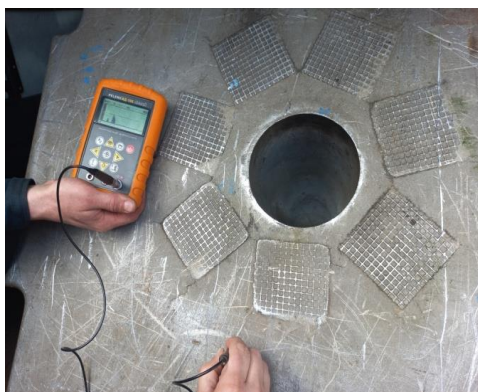
² ЕДК 2000. Пирамидальная подставка: сертификат качества завода тяжелого машиностроения им. С.М. Кирова в Лейпциге [VEB Schwermaschinenbau S.M. Kirow Leipzig]. – Лейпциг, 1988. – 1 с.

Ультразвуковой и радиографический контроль нецелесообразен по следующим причинам:

- методы направлены на выявление внутренних дефектов, а не поверхностных;
- процесс контроля трудоемок;
- достаточно сложная конструкция опоры и большая площадь контроля;
- для контроля требуется дорогостоящее оборудование;
- применение радиографического метода требует обеспечения специальных мер по охране труда и т.д.

Вихретоковый контроль (ВТК) предназначен для выявления поверхностных и подповерхностных дефектов на небольшой глубине (рис. 4). Например, при частоте вихретокового преобразователя 70 кГц глубина проникновения вихревых токов составляет $\approx 0,3 \dots 0,4$ мм. Обнаружение подповерхностных дефектов в алюминиевых сплавах возможно на большей глубине по сравнению с ферромагнитными материалами (сталь, чугун) из-за магнитных характеристик, влияющих на глубину проникновения вихревых токов [4; 5].

Вихретоковый контроль хорошо зарекомендовал себя на практике при обнаружении трещин в сварном шве и зоне термического влияния (рис. 4б).



а – в основном металле



б – в зоне сварного шва и зоне термического влияния между двумя отверстиями, служащими для фиксации пирамиды в верхнем поднятом положении

Рисунок 4. – ВТК контактного нижнего основания пирамидальной опорной подставки дефектоскопом ВД-100

Для настройки чувствительности вихретокового дефектоскопа (рис. 5) использовалась мера СОП 2353.08 из материала наиболее близкого к материалу пирамиды Д16Т (из представленного комплекта завода-изготовителя).



Рисунок 5. – Настройка чувствительности дефектоскопа ВД-100 по искусственному дефекту глубиной 0,6 мм с шероховатостью поверхности $R_z = 40$ мкм

Следует отметить некоторые моменты контроля:

- шаг сканирования вихретокового преобразователя не должен превышать его диаметр;
- превышение порога срабатывания дефектоскопа сигнализирует о наличии дефекта;
- в целях выявления разнонаправленных дефектов сканирование производят в двух направлениях;
- границы дефекта определяют по прекращению срабатывания автоматической сигнализации дефекта;
- ложные дефекты должны быть идентифицированы и во внимание не принимаются.

Второй метод неразрушающего контроля, о котором мы писали выше, это капиллярный метод. Он предназначен для выявления поверхностных дефектов с шириной раскрытия до 1–2 мкм.

Метод по чувствительности практически не уступает магнитопорошковому методу, который в нашем случае невозможно применить из-за немагнитного материала пирамидальной подставки.

Капиллярный контроль (КПК) прост по технологии выполнения, доступен практически каждому и не требует высокой квалификации специалиста при оценке наличия дефекта, по сравнению с ВТК. Все, что требуется для КПК, – это наличие трех аэрозольных баллонов, содержащих очиститель, пенетрант и проявитель. Как правило, они продаются в виде готовых наборов и не требуют подбора на совместимость.

Рассмотрим последовательность выполнения КПК.

На *первом этапе* наносится очиститель, которым удаляют любые загрязнения, затрудняющие проникновение пенетранта в область трещины, и обезжиривают поверхность.

На *втором этапе* наносится сам пенетрант. Широко используется пенетрант классического красного цвета (рис. 6).



а – сварной шов между двумя отверстиями, которые служат для фиксации пирамиды в верхнем поднятом положении



б – сварной шов рукоятки



в – сварной шов рукоятки и глубокий концентратор в виде вырыва

Рисунок 6. – Нанесение пенетранта в месте проведения сварочных работ и глубоких концентраторов (механических повреждений)

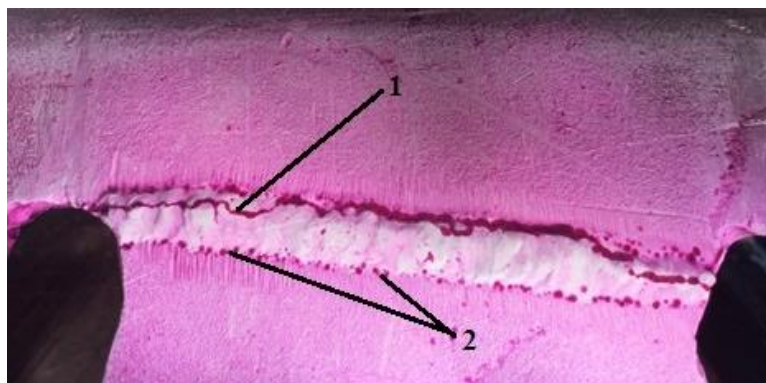
На *третьем этапе* удаляют излишки пенетранта (очистка осуществляется до его высыхания). Остатки пенетранта можно вытереть насухо ветошью через 5–10 мин после нанесения.

На *четвертом этапе* наносят проявитель и через 2–3 мин осматривают поверхность (рис. 7а) на наличие индикаторных следов глубоких дефектов, через 20–30 мин (рис. 7б) на наличие индикаторных следов мелких дефектов. В качестве проявителя используют контрастную белую краску из комплекта капиллярного набора из трех баллонов. Проявитель извлекает пенетрант из несплошностей, в результате чего формируется индикаторный след. Наличие такого цветного контраста облегчает обнаружение дефектов.

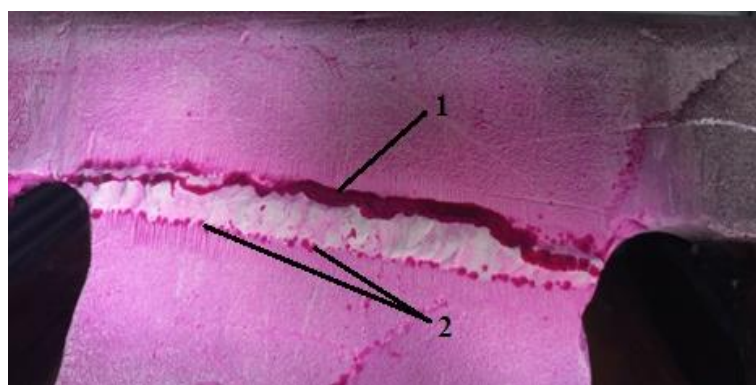
Особое внимание уделяется проявлению дефектов после выдержки 2–3 мин после нанесения проявителя. Яркость и ширина индикаторного следа косвенно указывают на развивающийся дефект. Чем больше яркость и ширина следа, тем больше дефект по своим размерам по сравнению с другими следами, обнаруженными в зоне контроля.

На *пятом этапе* осуществляется идентификация дефектов и регистрация результатов контроля. Так, линейный нитевидный след, как правило, свидетельствует о наличии дефекта типа трещина, заусенец, риска, царапина. След округлой формы, как правило, соответствует таким дефектам, как пора, раковина, межкристаллитная коррозия.

На *шестом этапе* производится окончательная очистка объекта контроля [6; 7].



а – индикаторный след после выдержки 5 мин



б – индикаторный след после выдержки 20 мин

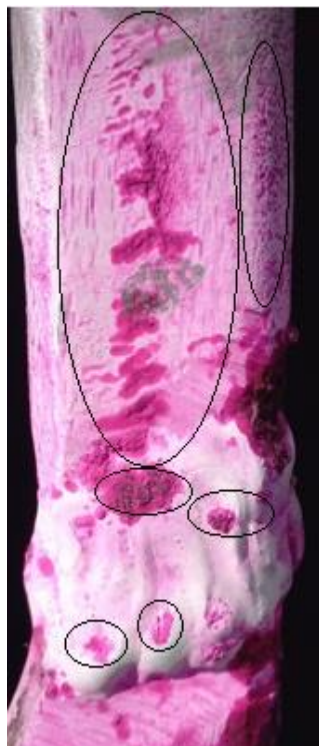
1 – трещина продольная; 2 – скопление пор

Рисунок 7. – Выявление трещины, сетки скопления пор в сварном шве и на границе сплавления

На рисунке 7а отчетливо видно внизу, на границе сплавления, сетку пор по всей длине сварного шва. Сверху, на границе сплавления с переходом на поверхность основного шва, обнаружена продольная трещина. При этом имеется поперечная трещина длиной 6 мм в виде ответвления от продольной трещины под углом $\approx 90^\circ$. Значительная глубина и ширина раскрытия продольной трещины наблюдаются с правой стороны со смещением от центра (середины) сварного шва (рис. 7б). Поэтому косвенно можно говорить, что эта зона является очагом развития дефекта.

На рисунках 8а и 8б хорошо видно, что рукоятки пирамидальной опоры подвержены более частым разрушениям, что подтверждается ремонтом их с помощью сварки. Если вернуться к рисунку 3, то имеется непосредственная связь обломавшегося фрагмента пирамидальной опоры с рукояткой. Отверстие рукоятки выполнено таким образом, что часть ее затрагивает нижнюю контактную часть пирамиды. Поэтому рукоятки, служащие для переноса и перемещения пирамидальной подставки в верхнее и нижнее положение, являются концентраторами напряжений. Также концентраторами напряжений следует считать зону между двумя отверстиями, которые служат для фиксации пирамиды в верхнем поднятом положении.

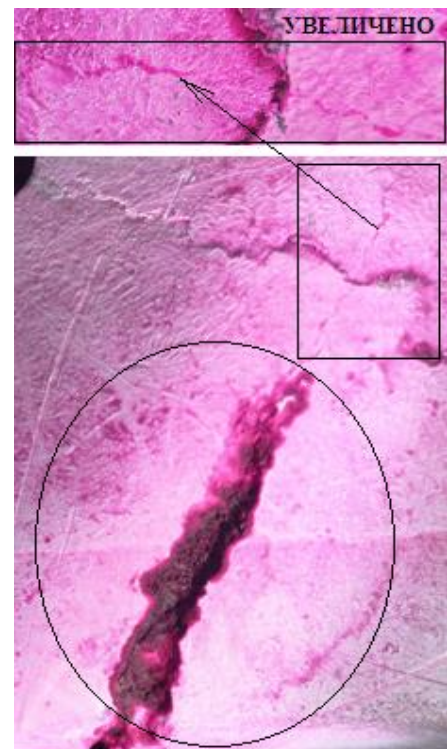
Справочно: концентраторами напряжений являются имеющиеся в металле трещины, несплошности и всевозможные включения с острыми краями, а также резкие переходы в детали от одного сечения к другому, отверстия, риски от механической обработки, впадины и выступы [8].



а – линейные нитевидные следы в виде растрескивания в основном металле, следы округлой формы в металле сварного шва и на границе сплавления в виде пор (рукоятка)



б – следы на границе сплавления сварного шва



в – нитевидный след в виде трещины, идущий от концентратора напряжений (вырыва)

Рисунок 8. – Обнаружение индикаторных следов

Заключение

На основании проведенных исследований можно утверждать об эффективности обнаружения поверхностных дефектов методом КПК. Поэтому применять его следует в комплексе с вихретоковым методом. Например, в местах сварки целесообразнее проводить КПК, поскольку геометрия сварного шва не позволяет размещать вихретоковый преобразователь под углом 90°. На ровной поверхности ВТК не реагирует на грубые переходы литья, в то время как КПК отображает такие переходы в виде индикаторного следа.

В заключение хотелось бы отметить, что комплексное использование ВТК и КПК способствует повышению безопасности погрузочно-разгрузочных работ крупногабаритных грузов на железнодорожном транспорте. Своевременно обнаруженные дефекты позволяют избежать нештатных ситуаций и несчастных случаев. Приобретение набора баллонов для

КПК не приведет к серьезным финансовым затратам предприятия, а своевременный контроль является залогом надежной работы ответственного оборудования.

Для дальнейшей работы требуется лишь обучение и сертификация лица, ответственного за содержание грузоподъемных кранов в исправном состоянии по капиллярному и (или) вихретоковому методу, на уровень компетентности не ниже второго в соответствии с государственным стандартом³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томилин, И.П. Краны типа ЕДК. Устройство и эксплуатация: учеб. пособие для техн. школ / И.П. Томилин, Г.И. Новиков. – М.: УМК МПС России, 2000. – 157 с.
2. Восстановительные работы на железных дорогах / Н.В. Васильев [и др.]; под ред. В.М. Шитова, Н.А. Шелудько. – М.: Транспорт, 1993. – 167 с.
3. Отока, А.Г. Подтверждающий магнитопорошковый контроль после проведения сварочных работ на корпусе автосцепки СА-3 / А.Г. Отока // Сварщик в Белоруссии. – 2022. – № 2 (111). – С. 36–41.
4. Крюкова, А.И. Обоснование капиллярного метода контроля сварных швов металлоконструкции крана в АО «Северный порт» г. Москвы / А.И. Крюкова, А.И. Шевелёв // Инновационная наука. – 2022. – № 12-1. – С. 31–34. – EDN: QDASLQ.
5. Богачев, И.О. Выбор оптимального набора для капиллярной дефектоскопии / И.О. Богачев, М.Н. Давыдов, Ю.С. Ткаченко // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2018. – Т. 14, № 5. – С. 132–137. – EDN: VJWSCM.
6. Отока, А.Г. Чувствительность вихретоковых дефектоскопов различного типа при выявлении подповерхностных дефектов / А.Г. Отока, О.В. Холодилов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2023. – № 1. – С. 23–29. – EDN: GTWYON.
7. Дымкин, Г.Я. О чувствительности вихретокового контроля деталей железнодорожного подвижного состава / Г.Я. Дымкин [и др.] // Дефектоскопия. – 2019. – № 8. – С. 47–53. – DOI: 10.1134/S0130308219080062. – EDN: QTUMEC.
8. Павлов, П.А. Сопротивление материалов: учеб. пособие / П.А. Павлов, Л.К. Паршин, Б.Е. Мельников. – СПб.: Лань, 2003. – 528 с.

³ Контроль неразрушающий. Квалификация и сертификация персонала в области неразрушающего контроля: СТБ ISO 9712-2016. – Введ. 01.07.17. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. – 27 с.

**Повышение безопасности железнодорожного крана ЕДК-2000
аварийно-восстановительного поезда путем своевременного выявления
дефектов в пирамидальных опорных подставках**
**Improving the safety of the EDK-2000 emergency recovery train railway crane
by timely detecting defects in the pyramidal support stands**

Отока Александр Генрикович

Учреждение образования «Белорусский
государственный университет транспорта»,
кафедра «Вагоны», аспирант

Адрес: ул. Кирова, 34,
246653, г. Гомель, Беларусь

Email: otokaa@mail.ru

SPIN-код: 2466-5708

Alexander G. Otoka

Educational institution «Belarusian
State University of Transport»,
Chair «Wagons», postgraduate student

Address: Kirova str., 34,
246653, Gomel, Belarus

Email: otokaa@mail.ru

ORCID: 0009-0003-9926-9439

Холодилов Олег Викторович

доктор технических наук, профессор

Учреждение образования «Белорусский
государственный университет транспорта»,
кафедра «Вагоны», профессор

Адрес: ул. Кирова, 34,
246653, г. Гомель, Беларусь

e-mail: olhol@tut.by

SPIN-код: 1818-4103

Oleg V. Kholodilov

Grand PhD in Technical Sciences, Professor

Educational institution «Belarusian
State University of Transport»,
Chair «Wagons», Professor

Address: Kirova str., 34,
246653, Gomel, Belarus

e-mail: olhol@tut.by

ORCID: 0009-0005-5799-0097

IMPROVING THE SAFETY OF THE EDK-2000 EMERGENCY RECOVERY TRAIN RAILWAY CRANE BY TIMELY DETECTING DEFECTS IN THE PYRAMIDAL SUPPORT STANDS

Otoka A.G., Kholodilov O.V.

Purpose. To analyze the possibility of using non-destructive testing methods to identify hidden surface defects in the pyramidal support stands of railway cranes EDK-2000 of emergency recovery trains.

Methods. Based on the physical properties of the material of the control object, eddy current and capillary flaw detection were used as methods for detecting defects.

Findings. In practice, capillary and eddy current control have shown excellent results in detecting operational defects that cannot be determined by visual inspection of pyramidal support stands of railway cranes of the EDK-2000 type. Depending on the condition of the surface of the support stands and technical features of the application of methods that affect their sensitivity, it is more expedient to carry out capillary control in combination with eddy current. The photographs with indicator drawings of defects detected by the capillary method in pyramidal stands are shown. The technology of eddy current control of the support is given, taking into account the sensitivity setting as SOP 2353.08 made of D16T alloy.

Application field of research. Railway transport.

Keywords: safety, pyramidal support stands, EDK-2000 crane, emergency recovery train, capillary control, eddy current control.

(The date of submitting: December 18, 2023)

REFERENCES

1. Tomilin I.P., Novikov G.I. *Krany tipa EDK. Ustroystvo i ekspluatatsiya* [EDK type cranes. Design and operation]: tutorial. Moscow: Ministry of Railways of Russia, 2000. 157 p. (rus)
2. Vasil'ev N.V., Rodionov R.A., Komarov O.I., Shelud'ko N.A., Shitov V.M., Shkunov E.P. *Vosstanovitel'nye raboty na zheleznykh dorogakh* [Restoration work on railways]. Ed. by V.M. Shitova, N.A. Shelud'ko. Moscow: Transport, 1993. 167 p. (rus)
3. Otoka A.G. Podtverzhdayushchiy magnitoporoshkovyy kontrol' posle provedeniya svarochnykh rabot na korpuse avtostseпки SA-3 [Confirmatory magnetic particle testing after welding work on the body of the SA-3 automatic coupler]. *Svarshchik v Belorussii*, 2022. No. 2 (111). Pp. 36–41. (rus)
4. Kryukova A.I., Shevelev A.I. Obosnovanie kapillyarnogo metoda kontrolya svarnykh shvov metallokonstruktsii krana v AO «Severnny port» g. Moskvy [Justification of capillary method of control of welded seams of crane metal structure in Severny Port, Moscow]. *Innovation science*, 2022. No. 12-1. Pp. 31–34. (rus). EDN: QDASLQ.
5. Bogachev I.O., Davydov M.N., Tkachenko Yu.S. Vybor optimal'nogo nabora dlya kapillyarnoy defektoskopii [Comparative characteristics of kits for capillary defectoscopy]. *Bulletin of Voronezh State Technical University*, 2018. Vol. 14, No. 5. Pp. 132–137. (rus). EDN: VJWSCM.
6. Otoka A.G., Kholodilov O.V. Chuvstvitel'nost' vikhretokovykh defektoskopov razlichnogo tipa pri vyavlenii podpoverkhnostnykh defektov [Sensitivity of various types of eddy current flaw detectors when detecting subsurface defects]. *Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika*, 2023. No. 1. Pp. 23–29. (rus). EDN: GTWYON.
7. Dymkin G.Y., Shevelev A.V., Kurkov A.V., Smorodinskii Y.G. On the sensitivity of eddy current testing of parts of railway rolling stock. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2019. Vol. 55, No. 8. Pp. 610–616. DOI: 10.1134/S1061830919080059. EDN: KLXPIU.
8. Pavlov P.A., Parshin L.K., Mel'nikov B.E. *Soprotivlenie materialov* [Strength of materials]: tutorial. Saint Petersburg: Lan', 2003. 528 p. (rus)

ИЗМЕНЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ИНДИКАТОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРНЫХ-СПАСАТЕЛЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ГРУППУ РИСКА

Целых Е.Д., Скворцов Д.А., Ахтямов М.Х., Кузьмичев Е.Н.

