

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
**«Вестник Санкт-Петербургского
университета ГПС МЧС России»**

Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service
of EMERCOM of Russia

№ 1 – 2022

Редакционный совет

Председатель – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Ложкин Владимир Николаевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Заместитель председателя (главный редактор) – кандидат технических наук, доцент **Матвеев Александр Владимирович**, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий.

Члены редакционного совета:

доктор технических наук, профессор **Шарапов Сергей Владимирович**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

доктор физико-математических наук, профессор **Гончаренко Игорь Андреевич**, профессор кафедры естественных наук Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Поляков Александр Степанович**, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Байков Валентин Иванович**, профессор кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор химических наук, профессор, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники **Ивахнюк Григорий Константинович**, заведующий кафедрой инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета);

доктор химических наук, профессор полковник внутренней службы **Калач Андрей Владимирович**, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института федеральной службы исполнения наказаний России;

доктор химических наук, профессор **Богданова Валентина Владимировна**, профессор кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор медицинских наук, доктор психологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Рыбников Виктор Юрьевич**, заместитель директора по научной и учебной работе Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России;

доктор психологических наук, доцент **Бобрищев Алексей Александрович**, профессор кафедры физической подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор психологических наук, профессор **Кремень Маркс Аронович**, профессор кафедры гуманитарных наук Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

доктор технических наук, профессор **Иванов Александр Юрьевич**, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор наук (PhD), профессор **Агостон Рестас**, начальник Департамента противопожарной профилактики и предотвращения чрезвычайных ситуаций Института управления в чрезвычайных ситуациях (Республика Венгрия);

доктор технических наук **Мрачкова Ева**, профессор кафедры противопожарной защиты Технического университета г. Зволен (Республика Словакия).

Секретарь совета:

доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Медведева Людмила Владимировна**, заведующая кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Редакционная коллегия

Председатель – полковник внутренней службы **Онов Виталий Александрович**, начальник центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Заместитель председателя – кандидат технических наук, доцент подполковник внутренней службы **Турсенев Сергей Александрович**, начальник отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Члены редакционной коллегии:

доктор политических наук, доцент **Лукин Владимир Николаевич**, профессор кафедры философии и социальных наук Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Буйневич Михаил Викторович**, профессор кафедры безопасности информационных технологий Санкт-Петербургского университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича;

доктор технических наук, профессор **Трофимец Валерий Ярославович**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, доцент **Терёхин Сергей Николаевич**, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, доцент **Крутолапов Александр Сергеевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор юридических наук, доцент полковник внутренней службы **Медведева Анна Александровна**, профессор кафедры трудового права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, инженер отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Секретарь коллегии:

майор внутренней службы **Дмитриева Ирина Владимировна**, начальник редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

=====

СОДЕРЖАНИЕ

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

Актерский Ю.Е., Смирнов А.С. Повышение эффективности снижения рисков чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса. 1

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ивахнюк С.Г. Анализ номенклатуры и рекомендации по использованию коррозионно-стойких конструкционных материалов в нефтегазовой отрасли. 11

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Захматов В.Д., Панкратова М.В. Стационарные системы тушения разливов авиационного топлива вокруг аварийно приземлившегося самолета. 22

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

Хайдаров А.Г., Панферов М.А., Королева Л.А. Руководство данными как перспективное направление снижения пожарной и экологической опасности в сфере обращения с отходами. 30

Маценко С.В., Блиновская Я.Ю., Чижова-Ноткина Е.А. Совершенствование математической модели взаимодействия нефтяного пятна с морской средой. 41

Доронина Е.Б., Скатков А.В. Многокритериальная оптимизация ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры на основе нестационарного фронта Парето. 52

Андреев А.В., Доронин А.С., Терехин С.Н. Перспективы построения систем пожарной сигнализации на принципах искусственного интеллекта (на примере газовых пожарных извещателей). 65

Юхта Н.М., Пивоварова И.И. Роль электронных библиотек и баз данных в системе дистанционного обучения. 75

Калач А.В., Мартинович Н.В., Черных А.К. Современные аспекты управления системой территориальной комплексной безопасности. 84

Королев Д.С., Кончаков С.А. Оценка влияния цифровых технологий на пожарную безопасность нефтегазовых объектов. 95

Щетка В.Ф., Заводсков Г.Н. Модель ошибок должностных лиц при принятии решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. 106

ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Бородушко И.В. Управление развитием информационно-коммуникационных технологий в Российской Федерации с учетом закономерностей функционирования ИТ-отрасли. 119

Калач А.В., Смоленцева Т.Е., Нефедьев С.А. Модель принятия эффективных управленческих решений в иерархических многоуровневых системах. 129

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ СОТРУДНИКОВ МЧС РОССИИ К УСЛОВИЯМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Медведева Л.В. Актуальные психолого-педагогические проблемы использования современных информационных ресурсов в образовательном процессе высшей школы. ... 136

- Воронина О.А., Габова А.Г., Строчкая Е.Е.** К вопросу о целесообразности развития гибких навыков студенческой молодежи как фактора информационной безопасности. 146
- Михайлов В.А., Михайлова В.В., Горячева М.О.** Формирование сознательного оптимизма у будущих командиров (начальников) пожарно-спасательных подразделений. 153

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

- Борисова В.А.** Исследование физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик полимерных композиционных материалов, модифицированных углеродными структурами. 161
- Дворникова О.Ф.** Влияние пандемии на мотивацию и поведение первокурсников 174
- Коткова Е.А.** Системно-динамическая модель распространения паники при эвакуации из общественных зданий. 182
- Сай А.Р.** Влияние показателей пожароопасности отдельных морфологических компонентов смеси твердых коммунальных отходов на уточнение класса их опасности. .. 195

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

УДК 654.924.5

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Юрий Евгеньевич Актерский✉;

Алексей Сергеевич Смирнов.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ akterskij.y@igps.ru

Аннотация. В соответствии с международными соглашениями Российская Федерация активно участвует в разработке перспективных проектов по переводу экономики на использование возобновляемых экологически чистых источников энергии. Однако полностью отказаться от углеводородного сырья до конца XXI в. в современных социально-экономических и геополитических условиях не представляется возможным. Это обстоятельство предполагает дальнейшее развитие и увеличение количества предприятий и опасных производственных объектов нефтегазового комплекса страны. Указанные объекты обладают высоким пожарным риском и относятся к категории взрывопожароопасных. Все это делает необходимым поиск и разработку новых высокоэффективных методов снижения взрывопожарной опасности промышленных объектов нефтегазового комплекса. Одним из известных и наиболее эффективных методов снижения пожарной опасности нефтегазовых производственных объектов является: раннее обнаружение возгораний, активация всех систем объектовой пожарной автоматики и обеспечение их целевого функционирования в течение времени, необходимого для безопасной эвакуации персонала объектов и решения задач пожаротушения силами пожарно-спасательных подразделений. Для успешного решения этих задач системы пожарной автоматики нефтегазовых объектов строятся на основе взрыво- и пожарозащищенного оконечного оборудования (пожарные извещатели, оповещатели, устройства систем дымоудаления и подпора воздуха и т.п.), которое может длительное время функционировать в условиях воздействия высоких температур и других опасных факторов интенсивного пожара. Однако комплексное и эффективное функционирование систем пожарной автоматики в условиях пожара невозможно без своевременной и достоверной передачи информационных и управляющих сигналов между всеми компонентами систем по кабельным информационным линиям связи и электропроводам.

В статье анализируются и предлагаются методы повышения целостности и надежности функционирования линий передачи информационных и управляющих сигналов в условиях интенсивного пожара и защиты электропроводки при организации целевого функционирования всех компонентов систем пожарной автоматики, что в целом будет существенно способствовать повышению комплексной эффективности их целевого применения и общему снижению пожарной опасности объектов нефтегазового комплекса.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

Ключевые слова: объекты нефтегазового комплекса, пожарная автоматика, взрывопожаро-защищенные оконечные устройства, огнестойкие кабельные линии и системы, огнестойкость металлических и железобетонных конструкций

Для цитирования: Актерский Ю.Е., Смирнов А.С. Повышение эффективности снижения рисков чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 1–10.

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF REDUCING THE RISKS OF EMERGENCIES AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES OF THE OIL AND GAS COMPLEX

Yuri E. Akterskiy✉;

Alexey S. Smirnov.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ akterskiy.y@igps.ru

Abstract. In accordance with international agreements, the Russian Federation actively participates in the development of promising projects for the transition of the economy to the use of renewable environmentally friendly energy sources. However, it is not possible to completely abandon hydrocarbon raw materials until the end of the XXI century in modern socio-economic and geopolitical conditions. This circumstance presupposes further development and an increase in the number of enterprises and hazardous production facilities of the country's oil and gas complex. These objects have a high fire risk and belong to the category of explosive and flammable. All this makes it necessary to search and develop new highly effective methods to reduce the explosion and fire hazard of industrial facilities of the oil and gas complex. One of the well-known and most effective methods of reducing the fire hazard of oil and gas production facilities is the early detection of fires, activation of all systems of object fire automation and ensuring their targeted functioning during the time necessary for the safe evacuation of personnel of facilities and solving fire extinguishing tasks by fire and rescue units. To successfully solve these problems, fire automation systems of oil and gas facilities are built on the basis of explosion- and fire-protected terminal equipment (fire detectors, annunciators, devices of smoke extraction and air backup systems, etc.), which can function for a long time under the influence of high temperatures and other dangerous factors of intense fire. However complex and effective functioning of fire automation systems in fire conditions is impossible without timely and reliable transmission of information and control signals between all system components via cable information communication lines and electrical wires.

The article analyzes and suggests methods for improving the integrity and reliability of the transmission lines of information and control signals in conditions of intense fire and protection of electrical wiring in the organization of the targeted functioning of all components of fire automation systems, which in general will significantly contribute to improving the integrated efficiency of their targeted use and overall reduction of fire hazard of oil and gas facilities.

Keywords: objects of the oil and gas complex, fire automation, explosion-proof terminal devices, fire-resistant cable lines and systems, fire resistance of metal and reinforced concrete structures

For citation: Aktersky Yu.E., Smirnov A.S. Improving the effectiveness of reducing the risks of emergencies at hazardous production facilities of the oil and gas complex // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 1–10.

Введение

Несмотря на глобальные планы перехода мировой экономики на использование экологически чистой водородной энергетики, роль и значимость углеводородного сырья в XXI в. маловероятно существенно потеряют свою актуальность. Исходя из этого, в настоящее время в нашей стране наблюдается острая необходимость расширения масштабов разведки новых месторождений нефти и газа, повышения эффективности использования существующих и перспективных месторождений и транспортных магистралей углеводородного сырья, строительства новых современных нефте- и газоперерабатывающих предприятий и комплексов. Реализация этих планов предполагает глубокую модернизацию существующих и строительство большого количества новых объектов нефтегазового комплекса [1, 2].

В соответствии с Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ № 123-ФЗ) такие объекты относятся к категории опасных производственных объектов и характеризуются высоким уровнем взрывопожарной опасности. По данным Ростехнадзора в последние годы в связи с увеличением количества и энерговооруженности объектов нефтегазового комплекса, усложнением технологических процессов ежегодно отмечается рост количества чрезвычайных ситуаций (ЧС) на них более чем на 20 %, в том числе связанных с пожарами и взрывами (рис. 1, 2).

Цель работы – поиск, обоснование и разработка практических рекомендаций по внедрению новых более эффективных средств и методов снижения пожарной опасности объектов нефтегазового комплекса.

Материалы и методы исследования

Многочисленные исследования подтверждают, что одним из наиболее эффективных направлений снижения пожарной опасности объектов нефтегазового комплекса является раннее обнаружение признаков и самого возгорания с помощью различных систем пожарной автоматики. Современные системы пожарной автоматики практически в реальном масштабе времени позволяют обнаруживать появление опасных факторов, передавать информацию о них на автоматические или автоматизированные пульта управления, активировать системы оповещения и управления эвакуацией персонала объектов, системы пожаротушения, противодымной защиты и др. Комплексное применение различных систем пожарной автоматики на объектах нефтегазового комплекса при возникновении ЧС в целом обуславливает сокращение материального ущерба от пожаров, позволяет организовать и провести своевременную эвакуацию персонала и способствует повышению эффективности тушения силами пожарных подразделений [3].



Рис. 1. Пожар на Комсомольском нефтеперерабатывающем заводе



Рис. 2. Пожар на Киришском нефтеперерабатывающем заводе

Типовыми структурными элементами систем пожарной автоматики являются:

- автоматизированные рабочие места дежурного персонала на основе ПЭВМ и специального программного обеспечения;
- извещатели пожарные, реагирующие на различные опасные факторы пожара (тепловые, дымовые, пламени, ручные, комбинированные и т.п.);
- приборы приемно-контрольные пожарные;
- приборы управления пожарные;
- технические средства оповещения и управления эвакуацией людей (звуковые, речевые, световые, комбинированные, мультимедийные);
- приборы, оборудование, проводные и беспроводные линии связи и передачи извещений о пожаре;
- приборы и оборудование противодымной защиты;
- приборы и оборудование систем пожаротушения (водяного, пенного, газового, порошкового).

Результаты исследования и их обсуждение

К основным показателям эффективности и качества систем пожарной автоматики и отдельных их элементов можно отнести такие как: время обнаружения возгорания или пожара, оповещения и управления эвакуацией персонала в безопасные зоны, скорость дымоудаления, время тушения пожара, вероятность ложного срабатывания, надежность и т.п. Основные компоненты и типовая структура систем пожарной автоматики опасных производственных объектов нефтегазового комплекса приведены на рис. 3. С учетом высокой взрывопожарной опасности объектов защиты пожарные извещатели, оповещатели и другие оконечные устройства таких систем обычно выполняются в специальных взрывопожарозащищенных корпусах, что позволяет существенно увеличить время их целевого функционирования в самых сложных условиях различных ЧС.

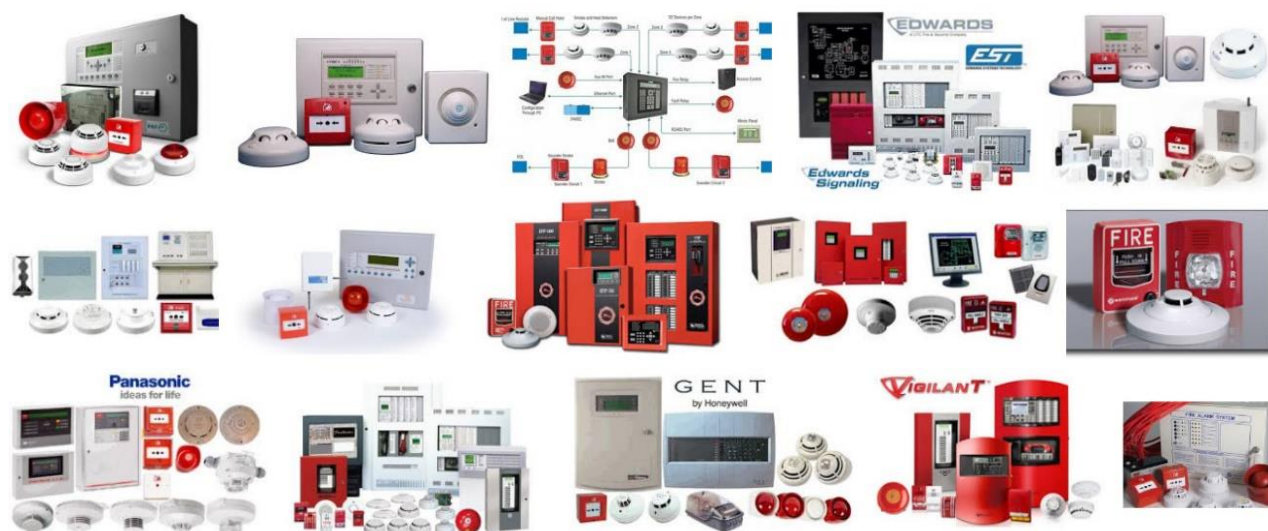


Рис. 3. Основные компоненты и типовая структура системы пожарной автоматики

Однако функциональные возможности и эффективность систем пожарной автоматики определяются не только техническими и надежностными характеристиками их окончательного оборудования, но и способностью своевременно, без искажений и с высокой достоверностью передавать информационные электрические сигналы между всеми взаимодействующими компонентами. Для передачи таких сигналов и электропитания всего оборудования в системах пожарной автоматики используются специальные информационные кабельные линии и электрические провода. В соответствии с требованиями ФЗ № 123-ФЗ устойчивое

функционирование таких кабельных линий и электропроводки в условиях пожара должно сохраняться в течение заданного времени, непосредственно связанного с классом функциональной пожарной опасности объекта защиты и особенностями реализуемых технологических процессов.

Согласно ст. 82 ФЗ № 123-ФЗ при проектировании и строительстве опасных производственных объектов нефтегазового комплекса эти требования распространяются на кабельные линии и электропроводку систем противопожарной защиты, средств обеспечения деятельности подразделений пожарной охраны, систем обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, аварийного освещения на путях эвакуации, аварийной вентиляции и противодымной защиты, автоматического пожаротушения, внутреннего противопожарного водопровода, лифтов для транспортировки подразделений пожарной охраны в зданиях и сооружениях. Продолжительность функционирования информационных линий и электрических проводов в условиях пожара любой интенсивности должна обеспечивать реализацию целевого применения всех систем пожарной автоматики объекта защиты и своевременную эвакуацию персонала в безопасную зону.

Данные требования также нашли отражение в п. 6.2. новой редакции свода правил СП 6.13130.2021 «Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности», в котором говорится, что электропроводки систем противопожарной защиты, в том числе линии слаботочных систем, должны выполняться огнестойкими, не распространяющими горение кабелями.

В общем случае под огнестойкими кабельными линиями (ОКЛ) согласно ГОСТ 53316–2021 понимаются проводные линии (линии связи, электропроводка), способные сохранять работоспособность (передавать электроэнергию, электрические сигналы и импульсы, оптические сигналы) при воздействии пожара в течение заданного периода времени.

ОКЛ систем пожарной автоматики объектов нефтегазового комплекса могут включать в себя огнестойкие кабели, огнестойкие кабеленесущие системы, коммутационные изделия, системы крепежа. Прокладка ОКЛ на объектах защиты должна выполняться в строгом соответствии с классом функциональной пожарной опасности объекта, особенностями объемно-планировочных решений и реализуемых технологических процессов. Выбор огнестойкого кабеля должен выполняться согласно действующих требований пожарной безопасности и области применения (ГОСТ 31565–2012).

Огнестойкие кабеленесущие системы – это металлические кабельные конструкции, состоящие из перфорированных и неперфорированных лотков-коробов, проволочных лотков, настенных и потолочных подвесов, консольных кронштейнов, монтажных профилей, шпилек, анкеров, крепёжных изделий, а также полной гаммы аксессуаров ко всем перечисленным видам продукции с нормированным пределом огнестойкости.

Для обоснования структурных параметров и характеристик ОКЛ, способных обеспечить требуемое время целевого функционирования систем пожарной автоматики на объектах нефтегазового комплекса в случае возникновения пожара, анализируем состав и марки ОКЛ на примере отечественных систем пожарной безопасности типа «ОСТЕК-ЭкоТехноЛайн».

ОКЛ данного типа состоят из:

- 1) огнестойких кабелей на номинальное напряжение до 1 кВ, а также огнестойких оптических кабелей;
- 2) огнестойких кабеленесущих систем с аксессуарами и огнестойкими крепёжными элементами;
- 3) труб гибких гофрированных из электроизоляционного материала для электромонтажных работ;
- 4) труб пластиковых гладких из электроизоляционного материала для электромонтажных работ;

- 5) кабельных каналов для электромонтажных работ из самозатухающего ПВХ пластиката;
- 6) огнестойких крепежных элементов;
- 7) коробок распределительных огнестойких.

Марки ОКЛ, в зависимости от вида входящей в состав кабеленесущей системы, открытой или закрытой прокладки кабеля, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Марки ОКЛ

№	Наименование ОКЛ	Марка ОКЛ
1	ОКЛ на основе лотков металлических лестничных по ТУ 3449-001-63774458-2015	«ОСТЕК-ЭкоТехноЛайн ОКЛ-1 Е*»
2	ОКЛ на основе лотков и лотков-коробов металлических перфорированных по ТУ 3449-001-63774458-2015	«ОСТЕК-ЭкоТехноЛайн ОКЛ-2 Е*»
3	ОКЛ на основе лотков и лотков-коробов металлических неперфорированных по ТУ 3449-001-63774458-2015	«ОСТЕК-ЭкоТехноЛайн ОКЛ-3 Е*»
4	ОКЛ на основе лотков металлических проволочных по ТУ 3449-001-63774458-2015	«ОСТЕК-ЭкоТехноЛайн ОКЛ-4 Е*»
5	ОКЛ с открытой прокладкой кабеля на подвесах, крепежах, скобах и хомутах	«ОСТЕК-ЭкоТехноЛайн ОКЛ-5 Е*»
6	ОКЛ с закрытой прокладкой кабеля на подвесах, крепежах, скобах и хомутах	«ОСТЕК-ЭкоТехноЛайн ОКЛ-6 Е*»
6.1	В трубах из электроизоляционного материала по ТУ 3464-001-56625002-2001, ТУ 3464-004-56625002-2004	
6.2	В кабельных каналах из самозатухающего ПВХ пластиката по ТУ 3464-002-56625002-2002	

Е* – индексы Е60, Е90 в обозначении марок указывают на предел огнестойкости ОКЛ (время сохранения работоспособности ОКЛ при испытаниях в соответствии с ГОСТ Р 53316)

Значения времени сохранения работоспособности кабелей в составе ОКЛ (пределы огнестойкости ОКЛ) приведены в табл. 2.

Выбор ОКЛ систем пожарной автоматики проектируемых, строящихся и реконструируемых объектов нефтегазового комплекса следует осуществлять на основании данных расчета времени, необходимого для полной эвакуации людей в случае пожара и для целевого функционирования систем оповещения и управления эвакуацией, противопожарной защиты, обнаружения пожара и других систем пожарной автоматики.