Цель. Определение оперативных индикаторных характеристик сердечно-сосудистой системы пожарных-спасателей после заступления на дежурство, тренировочного процесса и ликвидации чрезвычайной ситуации для выявления группы риска.

Методы. Исследованы характеристики кислородтранспортной системы: частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое и диастолическое артериальное (САД и ДАД), пульсовое давление (ПД), насыщенность крови кислородом (SpO_2), индекс стресса (ИС) пожарных-спасателей и водителей пожарного автомобиля (группа сравнения), работающих в Хабаровске.

Функциональные характеристики ЧСС, SpO_2 , ИС измерены с помощью прибора «Ангиоскан-01П»; САД, ДАД – методом Короткова с помощью прибора для измерения артериального давления (АД) OmronM2 Eco. Антропометрические морфологические показатели: рост (Р) и масса тела (МТ) измерены с помощью «Ростомера Твесм РП» и напольных весов «ВМЭН-150-50/100-Д2-А». Представлены расчетные показатели: ПД и индекс массы тела (ИМТ).

Результаты. Определена тенденция к высоким показателям Р и МТ у водителей пожарных автомобилей (группа Б). Во всех группах ИМТ соответствует верхней границе физиологического норматива и может рассматриваться, учитывая размах $\pm m$, как повышенная МТ на фоне избыточного питания.

Анализ индикаторных характеристик сердечно-сосудистой системы (ССС) пожарных-спасателей (группа А) выявил, что после заступления на дежурство (08:30) некоторые показатели были выше верхней границы норматива, особенно ПД, что согласуется с концепцией о функционально-метаболической адаптации, проявляющейся до выполнения работы у людей, связанных с выполнением экстремальных нагрузок. После тренировки большинство показателей ССС практически восстанавливались до первоначальных. Однако во время тренировки ПД увеличилась, и через 60 мин после тренировки восстановления ПД не происходило. Дизадаптивное изменение ПД после ликвидации ЧС является показателем отставания процессов восстановления баланса вегетативной нервной системы (ВНС) и может привести к головным болям, дезориентации, временной неспособности к принятию решений. Наиболее оперативной характеристикой, определяющей состояние организма пожарных-спасателей при выполнении экстремальных нагрузок, является ПД, что может быть учтено при допуске к тренировкам и ликвидации ЧС.

Область применения исследований. Результаты исследования могут быть внедрены в практику в виде предложений о проведении профилактической индикации ПД и ИС перед выходом на смену, для определения группы риска и осуществления коррекционных воздействий.

Ключевые слова: пожарные, сердечно-сосудистая система, артериальное давление, частота сердечных сокращений, индекс стресса, чрезвычайная ситуация.

(Поступила в редакцию 20 октября 2023 г.)

Введение

При тушении пожаров около 80 % рабочего времени пожарные находятся в токсичной среде [1]. К профессиональным факторам, неблагоприятно воздействующим на организм пожарных-спасателей, относятся тяжесть и напряженность труда, повышенная загазованность, которые в сочетании с производственным стрессом приводят к нарушению здоровья [2].

Поиск интегративных параметров, по изменениям которых можно было бы адекватно оценить состояние организма, остается очень актуальным. Анализ современной научной литературы показал, что в результате постоянной сверхнапряженной деятельности в организме происходит изменение физиологических характеристик в сторону дизадаптивных значений за некоторое время до начала действия сверхнагрузок. Данное положение лежит в основе концепции о функционально-метаболических изменениях в организме непосредственно перед выполнением сложной, связанной с риском для жизни деятельности, например, ликвидации ЧС. При этом функциональные изменения могут быть чрезмерными. Согласно общей теории адаптации в условиях действия адаптивных факторов организм определяет оптимальные варианты гомеостатического регулирования с целью создания новой программы уравновешивания всех звеньев внешней и внутренней среды, в том числе создание программы максимум, при которой включенные в нее элементы отвечают гиперреакцией [3]. Негативные изменения служат признаком готовности организма к возможности справиться с высокими нагрузками и (или) с признаками утомления [4].

В качестве индикатора адаптационных возможностей организма рассматривается ССС, а уровень ее функционирования, который является регулируемой величиной, определяется как ведущий показатель, отражающий равновесие организма со средой [5]. У представителей экстремальных профессий здоровая ССС представляет особую важность из-за постоянных нагрузок. Так, вес дыхательного аппарата – 15,5 кг, с одеждой пожарного – более 20 кг, что является повышенной нагрузкой на ССС.

Основными показателями состояния ССС являются: ЧСС, АД, ударный и минутный объемы, количество циркулируемой крови и скорость кровотока [6]. Однако сопоставление этих показателей не всегда демонстрирует отклонение при значениях, соответствующих нормативу. Например, при САД = 120 мм рт. ст. и ДАД = 60 мм рт. ст., укладываемых в нормативы, ПД = 60 мм рт. ст., что значительно выше верхней границы нормы для ПД. В то же время такой информационно емкий показатель, как ПД, практически не рассматривается [7].

При отсутствии патологии сердца, у практически здоровых людей интенсивные физические нагрузки не влияют на ПД [8]. С течением времени ПД имеет тенденцию к увеличению у людей зрелого возраста из-за уменьшения растяжимости артериальной стенки. В настоящее время ряд российских и зарубежных ученых считают достоверное повышение ПД независимым фактором риска развития заболеваний ССС [9].

Информационными индикаторными оперативными характеристиками являются ИС, SpO₂ организма пожарных-спасателей в условиях несения службы. Наблюдение в динамике показало, что в течение 5 лет у 37 % пожарных-спасателей развивается стабильная артериальная гипертензия ($p < 0,05$), которая связана с нарушением обменных процессов, истощением адаптации, психологического статуса работников (раздражительность, неустойчивое внимание, снижение памяти и мыслительных функций, эмоциональная лабильность) [10].

Оценка профессионального риска включает апостериорное прогнозирование состояния здоровья пожарных-спасателей [11]. Использование ССС как системы, чутко реагирующей на изменения внешней и производственной среды, дает возможность, с одной стороны, судить о процессах адаптации организма к изменившимся условиям, с другой стороны – выявить начальные признаки сердечно-сосудистой патологии [12].

В нашей стране характеристики ССС пожарных-спасателей активно исследуются. Отмечена тенденция к увеличению количества лиц с повышенным АД в группе со стажем работы более 10 лет. При оценке ЧСС различий между группами не установлено [13].

Наблюдение за ПД, которое является одной из наиболее информативных характеристик вегетативных реакций, позволит определить наличие рассогласования между отделами вегетативной нервной системы, которое может привести к головным болям, дезориентации в пространстве, временной неспособности к принятию решений [14]. Исходя из литературных данных, увеличение ПД на 10 мм рт. ст. коррелирует с повторным инфарктом миокарда

и риском смерти от сердечно-сосудистых осложнений (ССО). Выявлено, что увеличение ПД является независимым предиктором ССО [15].

Длительное бессимптомное изменение характеристик АД приводит к развитию дизадаптивных реакций, преимущественно по типу когнитивных нарушений, способствует возникновению страха и депрессии, независимо от пола и возраста. Однако работы о прогностической роли ПД немногочисленны и весьма противоречивы [16].

По данным российских ученых, в Российской Федерации за год погибает 19 на 10 000 пожарных-спасателей [15].

Актуальность данной темы состоит в том, что изучение индикаторных психофизиологических характеристик организма в условиях экстремальных ситуаций с риском для жизни, оказывающих влияние на профессиональное поведение пожарных-спасателей, во время несения службы при отсутствии ЧС, во время / после тренировки и во время / после окончания ликвидации ЧС, позволит избежать травм и жертв среди пожарных-спасателей, поможет сохранить жизнь пожарных-спасателей и уберечь их от травм.

Основная часть

Объем и методы исследования. Проведено исследование (2020–2023 гг.) параметров ССС – ЧСС; САД, ДАД и ПД; SpO₂, ИС – пожарных-спасателей (мужчин), работающих в Хабаровске: в 4-й пожарной части Федерального государственного бюджетного учреждения «10 отряд федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы по Хабаровскому краю» (4 ПЧ ФГБУ «10 отряд ФПС ГПС по Хаб. краю»); 1-й, 3-й и 30-й пожарно-спасательных частях 21-го отряда федеральной противопожарной службы Главного управления МЧС России по Хабаровскому краю (1, 3 и 30 ПСЧ 21 ОФПС ГУ МЧС РФ по Хаб. краю); 2-й пожарно-спасательной части 21-го пожарно-спасательного отряда федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы Главного управления МЧС России по Хабаровскому краю (2 ПСЧ 21 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС России по Хаб. краю); службе поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов акционерного общества «Хабаровский аэропорт» (СПАСОП).

90,1 % обследуемых имели специальность пожарного-спасателя (группа А, $n = 91$), 9,9 % – водители пожарного (аварийно-спасательного) автомобиля (группа Б, $n = 10$). Критериями включения в обследуемую группу А были: специальность пожарного-спасателя, непосредственно участвующего в тушении пожаров (работа с экстремальными факторами среды), возраст – от 23 до 43 лет, средний стаж – $8,03 \pm 1,24$ лет, средний возраст – $34,46 \pm 2,01$ года, место проживания и работы – Хабаровск. В зависимости от возраста, испытуемые группы А были разделены на две возрастные группы: группа А1 – пожарные-спасатели первого периода зрелого возраста – 23–35 лет (71 человек, средний возраст – $24,6 \pm 2,1$ года), группа А2 – пожарные-спасатели второго периода зрелого возраста, 36–43 года (20 человек, средний возраст $40,7 \pm 1,2$ лет).

Критерии исключения: доставляют пожарных-спасателей к месту ЧС, контролируют надежную работу оборудования и подают огнетушащие вещества, не находятся в эпицентре пожара – группа Б (возраст – 25–40 лет; средний стаж – $11,1 \pm 0,87$ лет, средний возраст – $34,2 \pm 2,8$ года; место проживания и работы – Хабаровск).

Все участники дали добровольное подписанное информированное согласие на участие в исследовании.

Ряд функциональных характеристик – ЧСС, SpO₂, ИС – были измерены с помощью персонального диагностического прибора для анализа состояния сосудистой системы «Ангиоскан-01П». Методом Короткова определяли САД, ДАД с помощью прибора OmronM2 Eсо. Метод основан на различии звуков САД обследуемого (первый тон Короткова) и звука, обусловленного вибрациями, возникающими вследствие закрытия клапанов желудочков [17].

Для получения антропометрических морфологических показателей Р и МТ использовались «Ростомер Твес РП» и напольные медицинские весы «ВМЭН-150-50/100-Д2-А». «Ростомер Твес РП» предназначен для измерения роста в положении стоя/сидя, в медицинских, оздоровительных, спортивных и других учреждениях; весы позволяют взвешивать людей до 150 кг [18].

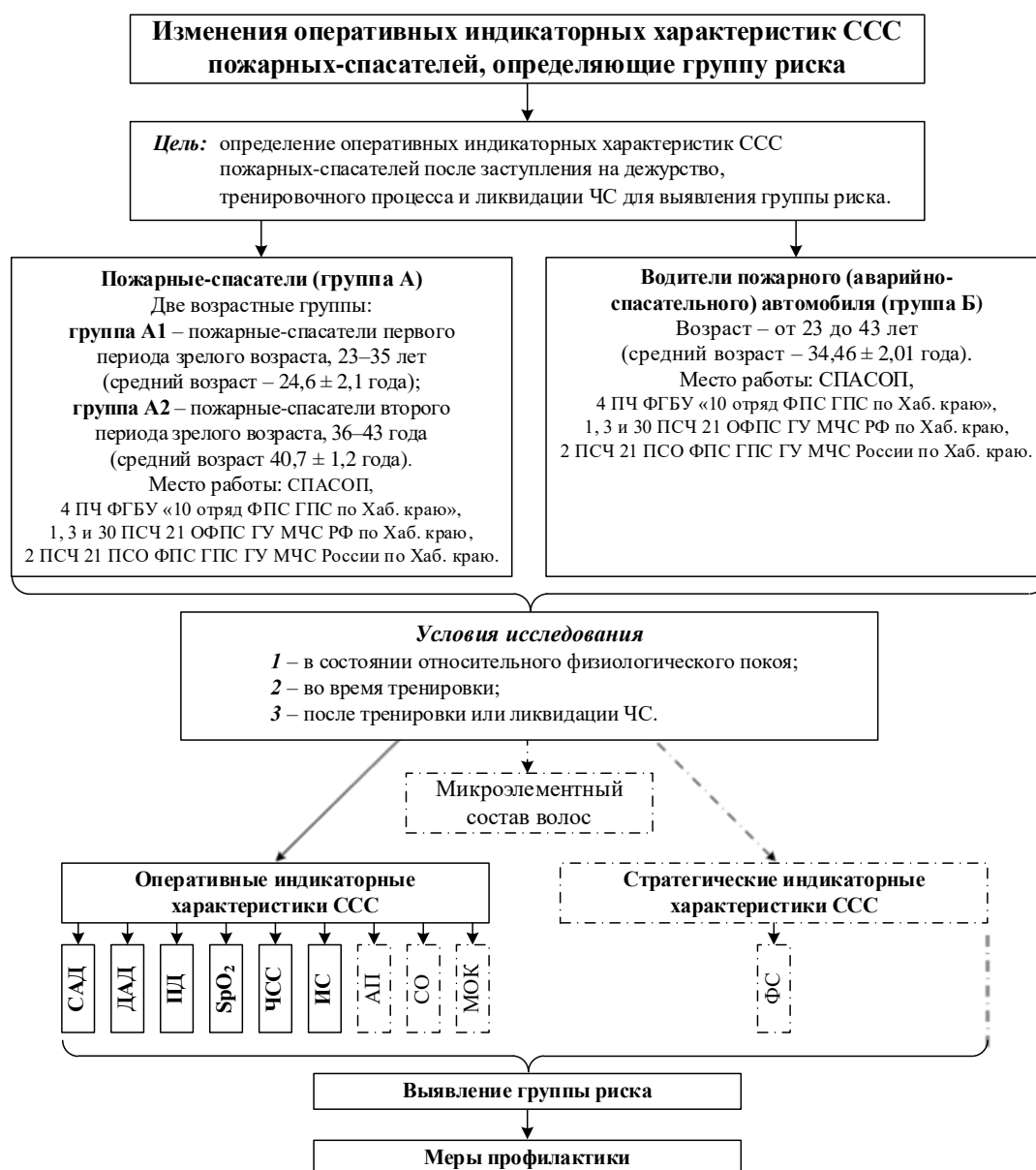
В работе представлены расчетные показатели: ПД и ИМТ.

Средний ПД здоровых людей равен 40 мм. рт. ст. В состоянии физиологического покоя в норме пульсовое давление составляет от 35 до 45 мм рт. ст. ПД вычисляли по формуле:

$$\text{ПД} = \text{САД} - \text{ДАД} \quad (\text{мм рт. ст.}),$$

где САД и ДАД измеряются в мм рт. ст.

В дальнейшем планируется расширить объем и обработку результатов исследования, дополнив его расчетом систолического объема (СО) и минутного объема кровообращения (МОК), оценкой функционального состояния (ФС) ССС и адаптационного потенциала (АП), анализом микроэлементного состава волос (рис. 1).



Оценка характеристик, обозначенных пунктирными линиями, находится в разработке и не представлена в данной статье.

Рисунок 1. — Дизайн исследования

При статистическом анализе использовались стандартные методы вариационной статистики: определение достоверности полученных данных в условиях стандартного нормального распределения для независимых выборок – по коэффициенту Стьюдента; ошибка оценивалась с помощью средней квадратической ошибки ($M \pm m$). Проверка нормальности распределения малых выборок, численностью до 50 вариантов проводилась с использованием критерия Шапиро – Уилка (Shapiro – Wilk); для расчета однородности двух независимых экспериментальных выборок – хи-квадрат. Использовалась репрезентативная выборка данных, которая содержала информацию о характеристиках ССС мужчин, профессионально связанных с ликвидацией ЧС: пожарные-спасатели (группа А) и водители пожарного (аварийно-спасательного) автомобиля (группа Б), ($n = 101$).

Статическая обработка данных выполнена с помощью пакета «Анализ данных» в Microsoft Office Excel, 2016.

Результаты. Дизайн исследования предполагал, что средний возраст обследованных группы А – $34,46 \pm 2,01$ года не отличался достоверно от группы Б – $34,2 \pm 2,88$ года.

Первая часть работы была посвящена определению некоторых морфологических характеристик (табл. 1) и оперативных индикаторных характеристик ССС (табл. 2) пожарных-спасателей Хабаровска в состоянии относительного физиологического покоя (08:30, после заступления на дежурство), в сравнении с возрастными показателями (А1, А2) и данными группы сравнения (Б) (табл. 1, 2).

Определено, что Р, МТ, и ИМТ пожарных-спасателей разных возрастных групп и водителей пожарных автомобилей не имеет достоверных отличий. Однако определяется тенденция более высоких показателей Р и МТ в группе Б (сравнения), т.е. у водителей пожарных автомобилей.

Таблица 1. – Средние ($M \pm m$) морфологические характеристики пожарных-спасателей разных возрастных групп (А1, А2), без учета возраста, и водителей пожарных автомобилей (Б) Хабаровска (2022–2023 гг.)

№	Обследуемая группа	Р, см	МТ, кг	ИМТ, кг/м ²
1	Группа А1 (от 23 до 35 лет), ($n = 71$, средний возраст $24,6 \pm 2,1$)	$176,4 \pm 6,17$	$77,23 \pm 3,07$	$24,67 \pm 1,38$
2	Группа А2 (от 36 до 43 лет), ($n = 20$, средний возраст $40,7 \pm 1,2$)	$177,75 \pm 1,95$	$76,50 \pm 3,90$	$24,35 \pm 1,39$
3	Группа А (от 23 до 43 лет), ($n = 91$, средний возраст $34,5 \pm 2,01$)	$176,68 \pm 0,97$	$77,07 \pm 4,15$	$24,62 \pm 4,39$
4	Группа Б (от 25 до 40 лет) ($n = 10$, средний возраст $34,2 \pm 2,8$)	$180,80 \pm 3,08$	$81,20 \pm 2,38$	$24,56 \pm 1,13$

Во всех обследуемых группах ИМТ соответствует верхней границе физиологического норматива и может рассматриваться, учитывая размах показателя $\pm m$, как повышенная масса тела на фоне избыточного питания.

Анализ средних оперативных индикаторных характеристик ССС пожарных-спасателей разных возрастных групп (А1, А2) выявил, что после заступления на дежурство (08:30) некоторые показатели уже не соответствовали границам физиологического норматива в состоянии относительного физиологического покоя (табл. 2), что согласуется с положением концепции о функционально-метаболической адаптации, проявляющейся у людей до выполнения работы, связанной с экстремальными нагрузками [19].

В группе А2 до воздействия нагрузок отмечено больше показателей, измененных в сторону дизадаптации. Например, САД, ДАД, ПД выше верхней границы физиологического норматива для состояния относительного физиологического покоя. Однако из определенных средних оперативных индикаторных характеристик ССС пожарных-спасателей разных возрастных групп (А1, А2) Хабаровска в состоянии относительного физиологического

покоя (*условие 1* исследования) выше верхней границы физиологического норматива отмечено только ДАД (табл. 2).