Однако на общую эффективность систем пожарной автоматики существенное влияние оказывают не только параметры огнестойкости и надежности их оконечного оборудования (пожарные извещатели, оповещатели, приборы управления и т.п.), информационных связных линий и электропроводки, но также и параметры, характеризующие огнестойкость строительных конструкций и конструктивных элементов объектов защиты, к которым они крепятся. Обычно в качестве таких конструкций и конструктивных элементов выступают на объектах нефтегазового комплекса стальные и железобетонные конструкции.

В ходе проведенных исследований установлено, что обеспечение требуемых пределов огнестойкости стальных и железобетонных конструкций анализируемых объектов защиты может быть наиболее эффективно реализовано на основе применения огнезащитного состава «F62 SPRAY».

Огнезащитный состав «F62 SPRAY» представляет собой сухую строительную штукатурную смесь заводского изготовления, выпускаемую на гипсовом вяжущем с модифицирующими добавками, заполнителями и наполнителями (вермикулит, перлит). Технические характеристики состава приведены в табл. 3.

Таблица 2. Предел огнестойкости ОКЛ

Назначение ОКЛ	Марка ОКЛ					
	ОКЛ-1	ОКТ-2	ОКЛ-3	ОКЛ-4	ОКЛ-5	ОКЛ-6
	Предел огнестойкости ОКЛ, мин					
1	2	3	4	5	6	7
Кабели огнестойкие для систем пожарной и охранной сигнализации, систем оповещения и управления эвакуацией и передачи данных, не распространяющие горение, на напряжение до 300 В	93 (Е90)	91 (Е90)	91 (Е90)	95 (Е90)	93 (Е90)	92 (Е90)
Кабели индустриальные монтажные, не распространяющие горение, огнестойкие, на рабочее переменное напряжение из ряда 90 В, 300 В, 500 В, предназначенные для соединения приборов и систем управления, использующих цифровые и аналоговые сигналы для передачи данных, в том числе в системах противопожарной защиты, безопасности и жизнеобеспечения	92 (Е90)	91 (Е90)	91 (Е90)	91 (Е90)	92 (Е90)	92 (Е90)
Кабели симметричные парной скрутки, не распространяющие горение, огнестойкие, предназначенные для передачи цифровых и аналоговых сигналов в системах противопожарной защиты, промышленной безопасности и автоматизации, на напряжение до 300 В	–	61 (Е60)	68 (Е60)	–	63 (Е60)	63 (Е60)

Таблица 3. Технические характеристики огнезащитного состава

№	Наименование параметра	Реализуемые величины
1	Огнестойкость	R/REI 30 ÷ R/REI 240
2	Горючесть	НГ (негорючий)
3	Насыпная плотность (сухая смесь)	300±15 кг/м ²
4	Плотность готового огнезащитного покрытия	400±15 кг/м ²
5	Теплопроводность	0,045 Вт/(мК)
6	Коэффициент сопротивления диффузии	3,5 ÷ 4,0
7	Адгезия	≥ 0,022 Н/мм ²
8	Теоретический расход (сухая смесь)	3 кг/м ² при толщине слоя 10 мм
9	Срок эксплуатации покрытия	до 50 лет

Огнезащитный состав «F62 SPRAY» предназначен для огнезащиты (рис. 4):

- стальных конструкций различного сечения;
- бетонных и железобетонных конструкций;
- элементов из керамзитобетонных плит, полнотелого и пустотелого кирпича;
- профилированных стальных листов;
- воздуховодов из черной и оцинкованной стали;
- конструкций из древесины и материалов на её основе.

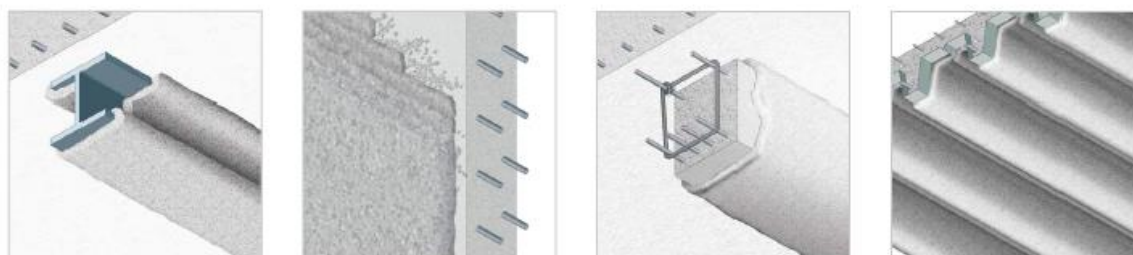


Рис. 4. Применение огнезащитного состава «F62 SPRAY»

Также высокая эффективность данного огнезащитного состава была исследована и доказана при применении для:

- отделки путей эвакуации объектов защиты;
- устройства огнестойких кабельных проходок и проходок шинопроводов;
- создания негорючих диафрагм для заполнения пустот в горючих конструкциях;
- устройства огнепреградительных поясов;
- заполнения технологических проёмов в строительных конструкциях с нормируемым пределом огнестойкости;
- заполнения противопожарных дверей (люков, ворот), перегородок, стен, пустотных перекрытий на всех объектах гражданского, промышленного и транспортного строительства.

Зависимость предела огнестойкости по потере несущей способности (R) от толщины огнезащитного покрытия для стальных конструкций приведена в табл. 4.

Таблица 4. Зависимость предела огнестойкости от толщины покрытия

Приведенная толщина металла, мм	Толщина слоя огнезащитного покрытия, мм					
	R60	R90	R120	R150	R180	R240
2,0	14,0	24,0	31,0	38,0	42,0	58,0
2,5	12,0	22,9	29,5	36,0	41,8	56,0
3,0	10,0	21,5	27,8	34,0	40,0	54,0
3,4	10,0	18,8	25,4	32,0	38,0	52,0
4,0	10,0	18,0	24,0	30,0	37,0	51,5
4,5	10,0	17,2	22,6	28,0	36,0	47,9
5,0	10,0	17,4	21,2	26,0	34,0	44,6
5,5	10,0	15,6	19,8	24,0	32,0	41,4
6,0	10,0	14,8	18,5	22,1	30,9	38,0
6,5	10,0	14,0	17,5	21,0	29,4	35,4
7,0	10,0	13,2	16,4	19,5	27,9	33,2
8,0	10,0	12,4	15,0	17,5	26,4	30,5

В ходе проведенного анализа статистических данных и исследований было установлено, что металлические технологические и строительные конструкции, с указанными в табл. 4 параметрами приведенной толщины металла, широко применяются на различных объектах нефтегазового комплекса, в том числе и в условиях Арктической зоны [3–5].

С учетом функциональных и технологических особенностей применения конструкций, объемно-планировочных решений объектов защиты (нефте- и газоперерабатывающие комплексы, хранилища углеводородного сырья, морские нефтегазодобывающие платформы, крупнотоннажные танкеры типа AFRAMAX и т.п.) и сложных климатических условий большинства их нахождения наиболее целесообразным, по критерию минимизации материального ущерба и ущерба здоровью и жизни персонала, является обеспечение предела огнестойкости конструкций и конструктивных элементов в диапазоне RE90-RE120 [6, 7].

Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно утверждать, что, несмотря на глобальные планы перехода мировой экономики на использование возобновляемых источников энергии, роль и значимость углеводородного сырья во второй половине XXI в. не потеряют свою актуальность. Это потребует глубокой модернизации существующих и строительства большого количества новых объектов нефтегазового комплекса. Данные объекты обладают повышенной пожарной опасностью. Наиболее экономически обоснованным способом снижения пожарного риска на таких объектах является использование систем пожарной автоматики, эффективность целевого применения которых определяется не только устойчивостью к воздействию опасных факторов пожара их оконечных устройств, но и огнестойкостью информационных линий и кабелей электропроводки, которые, в свою очередь, должны крепиться к строительным конструкциям и конструктивным элементам объекта защиты с требуемыми показателями пределов огнестойкости по потере несущей способности и целостности, достижение которых может быть реализовано на основе приведенных выше рекомендаций.

Список источников

1. Актерский Ю.Е., Тихонов Ю.М., Джафаров Э.А. Снижение пожарной опасности строительных конструкций на основе использования огнезащитных средств с новой композицией вспучивающихся минералов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 4 (48). С. 48–55.
2. Джафаров Э.А., Актерский Ю.Е., Минкин Д.Ю. Повышение огнестойкости морских нефтегазодобывающих платформ // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 3 (59). С. 6–13.
3. Гордиенко Д.М. Проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазодобычи в Арктическом бассейне // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2017. № 1 (71).
4. Top 10 Emerging Technologies 2019. Insight Report. World Economic Forum, June 2019. URL: <http://www3.weforum.org> (дата обращения: 20.01.2022).
5. Шебеко Ю.Н., Шебеко А.Ю., Зубань А.В. Определение требуемой толщины вспучивающегося огнезащитного покрытия на стальных конструкциях для заданных пределов огнестойкости // Пожарная безопасность. 2020. № 1. С. 26–29.
6. Satton I. Process Risk and Reliability Management. 2014. 798 p.
7. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential / T. Stock [et al.] // Process Safety and Environmental Protection. 2018. Vol. 118. P. 254–267.

References

1. Akterskij Yu.E., Tihonov Yu.M., Dzhafarov E.A. Snizhenie pozharnej opasnosti stroitel'nyh konstrukcij na osnove ispol'zovaniya ogneshchitnyh sredstv s novoj kompoziciej vspuchivayushchihsya mineralov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 4 (48). S. 48–55.
2. Dzhafarov E.A., Akterskij Yu.E., Minkin D.Yu. Povyshenie ognestojkosti morskikh neftegazodobyvayushchih platform // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 3 (59). S. 6–13.
3. Gordienko D.M. Problemy obespecheniya pozharnej bezopasnosti ob"ektov neftegazodobychi v Arkticheskom bassejne // Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti». 2017. № 1 (71).
4. Top 10 Emerging Technologies 2019. Insight Report. World Economic Forum, June 2019. URL: <http://www3.weforum.org> (data obrashcheniya: 20.01.2022).

5. Shebeko Yu.N., Shebeko A.Yu., Zuban' A.V. Opredelenie trebuemoj tolshchiny vspuchivayushchegosya ognezashchitnogo pokrytiya na stal'nyh konstrukciyah dlya zadannyh predelov ognestojkosti // Pozharnaya bezopasnost'. 2020. № 1. S. 26–29.
6. Satton I. Process Risk and Reliability Management. 2014. 798 p.
7. Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential / T. Stock [et al.] // Process Safety and Environmental Protection. 2018. Vol. 118. P. 254–267.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.03.2022; одобрена после рецензирования: 29.03.2022;
принята к публикации: 30.03.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 16.03.2022; approved after review: 29.03.2022;
accepted for publication: 30.03.2022

Информация об авторах:

Юрий Евгеньевич Актерский, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: akterskij.y@igps.ru

Алексей Сергеевич Смирнов, первый заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>

Information about the authors:

Yuri E. Aktersky, professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: akterskij.y@igps.ru

Alexey S. Smirnov, first deputy head of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 620.193.4

АНАЛИЗ НОМЕНКЛАТУРЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Сергей Григорьевич Ивахнюк✉.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ sgi78@mail.ru

Аннотация. Определены перспективные для нефтегазовой отрасли химически стойкие металлические и неметаллические материалы. Акцентируется внимание на негативном влиянии анионов галогенов, поступающих в промышленные смеси нефтей с буровыми растворами. Показано, что внедрение композиционно-волоконистых материалов в производство трубопроводов позволяет существенно снижать их массу по сравнению с металлическими аналогами. Предложены для заделки трещин в трубопроводах, герметизации резьбовых и фланцевых соединений стойкие к воздействию нефтепродуктов современные клеевые и герметизирующие составы.

Ключевые слова: коррозионно-стойкие материалы, композиционно-волоконистые материалы, коррозионно-активная среда, коррозия трубопроводов

Для цитирования: Ивахнюк С.Г. Анализ номенклатуры и рекомендации по использованию коррозионно-стойких конструкционных материалов в нефтегазовой отрасли // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 11–21.

SELECTION AND REASONING OF CORROSION-RESISTANT STRUCTURAL MATERIALS FOR THE PRODUCTION NEEDS OF THE OIL AND GAS COMPLEX

Sergey G. Ivakhnyuk✉.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ sgi78@mail.ru

Abstract. Promising for oil and gas industry chemically resistant metallic and nonmetallic materials have been determined. Attention is focused on the negative impact of halogen anions entering the industrial mixtures of oils with drilling fluids. It is shown that the introduction of composite-fiber materials in the production of pipelines can significantly reduce the weight of these pipelines compared with metal structures. Adhesive and sealing compositions resistant to the influence of oil products have been offered for the purpose of sealing cracks in pipelines, sealing threaded and flange joints.

Keywords: corrosion-resistant materials, composite-fiber materials, corrosive environment, oil pipeline corrosion

For citation: Ivakhnyuk S.G. Analysis of nomenclature and recommendations on the use of corrosion-resistant structural materials in the oil and gas industry // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 11–21.

Введение и состояние вопроса

Аварии на трубопроводах (НП), используемых для транспортировки нефти и нефтепродуктов, и нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) наносят колоссальный экономический ущерб и чрезвычайно опасны для сформировавшегося биоценоза. Анализ результатов расследований причин аварий, произошедших в Российской Федерации в 2020 г. на НП, показывает, что их причинами в большинстве явились внутренние опасные факторы, связанные с разгерметизацией и разрушением технических устройств (семь аварий) [1]. В возникновении этих аварий большую, а иногда и главную роль играет коррозия металлических конструкционных материалов.

Несмотря на то, что на трубопроводных системах Западной Европы таксономия аварий несколько иная [2], коррозия в 2010–2019 гг. и там занимает «почетное» второе место среди причин аварий магистральных НП: за последние десять лет – 26,63 % случаев, уступив доли процента лишь внешним воздействиям – 27,17 % случаев (рис).

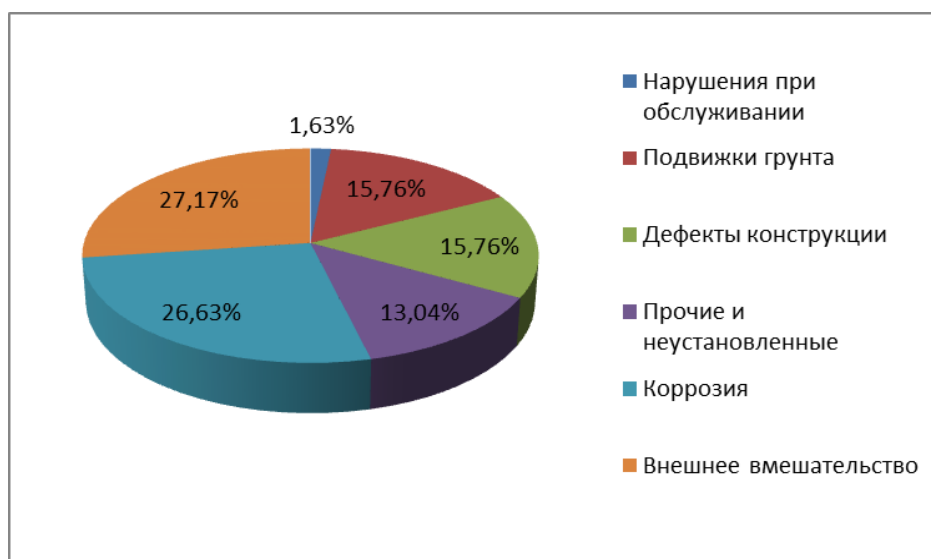


Рис. Статистика аварий на нефтепроводах Европы в 2010–2019 гг.

Несмотря на то, что на трубопроводных системах Западной Европы таксономия аварий несколько иная [2], коррозия в 2010–2019 гг. и там занимает «почетное» второе место среди причин аварий магистральных НП: за последние десять лет – 26,63 % случаев, уступив доли процента лишь внешним воздействиям – 27,17 % случаев (см. рис.).

По состоянию на 2015 г. износ внутрипромысловых трубопроводов России достигал 80 %, а частота их повреждений на два порядка выше, чем на магистральных трубопроводах, и составляет 1,5–2,0 инцидента на 1 км [3].

Основной причиной коррозионно-механического растрескивания металла стенок трубопроводов является как индивидуальное, так и сочетанное действие четырех факторов:

1. Низкое сталеплавильное качество металла и заводские дефекты труб (большие остаточные напряжения, микротрещины и микрорасслоения металла после формовки трубной заготовки, гофры, риски, раскатные пригары, несплавления сварного шва и т.п.).

2. Доступ коррозионно-активной среды к поверхности металла.

3. Многоцикловая усталость и разрушение металла от пульсаций внутритрубных рабочих давлений и гидроударов.

4. Микродефекты сварных швов вследствие их резкого охлаждения при электрогазосварочных работах.

В части раскрытия пункта 2 стоит обратить особое внимание на то, что основными побудителями коррозии следует считать значительную обводненность промышленных смесей нефтей в сочетании с высоким содержанием в ней серы и ее соединений, а также галоген-анионов, поступающих с широко применяемыми на практике для повышения нефтеотдачи пластов буровыми растворами.

Для уменьшения металлопотерь от коррозионного воздействия промышленной смеси нефтей может быть предложено несколько путей:

- удаление наиболее коррозионно-активных веществ;
- проведение комплекса антикоррозионных мероприятий, включая применение ингибиторов коррозии и электрофизических способов защиты;
- совершенствование технологий электрогазосварки труб;
- замена применяемых в настоящее время металлических материалов на более коррозионно-стойкие металлические и неметаллические конструкционные материалы.

Первое направление, по-видимому, не осуществимо в силу значительного объема обращения нефти и нефтепродуктов; второе – достаточно традиционно и пока, по всем имеющимся данным, не сулит кардинальных улучшений ситуации; третье – в настоящее время предмет исследования специалистов в иных областях знаний.

Таким образом, целью настоящего исследования является научное обоснование возможности применения новых металлических и неметаллических конструкционных материалов, способных существенно повысить безопасность эксплуатации НП и оборудования НПЗ, а также обеспечить снижение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций вследствие аварийных разгерметизаций и минимизировать экологический ущерб от разливов нефти и нефтепродуктов.

Исследовательская часть

В настоящее время стали являются основными конструкционными материалами для НП. Так, например, на Урманском нефтяном месторождении для трубопроводов основное применение находят стали марки 20.

В качестве перспективных металлических материалов можно рекомендовать некоторые новые чугуны, легированные стали, титан и его сплавы, характеристики которых сведены в таблицу.

Таблица. Перспективные металлические конструкционные материалы

Материал	Характеристики	Свойства, область применения
<i>Высокопрочные чугуны</i>		
Высокопрочный чугун ВЧШГ	Трубопроводы из ВЧШГ успешно эксплуатируются в качестве трубопроводов первого сбора при транспортировке самой загазованной и агрессивной среды, которой являются продукты скважины (конгломерат из нефтепродуктов, пластовых вод, сероводорода, углекислого газа, парафина и твёрдых частиц) [4]	Опыт эксплуатации трубопроводов из ВЧШГ на нефтепромыслах показал, что главный оценочный эксплуатационный показатель – коррозионная стойкость в сравнении со стальными трубами в 4–10 раз выше, а в сочетании с защитными покрытиями (высокоглинозёмистый цемент, полимер) этот показатель может быть увеличен на порядок
<i>Хромосодержащие стали</i>		
Малоуглеродистая сталь 07ХНД	Рулонный прокат повышенной коррозионной стойкости марки «Северкор» из низколегированной стали. Категория прочности К52 [5]	Для изготовления прямошовных электросварных труб, эксплуатируемых в условиях нефтепромыслов

Материал	Характеристики	Свойства, область применения
Низкоуглеродистая сталь 05ХГБ	Система легирования на основе марганца и хрома. В качестве микролегирующего элемента выбран ниобий	Строгое ограничение содержания углерода позволяет обеспечивать оптимальную микроструктуру, гарантирующую высокую стойкость к коррозионному растрескиванию в сероводородсодержащих средах. Показатели хладостойкости стали открывают потенциал для ее применения в арктической зоне [6]
<i>Высокохромистые стали</i>		
Стали: 12Х13 (1Х13), 30Х13, 20Х13, 40Х13 (4Х13), 12Х17 (Х17), 12Х18 (Х18), 15Х28 (Х28), 15Х25 (Х25) и др.	При повышении содержания хрома способность стали пассивироваться усиливается. Находящийся в твердом растворе хром способствует возникновению и сохранению пассивной пленки в окислительных средах. Присадки благородных металлов, например палладия, платины, способствуют переходу сталей 15Х25, 15Х28 в пассивное состояние в HCl и разбавленной H ₂ SO ₄ даже при повышенных температурах	Перспективный материал для изготовления обсадных труб, НП, шиберных заслонок, вентилях и т.п. При содержании хрома более 12 % такие стали устойчивы по отношению к сероводородной коррозии и растрескиванию, а наличие мартенситной структуры обеспечивает высокую прочность и износостойкость
<i>Хромоникелевые аустенитные стали</i>		
Сталь типа 18-8 и ее модификации	Содержат 17–20 % Cr и 8–11 % Ni. Эти стали после закалки с высокой температуры имеют аустенитную структуру. Высокая коррозионная стойкость хромоникелевых аустенитных сталей обусловлена в основном хромом. Введение никеля несколько повышает коррозионную стойкость этих сталей в неокислительных и слабоокислительных средах	Легирование углеродистой стали Ni и Cr повышает прочностные характеристики труб (предел прочности, предел текучести), увеличивает их коррозионную стойкость, снижая в ряде случаев металлоемкость магистральных газо-нефтепроводов, повышая тем самым их эффективность [7]. Они хорошо поддаются сварке, обладают высокой пластичностью
<i>Ванадийсодержащие стали</i>		
Стали типа 35Х2АФ, АЦ40Х2АФ	Комплексное микролегирование хромистой стали ванадием и азотом в сочетании с нитридообразующими элементами, композиция микролегирования N+V+Ti	Улучшение стойкости против коррозионного растрескивания и водородного охрупчивания. Стойкость буровых штанг и ответственных деталей высокомоментных установок, использующихся при насосном и штанговом способах добычи нефти в разы превышает стойкость штанг из никельсодержащих сталей при бурении горных пород и многолетнемерзлых грунтов. Микролегирование сталей позволило увеличить мощность двигателя вдвое, надежность и ресурс его работы на 40 %, межремонтный период их работы на 7–12 суток, что значительно увеличило объем добычи нефти [8]