Показатели САД, ДАД, ПД не находятся в границах физиологического норматива и отражают объективные дегенеративные возрастные структурно-функциональные изменения, что может быть критическим для эффективности профессиональной деятельности в группе А2. Кроме того, выявленные различия определяют большую вероятность срыва адаптационных механизмов и нарушений соматического здоровья у спасателей-пожарных группы А2 относительно пожарных возраста А1 (до 35 лет), что может усугубляться при дополнительном воздействии гипокомфортных природно-климатических факторов [20].

Таблица 2. – Средние ($M \pm m$) оперативные индикаторные характеристики ССС пожарных-спасателей разных возрастных групп (А1, А2) Хабаровска (2022–2023 гг.) в состоянии относительного физиологического покоя (*условие 1* исследования)

Индикаторная характеристика ССС	Группа А1 (от 23 до 35 лет), ($n = 71$, средний возраст $24,6 \pm 2,1$)	Группа А2 (от 36 до 43 лет), ($n = 20$, средний возраст $40,7 \pm 1,2$)	p -значение
САД, мм рт. ст.	$124,00 \pm 3,17$	$128,50 \pm 4,39$	$p \leq 0,1$
ДАД, мм рт. ст.	$77,33 \pm 2,14$	$83,25 \pm 2,41$	$p \leq 0,01$
ПД, мм рт. ст.	$45,87 \pm 2,53$	$45,25 \pm 4,63$	$p \leq 0,1$
ЧСС, уд/мин	$69,60 \pm 3,16$	$74,50 \pm 6,58$	$p \leq 0,1$
ИС, усл. ед.	$89,00 \pm 2,34$	$89,25 \pm 3,56$	$p \leq 0,1$
SpO ₂ , %	$97,4 \pm 0,47$	$98,00 \pm 0,48$	$p \leq 0,1$

Примечание. Здесь и далее полужирным курсивом показаны средние значения, не соответствующие границам физиологического норматива; достоверность различий между средними значениями характеристик групп подтверждается малой величиной p – вероятности ошибки в случае отклонения нулевой гипотезы о равенстве этих средних значений.

В группе Б, в отличие от группы А, в состоянии относительного физиологического покоя определяется отклонение от нормы средних значений характеристик ССС: показатели водителей пожарных автомобилей (группа Б) находятся выше верхней границы физиологического норматива исследуемых параметров (табл. 3).

Таблица 3. – Средние ($M \pm m$) оперативные индикаторные характеристики ССС пожарных-спасателей без учета возраста (А) и водителей пожарных автомобилей (Б) Хабаровска (2022–2023 гг.) в состоянии относительного физиологического покоя (*условие 1* исследования)

Индикаторная характеристика ССС	Группа А (от 23 до 43 лет), ($n = 91$, средний возраст $34,5 \pm 2,01$)	Группа Б (от 25 до 40 лет) ($n = 10$, средний возраст $34,2 \pm 2,8$)	p -значение
САД, мм рт. ст.	$127,10 \pm 1,08$	$148,80 \pm 2,63$	$p \leq 0,001$
ДАД, мм рт. ст.	$81,50 \pm 1,98$	$92,60 \pm 4,23$	$p \leq 0,01$
ПД, мм рт. ст.	$45,60 \pm 2,07$	$57,40 \pm 3,34$	$p \leq 0,001$
ЧСС, уд/мин	$70,63 \pm 1,79$	$78,20 \pm 2,74$	$p \leq 0,01$
ИС, усл. ед.	$89,05 \pm 4,78$	$212,4 \pm 12,44$	$p \leq 0,001$
SpO ₂ , %	$97,53 \pm 0,38$	$97,6 \pm 0,38$	$p \leq 0,1$

Анализ результатов позволяет сделать вывод об отклонениях вегетативных параметров пожарных-спасателей вне выполнения работы по ликвидации ЧС [4].

Вторая часть работы была связана с определением ЧСС, САД, ДАД, ПД, ИС, SpO₂ во время тренировки (*условие 2* исследования) и через 60 мин после тренировки (*условие 3* исследования). Тренировочные занятия проходили с целью улучшения у личного состава физической резистентности к повышенным нагрузкам, на свежем воздухе, в экипировке пожарного, с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения. Средняя продолжительность тренировочных занятий составляла около 45 мин [21, с. 444]. Комплексная тренировка проводилась с целью общей и специальной физической тренировки личного

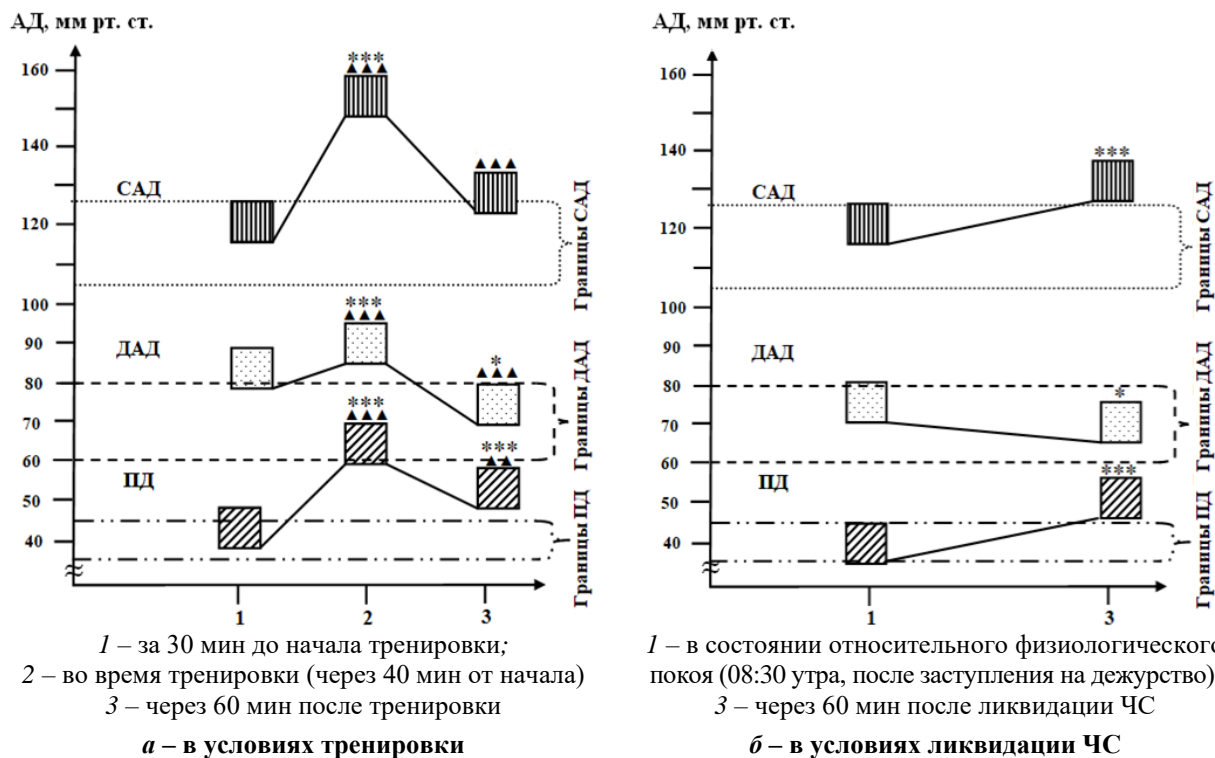
состава; включала упражнения, приемы и действия из различных разделов физической подготовки по плану: 1) подготовительная часть – 5 мин; 2) основная часть – 37 мин; 3) заключительная часть – 3 мин. Обычно включает упражнения в различных сочетаниях: в беге, прыжках через различные препятствия, в лазании и перелезании, переползании, переноске тяжестей, простейшие упражнения на перекладине, брусках, лестнице, бревне и т.п.¹

У людей с работой, включающей экстремальные компоненты, в период адаптации к нагрузкам (ликвидации ЧС или тренировки) организм показывает высокую реактивность как проявление адаптивных качеств. Это согласуется с концепцией функционально-метаболической адаптации, согласно которой подготовка организма приводит к проявлению гомеостаза ССС на высоком уровне, с рисками негативных проявлений функции и затруднения процессов восстановления [22].

Тренировочный процесс проходил на открытом воздухе в экипировке пожарного с использованием предусмотренных средств индивидуальной защиты. Основные изменения АД в период тренировки, в сравнении с характеристиками в состоянии относительного физиологического покоя, представлены на рисунке 2а.

Результаты измерений САД в условиях 1, 2 и 3 исследования обозначим САД¹, САД² и САД³ соответственно. Аналогичные обозначения введем и для остальных рассматриваемых в работе индикаторных характеристик ССС.

Средний показатель САД¹ – $127,1 \pm 1,08$ мм рт. ст. (в состоянии физиологического покоя) выше верхней границы норматива (105–125 мм рт. ст.) – является проявлением адаптации к профессиональной деятельности (рис. 2а).



Здесь и далее достоверность отличий значений, полученных в условиях 2 и 3 исследования, от значений, полученных в периоде физиологического покоя (условие 1), обеспечена следующими *p*-значениями: * – $p \leq 0,05$; *** – $p \leq 0,001$. Аналогично достоверность различий значений характеристик, полученных в предыдущих и последующих условиях исследования, обеспечена: ▲▲ – $p \leq 0,01$; ▲▲▲ – $p \leq 0,001$. Границы индикаторных характеристики ССС представлены по Н.А. Агаджаняну, И.Г. Власовой, Н.В. Ермаковой и др., 2000 [17].
Рисунок 2. – Средние ($M \pm m$) показатели АД пожарных-спасателей (без учета возрастной группы), $n = 91$

¹ Наставление по физической подготовке личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы: приказ МЧС России от 26 июля 2016 г. № 402.

В середине тренировки САД² достоверно различался с характеристикой САД¹ на 29 мм рт. ст. ($p \leq 0,001$). После тренировки САД³ отличается от САД² на 25,9 мм рт. ст. ($p \leq 0,001$). Показатель возвращается к первоначальному значению (САД¹), что указывает на положительный вариант процессов восстановления (рис. 2а).

При анализе ДАД во время тренировочного процесса (рис. 2а) было определено, что до момента экипировки (в условиях относительного физиологического покоя), в период адаптации к предполагаемым нагрузкам, средний показатель ДАД¹ соответствует верхней границе физиологического норматива – $80,30 \pm 1,58$ мм рт. ст. В середине тренировки обнаружены достоверные различия между ДАД¹ и ДАД² на 9,1 мм рт. ст. ($p \leq 0,01$), что соответствует норме при повышенных физических нагрузках и не противоречит литературным данным [23]. После окончания тренировки ДАД³ снизилось до показателя ниже ДАД¹ ($p \leq 0,05$).

Повышение ПД¹ перед тренировкой до верхней границы физиологического норматива (табл. 3, рис. 2а) объясняется проявлением динамического гомеостаза ССС на высоком уровне, что согласуется с литературными данными о положениях концепции «функционально-метаболической адаптации» по подготовке организма к выполнению значимой нагрузки с рисками негативных проявлений кардиоваскулярной функции [4]. Во время тренировки с использованием средств индивидуальной защиты на открытом воздухе ПД², увеличившись на 19,61 мм рт. ст., достигло $65,21 \pm 1,61$ мм рт. ст. ($p \leq 0,001$), см. рисунок 2а. Через 60 мин после тренировки восстановления ПД³ не произошло и оно было выше исходного на 9,1 мм рт. ст., составив $54,70 \pm 3,61$ мм рт. ст., и достоверно отличалось от показателя до тренировки и физиологического норматива ($p \leq 0,001$ и $p \leq 0,001$). Превышение ПД к окончанию тренировки верхней границы норматива свидетельствует о рассогласовании между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС, что может привести к головным болям, дезориентации в пространстве, временной неспособности к принятию решений [24].

Во время тренировочного процесса показатель ЧСС¹ находился в границах физиологического норматива (рис. 3а).

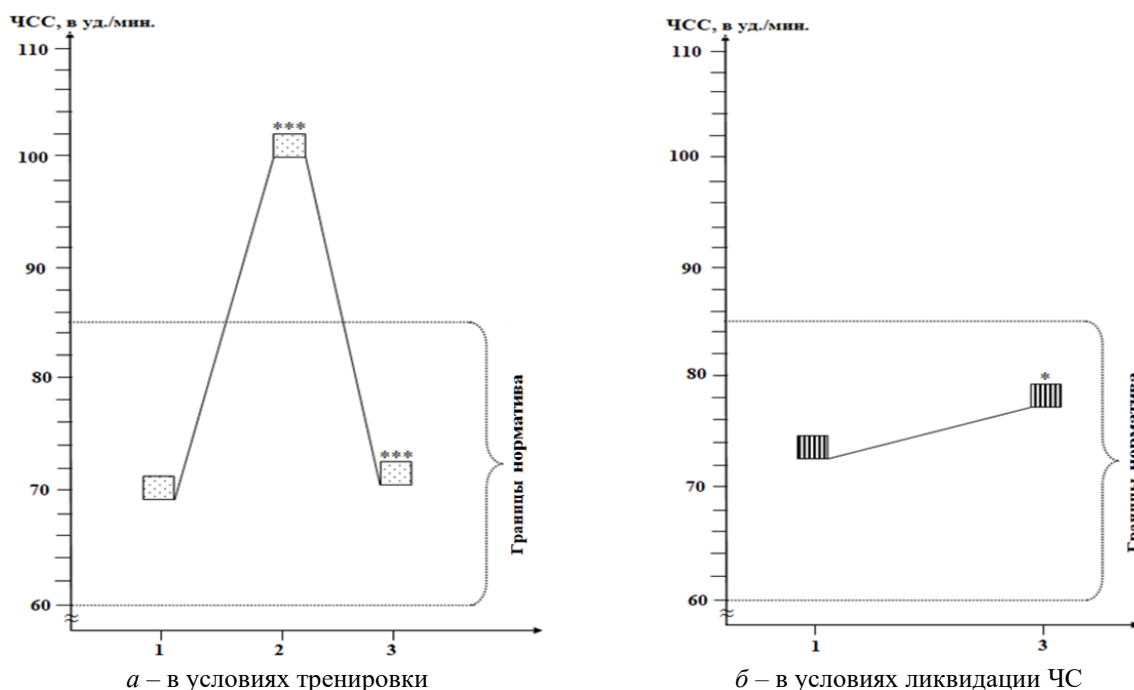


Рисунок 3. – Средние ($M \pm m$) показатели ЧСС пожарных-спасателей (без учета возрастной группы), $n = 91$

Показатель ЧСС² превышал верхнюю границу нормы на 15,2 уд/мин и достоверно различался с показателем ЧСС¹ на 32,85 уд/мин, достигая $103,48 \pm 6,21$ уд/мин. Показатели ЧСС³ и ЧСС² также достоверно различались на 30,3 уд/мин ($p \leq 0,001$), снизившись до 73,18 уд/мин. Спустя час после тренировки показатель ЧСС³ был выше ЧСС¹ на 2,55 уд/мин, т.е. произошло восстановление до исходных значений.

Для количественной характеристики ИС используется следующая шкала:

- 20–100 усл. ед. – хорошее состояние регуляторных механизмов ССС (низкий уровень ИС);
- 100–400 усл. ед. – удовлетворительное состояние (средний уровень ИС);
- 500–1000 усл. ед. – неудовлетворительное состояние (высокий уровень ИС).

При физиологическом нормативе от 20 до 100 усл. ед. ИС повышался от $89,00 \pm 4,78$ усл. ед. в состоянии относительного физиологического покоя до $ИС^2 = 139,17 \pm 11,50$ усл. ед. в тренировочный период ($p \leq 0,001$). Различие между $ИС^1$ и $ИС^2$ составило 50,17 усл. ед. Снижение ИС через 60 мин после тренировки до $ИС^3 = 96,22 \pm 6,34$ усл. ед. имело недостоверные отличия от $ИС^1$. Таким образом, после ликвидации ЧС восстановление ИС происходило в течение часа. Результаты согласуются с литературными данными российских исследователей, согласно которым при выполнении тренировочных заданий ЧСС варьировалась у пожарных-спасателей от 140 до 160 уд/мин, что характерно для выполнения тяжелых работ. Большие значения показателя ИС указывают на выраженные нарушения со стороны ССС [25].

В условиях тренировочного процесса SpO_2 пожарных-спасателей соответствует границам физиологического норматива на всех этапах, но не является оптимальным (98–100 %): $97,02 \pm 0,34$; $96,2 \pm 0,22$; $96,82 \pm 1,04$ % (рис. 4а).

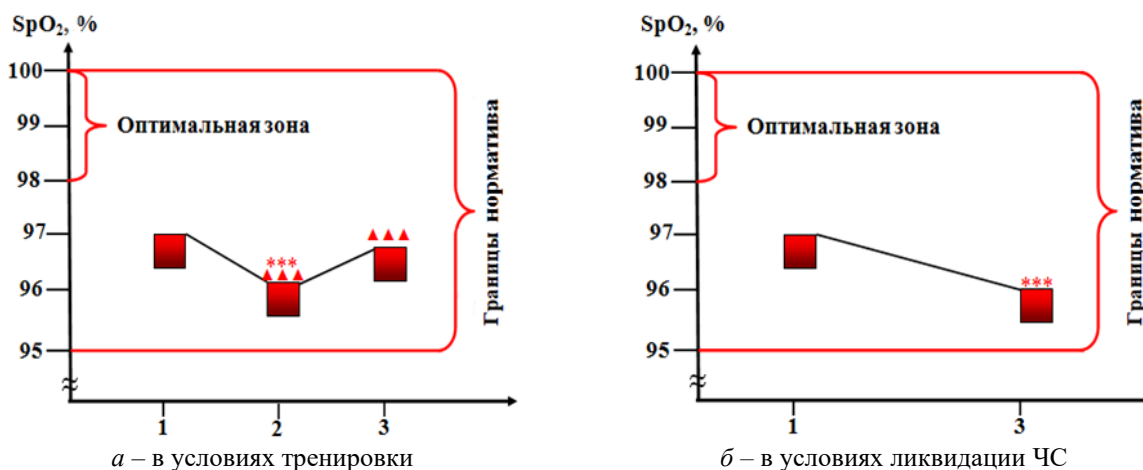


Рисунок 4. – Средние ($M \pm m$) показатели SpO_2 пожарных-спасателей (без учета возрастной группы), $n = 91$

Третья часть работы была связана с определением ЧСС, САД, ДАД, ПД, ИС, SpO_2 до (условие 1 исследования) и через 60 мин после ликвидации ЧС (условие 3 исследования), т.к. во время ликвидации ЧС возможность измерения отсутствовала. В условиях ликвидации ЧС САД¹ и САД³ пожарных-спасателей достоверно различалось ($p \leq 0,001$), что свидетельствует о затянутом процессе восстановления (рис. 2б).

При анализе ДАД во время ликвидации ЧС (рис. 2б) выявлено, что до момента экипировки (в условиях относительного физиологического покоя), в период адаптации к предполагаемым нагрузкам средний показатель ДАД¹ превышает верхнюю границу норматива – $80,30 \pm 1,58$ мм рт. ст. Колебание среднего значения ($\pm m$) позволяет рассматривать показатель ДАД¹ как соответствующий верхней границе физиологического норматива, что соответствует норме при повышенных физических нагрузках и не противоречит литературным данным [23]. После ликвидации ЧС показатель ДАД³ снизился на 5,12 % ($p \leq 0,05$) (рис. 2б).

Дизадаптивное достоверное изменение ПД³ после ликвидации ЧС в сторону увеличения является показателем затянутого процесса восстановления симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы ($p \leq 0,001$), см. рисунок 2б.

До ликвидации пожара в группе пожарных-спасателей $ИС^1 = 89,05 \pm 4,78$ усл. ед. соответствовал границам физиологического норматива (табл. 3). Через час после ликвидации

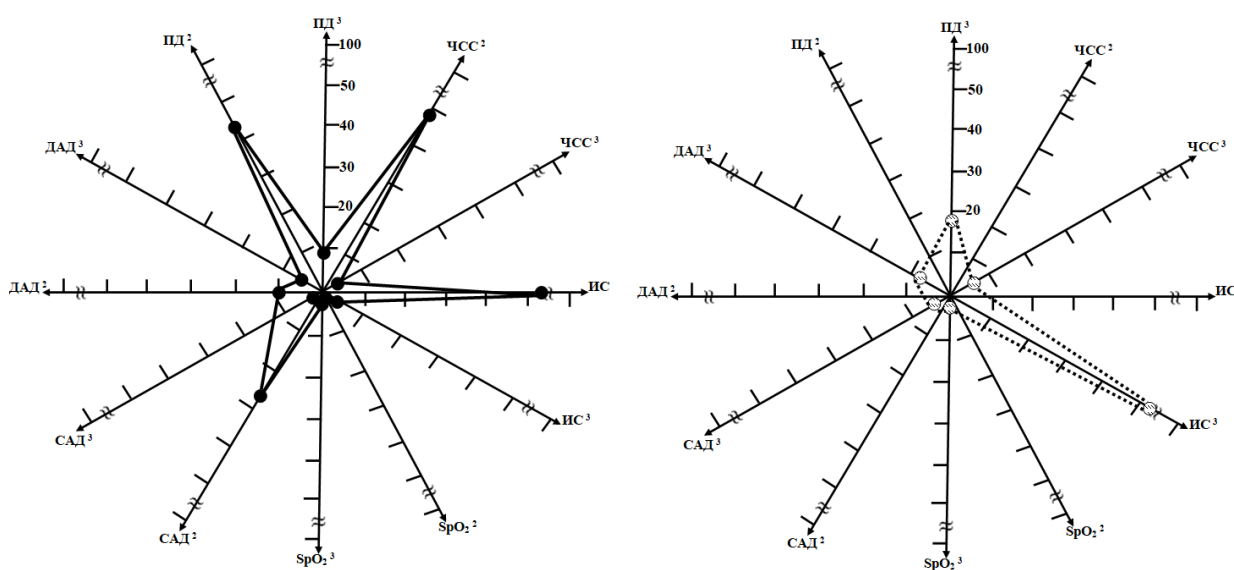
ЧС ИС² = 139,17 ± 12,9 усл. ед. оставался выше норматива на 56,3 %, различие является достоверным ($p \leq 0,001$).

После ликвидации ЧС (рис. 3б) средний показатель ЧСС³ не возвратился к первоначальной характеристике, и различие было достоверным ($p \leq 0,05$). Таким образом, процесс восстановления ЧСС оказался отставленным по времени.

Показатели пожарных-спасателей SpO₂¹ – до и SpO₂³ – после ликвидации ЧС соответствуют границам физиологического норматива, но показатели не являются оптимальными (98–100 %): 97,53 ± 0,38; 96,1 ± 0,38% ($p \leq 0,05$), см. рисунок 4б. Снижение на 1,5 % является достоверным.

Таким образом, среди оперативных индикаторных характеристик пожарных-спасателей в условиях тренировочного процесса и ликвидации ЧС показатель ПД был выявлен, как наиболее информативный.

Анализ состояния показателей ССС, ИС и SpO₂ выявил, что значительные физиологические перегрузки, полученные в условиях тренировки или ликвидации ЧС, приводят к дисфункциональному/дизадаптивному изменению вегетативных характеристик. Однако негативные изменения в организме пожарных-спасателей наблюдаются уже после заступления на дежурство, что является, согласно функционально-метаболической концепции, адаптивной реакцией организма к предстоящей деятельности. Таким образом, некоторые из показателей, которые анализируются в условиях предварительного медицинского осмотра, непосредственно перед работой, не являются информативными с точки зрения определения группы риска и не позволяют осуществить прогноз эффективности дальнейшего выполнения профессиональной деятельности. Наиболее точным оперативным показателем состояния сердечно-сосудистой системы оказались ПД и ИС (рис. 5).



а – в условиях тренировки
 б – в условиях ликвидации ЧС
Рисунок 5. – Парциальные функции кислородтранспортной системы пожарных-спасателей в % по отношению к состоянию без нагрузок, n = 91

В процессе тренировочного процесса происходит медленная аккумуляция интегрирующих механизмов, согласованность изменения отдельных звеньев функциональной системы, обеспечивая функциональную специализированную гипертрофию и биологическую надежность организма [26].

Работа пожарных связана с такими экстремальными ситуациями, с которыми большинство людей за свою жизнь могли ни разу не столкнуться. По мнению специалистов, каждый пожар индивидуален и протекает по своему сценарию. Выезжая на пожар, ни один из пожарных-спасателей не может утверждать, что это будет простой пожар. Пожар в силу

своих особенностей часто просто непредсказуем. Необходимость принимать быстрые решения по тушению, переживания, если решения оказались неверными, невозможность спасения людей из-за нештатного развития ситуации, гибель детей – все это наносит тяжелые травмы нервной системе пожарных [25]. Исследование в течение 3 лет не выявило гибели пожарных в обследуемых частях Хабаровска по причине несчастного случая.

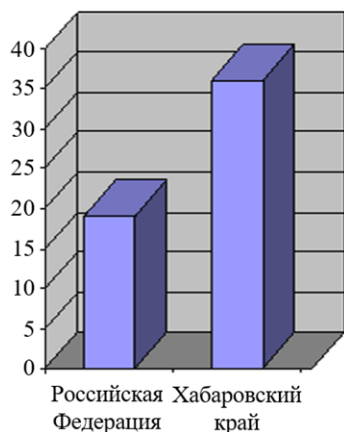


Рисунок 6. – Смертность от профессиональных сердечно-сосудистых заболеваний (на 10 000 пожарных-спасателей в год)

Смертность пожарных-спасателей в Хабаровске превышает смертность пожарных-спасателей в Российской Федерации в 1,9 раза (рис. 6). Средний возраст умерших составляет $49,00 \pm 0,6$ года [27].

Однако смерть от профессиональных заболеваний, связанных с ССС, составила 1 на 91 пожарного по Хабаровску за период 2021–2023 гг. (124.8 Другие формы острой ишемической болезни сердца²).

Заключение

1. Негативные изменения некоторых индикаторных показателей газотранспортной системы (систолического, диастолического и пульсового давления) в среднем определены в организме пожарных-спасателей после заступления на дежурство, без влияния каких-либо нагрузок, что является, согласно функционально-метаболической концепции, адаптивной реакцией организма к предстоящей деятельности.

2. В процессе тренировки в зимнее время с полной экипировкой были определены сдвиги показателей в сторону дисфункции и дизадаптации, но систолическое, диастолическое давление, частота сердечных сокращений и индекс стресса практически возвращались к первоначальным показателям в течение часа после окончания тренировки, что указывает на положительный вариант процессов восстановления.

3. В условиях ликвидации чрезвычайной ситуации средние систолическое, пульсовое давление, частота сердечных сокращений и индекс стресса пожарных-спасателей достоверно различались в сторону увеличения ($p \leq 0,05$) в сравнении с исходными значениями, что свидетельствует о затянутом процессе восстановления симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. До/после тренировки и ликвидации чрезвычайной ситуации насыщенность крови кислородом пожарных-спасателей соответствовала пределу физиологического норматива, но показатели не являлись оптимальными.

4. Для выявления группы риска пожарных-спасателей наиболее точными оперативными показателями состояния кислородтранспортной системы и состояния организма определены пульсовое давление и индекс стресса.

Возможность использования на практике. Создана единая база данных показателей сердечно-сосудистой системы пожарных-спасателей. На данном этапе научная работа является законченной и может быть внедрена в практику в виде предложений: о проведении профилактической индикации пульсового давления перед выходом на смену, для определения группы риска, осуществления коррекционных воздействий; о создании полезной модели по обеспечению безопасности для пожарных-спасателей путем отслеживания параметров на пульте руководства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокатуев, П.С. Влияние продуктов горения на здоровье пожарного и его трудоспособность / П.С. Бокатуев // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: мате-

² Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем.

- риалы VI Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 22–27 апр. 2019 г. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2019. – С. 127–129. – EDN: XCVVLN.
2. Боландина, Е.С. Влияние опасных факторов пожара на организм человека [Электронный ресурс] / Е.С. Боландина // Международный студенческий научный вестник. – 2017. – № 2. – Режим доступа: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=16913> – Дата доступа: 10.10.2023. – EDN: YPSFFR.
 3. Медведев, В.И. Адаптация человека / В.И. Медведев. – СПб.: Институт психологии РАН, 2003. – 551 с.
 4. Власов, М.Ю. Изменение функционально-метаболических характеристик спортсменов по пауэрлифтингу в период подготовки к соревнованиям, в условиях задымления воздуха г. Хабаровска / М.Ю. Власов, Е.Д. Целых, М.Х. Ахтямов // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке: труды Всероссийской научно-практической конференции творческой молодежи с международным участием, Хабаровск, 16–19 апреля 2019 г.: в 2 т. – Хабаровск: ДВГУПС, 2019. – Т. 2. – С. 14–19. – EDN: MTDAIL.
 5. Тэтчел, Дж. Твое питание и здоровье: справочник / Дж. Тэтчел, Дж. Веллс. – М.: Росмэн, 1996. – 96 с.
 6. Сергейчик, Н.А. Уровень физического здоровья студентов 1-го курса 2020–2021 учебного года / Н.А. Сергейчик // Кооперация и предпринимательство: состояние, проблемы и перспективы: сборник научных трудов V Международной конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и учащихся, Чебоксары, 19 ноября 2021 г. – Чебоксары: Издательский дом «Среда», 2021. – С. 130–133. – EDN: VFXTCE.
 7. Скворцов, Д.А. Контроль параметров сердечно-сосудистой системы у пожарных-спасателей во время несения службы (в отсутствие ЧС) / Д.А. Скворцов, Е.Д. Целых, М.Х. Ахтямов // Научно-техническому и социально-экономическому развитию Дальнего Востока России – инновации молодых: тезисы докладов 81-й Межвузовской студенческой научно-практической конференции, Хабаровск, 20–24 марта 2023 г.: в 2 т. – Хабаровск: ДВГУПС, 2023. – Т. 2. – С. 20.
 8. Головенкин, Г.Д. Влияние занятий спортом на изменение пульсового давления / Г.Д. Головенкин, И.С. Бяков // Авиценна. – 2020. – № 68. – С. 13–14. – EDN: FKUBKV.
 9. Бекмурадова, М.С. Связь между повышенным пульсовым давлением и натрийуретическим пептидом / М.С. Бекмурадова, С.Н. Хайдаров // Журнал кардиореспираторных исследований. – 2022. – Т. 3, № 1. – С. 26–29.
 10. Власова, Е.М. Особенности психофизиологического состояния работников вредных (опасных) условий труда с установленным диагнозом артериальной гипертензии / Е.М. Власова и др. // Анализ риска здоровью – 2020: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Пермь, 13–15 мая 2020 г.: в 2 т. – Пермь: ПНИПУ, 2020. – Т. 2. – С. 133–141. – EDN: NYDOXY.
 11. Верзунов, В.А. Гигиеническая оценка условий труда и состояния здоровья пожарных: дис. ... канд. мед. наук: 14.02.04 / В.А. Верзунов. – Иркутск, 2006. – 131 л.
 12. Мартынова, Д.С. Гематологические показатели юных конькобежцев во время соревновательного периода / Д.С. Мартынова, Р.Р. Альметова, А.А. Набатов // Современные проблемы и перспективы развития системы подготовки спортивного резерва в преддверии XXXI Олимпийских игр в Рио-де-Жанейро: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Казань, 26–27 ноября 2015 г. – Казань: Поволжская ГАФКСиТ, 2015. – С. 77–79. – EDN: VHYFON.
 13. Райчик, Д.Е. Секреты артериальной гипертонии / Д.Е. Райчик, Д.Т. Райт, М.С. Смит. – М.: Бином, 2005. – 168 с.
 14. Евдокимов, А.В. К вопросу о профилактике заболеваний населения, связанных с ожирением / А.В. Евдокимов и др. // Здоровье населения и среда обитания. – 2014. – № 11. – С. 17–19. – EDN: SZGFSH.
 15. Гуревич, К.Г. Анализ частоты некоторых факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний у лиц опасных профессий / К.Г. Гуревич [и др.] // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2016. – Т. 15, № 4. – С. 55–59. DOI: 10.15829/1728-8800-2016-4-55-59. – EDN: WJDXMF.
 16. Головенкин, Г.Д. Влияние занятий спортом на изменение пульсового давления / Г.Д. Головенкин, И.С. Бяков // Авиценна, 2020. – № 68. – С. 13–14. – EDN: FKUBKV.

17. Агаджанян, Н.А. Основы физиологии человека: учебник / Н.А. Агаджанян [и др.]. – М.: Издательство РУДН, 2005. – 408 с.
18. Великанова, Л.К. Практические занятия по возрастной физиологии и школьной гигиене: учебное пособие / Л.К. Великанова [и др.]. – М.: Энергомаш-Рекмод, 1992. – С. 11–22.
19. Миняева, А.В. Постуральные особенности реакций дыхания на добавочное сопротивление / А.В. Миняева [и др.] // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология, 2011. – № 22. – С. 18–33. – EDN: OFMYWR.
20. Нененко, Н.Д. Особенности физического развития и физической подготовленности спасателей-пожарных различных возрастных групп, проживающих в северном регионе / Н.Д. Нененко, А.В. Тукранов, М.В. Стогов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта, 2021. – № 2 (192). – С. 224–230. – EDN: TLVGHL.
21. Физическая и профессиональная подготовка обучающихся в системе МЧС России: учебник. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. – Т. 1. – 480 с. – EDN: OFVVGI.
22. Основные виды деятельности и психологическая пригодность к службе в системе органов внутренних дел: справ. пособие / Под ред. Б.Г. Бовина, Н.И. Мягких, А.Д. Сафронова. – М.: НИЦ проблем медицинского обеспечения, 1997. – 344 с.
23. Аулик, И.В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте / И.В. Аулик. – М.: Медицина, 1990. – 191 с.
24. Остроумова, О.Д. Пульсовое артериальное давление и когнитивные нарушения / О.Д. Остроумова, А.И. Кочетков, Т.М. Остроумова // Российский кардиологический журнал, 2021. – Т. 26, № 1. – С. 119–127. – DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4317. – EDN: SPHHCQ.
25. Кашин, А.Н. Исследование физических и временных показателей пожарных при подъеме по лестничным маршам на высоту / А.Н. Кашин // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. – 2022. – № 4 (8). – С. 30–36. – DOI: 10.34987/2712-9233.2022.72.58.006. – EDN: RTKROI.
26. Романов, Ю.Н. Моделирование физкультурно-спортивного образовательного информационного пространства на основании новых нейрофизиологических данных в системе интегральной подготовки / Ю.Н. Романов, А.П. Исаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. – 2012. – № 42 (301). – С. 9–17. – EDN: PJQHNP.
27. Дедюн, С.В. Оценка профессионального риска заболеваемости и гибели пожарных / С.В. Дедюн, В.В. Воронова // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: Мат-лы 46-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, 1–15 апр. 2016 г. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2016. – С. 152–154. – EDN: WEBZFR.

**Изменения оперативных индикаторных характеристик сердечно-сосудистой системы
пожарных-спасателей, определяющие группу риска**
**Changes in operational indicator characteristics of the cardiovascular system
of firefighter-rescuers defining the risk group**

Цельх Екатерина Дмитриевна

доктор биологических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Дальневосточный
государственный университет путей
сообщения», кафедра «Техносферная
безопасность», профессор

Адрес: ул. Серышева, 47,
680021, г. Хабаровск, Россия
Email: celixed@mail.ru
SPIN-код: 9224-8233

Ekaterina D. Tselykh

Grand PhD in Biology Sciences, Professor
Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education
«Far Eastern State Transport University»,
Chair of Technosphere Safety,
Professor

Address: Serysheva str., 47,
680021, Khabarovsk, Russia
Email: celixed@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3935-9195

Скворцов Данила Александрович

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Дальневосточный
государственный университет путей
сообщения», студент

Адрес: ул. Серышева, 47,
680021, г. Хабаровск, Россия
Email: danilaro.01@mail.ru

Danila A. Skvortsov

Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education
«Far Eastern State Transport University»,
student

Address: Serysheva str., 47,
680021, Khabarovsk, Russia
Email: danilaro.01@mail.ru

Ахтямов Мидхат Хайдарович

доктор биологических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Дальневосточный
государственный университет путей
сообщения», кафедра «Техносферная
безопасность», заведующий кафедрой

Адрес: ул. Серышева, 47,
680021, г. Хабаровск, Россия
Email: amidkhat@gmail.com
SPIN-код: 4326-6283

Midhat H. Akhtyamov

Grand PhD in Biology Sciences, Professor
Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education
«Far Eastern State Transport University»,
Chair of Technosphere Safety,
Head of the Chair

Address: Serysheva str., 47,
680021, Khabarovsk, Russia
Email: amidkhat@gmail.com
ORCID: 0009-0003-2869-1923

Кузьмичев Евгений Николаевич

кандидат технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Дальневосточный
государственный университет путей
сообщения», кафедра «Техносферная
безопасность», доцент

Адрес: ул. Серышева, 47,
680021, г. Хабаровск, Россия
Email: e_kuzmichev@mail.ru
SPIN-код: 7926-4352

Evgeny N. Kuzmichev

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education
«Far Eastern State Transport University»,
Chair of Technosphere Safety,
Associate Professor

Address: Serysheva str., 47,
680021, Khabarovsk, Russia
Email: e_kuzmichev@mail.ru

CHANGES IN OPERATIONAL INDICATOR CHARACTERISTICS OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF FIREFIGHTER-RESCUERS DEFINING THE RISK GROUP

Tselykh E.D., Skvortsov D.A., Akhtyamov M.H., Kuzmichev E.N.

Purpose. Determination of operational indicator characteristics of the cardiovascular system of fire-rescuers after going on duty, the training process and liquidation of an emergency to identify a risk group.

Methods. The characteristics of the oxygen transport system were studied: heart rate; systolic and diastolic pressure (SBP and DBP); pulse pressure (PP); blood oxygen saturation (SpO₂), stress index (SI) of fire rescuers and fire truck drivers (comparison group) working in Khabarovsk.

The functional characteristics of heart rate, SpO₂, SI were measured using the Angioscan-01P device; SBP, DBP by Korotkov method using a device for measuring blood pressure (BP) OmronM2 Eco. Anthropometric morphological indicators: height (H) and body mass (BM) were measured using a «Tvesm RP height meter» and a «VMEN-150-50/100-D2-A» floor scale. Calculated indicators are presented: PP and body mass index (BMI).

Findings. A tendency towards height H and BM indicators among drivers of fire trucks (group B) was determined. In all groups, BMI corresponds to the upper limit of the physiological norm and can be considered, taking into account the $\pm m$ range, as increased BM due to excess nutrition.

Analysis of the indicator characteristics of the cardiovascular system (CVS) of fire-rescuers (group A) revealed that after going on duty (08.30) some indicators were above the standard limit, especially PP, which is consistent with the concept of functional-metabolic adaptation, which manifests itself before execution work for people associated with extreme loads. After training, most CVS indicators were practically restored to their original values. However, during training, PP increased, and after 60 min after training there was no PP recovery. A disadaptive change in PP after the elimination of an emergency is an indicator of a lag in the processes of restoring the balance of the autonomic nervous system (ANS) and can lead to headaches, disorientation, and temporary inability to make decisions. The most operational characteristic that determines the state of the fire fighters' body when performing extreme loads is PP, which can be taken into account when admitting them to training and emergency response.