Материал	Характеристики	Свойства, область применения
<i>Титан и его сплавы</i>		
Титан и его сплавы целесообразно использовать в аппаратах и установках нефтепереработки, работающих в агрессивных атмосферах, важным компонентом которых является хлор, HCl, пары серы и ее оксидов	В химическом машиностроении в основном применяется технически чистый титан марок BT1-00, BT1-0, BT1-2 и титановые деформируемые сплавы типа OT4-0, OT4-1 и OT4 (с легирующими добавками марганца до 2 % и алюминия – 1–3,5 %) [9]. Коррозионная стойкость и физико-механические свойства технического титана могут быть значительно увеличены путем легирования его элементами, которые образуют с титаном твердые растворы двух или многокомпонентных однофазовых систем. Наиболее эффективны для увеличения коррозионной стойкости титана добавки таких элементов, как Mo, Ta, Nb, Zr, Cu	Этот металл абсолютно стоек во влажном хлоре и его водных соединениях, а также по отношению к парам серы и ее соединениям. Отличается высокой коррозионной стойкостью в морской воде и в атмосфере. Скорость коррозии в морской воде составляет всего 0,02 мм за 1000 лет. Титановые сплавы с успехом могут быть рекомендованы в качестве перспективных коррозионно-стойких материалов для изготовления различного рода пружин в элементах бурового оборудования и нефтяной промышленности, поскольку в них выгодно сочетаются высокая прочность, сравнительно низкий модуль упругости, низкая плотность, малая магнитная проницаемость и высокая коррозионная стойкость в органических неэлектролитах [10]

Стоит дополнительно обратить внимание на ванадийсодержащие стали и процитировать известного специалиста по сталям, консультанта по металлургии американской фирмы «Stratcor» М. Корчинского: «исследования, проведенные в мире по микролегированию сталей ванадием, азотом и нитридообразователями, это только верхушка айсберга, плывущего по морю, и пока мы видим только его кусочек», обозначившего, что за ними будущее [11].

Особого внимания в настоящее время ванадийсодержащие стали заслуживают как высоко коррозионностойкие материалы для трубопроводов, в которых циркулируют обводненные нефти, содержащие галоген-анионы – остатки буровых растворов [12].

Следует обязательно отметить, что большинство из перечисленных перспективных металлических конструкционных материалов в настоящее время имеют ряд недостатков, которые могут быть устранены на дальнейших этапах их усовершенствования.

Так, при пуске или остановке потока жидких углеводородов в трубах из стали 15X13H2 наблюдается резкий рост или падение внутреннего давления, что приводит к появлению окружных напряжений в стенке и (при низких температурах) к продольному хрупкому разрушению труб [13].

Необходимо отметить, что для целого ряда технологических установок НПЗ вполне достаточно обойтись внедрением более дешевых неметаллических конструкционных материалов и покрытий.

Опыт применения полимерных защитных покрытий показывает, что проблема надежной защиты в высокоагрессивных средах (ВАС) не может быть сведена только к проблеме обеспечения химической стойкости полимерного материала. Это является необходимым условием, однако для обеспечения длительной эксплуатации в ВАС также необходимо, чтобы покрытие обладало комплексом эксплуатационных свойств и характеристик, среди которых в первую очередь надо выделить уровень проницаемости для агрессивных сред, механическую и адгезионную устойчивость покрытия при эксплуатации [14].

Выполнение этих во многом противоречивых требований, при использовании одного материала, как правило, невозможно, вследствие чего неизбежно использование дополнительных слоев (грунтовочных или клеевых), что делает любое покрытие по своей сути многослойным.

Учитывая вышеизложенное, встает вопрос о том, чтобы конструкция покрытия была как минимум рациональной, а в идеале – обеспечивающей повышение защитных свойств полимерных покрытий в ВАС при снижении уровня удельной стоимости противокоррозионной защиты.

Для обеспечения эффективности покрытий для ВАС необходимо решение ряда проблем, важнейшей из которых является исключение переноса по дефектам и сквозным порам непосредственно к защищаемой поверхности.

Подавление капиллярного (фазового) переноса возможно двумя основными способами: снижением собственной дефектности материалов и использованием многослойной конструкции защитных покрытий.

Стремление к разработке материалов с низкой собственной дефектностью, безусловно, является первоочередным направлением, однако его нельзя абсолютизировать. Во-первых, существует принципиальная невозможность получения материалов без дефектов, а во-вторых, следует учитывать, что при практическом использовании материалов существует множество ситуаций, когда дефектность покрытия будет существенно выше, чем при нанесении в стандартных и тем более в лабораторных условиях.

В свою очередь, используя комбинацию слоев из полимерных материалов с различными адсорбционно-диффузионными свойствами, можно создавать покрытия с весьма низкой проницаемостью. Введение дополнительного слоя (или частичная замена одного материала на другой), например толщиной всего 100–200 мкм, позволяет в десятки раз уменьшить глубину проникновения, что эквивалентно увеличению времени «до пробоя» в сотни раз.

Согласно полученным результатам испытаний напряженного состояния многослойных покрытий, подтвержденным расчетами с использованием метода конечных элементов и наблюдениями за разрушением модельных и промышленных покрытий, наиболее эффективным является использование покрытий с эластичным внутренним слоем и с наружным высокохимстойким слоем на основе густосшитого реактопласта [15].

Такая конструкция позволяет, во-первых, существенно снизить (в два–пять раз) нормальные и касательные напряжения в покрытии зоны краевого дефекта или поверхностного дефекта, возникшего в процессе эксплуатации; во-вторых, разгрузить адгезионный слой покрытия и верхний слой подложки; в-третьих, значительно повысить устойчивость покрытий к прорастанию трещины из подложки, что имеет существенное значение, например при защите бетонных поверхностей.

Таким образом, использование рациональной многослойной конструкции полимерных покрытий является эффективным способом повышения их защитных свойств в ВАС, что обусловлено снижением сквозной технологической и эксплуатационной дефектности, эффективным снижением диффузионного массопереноса и повышением механической и адгезионной устойчивости покрытий в условиях действия внутренних напряжений и внешних нагрузок.

В ряду полимеризационных пластмасс фторопласты занимают особое место благодаря уникальному сочетанию таких свойств, как высокие химическая стойкость, теплостойкость, морозостойкость, триботехнические, антиадгезионные, электроизоляционные характеристики [16]. Это предопределяет их успешное использование в противокоррозионной технике в качестве покрытий и футеровок различного назначения.

Покрытия на основе растворимых фторопластовых лаков обладают высокими противокоррозионными и защитными свойствами, не набухают в воде. Они устойчивы к кислотным и щелочным средам, к агрессивным газам и парам, содержащим фтористый водород, окислители и прочее. Из перспективных направлений использования лаковых фторопластовых покрытий можно отметить применение для антикоррозионной защиты стыков газовых труб магистральных газопроводов, трубопроводов, арматуры, металлоконструкций, на действующих и строящихся газовых и газоконденсатных предприятиях [17].

Покрытия из суспензий фторопластов и композиций на их основе наносятся всеми методами, присущими лакокрасочной технологии, и применяются в качестве антиадгезионных и антикоррозионных покрытий.

Для увеличения адгезионной прочности используются принципы модифицирования покрытий металлическими порошками, которые в зависимости от величины стандартного потенциала по отношению к стали обеспечивают анодную или катодную защиту. В случае высокой катодной поляризации ток электрохимической защиты уменьшается в 1,5–2 раза.

Дополнительные варианты для выбора оптимальных решений дает применение более перспективных, ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий, к которым можно отнести использование труб, изготовленных из композиционно-волоконистых материалов (КВМ).

Наиболее распространенным среди КВМ является стеклопластик, состоящий из высокопрочного стекловолокна и связующего компонента – матрицы. Широко применяемый в авиаракетно-космической технике, он зарекомендовал себя как наиболее эффективный с экономической и технической точек зрения материал, который имеет следующие преимущества:

- высокую степень коррозионной стойкости (следовательно, срок службы стеклопластикового трубопровода в пять–шесть раз выше, чем металлического);
- высокие физико-механические свойства, небольшая масса изделия при высокой прочности; в среднем масса изделий из стеклопластика в пять–десять раз меньше массы таких же изделий из металлов, поэтому меньше транспортные и монтажные расходы;
- инертность к отложениям (не возникают парафиновые отложения, накипь, не требуются затраты на очистку внутренней поверхности, отсутствуют потери за счет уменьшения внутреннего сечения трубопровода);
- низкая теплопроводность (не требуется дополнительная теплоизоляция);
- низкая чувствительность к концентраторам напряжений;
- высокий коэффициент массового совершенства (коэффициент использования материала при изготовлении стеклопластиковых изделий равен 0,8–0,9 (по сравнению с 0,5 у металлов) и простота технологии производства;
- время монтажа изделий из стеклопластика в три–четыре раза меньше, чем из металлических изделий;
- срок эксплуатации изделий из стеклопластика, в зависимости от агрессивности среды, составляет 25–50 лет.

Главная особенность всех КВМ, включая и стеклопластик, заключается в том, что формирование их состава и структуры технологически совмещено с формированием конфигурации самого изделия. Таким образом, возможно получение изделий с заданными физико-механическими свойствами, что позволит существенно снизить их массу по сравнению с металлическими конструкциями.

Одним из важных факторов, позволяющих сделать вывод об эффективности функционирования трубопроводов, является их пропускная способность. Основным и наиболее эффективным методом повышения пропускной способности трубопроводов является увеличение рабочего давления транспортируемой среды. Однако из теории прочности известно, что это повышает толщину стенки трубопровода, что, в свою очередь, приводит к росту массы, а следовательно, стоимости трубопровода, увеличению транспортных и монтажных затрат и к снижению экономической эффективности.

Использование высокопрочных КВМ позволит повысить не только рабочее давление, но и в целом эффективность функционирования трубопровода за счет более высоких физико-механических свойств материала.

Кроме того, композиционные материалы весьма эффективны при реконструкции трубопроводов, работающих в режимах предаварийного состояния. При этом рекомендуется внутри металлического трубопровода прокладывать трубопровод из стеклопластиковых

труб – конструкция «труба в трубе». Это позволит увеличить срок эксплуатации трубопроводного транспорта и рабочее давление, что повысит пропускную способность. Экологическая безопасность такого трубопровода будет еще выше, если по внутреннему стеклопластиковому трубопроводу транспортировать нефтепродукт, а по наружному стальному – газ.

В частности, предлагается эффективный способ герметизации стеклопластиковой трубы – конструкция многослойной стенки трубы с вложенным в структуру стеклопластиковой стенки герметизирующим слоем [18].

Также необходимо отметить, что в последнее время разработан целый ряд новых клеевых и герметизирующих составов, рекомендуемых к применению на магистральных НП в условиях повышенного риска пожара и взрыва, а также необходимости проведения работ без демонтажа оборудования.