Application field of research. The results of the study can be put into practice in the form of proposals for carrying out preventive indication of PP and SI before going on shift to determine the risk group and ocorrective actions.

Keywords: firefighters, cardiovascular system, blood pressure, heart rate, stress index, emergency.

(The date of submitting: October 20, 2023)

REFERENCES

1. Bokatiev P.S. Vliyanie produktov goreniya na zdorov'e pozharnogo i ego trudosposobnost' [The effect of gorenje products on the health of a firefighter and his ability to work]. *Proc. of VI All-Russian (with international participation) Scientific and Technical Conference of young researchers «Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZhKKh i tekhnosfernoy bezopasnosti»*, Volgograd, April 22–27, 2019. Volgograd: Volgograd State Technical University, 2019. Pp. 127–129. (rus). EDN: XCVVLN.
2. Bolandina, E.S. Vliyanie opasnykh faktorov pozhara na organizm cheloveka [The effect of fire hazards on the human body]. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*, 2017. No. 2. Available at: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=16913> (accessed: October 8, 2024). (rus). EDN: YPSFFR.
3. Medvedev V.I. *Adaptatsiya cheloveka* [Human adaptation]. Saint-Petersburg: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, 2003. 551 p. (rus)
4. Vlasov M.Yu., Tselykh E.D., Akhtyamov M.Kh. Izmenenie funktsional'no-metabolicheskikh kharakteristik sportsmenov po pauerliftingu v period podgotovki k sorevnovaniyam, v usloviyakh zadymleniya vozdukha g. Khabarovska [Change of functional-metabolic characteristics of athletes sportsmen on power lifting in the period of preparation for the competitions, in the conditions of air hazarding Khabarovsk]. *Proc. of All-Russian Scientific and practical conference of creative youth with international participation «Nauchno-tekhnicheskoe i ekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke»*, Khabarovsk, April 16–19, 2019. In 2 vol. Khabarovsk: FESTU, 2019. Vol. 2. Pp. 14-19. (rus). EDN: MTDAIL.
5. Thatchel J, Wells J. *Tvoe pitanie i zdorov'e* [Your Food and Health]: handbook. Moscow: Rosmen, 1996. 410 p. (rus)

6. Sergeychik N.A. Uroven' fizicheskogo zdorov'ya studentov 1-go kursa 2020–2021 uchebnogo goda [The level of physical health of 1st year students of the 2020–2021 academic year]. *Proc. of V International Conference of Young Scientists, Postgraduates, Students and Students «Kooperatsiya i predprinimatel'stvo: sostoyanie, problemy i perspektivy»*, Cheboksary, November 19, 2021. Cheboksary: Sreda, 2021. Pp. 130–133. (rus). EDN: VFXTCE.
7. Skvortsov D.A., Tselykh E.D., Akhtyamov M.Kh. Kontrol' parametrov serdechno-sosudistoy sistemy u pozharnykh-spasateley vo vremya neseniya sluzhby (v otsutstvie ChS) [Monitoring of the parameters of the cardiovascular system of firefighters and rescuers during duty (in the absence of an emergency)]. *Proc. of 81st Interuniversity Student Scientific and Practical Conference «Nauchno-tekhnicheskomu i sotsial'no-ekonomicheskomu razvitiyu Dal'nego Vostoka Rossii – innovatsii molodykh»*, Khabarovsk, March 20–24, 2023. In 2 vol. Khabarovsk: FESTU, 2023. Vol. 2. P. 20. (rus)
8. Golovenkin G.D., Byakov I.S. Vliyanie zanyatiy sportom na izmenenie pul'sovogo davleniya [Influence of sports on changes in pulse pressure]. *Avicenna*, 2020. No. 68. Pp. 13–14. (rus). EDN: FKUBKV.
9. Bekmuradova M.S., Khaidarov S.N. The relationship between elevated pulse pressure and natriuretic peptide. *Journal of cardiorespiratory research*, 2022. Vol. 3, No. 1. Pp. 26–29.
10. Vlasova E.M., Ustinova O.Yu., Ivashova Yu.A., Nosov A.E., Kostarev V.G. Osobennosti psikhofiziologicheskogo sostoyaniya rabotnikov vrednykh (opasnykh) usloviy truda s ustanovlennym diagnozom arterial'noy gipertenzii [Features of the psychophysiological state of workers in harmful (dangerous) working conditions with an established diagnosis of arterial hypertension]. *Proc. of X All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation «Analiz riska zdorov'yu – 2020»*, Perm, May 13–15, 2020. In 2 vol. Perm: PNRPU, 2020. Vol. 2. Pp. 133–141. (rus). EDN: HYDOXY.
11. Verzunov V.A. *Gigienicheskaya otsenka usloviy truda i sostoyaniya zdorov'ya pozharnykh* [Hygienic assessment of working conditions and health status of firefighters]. PhD med. sci. diss.: 14.02.04. Irkutsk, 2006. 131 p. (rus)
12. Martynova D.S., Al'metova R.R., Nabatov A.A. Gematologicheskie pokazateli yunykh kon'kobezhitsev vo vremya sorevnovatel'nogo perioda [Hematological parameters of young skaters during the competition period]. *Proc. of All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation «Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya sistemy podgotovki sportivnogo rezerva v preddverii XXXI Olimpiyskikh igr v Rio-de-Zhaneyro»*, Kazan, November 26–27, 2015. Kazan: Volga Region State Academy of Physical Culture, Sports and Tourism, 2015. Pp. 77–79. (rus). EDN: VHYFON.
13. Raytsik D.E., Rayt D.T., Smit M.S. *Sekrety arterial'noy gipertonii* [Secrets of arterial hypertension]. Moscow: Binom, 2005. 168 p. (rus)
14. Evdokimov A.V., Rakhmanov R.S., Gruzdeva A.E., Filippova O.N. K voprosu o profilaktike zabolevaniy naseleniya, svyazannykh s ozhireniem [On prevention of diseases associated with obesity among population]. *Public Health and Life Environment*, 2014. No. 11. Pp. 17–19. (rus). EDN: SZGFSH.
15. Gurevich K.G., Arkhangel'skaya A.N., Pustovalov D.A., Anishchenko A.P., Burdyukova E.V., Rogoznaya E.V. Analiz chastoty nekotorykh faktorov riska razvitiya serdechno-sosudistyykh zabolevaniy u lits opasnykh professiy [Analysis of prevalence of selected cardiovascular risk factors in dangerous occupations]. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 2016. Vol. 15, No. 4. Pp. 55–59. (rus). DOI: 10.15829/1728-8800-2016-4-55-59. EDN: WJDXMF.
16. Golovenkin G.D., Byakov I.S. Vliyanie zanyatiy sportom na izmenenie pul'sovogo davleniya [The influence of sports on the change in pulse pressure]. *Avicenna*, 2020. No. 68. Pp. 13–14. (rus). EDN: FKUBKV.
17. Agadzhanian N.A., Vlasova I.G., Ermakova N.V., Torshin V.I. *Osnovy fiziologii cheloveka* [Fundamentals of human physiology]: textbook. Moscow: RUDN University, 2000. 408 p. (rus)
18. Velikanova L.K., Guminskiy A.A., Zagorskaya V.N. et al. *Prakticheskie zanyatiya po vozrastnoy fiziologii i shkol'noy gigiene* [Practical exercises in age physiology and school hygiene]: tutorial. Moscow: Energomash-Rekmod, 1992. Pp. 11–22. (rus)
19. Minyaeva A.V., Morozov G.I., Petushkov M.N., Zolotukhina Ya.G. et al. Postural'nye osobennosti reaktsiy dykhaniya na dobavochnoe soprotivlenie [Postural features of respiratory reactions to additional resistance]. *Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology*, 2011. No. 22. Pp. 18–33. (rus). EDN: OFMYWR.
20. Nenenko N.D., Tukranov A.V., Stogov M.V. Osobennosti fizicheskogo razvitiya i fizicheskoy podgotovlennosti spasateley-pozharnykh razlichnykh vozrastnykh grupp, prozhivayushchikh v severnom regione [Features of physical development and physical fitness of rescuers-firefighters of various age groups living in the northern region]. *Uchenye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, 2021. No. 2 (192). Pp. 224–230. (rus). EDN: TLVGHL.

21. *Fizicheskaya i professional'naya podgotovka obuchayushchikhsya v sisteme MChS Rossii* [Physical and vocational training of students in the EMERCOM of Russia system]: textbook. Saint-Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2019. Vol. 1. 480 p. (rus). EDN: OFVVGI.
22. *Osnovnye vidy deyatel'nosti i psikhologicheskaya prigodnost' k sluzhbe v sisteme organov vnutrennikh del* [Main activities and psychological suitability for service in the system of internal affairs bodies]. Ed. by B.G. Bovin, N.I. Myagkikh, A.D. Safronov. Moscow: Research Center for Medical Support Problems, 1997. 344 p. (rus)
23. Aulik I.V. *Opredelenie fizicheskoy rabotosposobnosti v klinike i sporte* [Determination of physical performance in the clinic and sports]. Moscow: Meditsina, 1990. 191 p. (rus)
24. Ostroumova O.D., Kochetkov A.I., Ostroumova T.M. Pul'sovoe arterial'noe davlenie i kognitivnye narusheniya [Pulse pressure and cognitive impairment]. *Russian Journal of Cardiology*, 2021. Vol. 26, No. 1. Pp. 119–127. (rus). DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4317. EDN: SPHHCQ.
25. Kashin A.N. Issledovanie fizicheskikh i vremennykh pokazateley pozharnykh pri pod"eme po lestnichnym marsham na vysotu [Investigation of physical and temporal indicators of firefighters when climbing stairs to a height]. *Actual Security Problems in the Technosphere*, 2022. No. 4 (8). Pp. 30–36. (rus). DOI: 10.34987/2712-9233.2022.72.58.006. EDN: RTKROI.
26. Romanov Yu.N., Isaev A.P. Modelirovanie fizkul'turno-sportivnogo obrazovatel'nogo informatsionnogo prostranstva na osnovanii novykh neyrofiziologicheskikh dannykh v sisteme integral'noy podgotovki [Modeling of the physical culture and sports educational information space on the basis of new neurophysiological data in the integrated training system]. *Bulletin of South Ural State University. Series: Education, Health, Physical Culture*, 2012. No. 42 (301). Pp. 9–17. (rus). EDN: PJQHHP.
27. Dedyun S.V., Voronova V.V. Otsenka professional'nogo riska zaboлеваemosti i gibeli pozharnykh [Occupational risk assessment of morbidity and death of firefighters]. *Proc. of 46th Scientific-technical conf. students and postgraduates «Nauchno-tekhnicheskoe tvorchestvo aspirantov i studentov»*, Komsomolsky-on-Amur, April 1–15, 2016. Komsomolsky-on-Amur State Technical University, 2016. Pp. 152–154. (rus). EDN: WEBZFR.

ОСОБЕННОСТИ ПОДЪЕМА НЕНЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ПОРИСТОМ МАТЕРИАЛЕ

Нахай Д.М., Байков В.И., Миканович Д.С.

Цель. Изучение особенностей подъема полимерных растворов разной концентрации в пористом материале.

Методы. Экспериментальный метод исследования с использованием математических методов обработки результатов измерений.

Результаты. Выявлено, что интенсивность насыщения пористого материала растворами полиакриламида значительно снижалась после первых 30 с эксперимента. Кроме того, скорость насыщения пористого материала уменьшалась с увеличением концентрации полиакриламида в растворе. В отличие от дистиллированной воды растворы полиакриламида продолжали подниматься до полного насыщения пористого материала, что указывает на возможное присутствие пристенного эффекта скольжения.

Область применения исследований. Полученные результаты важны для дальнейшего исследования поведения полимерных растворов, применяемых на промышленных объектах.

Ключевые слова: капиллярный эффект, эффект пристенного скольжения.

(Поступила в редакцию 29 ноября 2023 г.)

Введение

Во многих странах мира, в том числе в Республике Беларусь, имеются хранилища жидких отходов (шламохранилища или хвостохранилища). Хвостовые хозяйства калийных производств связаны с устройством солеотвалов, строительством и эксплуатацией шламохранилищ для складирования жидких шламов. Солевые шламы содержат ряд различных примесей, которые по своим реологическим свойствам можно отнести к неньютоновским жидкостям.

Актуальность темы исследования обусловлена естественным старением существующих и строительством новых шламохранилищ. В Республике Беларусь имеется более 30 шламохранилищ для хранения шламов калийного производства. Этапом развития научных исследований в данной области на территории Республики Беларусь является работа С.Ф. Шемета и Н.Н. Прохорова «Методы оценки технического состояния ограждающих дамб шламохранилищ калийного производства». Авторами была представлена и проанализирована схема районирования территории ОАО «Беларуськалий», позволяющая сократить рост площадей, используемых для размещения отходов. Однако до настоящего времени отсутствует оценка состояния и устойчивости данных сооружений с точки зрения воздействия негативных факторов, способствующих возникновению возможных чрезвычайных ситуаций на них. Одним из таких факторов является повышенная фильтрация в теле дамб. Сказанное является дополнительным аргументом для детального исследования реологических свойств солевых шламов.

Поведение неньютоновских жидкостей при использовании в различных производственных процессах демонстрирует определенные аномалии их ламинарного течения. Исходя из проведенного обширного литературного обзора экспериментальных исследований по неньютоновскому гравитационному течению жидкостей с 1960 по 2024 г. таких авторов, как G. Astarita, P.J. Carreau, S.R. Morrison, N.J. Balmforth, В.И. Байков, А.Д. Чорный и др. [1–5], установлено, что все проводимые ими опыты были направлены на изучение движения полимерных жидкостей по различным наклонным плоскостям.

В результате анализа литературных источников [6–8] по поверхностному натяжению и связанных с ним явлений, в частности движения жидкостей без полимерных примесей (ньютоновская жидкость) при капиллярном эффекте, установлено, что одним из основных

параметров, определяющих это движение, являются силы поверхностного натяжения на границе раздела несмешивающихся сред [9].

Например, при отсутствии силы тяжести свободная жидкость будет пытаться занять некоторый объем в форме шара, что показывает способность молекул жидкости, находящихся в поверхностном слое, взаимодействовать друг с другом, образуя тонкую пленку. В случае жидкости, находящейся на горизонтальной твердой поверхности, ее форма будет определяться тремя силами поверхностного натяжения: жидкость – газ, жидкость – твердое тело, твердое тело – газ.

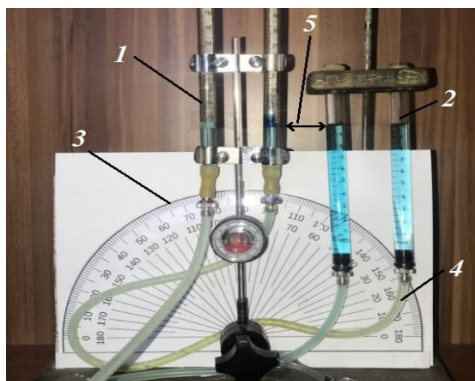
У полимерных растворов силы поверхностного натяжения на границе жидкость – твердое тело ниже, чем у ньютоновской жидкости, что способствует лучшему смачиванию поверхности. Данный факт объясняется возникновением в очень тонком слое порядка 10–100 мкм эффекта пристенного скольжения: мономолекулярный слой полимера «прилипает» к поверхности твердого тела, а жидкость скользит по нему (кажущееся скольжение) [10].

В данной работе проведен анализ движения неньютоновской жидкости через пористый материал. Суть экспериментальных исследований состояла в определении особенностей подъема жидкости в пористом материале.

Основная часть

Методика эксперимента. При проведении исследования в качестве полимерных растворов нами использовались растворы полиакриламида (синтетический полимер $(C_3H_5NO)_n$) с массовым содержанием полимерных добавок от 0,1 до 2,5 %. В качестве растворителя, а также ньютоновской жидкости использовалась дистиллированная вода.

Оценка массового соотношения полимера и воды проводилась с помощью электронных весов Scout Pro. В качестве пористого материала использовалась полоска фильтровальной бумаги «ФС-3» средней фильтрации, плотностью 75 г/м^2 , высотой 150 мм. На фильтровальную бумагу была нанесена миллиметровая шкала. С целью улучшения условий наблюдения на бумагу также наносился контраст Dolce Costo, при соприкосновении жидкости с которым бумага окрашивалась в синий цвет. Установка для проведения исследований показана на рисунке 1.



1 – бюретки вместимостью 25 мл; 2 – бюретки вместимостью 12,9 мл; 3 – водяной угломер;
4 – трубки подачи раствора; 5 – точка соприкосновения фильтровальной бумаги.

Рисунок 1. – Лабораторная установка для проведения исследований

Полоски фильтровальной бумаги помещались в две бюретки 1 вместимостью 12,9 мл, установленные вертикально, что контролировалось с помощью водяного угломера 3 с ценой деления 1° . Затем в специальные бюретки 2 вместимостью 25,0 мл¹ заливался исследуемый раствор. Растворы от бюреток 2 подавались в бюретки 1 через трубки 4 таким образом, чтобы в ходе эксперимента верхняя граница жидкости в бюретке 1 соприкасалась с началом шкалы на полоске фильтровальной бумаги.

¹ Приборы мерные лабораторные стеклянные. Бюретки, пипетки. Технические условия: ГОСТ 20292-74* (СТ СЭВ 1247, СТ СЭВ 4020-83). – Введ. 01.07.85. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 29 с.

Отсчет времени начинался в момент соприкосновения исследуемого раствора с началом шкалы на фильтровальной бумаге. В связи с быстрым первоначальным подъемом раствора измерения в интервале 0–10 с проводились через 0,5 с, в интервале 10–60 с через 5 с, и далее до 16 мин (960 с) через 30 с. Время измерялось секундомером Torres Professional Stopwatch SW-100 с точностью 0,01 с. Условия проведения исследований соответствовали условиям эксплуатации измерительного оборудования.

Для каждого раствора измерения проводились пять раз, и далее определялось среднее значение высоты подъема жидкости в пористом материале.

На рисунках 2–8 приведены графики зависимости высоты подъема жидкости в пористом материале от времени.

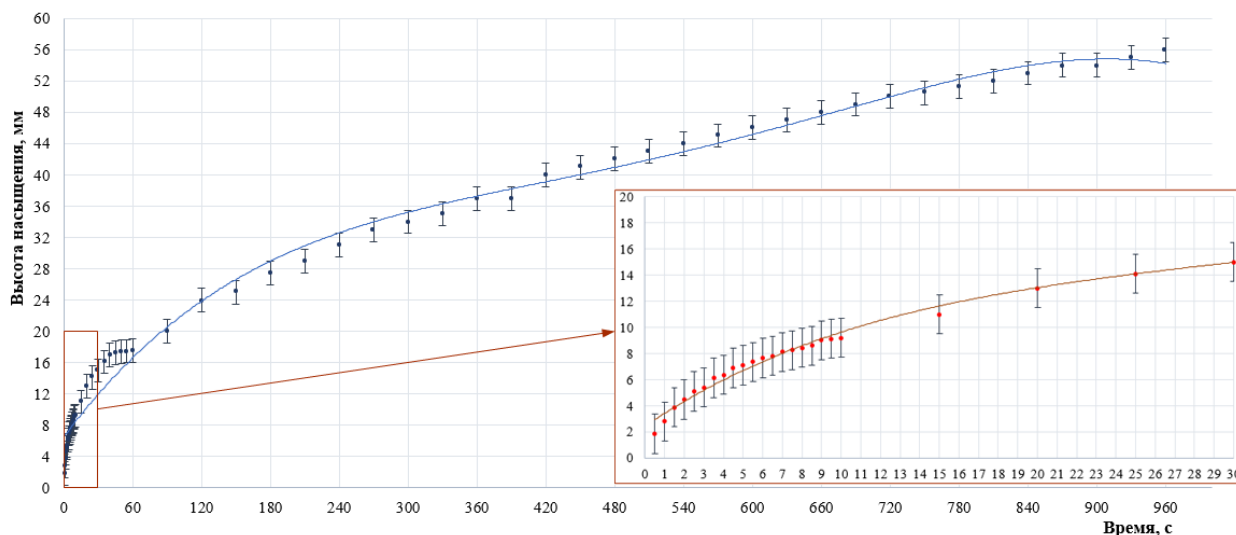


Рисунок 2. – График зависимости высоты насыщения пористого материала 0,1 %-м раствором полиакриламида за 960 с

Проведенные исследования показали, что линия насыщения пористого материала 0,1 %-м раствором полиакриламида имеет более интенсивный подъем за первые 30 с, затем линия выполаживается, свидетельствуя о замедлении скорости насыщения (рис. 2).