Отечественные разработки в области клеев-компаундов представляют собой наполненные композиции холодного отверждения, отличающиеся консистенцией (от жидкотекучей до пастообразной), скоростью отверждения и набора максимальной прочности (от 24 до 48 ч при температуре 20 °С). Основой клеев-компаундов являются модифицированные эпоксидные смолы, отверждаемые аминными соединениями с различной реакционной активностью. Жизнеспособность клеев составляет от 10 до 60 мин, прочность при равномерном отрыве при температуре 20–25 °С составляет 25–35 МПа. Клеи-компаунды имеют высокую адгезию к металлам и сплавам, пластмассам, обладают необходимой твердостью и в отвержденном состоянии могут подвергаться механической обработке [19].

Один из новых составов, основой которого являются эпоксиакрилатные аддукты с добавками упрочняющих минеральных и металлических наполнителей, применяется для герметизации магистральных газо- и нефтепроводов при эксплуатации без остановки их работы [20] и даже под водой [21].

Заключение

1. Рекомендованы перспективные для нефтегазовой отрасли коррозионно-стойкие металлические и неметаллические материалы.
2. Акцентируется внимание на негативном влиянии анионов галогенов, поступающих в промышленные смеси нефтей с буровыми растворами.
3. Показано, что легирование стали ванадием способствует увеличению ее коррозионной стойкости в отношении коррозионно-активных соединений нефти и нефтепродуктов.
4. Установлено и доказано, что фторопласты перспективны для использования в противокоррозионной технике в качестве покрытий и футеровок различного назначения.
5. Рекомендовано при реконструкции металлических трубопроводов, работающих в предаварийном режиме, применять технологию «труба в трубе», исполняя внутритрубную обечайку из стеклопластика.
6. Предложены для герметизации резьбовых и фланцевых соединений, отверстий аварийной разгерметизации стойкие к воздействию нефтепродуктов клеевые и герметизирующие составы, способные ликвидировать дефекты под водой.

Список источников

1. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году. М., 2021. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/%D0%93%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%202020%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf (дата обращения: 15.02.2022).
2. GAS PIPELINE INCIDENTS 11th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970–2019) // Group. IGU. Milan, 2020.

3. Мокроусов В.И. К вопросу об авариях магистральных нефтепроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3. С. 10–17.
4. Строительство трубопроводов из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом / М.А. Лебедева [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2020. № 1 (61). С. 31.
5. Промысловые испытания труб из рулонного проката «Северкор» с повышенной коррозионной стойкостью / Н.А. Кичигина [и др.] // Инженерная практика. 2020. № 5–6.
6. Кудашов Д.В. Новая трубная сталь 05ХГБ на страже надежности нефтегазопроводов // Территория Нефтегаз. 2015. № 11. С. 126, 127.
7. Снежной Г.В., Мищенко В.Г., Снежной В.Л. Прогнозирование локальной коррозионной стойкости по содержанию α -фазы в хромоникелевых сталях аустенитного класса // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Сер.: Стародубовские чтения. 2012. № 64. С. 409–416.
8. Смирнов Л.А., Панфилова Л.М. Наноструктурированные конструкционные высокопрочные стали, микролегированные ванадием и азотом / труды VI Междунар. конф. «Наноматериалы и технологии». Улан-Удэ: БГУ, 2016. С. 71–77.
9. Фокин М.Н., Рускол Ю.С., Мосолов А.В. Титан и его сплавы в химической промышленности. Л.: Химия, 1978.
10. Carson R.W. Corrosion and heat resistant flat spring materials. Product. Eng. 1985. V. 36.
11. Korchynsky M. Concluding remarks, Proceeding of the International Conference on processing, Microstructure and Properties of Microalloyed and other Modern high Strength Low alloy Steels. Pittsburg. 1992. P. 527.
12. Кривоногов М.В., Вакуленко С.В., Ивахнюк Г.К. Идентификация и определение примесей галогенов в нефти и нефтепродуктах для предупреждения пожароопасных чрезвычайных ситуаций, возникающих вследствие коррозии оборудования // Проблемы управления рисками в техносфере. 2007. № 3–4. С. 58–65.
13. Ясашин В.А., Гертер М.И., Агеева В.Н. Анализ путей повышения эффективности магистральных газонефтепроводов // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы науч.-практ. конф. 2021. С. 59–62.
14. Концепция композиционных полимерных покрытий для нефтегазовых сред / В.А. Головин [и др.] // Коррозия: материалы, защита. 2015. № 1. С. 14–22.
15. Головин В.А. Особенности применения полимерных защитных покрытий на основе реактопластов в высокоагрессивных средах // Новые материалы и технологии защиты от коррозии: сб. IV Междун. науч.-техн. конф. СПб., 2001. С. 3–5.
16. Пророкова Н.П., Бузник В.М. Модифицирование синтетических волокнистых материалов с использованием фторполимеров (обзор) // Полимерные материалы и технологии. 2017. Т. 3. № 2. С. 6–17.
17. Ассортимент, свойства и применение фторполимеров Кирово-Чепецкого химического комбината / З.Л. Баскин [и др.] // Российский химический журнал. 2008. Т. 52, № 3. С. 13–22.
18. Ягубов Э.З., Мелан А.А. Пути повышения эксплуатационной надежности стеклопластиковых трубопроводов для транспортировки агрессивных сред // Топливо из нефти и газа. 2015. № 5 (98). С. 21–25.
19. Применение клеевых материалов при ремонте действующих газопроводов / В.С. Смирнов [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. 2009. № 9. С. 22–25.
20. Шарова И.А. Отечественный и зарубежный опыт в области разработки эпоксидных клеев холодного отверждения // Труды ВИАМ. 2014. № 7.
21. Учения в арктической зоне России «Безопасная Арктика-2021» / О.Э. Бабкин [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. 2021. № 10. С. 44–47.

References

1. Godovoj otchet o deyatelnosti Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2020 godu. M., 2021. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/%D0%93%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82%20%D0%B7%D0%B0%202020%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf (data obrashcheniya: 15.02.2022).
2. GAS PIPELINE INCIDENTS 11th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970–2019) // Group. IGU. Milan, 2020.
3. Mokrousov V.I. K voprosu ob avariayah magistral'nyh nefteprovodov // Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2015. № 3. S. 10–17.
4. Stroitel'stvo truboprovodov iz vysokoprochnogo chuguna s sharovidnym grafitom / M.A. Lebedeva [i dr.] // Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 1 (61). S. 31.
5. Promyslovye ispytaniya trub iz rulonnogo prokata «Severkor» s povyshennoj korrozionnoj stojkost'yu / N.A. Kichigina [i dr.] // Inzhenernaya praktika. 2020. № 5–6.
6. Kudashov D.V. Novaya trubnaya stal' 05HGB na strazhe nadezhnosti neftegazoprovodov // Territoriya Neftegaz. 2015. № 11. S. 126, 127.
7. Snezhnoj G.V., Mishchenko V.G., Snezhnoj V.L. Prognozirovanie lokal'noj korrozionnoj stojkosti po sodержaniyu α -fazy v hromonikelevykh stalyakh austenitnogo klassa // Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Ser.: Starodubovskie chteniya. 2012. № 64. S. 409–416.
8. Smirnov L.A., Panfilova L.M. Nanostrukturirovannye konstrukcionnye vysokoprochnye stali, mikrolegirovannye vanadiem i azotom / trudy VI Mezhdunar. konf. «Nanomaterialy i tekhnologii». Ulan-Ude: BGU, 2016. S. 71–77.
9. Fokin M.N., Ruskol Yu.S., Mosolov A.V. Titan i ego splavy v himicheskoy promyshlennosti. L.: Himiya, 1978.
10. Carson R.W. Corrosion and heat resistant flat spring materials. Product. Eng. 1985. V. 36.
11. Korchynsky M. Concluding remarks, Proceeding of the International Conference on processing, Microstructure and Properties of Microalloyed and other Modern high Strength Low alloy Steels. Pittsburg. 1992. P. 527.
12. Krivonogov M.V., Vakulenko S.V., Ivahnyuk G.K. Identifikaciya i opredelenie primesej galogenov v nefiti i nefteproduktah dlya preduprezhdeniya pozharoopasnykh chrezvychajnykh situacij, vznikayushchih vsledstvie korrozii oborudovaniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2007. № 3–4. S. 58–65.
13. Yasashin V.A., Gerter M.I., Ageeva V.N. Analiz putej povysheniya effektivnosti magistral'nykh gazonefteprovodov // Mashiny, agregaty i processy. Proektirovanie, sozdanie i modernizaciya: materialy nauch.-prakt. konf. 2021. S. 59–62.
14. Konceptiya kompozicionnykh polimernykh pokrytij dlya neftegazovykh sred / V.A. Golovin [i dr.] // Korroziya: materialy, zashchita. 2015. № 1. S. 14–22.
15. Golovin V.A. Osobennosti primeneniya polimernykh zashchitnykh pokrytij na osnove reaktoplastov v vysokoagressivnykh sredah // Novye materialy i tekhnologii zashchity ot korrozii: sb. IV Mezhdun. nauch.-tekhn. konf. SPb., 2001. S. 3–5.
16. Prorokova N.P., Buznik V.M. Modificirovanie sinteticheskikh voloknistykh materialov s ispol'zovaniem ftorpolimerov (obzor) // Polimernye materialy i tekhnologii. 2017. T. 3. № 2. S. 6–17.
17. Assortiment, svoystva i primeneniye ftorpolimerov Kirovo-Chepeckogo himicheskogo kombinata / Z.L. Baskin [i dr.] // Rossijskij himicheskij zhurnal. 2008. T. 52, № 3. S. 13–22.
18. Yagubov E.Z., Melan A.A. Puti povysheniya ekspluatacionnoj nadezhnosti stekloplastikovyykh truboprovodov dlya transportirovki agressivnykh sred // Toplivo iz nefiti i gaza. 2015. № 5 (98). S. 21–25.
19. Primeniye kleevykh materialov pri remonte deystvuyushchikh gazoprovodov / V.S. Smirnov [i dr.] // Klei. Germetiki. Tekhnologii. 2009. № 9. S. 22–25.
20. Sharova I.A. Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt v oblasti razrabotki epoksidnykh kleev holodnogo otverzhdeniya // Trudy VIAM. 2014. № 7.
21. Ucheniya v arkticheskoy zone Rossii «Bezopasnaya Arktika-2021» / O.E. Babkin [i dr.] // Lakokrasochnye materialy i ih primeniye. 2021. № 10. S. 44–47.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 12.01.2022; одобрена после рецензирования: 03.03.2022;
принята к публикации: 05.03.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 12.01.2022; approved after review: 03.03.2022;
accepted for publication: 05.03.2022

Информация об авторах:

Сергей Григорьевич Ивахнюк, заместитель начальника научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

Information about authors:

Sergey G. Ivakhnyuk, deputy head of the research institute for advanced studies and innovative technologies in the field of life safety, St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), candidate of technical sciences, e-mail: sgi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8211>

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

УДК 614.842.6

СТАЦИОНАРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТУШЕНИЯ РАЗЛИВОВ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА ВОКРУГ АВАРИЙНО ПРИЗЕМЛИВШЕГОСЯ САМОЛЁТА

Владимир Дмитриевич Захматов;

Мария Валентиновна Панкратова✉.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉r.masha-oskol@mail.ru

Аннотация. Ежегодно происходит множество аварийных посадок самолёта с деформацией корпуса, сопровождающихся разливами топлива и их возгоранием. Пожары разлитого авиатоплива характеризуются большими размерами, быстрым распространением горения по всей площади воздушного судна, высокой скоротечностью и большой температурой в зоне горения (более 1 000 °С), приводящей к быстрому прогоранию обшивки фюзеляжа, неизбежно заканчивающейся гибелью пассажиров и экипажа. Нередко аварийный самолёт разрушается и взрывается при движении по взлетно-посадочной полосе. Современные пожарные аэродромные автомобили не могут гарантировать тушение остановившегося самолёта и горящего разлива авиатоплива вокруг него. Современная пожарная техника не может обеспечить тушение горящих самолётов в движении. В статье описывается новая технология тушения разливов авиационного топлива вокруг аварийно приземлившегося самолёта импульсными газокapельными шквалами и газопорошковыми вихрями с широким фронтом. Эти вихри создаются только многоствольными залпово-распылительными модулями. Они способны создать эффективно работающие линии вдоль всей взлетно-посадочной полосы. Другой вариант – использование залпово-распылительных модулей на шасси аэродромных автомобилей на взлетно-посадочной полосе, вездеходов для тушения самолёта, выкатившегося за пределы полосы, и стай беспилотных летательных аппаратов для тушения самолётов, приземлившихся вне территории аэропорта.