Аналогичное поведение наблюдалось у 0,5 %-го раствора полиакриламида: первые 30 с высота подъема раствора в пористом материале достигла 8,4 мм, затем линия насыщения начала выполаживаться (рис. 3). Однако на 30-й с точка насыщения у 0,5 %-го раствора полиакриламида расположена ниже, чем у 0,1 %-го.

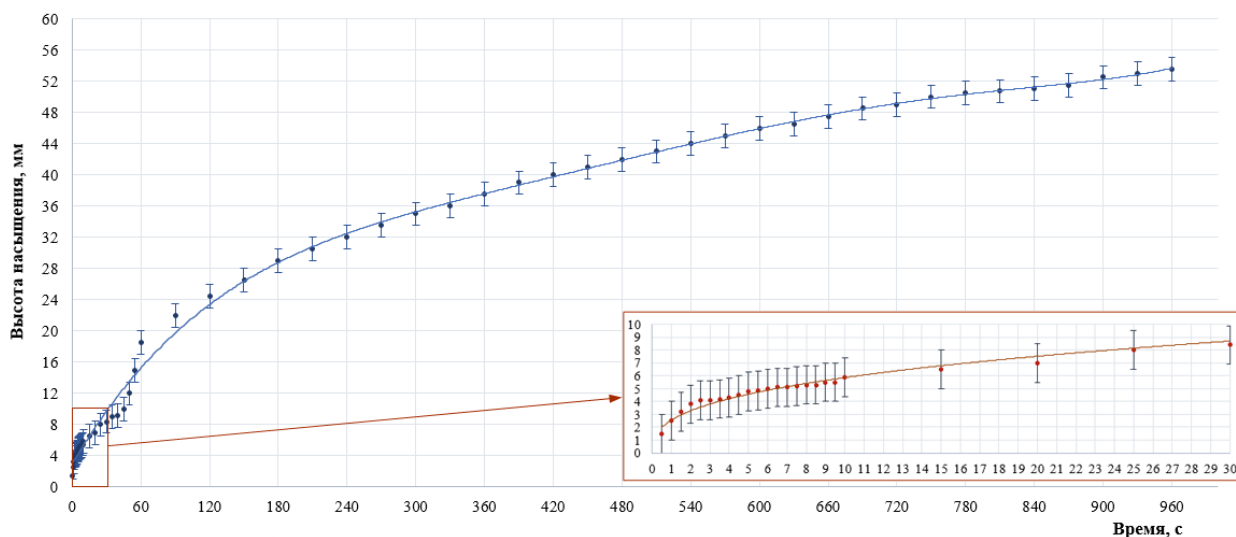


Рисунок 3. – График зависимости высоты насыщения пористого материала 0,5 %-м раствором полиакриламида за 960 с

Далее аналогичные замеры проводились для растворов с процентным содержанием 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 % (рис. 4–7). В целях сравнительного анализа были проведены исследования по оценке скорости насыщения пористого материала ньютоновской жидкостью – дистиллированной водой (рис. 8).

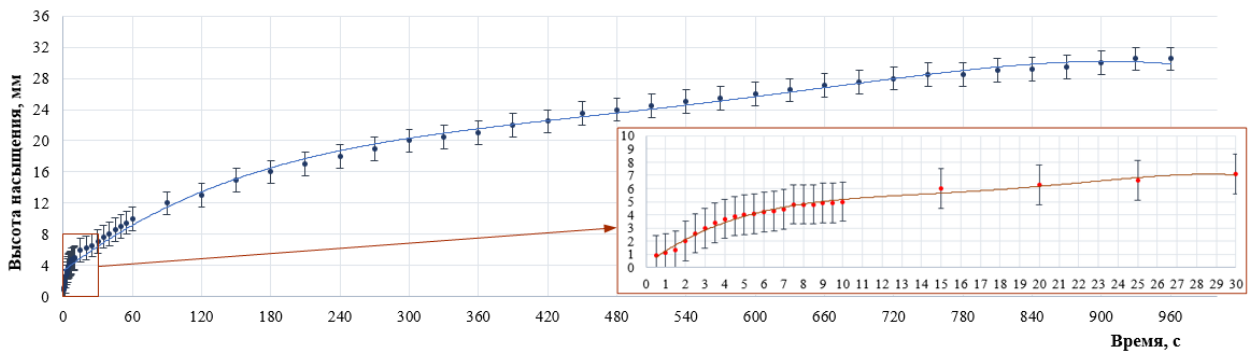


Рисунок 4. – График зависимости высоты насыщения пористого материала 1,0 %-м раствором полиакриламида за 960 с

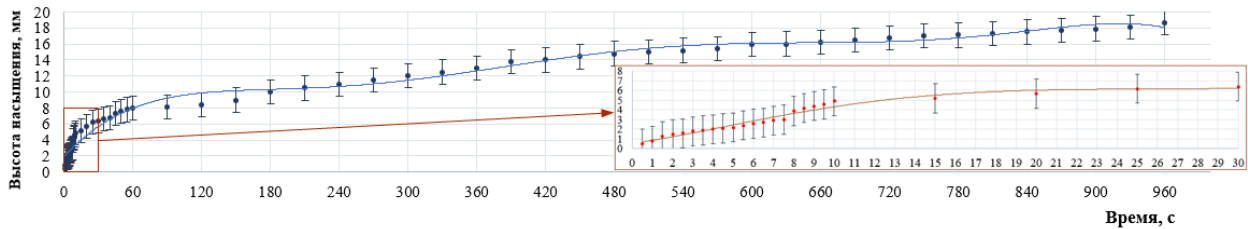


Рисунок 5. – График зависимости высоты насыщения пористого материала 1,5 %-м раствором полиакриламида за 960 с

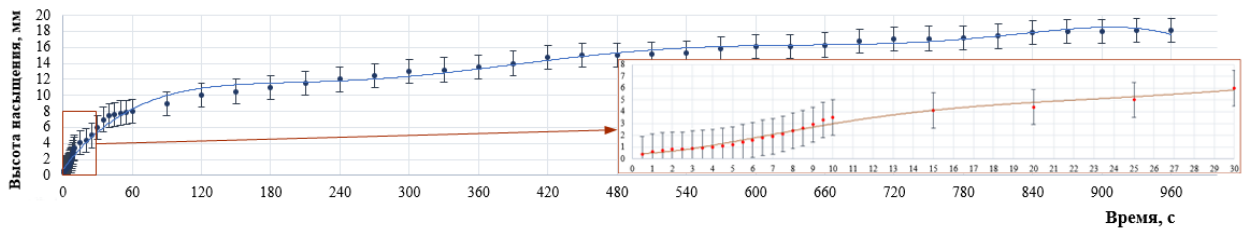


Рисунок 6. – График зависимости высоты насыщения пористого материала 2,0 %-м раствором полиакриламида за 960 с

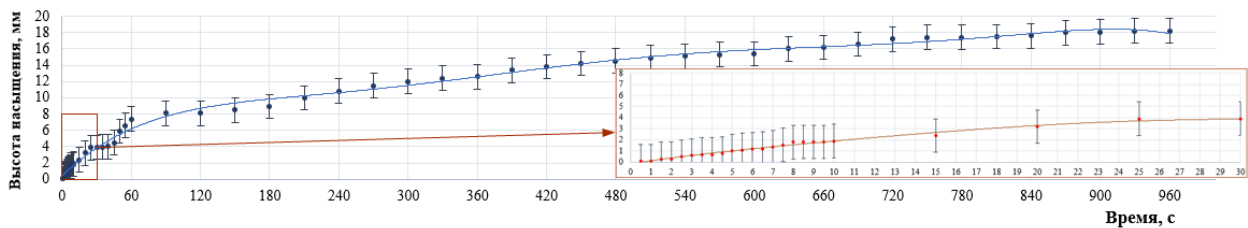


Рисунок 7. – График зависимости высоты пористого материала 2,5 %-м раствором полиакриламида за 960 с

Анализ результатов проведенных исследований показал, что спустя 30 с скорость насыщения пористого материала растворами полиакриламида различных концентраций начинает уменьшаться. При этом скорость насыщения пористого материала уменьшается с увеличением концентрации полиакриламида в растворе (табл. 1). Так, наиболее низкие показатели высоты насыщения пористого материала показали растворы полиакриламида с концентрацией 1,5–2,5 %.

Таблица 1. – Высоты насыщения пористого материала растворами полиакриламида

Раствор	Высота насыщения пористого материала раствором, мм	
	на 30-й секунде	на 960-й секунде
Дистиллированная вода	22,0	99,0
0,1 %-й раствор полиакриламида	15,0	56,0
0,5 %-й раствор полиакриламида	8,4	53,5
1,0 %-й раствор полиакриламида	7,1	30,5
1,5 %-й раствор полиакриламида	6,4	18,7
2,0 %-й раствор полиакриламида	6,0	18,1
2,5 %-й раствор полиакриламида	3,9	18,2

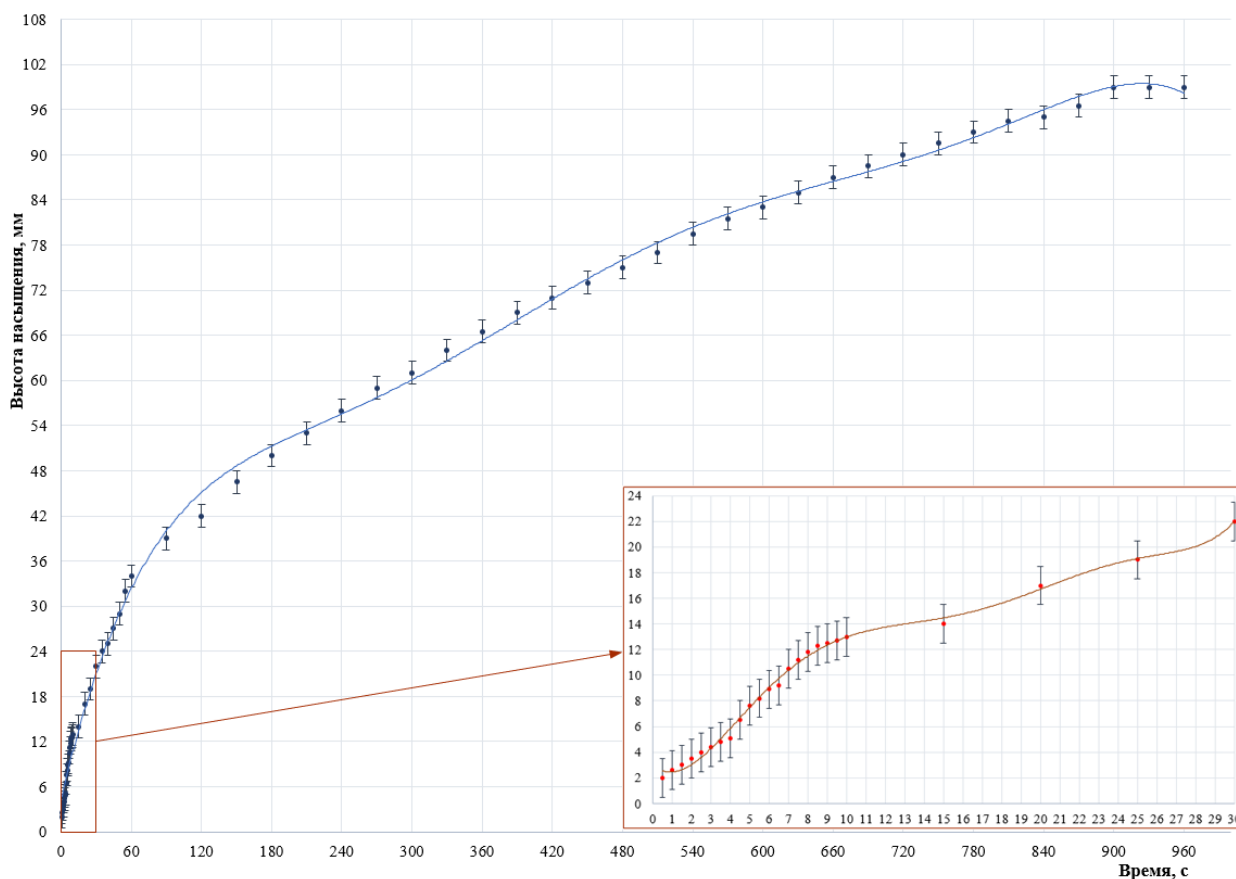


Рисунок 8. – График зависимости высоты насыщения пористого материала дистиллированной водой за 960 с

Следует отметить, что высота подъема дистиллированной воды за 20 с составляет 17 мм, что существенно превышает показатели полимерных растворов. Однако дистиллированная вода поднимается до отметки 99 мм, после чего останавливается. Данное поведение объясняется действием уравновешивающих сил. Если условно представить пористый материал в виде капилляра, закрепленного строго в вертикальном положении, то подъем ньютоновской жидкости в нем будет продолжаться до тех пор, пока сила тяжести, действующая на столб жидкости, не станет равной по модулю вертикальной составляющей результирующей сил поверхностного натяжения, действующих вдоль границы соприкосновения жидкости с поверхностью капилляра [9].

В отличие от дистиллированной воды испытуемые растворы полиакриламида продолжали подниматься до полного насыщения пористого материала. Такая особенность жидкости при насыщении возможна не только за счет капиллярного эффекта, как в случае с ньютоновской жидкостью, но и за счет пристенного эффекта. В непосредственной близости к стенке капилляра движущаяся неньютоновская среда расслаивается, образуя весьма тонкий слой с пониженной концентрацией полимера. Образующийся пристенный слой раствора

может являться скользящим звеном, благодаря которому подъем раствора не останавливается до полного насыщения пористого материала.

Заключение

В результате анализа проведенных лабораторных исследований по оценке зависимости высоты насыщения пористого материала раствором полиакриламида (концентрации 0,1–2,5 %) от времени, выявлено различие скоростей насыщения пористого материала: чем выше в растворе содержание полиакриламида, тем медленнее происходит насыщение.

Проведенные исследования ньютоновской и неньютоновской жидкости показали, что ньютоновская жидкость до определенного момента времени имеет высокую скорость подъема в пористом материале, но затем процесс подъема останавливается. Что касается неньютоновской жидкости – растворов с наличием полиакриламида – подъем продолжался до полного насыщения пористого материала. Такой эффект требует дальнейшего изучения с точки зрения установления механизма возникновения пристенного эффекта при движении неньютоновских жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Astarita, G. Non-Newtonian gravity flow along inclined plane surfaces / G. Astarita, G. Marrucci, G. Palumbo // *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. – 1964. – Vol. 3, No. 4. – P. 333–339. – DOI: 10.1021/i160012a010.
2. Carreau, P.J. Wall effects in polymer flow on inclined plane / P.J. Carreau, Q.H. Bui, P. Leroux // *Rheology Acta*. – 1979. – Vol. 18, No. 5. – P. 600–608. – DOI: 10.1007/bf01520356.
3. Morrison, S.R. Wall effect in coquette flow of non-Newtonian suspensions / S.R. Morrison, J.C. Harper // *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. – 1965. – Vol. 4, No. 2. – P. 176–181. – DOI: 10.1021/i160014a014.
4. Balmforth, N.J. Yielding to Stress: Recent Developments in Viscoplastic Fluid Mechanics / N.J. Balmforth, I.A. Frigaard, G. Ovarlez // *Annual Review of Fluid Mechanics*. – 2014. – Vol. 46, No. 1. – P. 121–146. – DOI: 10.1146/annurev-fluid-010313-141424.
5. Байков, В.И. Увлечение неньютоновской жидкости движущейся наклонной пластиной / В.И. Байков, А.Д. Чорный // *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. – 2019. – Т. 63, № 6. – С. 761–768. – DOI: 10.29235/1561-8323-2019-63-6-761-768. – EDN: OAKWYX.
6. Haeri, S. Experimental study of gravity-driven film flow of non-Newtonian fluids / S. Haeri, S.H. Hashemabadi // *Chemical Engineering Communications*. – 2009. – Vol. 196, No. 5. – P. 519–529. – DOI: 10.1080/00986440802484481.
7. Siddiqui, A.M. Withdrawal and drainage of thin film flow on a vertical cylinder / A.M. Siddiqui [et al.] // *Scientific Research and Essays*. – 2012. – Vol. 7, No. 41. – P. 3554–3565. – DOI: 10.5897/sre12.233.
8. São, Y.T. Obtaining flow curve for viscoplastic fluids through inclined open-channel apparatus / Y.T. São [et al.] // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. – 2021. – Vol. 43, No. 5. – Article 278. – DOI: 10.1007/s40430-021-02999-2.
9. Крылов, А.Б. Поверхностное натяжение и связанные с ним явления: учебно-методическое пособие / А.Б. Крылов. – Минск: БГМУ, 2008. – 30 с.
10. Миканович, Д.С. Прогнозирование возникновения чрезвычайных ситуаций на грунтовых подпорных сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.02 / Д.С. Миканович. – Минск, 2020. – 212 л.

Особенности подъема неньютоновских жидкостей в пористом материале
Peculiarities of lifting of non-Newtonian fluids in porous material

Нахай Дмитрий Михайлович

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

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

Email: eurotitaner@mail.ru

Dmitriy M. Nakhay

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

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

Email: eurotitaner@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5989-5465

Байков Валентин Иванович

доктор технических наук, доцент

Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси», лаборатория турбулентности, главный научный сотрудник

Адрес: ул. П. Бровки, 15,
220072, г. Минск, Беларусь

Email: baikov@hmti.ac.by

Valentin I. Baykov

Grand PhD in Technical Sciences, Associate Professor

State Scientific Institution «A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus», Turbulence Laboratory, Chief Researcher

Address: P. Brovki str., 15,
220072, Minsk, Belarus

Email: baikov@hmti.ac.by

Миканович Дмитрий Станиславович

кандидат технических наук, доцент

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

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

Email: dmikanovich@list.ru

SPIN-код: 1516-9648

Dmitriy S. Mikanovich

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

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

Email: dmikanovich@list.ru

ORCID: 0000-0002-3560-1741

PECULIARITIES OF LIFTING OF NON-NEWTONIAN FLUIDS IN POROUS MATERIAL

Nakhay D.M., Baykov V.I., Mikanovich D.S.

Purpose. To study the peculiarities of polymer solutions, rise of different concentrations in porous material.

Methods. Experimental method of research with the use of mathematical methods of processing of measurement results.

Findings. It was found that the intensity of saturation of porous material with polyacrylamide solutions significantly decreased after initial 30 s of the experiment. In addition, the rate of saturation of porous material decreased with increasing concentration of polyacrylamide in the solution. In contrast to distilled water, the polyacrylamide solutions continued to rise until the porous material was completely saturated, indicating the possibility of near-wall slip effect.

Application field of research. The obtained results are important for further investigation of the behavior of polymer solutions used at industrial facilities.

Keywords: capillary effect, wall slip effect.

(The date of submitting: November 29, 2023)

REFERENCES

1. Astarita G., Marrucci G., Palumbo G. Non-Newtonian gravity flow along inclined plane surfaces. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 1964. Vol. 3, No. 4. Pp. 333–339. DOI: 10.1021/i160012a010.
2. Carreau P.J., Bui Q.H., Leroux P. Wall effects in polymer flow on inclined plane. *Rheology Acta*, 1979. Vol. 18, No. 5. Pp. 600–608. DOI: 10.1007/bf01520356.
3. Morrison S.R., Harper J.C. Wall effect in coquette flow of non-Newtonian suspensions. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 1965. Vol. 4, No. 2. Pp. 176–181. DOI: 10.1021/i160014a014.
4. Balmforth N.J., Frigaard I.A., Ovarlez G. Yielding to Stress: Recent Developments in Viscoplastic Fluid Mechanics. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2014. Vol. 46, No. 1. Pp. 121–146. DOI: 10.1146/annurev-fluid-010313-141424.
5. Baykov V.I., Chornyy A.D. Uvlechenie nen'yutonovskoy zhidkosti dvizhushcheysya naklonnoy platinoy [Capturing a non-Newtonian fluid by a moving inclined plate]. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019. Vol. 63, No. 6. Pp. (rus). DOI: 10.29235/1561-8323-2019-63-6-761-768. EDN: OAKWYX.
6. Haeri S., Hashemabadi S.H. Experimental study of gravity-driven film flow of non-Newtonian fluids. *Chemical Engineering Communications*, 2009. Vol. 196, No. 5. Pp. 519–529. DOI: 10.1080/00986440802484481.
7. Siddiqui A.M., Akram M., Memon K.N., Islam S., Khan K. Withdrawal and drainage of thin film flow on a vertical cylinder. *Scientific Research and Essays*, 2012. Vol. 7, No. 41. Pp. 3554–3565. DOI: 10.5897/sre12.233.
8. São Y.T., Pereira J.B., Fiorot G.H., Maciel, G.F. Obtaining flow curve for viscoplastic fluids through inclined open-channel apparatus. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2021. Vol. 43, No. 5. Article 278. DOI: 10.1007/s40430-021-02999-2.
9. Krylov A.B. *Poverkhnostnoe natyazhenie i svyazannye s nim yavleniya* [Surface tension and related phenomena]: tutorial. Minsk: Belarusian State Medical University, 2008. 30 p. (rus)
10. Mikanovich, D.S. *Prognozirovanie vznikoveniya chrezvychaynykh situatsiy na gruntovykh podpornykh sooruzheniyakh shlamokhranilishch Respubliki Belarus'* [Forecasting the occurrence of emergencies at earth retaining structures of sludge storage facilities of the Republic of Belarus]. PhD tech. sci. diss.: 05.26.02. Minsk, 2020. 212 p. (rus)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЙ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ВРЕМЕННОГО ШТАБА УПРАВЛЕНИЯ ЛИКВИДАЦИЕЙ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ В АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Абдуллаев А.А., Колеснева И.П., Тихонов М.М.

Цель. Совершенствование методики оценки эффективности действий должностных лиц временного штаба управления ликвидацией аварийного разлива нефти в море.

Методы. Общенаучные методы исследования: анализ и синтез, сравнение и обобщение; метод критического пути.

Результаты. Внесены изменения в методику оценки эффективности действий должностных лиц временного штаба управления ликвидацией аварийного разлива нефти в море, приведены результаты ее апробации при проведении учений.

Область применения исследований. Результаты работы могут быть использованы в практической деятельности при управлении аварийно-спасательными службами Министерства по чрезвычайным ситуациям Азербайджанской Республики в военное время.

Ключевые слова: гражданская оборона, методика, оценка эффективности, временный штаб управления, военная угроза, должностное лицо, аварийный разлив нефти.

(Поступила в редакцию 5 января 2024 г.)

Введение

Геополитические особенности Каспийского региона (пересечение энергетических и транспортных артерий, связывающих Север и Юг, Восток и Европу, наличие больших запасов углеводородов) делают данный регион наиболее вероятным для столкновения интересов глобальных геополитических игроков. А близость очагов военно-политической напряженности, таких как Сирия и Иран, объективная возможность возобновления военных действий между Азербайджаном и Арменией создают высокий уровень террористической угрозы [1–6].

Не исключена вероятность возникновения военных действий или действий диверсионно-разведывательных групп в Каспийском море в период нарастания военной угрозы, что повлечет разрушение объектов нефтедобывающей промышленности с последующими масштабными разливами нефти.

На гражданскую оборону (ГО) Азербайджанской Республики возлагаются задачи ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) в мирное и военное время, в том числе ликвидация аварийных разливов нефти (ЛАРН). При ЛАРН следует принять во внимание то, что эффективность ее проведения напрямую зависит от времени реагирования, что требует решения ряда задач, таких как сокращение времени принятия решения на организацию ликвидации ЧС, оптимальное управление силами и средствами с учетом необходимости организации взаимодействия между службами, участвующими в ликвидации ЧС.

В связи с этим актуальна задача по оценке действий должностных лиц при ЛАРН для повышения эффективности всего комплекса мероприятий при ЛАРН с учетом ограничений, накладываемых на выделяемые силы и средства.

При этом стоит отметить, что основной целью организации ЛАРН является сведение к минимуму ущерба всем сферам государства.

Основная часть

Постановка задачи организации ЛАРН выглядит следующим образом: организовать взаимодействие должностных лиц, задействованных при ЛАРН, таким образом, чтобы обеспечить эффективное решение задачи ЛАРН с учетом всех ограничений, накладываемых на силы и средства, и условий возникновения ЧС [7; 8].

Методика, опубликованная в [8–10], была апробирована в ходе учений в акватории Каспийского моря [11]. По результатам учений в структуру временного штаба управления ЛАРН были внесены изменения, что потребовало внесения изменений в разработанную методику.

Векторный показатель эффективности действий должностных лиц при ЛАРН включает следующие составляющие [8]:

- показатель результативности, отражающий величину наносимого ущерба государству в результате аварийного разлива нефти;
- показатель ресурсоемкости, отражающий материальные затраты на организацию ЛАРН;
- показатель оперативности, отражающий временные затраты на организацию ЛАРН.

При организации поддержки принятия решений при ЛАРН в основе методики оценки эффективности действий должностных лиц временного штаба управления ЛАРН лежит метод ведущего критерия, предполагающий, в зависимости от складывающейся обстановки, применение одного из компонентов векторного показателя эффективности в качестве ведущего критерия, а перевод остальных в разряд ограничений. В этом случае задача векторной оптимизации сводится к задаче скалярной оптимизации на множестве допустимых значений показателей эффективности, выступающих в роли ограничений.

Усовершенствованная методика оценки эффективности действий должностных лиц при ЛАРН включает несколько этапов оценки действий должностных лиц, последовательность которой представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. – Последовательность этапов методики оценки эффективности действий должностных лиц

Рассмотрим подробнее описание каждого этапа методики (рис. 1).

Этап 1. Формирование перечня рекомендаций для алгоритма действий должностных лиц при организации мероприятий ликвидации аварийного разлива нефти [8].

На первом этапе лицо, принимающее решение (ЛПР), на основе типового алгоритма действий должностных лиц с учетом конкретных условий формирует исходный вариант алгоритма действий должностных лиц.

Этап 2. Расчет составляющих векторного показателя эффективности действий должностных лиц при организации ЛАРН [8–10]: результативности, ресурсоемкости и оперативности.

Результативность $R_{\text{ЛАРН}}(\Delta T)$ определяется как ущерб, наносимый государству за время ΔT , у.е.:

$$R_{\text{ЛАРН}}(\Delta T) = \sum_{i=1}^{N_o} R_i(\Delta T), \quad (1)$$

где ΔT – продолжительность принятия решения по локализации аварийного разлива нефти (ЛкАРН), ч;

$R_i(\Delta T)$ – величина i -й составляющей ущерба, у.е.;

N_o – количество составляющих ущерба, наносимого в результате аварийного разлива нефти.

Ресурсоемкость $C_{\text{ЛАРН}}$ определяется как суммарные затраты на реализацию мероприятий по ЛкАРН, у.е.:

$$C_{\text{ЛАРН}}(\Delta T) = \sum_{m=1}^{N_M} C_{\text{ЛАРН}m}(\Delta T), \quad (2)$$

где $C_{\text{ЛАРН}m}(\Delta T)$ – затраты на реализацию m -го мероприятия, у.е.;

N_M – количество мероприятий, проводимых по локализации аварийного разлива нефти.

Затраты на реализацию каждого m -го мероприятия, входящего в комплекс выполняемых работ по ЛкАРН, состоят из двух элементов и определяются следующим выражением:

$$C_{\text{ЛАРН}m}(\Delta T) = c_m^{\text{НД}} + K_m \cdot \Delta c_m(\Delta T - \Delta T_m^{\text{НД}}), \quad (3)$$

где $c_m^{\text{НД}}$ – фиксированные затраты на реализацию m -го мероприятия, выполняемого при ЛкАРН, определенные в нормативных документах, у.е.;

$\Delta T_m^{\text{НД}}$ – продолжительность проведения m -го мероприятия, выполняемого при ЛкАРН, определенная в нормативных документах, ч;

$$K_m = \begin{cases} 0, & \Delta T \leq \Delta T_m^{\text{НД}}, \\ 1, & \Delta T > \Delta T_m^{\text{НД}}, \end{cases} \quad \text{– коэффициент учета превышения нормативных затрат при локализации аварийного разлива нефти;}$$

$\Delta c_m(\Delta T - \Delta T_m^{\text{НД}})$ – превышение затрат на реализацию m -го мероприятия, выполняемого при ЛАРН, превышающие фиксированные, у.е.

Оперативность $T_{\text{ЛАРН}}$ определяется как суммарное время реализации ЛАРН, ч:

$$T_{\text{ЛАРН}} = \Delta T_{\text{КР}}, \quad (4)$$

где $\Delta T_{\text{КР}}$ – продолжительность принятия решения по ЛкАРН, рассчитанная с использованием сетевого графика и равная времени критического пути, ч.

По окончании данного этапа осуществляется выбор основного показателя. Остальные показатели переводятся в разряд ограничений. При этом ЛПР устанавливает максимальные значения для показателей, переведенных в разряд ограничений.

Этап 3. Корректировка перечня мероприятий при ЛАРН [8–10].

Вносятся изменения в те мероприятия (комплексы мероприятий), которые не удовлетворяют следующим условиям:

$$\begin{cases} T_{\text{ЛАРН}} \leq T_{\text{ЛАРН пор}}, \\ \Delta T_m \leq \Delta T_{m \text{ пор}}, \\ C_{\text{ЛАРН}m} \leq C_{\text{ЛАРН}m \text{ пор}}, \end{cases} \quad (5)$$

где $T_{\text{ЛАРН пор}}$ – пороговое (допустимое) значение времени реализации ЛАРН, ч;

$\Delta T_{m \text{ пор}}$ – пороговое значение времени проведения m -го мероприятия, ч;

$C_{\text{ЛАРН}m \text{ пор}}$ – пороговое (допустимое) значение показателя ресурсоемкости m -го мероприятия, проводимого при ЛАРН, у.е.

Соответствующие пороговые значения определяются ЛПР так, чтобы на момент складывающейся обстановки условия (5) выполнялись. Например, в качестве $T_{\text{ЛАРН пор}}$ может быть выбрано максимальное время, в течение которого должны быть завершены все мероприятия ЛАРН, а в качестве $C_{\text{ЛАРН}m \text{ пор}}$ – доступное количество затрат для ЛАРН.

В случае существенных изменений складывающейся обстановки (возникновение новых поражающих факторов, отсутствие необходимости проведения определенных мероприятий и т.д.) может проводиться перерасчет составляющих векторного показателя эффективности действий должностных лиц при организации ЛАРН.

Этап 4. Формирование алгоритма действий должностных лиц при ЛАРН [8; 9].

На данном этапе осуществляется выбор тех мероприятий, которые в наибольшей степени влияют на возможность минимизации основного показателя в зависимости от того, какой показатель выбран в качестве основного. Все мероприятия распределяются на три категории. Отбор мероприятий в категорию осуществляется в соответствии с одной из приведенных ниже формул. На основе данного выбора формируется алгоритм действий должностных лиц, оформляемый в виде сетевого графика, в котором отобранные мероприятия формируют критический путь, располагаясь в логической последовательности их проведения, остальные мероприятия в зависимости от количества должностных лиц, входящих в штаб, по возможности параллельно таким образом, чтобы суммарное их проведение не превышало время критического пути.

В целях сокращения изложения материала обозначим символом M множество номеров мероприятий, включенных в будущий алгоритм действий.

Категория 1 – мероприятия, обеспечивающие минимизацию показателя результативности с учетом ограничений на время реализации (оперативности) и на допустимые материальные затраты (ресурсоемкости) ЛАРН [8].

Критерий для включения в алгоритм действий данной категории мероприятий имеет вид:

$$\begin{aligned} \forall m \in N: (1 \leq m \leq N_M \wedge T_{\text{ЛАРН}} \leq T_{\text{ЛАРН пор}} \wedge \Delta T_m \leq \Delta T_{m \text{ пор}} \wedge C_{\text{ЛАРН}m} \leq C_{\text{ЛАРН}m \text{ пор}}) \supset \\ \supset (m \in M \wedge R_{\text{ЛАРН}}(\Delta T) \rightarrow \min). \end{aligned} \quad (6)$$

Категория 2 – мероприятия, включаемые в алгоритм действий должностных лиц, обеспечивающие минимизацию показателя ресурсоемкости [8].

Критерий для включения в алгоритм действий мероприятий категории 2 имеет вид:

$$\begin{aligned} \forall m \in N: (1 \leq m \leq N_M \wedge T_{\text{ЛАРН}} \leq T_{\text{ЛАРН пор}} \wedge \Delta T_m \leq \Delta T_{m \text{ пор}} \wedge C_{\text{ЛАРН}m} \leq C_{\text{ЛАРН}m \text{ пор}}) \supset \\ \supset (m \in M \wedge C_{\text{ЛАРН}} \rightarrow \min), \end{aligned} \quad (7)$$

Категория 3 – мероприятия, включаемые в алгоритм действий должностных лиц, обеспечивающие минимизацию показателя оперативности [8].

Критерий для включения в алгоритм действий мероприятий категории 3 имеет вид:

$$\forall m \in N: (1 \leq m \leq N_M \wedge T_{\text{ЛАРН}} \leq T_{\text{ЛАРН пор}} \wedge \Delta T_m \leq \Delta T_{m \text{ пор}} \wedge C_{\text{ЛАРН}m} \leq C_{\text{ЛАРН}m \text{ пор}}) \supset (m \in M \wedge \Delta T \rightarrow \min), \quad (8)$$

В зависимости от сложившихся условий допускается включение в перечень мероприятий, формирующих критический путь, тех мероприятий, проведение которых в большей степени может способствовать минимизации не основных показателей, однако в итоге приводит к минимизации основного по следующей формуле:

$$\forall m \in N: (1 \leq m \leq N_M \wedge T_{\text{ЛАРН}} \leq T_{\text{ЛАРН пор}} \wedge \Delta T_m \leq \Delta T_{m \text{ пор}} \wedge C_{\text{ЛАРН}m} \leq C_{\text{ЛАРН}m \text{ пор}}) \supset (m \in M \wedge C_{\text{ЛАРН}} \rightarrow \min \wedge \Delta T \rightarrow \min) \supset (m \in M \wedge R_{\text{ЛАРН}} \rightarrow \min). \quad (9)$$

В данном случае алгоритм действий должностных лиц направлен на минимизацию показателя наносимого ущерба с учетом сведения к минимуму значений показателей ресурсоемкости и оперативности.

Этап 5. Оценка эффективности действий должностных лиц при ликвидации аварийного разлива нефти [8–10].

Эффективность действий должностных лиц будет оцениваться по показателю результативности (ущерб, наносимому государству) как показателю, отражающему изменение ущерба, наносимого государству, при выполнении мероприятий из алгоритма действий должностных лиц.

Ущерб, наносимый при аварийном разливе нефти, рассчитывается по выражению (1). При этом ущерб, наносимый с учетом построенного на этапе 4 алгоритма действий должностных лиц (номера мероприятий этого алгоритма принадлежат множеству M , а продолжительность принятия решения по локализации аварийного разлива нефти примет некоторое значение ΔT_M), рассчитывается по выражению:

$$R_{\text{ЛАРН}}^M(\Delta T_M) = \sum_{i=1}^{N_o} R_i(\Delta T_M), \quad (10)$$

где $R_i(\Delta T_M)$ – величина i -й составляющей ущерба при выполнении мероприятий построенного алгоритма действий.

Величина относительного прироста эффективности ЛАРН в соответствии с алгоритмом действий должностных лиц, сформированным на *этапе 4* методики (рис. 1), определяется в соответствии с выражением:

$$\Delta_{\text{ЛАРН отн}} = \frac{R_{\text{ЛАРН}}(\Delta T) - R_{\text{ЛАРН}}^M(\Delta T_M)}{R_{\text{ЛАРН}}(\Delta T)} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Адекватность и обоснованность разработанной методики и оптимизированного алгоритма действий должностных лиц при ЛАРН были проверены в рамках учений, проведенных в акватории Каспийского моря Азербайджанской Республики (разлив нефти в открытом море) [11].

В рамках проведенных учений была апробирована разработанная структура временного штаба управления ЛАРН, составленная с учетом алгоритма действий должностных лиц штаба.

В результате учений были получены временные параметры сетевого графика алгоритма действий должностных лиц временного штаба управления ЛАРН (табл.), что позволило провести перерасчет времени критического пути.

С учетом новых данных о продолжительности работ комплекса мероприятий время критического пути составило 3 ч 35 мин [11]. Таким образом, относительный прирост

эффективности проводимого комплекса мероприятий, основанного на разработанных методике и структуре органа управления ЛАРН в акватории Каспийского моря Азербайджанской Республики, составил около 16 %.

Таблица. – Временные параметры сетевого графика алгоритма действий должностных лиц при ЛАРН [9]

	Наименование работы	Временной показатель, ч
a1	Сигнал «Нефтяная авария»	Не оценивался (Ч)
a2	Передача информации о разливе нефти органам управления и силам ликвидации разливов нефти	Ч+15 мин
a3	Работа группы мониторинга по прогнозу перемещения нефтяного пятна	Ч+50 мин
a4	Выдвижение оперативной группы по инспектированию разлива нефти	Ч+50 мин
a5	Разведка с помощью авиации (вертолет, самолет «Амфибия»)	Ч+1
a6	Высылка автобуса для доставки отдела ЛАРН на базу Каспийской акваториальной аварийной службы	Ч+1,5
a7	Высылка плавучего крана 40 т для погрузки-разгрузки спецтехники	Ч+2
a8	Высылка вертолета с нижним подвешенным агрегатом для погрузки спецтехники на палубу судна	Ч+1
a9	Высылка судна со спецтехникой на палубе	Ч+1,5
a10	Высылка сил и средств нефтяных компаний	Ч+1,5–2
a11	Оказание помощи судами, находящимися вблизи разлива	Ч+1
a12	Высылка буксировочных судов	Ч+1,5
a13	Высылка пожарного судна	Ч+1,5
a14	Организация помощи силами и средствами прикаспийских государств при ЛАРН	Ч+2

Вместе с тем по результатам учений решением начальника штаба ГО в структуру временного штаба управления ЛАРН были внесены корректировки (введение двух заместителей, группы управления техническим обеспечением, группы управления защитой населения), которые будут способствовать повышению оперативности работы должностных лиц: контролю выполнения мероприятий, которые находятся на критическом пути сетевого графика, а значит, от этих работ зависит продолжительность выполнения ЛАРН (рис. 2).