Ключевые слова: аварийный самолёт, аварийное приземление, взлётно-посадочная полоса, разлив авиатоплива, лимит времени тушения, многоствольные модули, импульсное распыление, огнетушащие составы, огнетушащие шквалы, широкий фронт

Для цитирования: Захматов В.Д., Панкратова М.В. Стационарные системы для тушения разливов авиационного топлива вокруг аварийно приземлившегося самолёта // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 22–29.

STATIONARY SYSTEMS FOR EXTINGUISHING AVIATION FUEL SPILLS AROUND A CRASH-LANDED AIRCRAFT

Vladimir D. Zakhmatov; Maria V. Pankratova.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,

Saint-Petersburg, Russia

✉ r.masha-oskol@mail.ru

Abstract. Every year there are many emergency landings of the aircraft with deformation of the hull, accompanied by fuel spills and their ignition. Fires of spilled jet fuel are characterized by large size, rapid spread of combustion over the entire area of the aircraft, high transience and high temperature in the burning zone (more than 1000 ° C), leading to rapid burnout of the fuselage skin, inevitably ending with the death of passengers and crew. Often, an emergency aircraft is destroyed and explodes while moving along the runway. Modern airfield fire trucks cannot guarantee the extinguishing of a stopped aircraft and a burning jet fuel spill around it. Modern firefighting equipment cannot provide extinguishing of burning aircraft in motion. The article describes a new technology for extinguishing aviation fuel spills around a crash-landed aircraft with pulsed gas-drop squalls and gas-powder vortices with a wide front. These vortices are created only by multi-barrel volley-spray modules. They are able to create efficient working lines along the entire runway. Another option is to use salvo-spray modules on the chassis of airfield vehicles to extinguish on the runway, all-terrain vehicles to extinguish an aircraft that rolled out of the runway, and flocks of unmanned aerial vehicles to extinguish aircraft that landed outside the airport.

Keywords: emergency aircraft, emergency landing, runway, jet fuel spill, extinguishing time limit, multi-barrel modules, pulse spraying, fire extinguishing compounds, fire extinguishing squalls, wide front

For citation: Zakhmatov V.D., Pankratova M.V. Stationary systems for extinguishing aviation fuel spills around a crash-landed aircraft // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 22–29.

Введение

Одной из актуальных проблем настоящего времени является проблема гибели людей при аварийном приземлении самолетов в аэропортах. Несмотря на то, что аэродромные пожарные автомобили укомплектованы дорогостоящим оборудованием и стоят порядка 2,5 млн евро, их характеристик не хватает для оперативного предотвращения возгорания при аварийной посадке воздушного судна (ВС). Сложность и высокая стоимость гидравлических, пневматических и пневмо-импульсных систем не позволяет оборудовать взлетно-посадочную полосу (ВПП) дистанционно управляемыми автоматическими системами пожаротушения. Данная проблема все еще не решена по следующим причинам:

1) большой площади горения разлива авиабензина от 400 до 2 500 м² вокруг остановившегося после аварийного приземления самолёта;

2) быстрого движения самолёта по ВПП, сопровождающегося утечкой авиабензина, его быстроразвивающимся горением, раздуваемым встречным потоком воздуха. При этом высока вероятность перехода пожара во взрыв с гибелью пассажиров и экипажа при движении самолёта на ВПП. В настоящее время тушить самолёт в движении не способны даже самые мощные аэродромные пожарные машины;

3) высока опасность взрыва при тушении остановившегося самолёта, окружённого «озером» горящего авиабензина, и проникновения горения внутрь самолёта, например через гондолы выпущенных шасси;

4) время тушения от момента остановки аварийного самолёта ограничено одной–двумя минутами, на протяжении которых борт самолёта может защитить пассажиров [1, 2].

Наибольшие опасности, разрушающие корпус самолёта и убивающие пассажиров:

- 1) быстрое прогорание обшивки фюзеляжа и проникновение пожара во внутренние полости – означает быструю гибель всех пассажиров;
- 2) угроза взрыва неразрушенных топливных баков – означает взрывное разрушение самолёта и гибель пассажиров;
- 3) воспламенение шин шасси и барабанов колёс, выполненных из магниевых сплавов – обрушение самолёта – взрыв и гибель пассажиров;
- 4) взрыв амортизационных стоек шасси, так как они находятся под высоким давлением – обрушение самолёта – взрыв и гибель пассажиров [3, 4].

Методы исследования

При аварии самолёта топливо может растекаться на значительную площадь, например, у Боинга-747 площадь может достигать $S_{\text{розл}}=2000 \text{ м}^2$, у самого малого рейсового пассажирского самолёта, например, типа АН-26 $S_{\text{розл}}=400 \text{ м}^2$. Площадь разлива топлива зависит от массы, длины самолета, диаметра фюзеляжа, массы и распределения топлива, имеющегося в топливных баках самолёта [5].

Разлитое авиатопливо является одной из основных причин быстрого возгорания ВС, оно способно молниеносно распространиться на большие площади, что представляет угрозу спасения людей. Такие пожары характеризуются высокой скоростью, большой температурой (более $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$) и распространением пламени по всей площади ВС [6]. В ходе испытаний было установлено, что возгорание разлитого топлива за считанные минуты (2–3 мин) способно привести к прогоранию фюзеляжа и распространению пламени во всех частях самолета. В результате такого пожара происходит разложение и горение конструкционных, синтетических, отделочных материалов с выделением большого количества отравляющих веществ [7]. Также при воздействии на топливные баки пожар может привести к их разрушению, что способствует усилению горения и возможному взрыву. Наибольшую опасность для пассажиров и членов экипажа представляют взрывы фюзеляжных топливных баков, которые могут сопровождаться выбросом топлива внутрь пассажирских салонов.

Аэродромные пожарные машины даже при параллельной подаче воды или пены из спаренных стволов нескольких машин недостаточно эффективны для тушения горящих самолётов и вертолётов из-за малой площади фронта огнетушащих струй. Из-за высокого радиуса поражающего теплоизлучения от горящего разлива топлива машины не могут подъехать достаточно близко, чтобы подавать воду и пену тонкораспыленными струями с площадью фронта тушения до 10 раз больше, чем у компактных струй. Подача компактными струями с малой площадью фронта приводит к удельным расходам огнетушащих средств (ОС) до $100\text{--}1\,000 \text{ л/м}^2$, долгому тушению, повторным воспламенениям потушенной площади [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Авторы предлагают новую технологию пожаротушения воздушных судов путем применения импульсных газокapelных шквалов и газопорошковых вихрей с широким фронтом тушения ($600\text{--}1\,500 \text{ м}^2/\text{с}$). Эти вихри и шквалы создаются только многоствольными залпово-распылительными модулями (ММ). Такие модули способны создать линии тушения вдоль всей ВПП, при этом они не имеют систем наведения, мощных насосов и трубопроводов. Второй вариант – это использование мобильных ММ, расположенных на ходовой части аэродромных автомобилей, вездеходов, на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), предназначенных для тушения самолётов, приземлившихся вне ВПП.

В табл. 1 показан диапазон вариантов многоствольных модулей. На рис. 1, 2 можно увидеть тушение авиатоплива при помощи ММ, а на рис. 3, 4 представлены дистанционно

управляемые компьютером ММ, смонтированные на стационарных основаниях и создающие залп из девяти стволов.



Рис. 1. 400 м² горящего авиатоплива потушено вихрем за одну секунду с дистанции 60 м и за 1,5 сек. с дистанции 100 м



Рис. 2. Шквал на дистанцию 120–150 м



Рис. 3. Стационарные автономные 9-ствольные дистанционно управляемые модули



Рис. 4. Начальная стадия залпа из девяти стволов, распыляющих 180 кг порошка на дальность до 150 м с площадью тушения до 850 м²

Таблица. Характеристики ММ на различных шасси

Наименование шасси	Число стволов	Общий вес ММ, кг	Вес ОС в канале ствола/залп макс/всех стволов, кг	Дальность тушения ствол/залп 10 стволов, м	Площадь тушения/сек. ствола/залп 10 стволов/серия залпов всех стволов, м ²
На прицепе	9	620	15/135	23/75	25/250
На лафете	9	1450	20/180	28/90	35/540
	16	1660	20/160/320	28/100	35/500/1100
	20	1200	18/180/360	32/230	40/900/1800
	25	2250	20/240/500	20/100	35/500/1600
	30	1850	18/180/540	33/240	40/900/2700
Танк Т-62	50	—	25/250/1250	31/120	50/800/4000
КРАЗ	29	—	15/60/435	25/50–55	30/150/1050
БТР-152	24	—	10/20/240	120/200	30/50/600
Шасси колесный танк «Дана»-Татра	80–100	—	30/300/2400	35/210	50/1000/10000

Стационарный мощный 9-ствольный ММ-9 полным залпом из девяти стволов распыляет до 180 кг огнетушащего вещества (ОВ), создавая вихрь дальностью тушения до 150 м с площадью тушения до 500–1000 м², 25-ствольный ММ-25 распыляет залпами из восьми–девяти стволов по 120–135 кг ОВ на дальность до 60–70 м и тушит 350–400 м²/залп (в сумме от 1200 м² до 2500 м² при серии залпов зависимо от их взаимодействия) [9, 10]. Новые ММ-9, ММ-20 (2 залпа по 10 стволов без перезарядки), ММ-30 (3 залпа по 10 стволов без перезарядки) способны тушить мощный модельный очаг пожара с дистанции 100 м за 1 с и распространять вихрь на 200 м при площади воздействия до 1 000–1 200 м² при залпе из 10 стволов, распыляющих суммарно 200 кг ОВ.

Данная техника успешно применялась в зоне Чернобыльской АЭС, на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ), арсеналах боеприпасов (БП), химических заводах, тушении газовых высокодебитных скважин и разливов дизтоплива, бензина, в том числе на модельных стартовых пусковых ракетных стартах для тушения песком химических веществ. Можно создать эффективные стационарные модули для автоматизированных систем вдоль ВПП и аэродромные пожарные машины, оснащённые многоствольными распылительными модулями, гарантирующими своевременное тушение аварийных самолётов на ВПП и вертолётов на посадочных площадках.