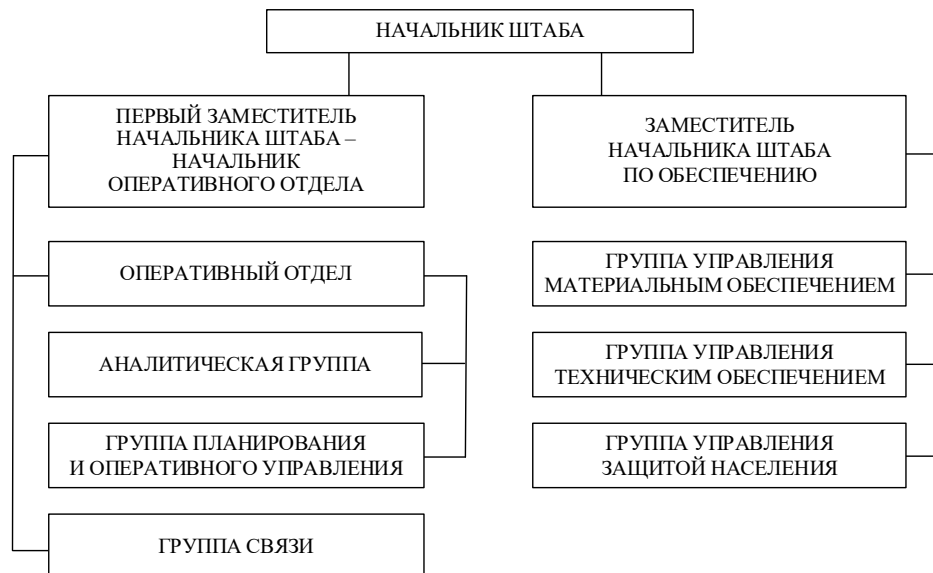


Рисунок 2. – Структура временного штаба управления ЛАРН (вариант)

Заключение

Перед начальником ГО стоит задача по координации органов управления, привлекаемых сил и средств, а также по реализации совокупности комплекса мер и работ, выполняемых в связи с ЛАРН, с учетом временных и ресурсных ограничений. В связи с этим возникает необходимость повышения эффективности управления и оперативности проведения АСР при ЧС, связанных с аварийным разливом нефти. Негативное воздействие разлива

нефти на окружающую среду напрямую зависит от времени, затраченного на проведение каждого вида работ комплекса мероприятий в отдельности. Результаты апробации разработанных структуры временного штаба управления ЛАРН и методики оценки действий должностных лиц при ликвидации аварийного разлива нефти в акватории Каспийского моря позволили сократить время критического пути сетевого графика, внести корректировки в алгоритм действий должностных лиц. Величина относительного прироста эффективности проведения комплекса мероприятий составила около 16 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черницына, С.Ю. Геополитические особенности Каспийского региона / С.Ю. Черницына // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2017. – Т. 6. – № 3 (20). – С. 421–423. – EDN: ZMLBLJ.
2. Сагымбаев, Е.Н. Каспийский Регион, в чьих руках власть на самом деле [Электронный ресурс] / Е.Н. Сагымбаев, Л.В. Столярова // Молодежный научный форум: Общественные и экономические науки: электронный сб. статей по материалам VI Студенческой междунар. заочной науч.-практ. конф. – М.: Изд-во «МЦНО». – 2013. – № 6 (6). – С. 89–96. – Режим доступа: <https://nauchforum.ru/studconf/social/vi/1726>. – Дата доступа: 13.12.2023.
3. Croissant, M. Oil and geopolitics in the Caspian Sea Region / M. Croissant, B. Aras. – Westport: Praeger, 1999. – 334 p.
4. Stulberg, A. Transatlantic energy security and the Caspian Basin: moving towards a common agenda: policy brief / A. Stulberg, H. Cosijn. – Brussels: EastWest Institute, 2002. – 10 p.
5. Ковалев, А.А. Современное международное морское право и практика его применения / А.А. Ковалев. – М.: Научная книга, 2003 – 415 с.
6. Заславский, И. Дело труба. Баку – Тбилиси – Джейхан и казахстанский выбор на Каспии / И. Заславский. – М.: Европа, 2005. – 192 с.
7. Абдуллаев, А.А. Повышение устойчивости функционирования объектов магистрального трубопроводного транспорта Азербайджанской Республики в условиях чрезвычайной ситуации / А.А. Абдуллаев // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 32–37. – DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.32. – EDN: YZVGBV.
8. Абдуллаев, А.А. Методика оценки эффективности алгоритма действий должностных лиц при ликвидации аварийных разливов нефти / А.А. Абдуллаев, М.М. Тихонов, И.П. Колеснева // Сборник научных статей Военной академии Республики Беларусь. – 2021. – № 40. – С. 2–6.
9. Абдуллаев, А.А. Методика оценки эффективности алгоритма действий должностных лиц при ликвидации аварийных разливов нефти в бассейне Каспийского моря Азербайджанской Республики / А.А. Абдуллаев, М.М. Тихонов, И.П. Акулич // Забезпечення цивільної безпеки в сучасних умовах: матеріали I Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., Україна, м. Мелітополь, 26–30 квітня 2021 р. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – С. 160–164.
10. Абдуллаев, А.А. Подход к оценке эффективности алгоритма действий должностных лиц при ликвидации аварийного разлива нефти в акватории каспийского моря / А.А. Абдуллаев, М.М. Тихонов, И.П. Колеснева // Исторические аспекты, актуальные проблемы и перспективы развития Государственной системы гражданской защиты: сб. материалов X Междунар. науч.-практ. конф. адъюнктов, магистрантов, курсантов и студентов, Кокшетау, 4 марта 2022 г. – Кокшетау: АГЗ имени М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, 2022. – С. 126–129.
11. Абдуллаев, А.А. Апробация структуры управления аварийно-спасательными работами и методики оценки эффективности алгоритма действий должностных лиц при ликвидации аварийного разлива нефти в акватории Каспийского моря в ходе учений / А.А. Абдуллаев, И.П. Колеснева, М.М. Тихонов // Научный вестник Академии Министерства по чрезвычайным ситуациям (Азербайджан). – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 61–72.

**Совершенствование методики оценки эффективности действий должностных лиц
временного штаба управления ликвидацией аварийного разлива нефти
в акватории Каспийского моря**

**Improving the methodology of evaluating the effectiveness of the actions of officials
of temporary control headquarters for emergency oil spill elimination
in the Caspian water area**

Абдуллаев Адиль Алескерович

Министерство по чрезвычайным ситуациям
Азербайджанской Республики,
Центр управления в кризисных ситуациях,
начальник центра

Адрес: ул. Мушвига, 501,
AZ1073, г. Баку, Азербайджан
Email: adil.abdullayev@gmail.com

Adil A. Abdullaev

Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Azerbaijan,
Crisis Management Center,
Head of Center

Address: Mushviga str., 501,
AZ1073, Baku, Azerbaijan
Email: adil.abdullayev@gmail.com

Колеснева Инна Петровна

кандидат технических наук
Учреждение образования «Военная
академия Республики Беларусь», кафедра
информационно-вычислительных систем,
заместитель начальника кафедры

Адрес: пр-т Независимости, 220,
220057, г. Минск, Беларусь,
Email: inn2119@rambler.ru

Inna P. Kolesneva

PhD in Technical Sciences
Educational Establishment «Military academy
of Republic of Belarus», Chair of Information
Computer Systems, Deputy Head of Chair

Address: Nezavisimosti ave., 220,
220057, Minsk, Belarus
Email: inn2119@rambler.ru

Тихонов Максим Михайлович

кандидат технических наук, доцент

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: timax1978@gmail.com
SPIN-код: 7967-3004

Maksim M. Tikhonov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: timax1978@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7631-8750

IMPROVING THE METHODOLOGY OF EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE ACTIONS OF OFFICIALS OF TEMPORARY CONTROL HEADQUARTERS FOR EMERGENCY OIL SPILL ELIMINATION IN THE CASPIAN WATER AREA

Abdullaev A.A., Kolesneva I.P., Tikhonov M.M.

Purpose. Improving the methodology of assessing the effectiveness of the actions of officials of the temporary control headquarters for the elimination of emergency oil spill at sea.

Methods. General scientific research methods: analysis and synthesis, comparison and synthesis; critical path method.

Findings. Changes have been made in the methodology of assessing the effectiveness of the actions of officials of the temporary headquarters for managing the response to an emergency oil spill at sea, and the results of its testing during exercises are presented.

Application field of research. The results of the work can be used in practical activities in the management of emergency services of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan in wartime.

Keywords: civil defense, methodology, performance assessment, temporary control headquarters, military threat, official, oil spill accident.

(The date of submitting: January 5, 2024)

REFERENCES

1. Chernitsyna S. Yu. Geopoliticheskie osobennosti Kaspiyskogo regiona [Geopolitical features of the Caspian region]. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*, 2017. Vol. 6, No. 3 (20). Pp. 421–423. (rus). EDN: ZMLBLJ.
2. Sagymbaev E.N., Stolyarova L.V. Kaspiyskiy Region, v ch'ikh rukakh vlast' na samom dele [The Caspian Region, whose hands hold the power actually?]. *Proc. of VI Student intern. correspondence scientific-practical. conf. «Molodezhnyy nauchnyy forum: Obshchestvennye i ekonomicheskie nauki»*, 2013. No. 6(6). Pp. 89–96. Режим доступа: <https://nauchforum.ru/studconf/social/vi/1726>. – Дата доступа: 13.12.2023. (rus)
3. Croissant M., Aras B. *Oil and geopolitics in the Caspian Sea Region*. Westport: Praeger, 1999. 334 p.
4. Stulberg A. Cosijn H. *Transatlantic energy security and the Caspian Basin: moving towards a common agenda: policy brief*. Brussels: EastWest Institute, 2002. 10 p.
5. Kovalev A.A. *Sovremennoe mezhdunarodnoe morskoe pravo i praktika ego primeneniya* [Contemporary international maritime law and the practice of its application]. Moscow: Nauchnaya kniga, 2003. 415 p. (rus)
6. Zaslavskiy I. *Delo truba. Baku–Tbilisi–Dzheykhan i kazakhstanskiy vybor na Kaspii* [The matter is a pipe. Baku–Tbilisi–Ceyhan and Kazakhstan's choice in the Caspian Sea]. Moscow: Evropa, 2005. 192 p. (rus)
7. Abdullaev A.A. Povyshenie ustoychivosti funktsionirovaniya ob"ektov magistral'nogo truboprovodnogo transporta Azerbaydzhanskoy Respubliki v usloviyakh chrezvychaynoy situatsii [Improving the sustainability of functioning of objects of the main pipeline transport of the Azerbaijan Republic in emergency situation]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No 1. Pp. 32–37. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-1.32. EDN: YZVGBV.
8. Abdullaev A.A., Tikhonov M.M., Kolesneva I.P. Metodika otsenki effektivnosti algoritma deystviy dolzhnostnykh lits pri likvidatsii avariynykh razlivov nefi [Methodology for evaluating the effectiveness of the algorithm of actions of officials during the elimination of emergency oil spills]. *Collection of scientific articles of the Military Academy of the Republic of Belarus*, 2021. No. 40. Pp. 2–6. (rus)
9. Abdullaev A.A., Tikhonov M.M., Akulich I.P. Metodika otsenki effektivnosti algoritma deystviy dolzhnostnykh lits pri likvidatsii avariynykh razlivov nefi v bassejne Kaspiyskogo morya Azerbaydzhanskoy Respubliki [Methodology for assessing the effectiveness of the algorithm of officials' actions during emergency oil spill elimination in the Caspian Sea basin of the Azerbaijan Republic]. *Proc. of I Intern. scientific-practical. internet-conf. «Ensuring Civil Security in Modern Conditions»*,

Ukraine, Melitopol, April 26–30, 2021. – Melitopol: Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, 2021. Pp. 160–164. (rus)

10. Abdullaev A.A., Tikhonov M.M., Kolesneva I.P. Podkhod k otsenke effektivnosti algoritma deystviy dolzhnostnykh lits pri likvidatsii avariynogo razliva nefti v akvatorii kaspiskogo moray [Approach to assessing the effectiveness of the algorithm of officials' actions during oil spill elimination in the Caspian Sea water area]. *Proc. of X Intern. scientific-practical. internet-conf. of Adjuncts, Masters, Cadets and Students «Istoricheskie aspekty, aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya Gosudarstvennoy sistemy grazhdanskoy zashchity»*, March 4, 2022. Kokshetau: M. Gabdullin Civil Defense Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan, 2022. Pp. 126–129. (rus)
11. Abdullaev A.A., Kolesneva I.P., Tikhonov M.M. Aprobatsiya struktury upravleniya avariyno-spasatel'nymi rabotami i metodiki otsenki effektivnosti algoritma deystviy dolzhnostnykh lits pri likvidatsii avariynogo razliva nefti v akvatorii Kaspiskogo morya v khode ucheniy [Approbation of the emergency rescue management structure and the methodology for evaluating the effectiveness of the algorithm of actions of officials during emergency oil spill elimination in the Caspian Sea during the exercises]. *Scientific Herald of the Academy of the Ministry of Emergency Situations (Azerbaijan)*, 2021. Vol. 1, No. 1. Pp. 61–72. (rus)

**ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
статей для публикации в научном журнале
«Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси»**

1. Направляемые в Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси статьи должны представлять результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, краткие сообщения, комментарии к нормативным техническим документам, справочные материалы и т.п.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.). В этот объем входят таблицы, фотографии, графики, рисунки и список литературы.

3. Статья предоставляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала: <https://journals.ucp.by>.

4. Электронная версия статьи, подготовленная в текстовом редакторе Microsoft Word, предоставляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес: vestnik@ucp.by. Рисунки прилагаются дополнительно как отдельные файлы графического формата.

5. Материал статьи излагается в следующем порядке:

1) информация об авторах (на отдельном листе): фамилия, имя, отчество – полностью, ученая степень, ученое звание, место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны), должность, рабочий телефон, email (обязательно), имеющиеся персональные идентификационные номера в наукометрических базах (при этом обязательным является указание SPIN-кода РИНЦ, идентификатора ORCID). Если авторов несколько, указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;

2) номер УДК (универсальная десятичная классификация);

3) название статьи;

4) аннотация (не менее 200 и не более 300 слов) является основным источником информации о статье, может публиковаться самостоятельно в реферативных журналах и информационных системах в отрыве от основного текста и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Аннотация должна раскрывать: *цель* (определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования); *методы* (излагаются подходы, методы и технологии исследования); *результаты* (приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна); *область применения исследований* (описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость);

5) ключевые слова и словосочетания статьи (не более 12 слов);

6) дата поступления статьи (месяц и год);

7) введение; основная часть статьи; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;

8) указание на источник финансирования (если статья подготовлена в рамках выполнения гранта научных исследований);

9) список цитированной литературы. Для каждого источника указывается (при наличии) его DOI. Эксперты международных наукометрических баз данных негативно воспринимают включение в список цитированной литературы источников локального характера (постановлений, законов, инструкций, неопубликованных отчетов, диссертаций, авторефератов и т.п.), электронных материалов и ресурсов сети Интернет. Поэтому ссылки на такие источники рекомендуем оформлять в виде постраничных сносок со сквозной нумерацией.

На отдельной странице на английском языке приводятся следующие сведения: информация об авторах; название статьи; аннотация, обязательно включающая следующие пункты: purpose, methods, findings, application field of research; ключевые слова и словосочетания; транслитерация на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы.

Для русскоязычных источников в транслитерации на латинице приводятся фамилия, имя, отчество авторов, названия статей, журналов (если нет англоязычного названия), материалов конференций, издательств и на английском языке – названия публикаций и выходные сведения (город, том и номер издания, страницы). Для транслитерации на латиницу следует применять систему транслитерации BGN, при этом можно использовать интернет-ресурсы, например сайт: <http://translit.net>.

Основные требования к оформлению статей, предоставляемых в научный журнал, и пример оформления статьи размещены на сайте издания: <https://journals.ucp.by>.

6. Содержание разделов статьи, таблицы, рисунки, цитированная литература должны отвечать требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 7.1-2003 и Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной постановлением ВАК Беларуси от 28 февраля 2014 г. № 3.

7. Редакция оставляет за собой право на изменения, не искажающие основного содержания статьи. Рукописи отклоненных статей авторам не возвращаются.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

Факультет заочного обучения

Проводит:

Подготовку по специальностям:

6-05-1033-01 «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:

9-09-1033-02 «Инжиниринг безопасности объектов строительства» с присвоением квалификации «Инженер». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

9-09-1033-03 «Промышленная безопасность» с присвоением квалификации «Инженер». Срок обучения – 18 месяцев. Форма обучения – заочная (три сессии).

По окончании обучения выдается диплом государственного образца о переподготовке на уровне высшего образования.

Повышение квалификации для руководящих работников и специалистов, имеющих высшее или среднее специальное образование, по образовательным программам:

- «Экспертная деятельность» (в пожарной безопасности);
- «Пожарная безопасность. Предупреждение чрезвычайных ситуаций. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Проектирование систем пожарной автоматики»;
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (инженерно-технические работники)»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей»;
- «Промышленная безопасность»;
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности предприятий химической промышленности, хранения и переработки зерна, аммиачных и хлораторных установок»;
- «Организация и обеспечение промышленной безопасности при обращении пиротехнических изделий»;
- «Безопасность горных работ»;
- «Экспертная деятельность в промышленной безопасности»;
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения в медицинских целях);
- «Радиационная безопасность» (при использовании источников ионизирующего излучения, в целях отличных от медицинских);
- «Основы обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (для лиц, участвующих в обеспечении ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации объектов использования атомной энергии);
- «Экспертиза безопасности в области использования атомной энергии (для работников, оказывающих услуги по проведению экспертизы безопасности в области использования атомной энергии)»;
- «Проектирование пунктов хранения радиоактивных отходов» для работников, оказывающих услуги в сфере проектирования;

- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Охрана труда»;
- «Противодействие коррупции»;
- «Защита от чрезвычайных ситуаций».

Обучающие курсы для лиц, имеющих профессионально-техническое и общее среднее образование, по образовательным программам:

- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Техническое обслуживание систем пожарной автоматики»;
- «Выполнение работ с применением огнезащитных составов (исполнители работ)»;
- «Защита от чрезвычайных ситуаций»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей».

Семинары по образовательным программам:

- «Оказание первой помощи пострадавшим в ЧС»;
- «Расчет предела огнестойкости (железобетонных, металлических, деревянных, каменных строительных конструкций)»;
- «Расчет времени эвакуации людей при пожаре»;
- «Расчет температурного режима пожара в помещении»;
- «Расчет величины противопожарных разрывов между зданиями, сооружениями и наружными установками»;
- «Расчет площади легкобросываемых конструкций»;
- «Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»;
- «Порядок проектирования пассивной противопожарной защиты зданий различного назначения»;
- «Оптимизация затрат на обеспечение требований пожарной безопасности на основании расчетных методов»;
- «Охрана труда в организациях непромышленной сферы».

Подготовку лиц к поступлению в учреждения образования Республики Беларусь по учебным предметам: математика, физика, русский язык, русский язык как иностранный, белорусский язык, английский язык, немецкий язык, французский язык, история, обществоведение, химия (очная/дистанционная форма обучения).

Обучение проводит профессорско-преподавательский состав университета и ведущие специалисты Республики Беларусь в области пожарной и промышленной безопасности.

Наш адрес: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25,
ФЗО: тел/факс +37517 340-71-89,
ФБЖ: тел. +37517 340-69-55, факс +37517 340-35-58, email: fpipk@ucp.by.

Дополнительная информация размещена на сайте университета: <http://ucp.by>
в разделе «Повышение квалификации»

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 8, № 1, 2024

Подписано в печать 23.02.2024.
Формат 60×84 ¹/₈.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 13,95. Уч.-изд. л. 12,85.
Тираж 35 экз. Заказ 016-2024.

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.