По договору с заказчиком создается комплекс новой и уникальной техники, реально способной гарантировать:

1) тушение возгораний и предотвращение взрыва самолёта при его аварийном приземлении и движении по ВПП (возможно с частичным разрушением корпуса и разливом авиатоплива по пути движения самолёта на ВПП);

2) тушение разлива авиатоплива вокруг остановившегося самолёта и предотвращения взрыва паров авиатоплива на ВПП или за её пределами до сохранения корпусом самолёта защиты пассажиров и экипажа;

3) обеспечение спасения экипажа и пассажиров.

Комплекс состоит из:

1) автоматической системы, управляемой компьютером и исполнительных подсистем из стационарных ММ, расставленных вдоль ВПП с обеих сторон в шахматном порядке через определённую дистанцию друг от друга;

2) аэродромные пожарные машины с ММ для усиления тушения разлива авиатоплива и самолёта после его остановки на ВПП;

3) вездеходы с ММ для тушения самолёта, выкатившегося с ВПП, и разлива вокруг него;

4) БПЛА с ММ горизонтального распыления для тушения самолёта, приземлившегося за территорией аэропортов.

Ориентировочная стоимость оснащения одной ВПП длиной 2 500 м: автоматическая система из 50 автономных модулей ММ-20 с дистанционным пультом автоматического управления – стоимость одного модуля 70.000 евро с электронным управлением и монтажом 120.000 евро, стоимость системы автоматического управления 1.900.000 евро + пусконаладка 500.000 евро = всего система модулей $120.000 \times 50 = 6.000.000$ евро, три пожарные машины на шасси «Дана-ММ-72» = 3.600.000 евро; три вездехода на гусеничном шасси с самоходной артиллерийской установкой с ММ-50 = 1.500.000–2.000.000 евро; кластер из 10 беспилотников с ММ-20 и система управления = 6.000.000 евро = 17.800.000 евро. Это 10 % стоимости убытков от гибели одного Боинга-747 и выплатой компенсации за гибель 300 пассажиров и 20 членов экипажа = $\$ 378.000.000 + 320 \times \$ 150.000$ (минимальная выплата) или $(900.000 - \text{средняя выплата семьям погибших}) = \$ 425.000.000$ или $\$ 666.000.000$. Стоимость оборудования ВПП = 42–66 млн евро = 10 % от убытков одной авиакатастрофы и выплат семьям погибших. То есть система окупает себя при спасении пассажиров после первой успешно предотвращённой аварии. Кроме того, система создаст аэропорту репутацию безопасного взлёта – посадки, что принесёт ему больше прибыли.

Заключение

Таким образом, в статье предложена и обоснована новая технология тушения разливов авиационного топлива вокруг аварийно приземлившегося самолёта, которая предполагает использование стационарных многоствольных модулей, расставленных вдоль ВПП, пожарных машин с многоствольными модулями для усиления тушения разлива авиатоплива и самолёта после его остановки. Также в статье описан экономический эффект от использования данного комплекса.

Список источников

1. ГОСТ 34350–2017. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

2. ГОСТ Р 59213–2020. Техника пожарная. Аэродромные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

3. Захматов В.Д., Онов В.А., Зыков А.В. Разработка ствольных систем импульсного распыления сорбентов и биосорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти //

Комплексная безопасность и физическая защита: сб. докладов VIII Мемориальн. семинара проф. Б.Е. Гельфанда; XV Межд. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2019. С. 24.

4. Технология импульсной ликвидации разливов нефти на море, океане // Успехи современного естествознания. 2015. №10. С. 92–99.

5. Захматов В.Д., Пророк В.Я., Клеймёнов А.В. Анализ разработок специализированных пожарных машин для защиты объектов нефтегазового комплекса (часть 1) // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 4 (44). С. 17–25.

6. Верзилин М.М., Повзик Я.С. Пожарная тактика. М «СПЕЦТЕХНИКА НПО», 2007. 440 с.

7. Кимстач И.Ф. Пожарная тактика. М.: СИ, 1984. С. 507–521.

8. Тактика действий подразделений пожарной охраны в условиях возможного взрыва газовых баллонов в очаге пожара: рекомендации. М.: ВНИИПО, 2001.

9. Степанов К.Н., Повзик Я.С., Рыбкин И.В. Пожарная техника. М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2003. 400 с.

10. Системы немедленного тушения возгораний и локализации вспышек, взрывов на испытательных стендах авиационных и ракетных двигателей, также стартовых ракетных комплексов и взлетно-посадочных полос / В.Д. Захматов [и др.] // Восьмые Уткинские чтения: труды общерос. науч.-техн. конф. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2019. С. 57–59.

References

1. GOST 34350–2017. Tekhnika pozharnaya. Osnovnye pozharnye avtomobili. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy «Garant».

2. GOST R 59213–2020. Tekhnika pozharnaya. Aerodromnye pozharnye avtomobili. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. Dostup iz sprav.-pravovoy sistemy «Garant».

3. Zahmatov V.D., Onov V.A., Zykov A.V. Razrabotka stvol'nyh sistem impul'snogo raspyleniya sorbentov i biosorbentov dlya likvidatsii avariynyh razlivov nefti // Kompleksnaya bezopasnost' i fizicheskaya zashchita: sb. dokladov VIII Memorial'n. seminaru prof. B.E. Gel'fanda; XV Mezhd. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. С. 24.

4. Tekhnologiya impul'snoj likvidatsii razlivov nefti na more, okeane // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. №10. S. 92–99.

5. Zahmatov V.D., Prorok V.YA., Klejmyonov A.V. Analiz razrabotok specializirovannyh pozharnyh mashin dlya zashchity ob"ektov neftegazovogo kompleksa (chast' 1) // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2017. № 4 (44). С. 17–25.

6. Verzilin M.M., Povzik Ya.S. Pozharnaya taktika. M «SPECTEKHNIA NPO», 2007. 440 s.

7. Kimstach I.F. Pozharnaya taktika. M.: SI, 1984. S. 507–521.

8. Taktika dejstvij podrazdelenij pozharnoj ohrany v usloviyah vozmozhnogo vzryva gazovyh ballonov v ochage pozhara: rekomendacii. M.: VNIPO, 2001.

9. Stepanov K.N., Povzik Ya.S., Rybkin I.V. Pozharnaya tekhnika. M.: ЗАО «SPECTEKHNIA», 2003. 400 s.

10. Sistemy nemedlennogo tusheniya vozgoranij i lokalizatsii vspyshek, vzryvov na ispytatel'nyh stendah aviacionnyh i raketnyh dvigatelej, takzhe startovyh raketnyh kompleksov i vzletno-posadochnyh polos / V.D. Zahmatov [i dr.] // Vos'mye Utkinskie chteniya: trudy obshcheros. nauch.-tekhn. konf. SPb.: Balt. gos. tekhn. un-t, 2019. S. 57–59.

Информация о статье:

статья поступила в редакцию: 08.02.2022; одобрена после рецензирования: 21.02.2022;
принята к публикации: 28.02.2022

The information article info: the article was received by the editorial office: 08.02.2022;
approved after review: 21.02.2022; accepted for publication: 28.02.2022

Информация об авторах:

Владимир Дмитриевич Захматов, старший научный сотрудник отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: zet.pulse@gmail.com

Мария Валентиновна Панкратова, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: r.masha-oskol@mail.ru

Information about the authors:

Vladimir D. Zakhmatov, senior researcher, department of planning, organization and coordination of scientific research, center for organization of scientific research and editorial activities Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: zet.pulse@gmail.com

Maria V. Pankratova, adjunct of the faculty of highly qualified personnel training Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), e-mail: r.masha-oskol@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 004.94; 004.65; 614.841; 502.36

РУКОВОДСТВО ДАННЫМИ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В СФЕРЕ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

Андрей Геннадьевич Хайдаров.

**Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), Санкт-Петербург, Россия.**

Михаил Андреевич Панферов.

**Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия.**

Людмила Анатольевна Королева ✉.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ koroieva.l@igps.ru

Аннотация. Обращение с твердыми коммунальными отходами является глобальной проблемой современности. Полигоны в крупных городах Российской Федерации переполнены, растет количество и размеры несанкционированных свалок, на них нередко возникают пожары. Необходима существенная перестройка системы обращения с отходами. Проведен сравнительный анализ стратегий обращения с твердыми коммунальными отходами в Российской Федерации, США, Великобритании, Японии, Германии, Франции. Обоснована необходимость совершенствования системы сбора и обработки информации об отходах.

Разработано комплексное ИТ-решение, позволяющее в режиме реального времени оценивать состояние и моделировать весь жизненный цикл отходов, осуществлять риск-ориентированное прогнозирование экологической и пожарной опасности процессов обращения с твердыми коммунальными отходами. ИТ-решение содержит три модуля. Модуль «Мониторинг, визуализация и прогнозирование состояния полигонов» для краткосрочного и долгосрочного прогнозирования процессов, происходящих внутри полигона отходов, на основе данных о состоянии полигона, собранных с датчиков. Модуль «Поддержка принятия управленческих решений, направленных на снижение пожарного и экологического риска полигона» предлагает перечень мероприятий для снижения риска возникновения или ликвидации очагов возгорания внутри тела полигона. Модуль «Умный мусор» для обработки и визуализации показателей мониторинга морфологического состава, температуры отходов, уровня наполнения мусорных контейнеров, прогнозирования значений их заполняемости, оценки возможности возникновения пожароопасной ситуации, формирования маршрута сбора и фиксации отходов, привозимых на полигон.

Совместное использование предлагаемых модулей позволит повысить точность прогнозирования и оптимизировать процесс принятия решений по управлению рисками на всем жизненном цикле твердых коммунальных отходов.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, обращение с отходами, мониторинг, большие данные, руководство данными, безопасность, информационное моделирование сооружений

Для цитирования: Хайдаров А.Г., Панферов М.А., Королева Л.А. Руководство данными как перспективное направление снижения пожарной и экологической опасности в сфере обращения с отходами // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 1. С. 30–40.

USING OF DATA MANAGEMENT AS A PROMISING DIRECTION FOR REDUCING FIRE AND ENVIRONMENTAL HAZARDS IN THE FIELD OF WASTE MANAGEMENT

Andrey G. Khaydarov. Saint-Petersburg institute of technology (technical university), Saint-Petersburg, Russia.

Michael A. Panferov. National research moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia.

Ludmila A. Koroleva[✉]. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

[✉] koroieva.l@igps.ru

Abstract. Solid municipal waste management is a global problem of our time. Landfills in large cities of the Russian Federation are overcrowded, the number and size of unauthorized landfills are growing, fires often occur on them. A significant restructuring of the waste management system is needed. A comparative analysis of solid municipal waste management strategies in the Russian Federation, the USA, the UK, Japan, Germany, and France was carried out. The necessity of improving the system of collecting and processing information about waste is substantiated.

A comprehensive IT solution has been developed that allows real-time assessment of the condition and modeling of the entire life cycle of waste, to carry out risk-oriented forecasting of environmental and fire hazards of Solid municipal waste management processes. The IT solution contains three modules. The module «Monitoring, visualization and prediction of landfill conditions» for short- and long-term forecasting of processes occurring inside the landfill based on data on the condition of the landfill collected from sensors. The module «Support for managerial decision-making aimed at reducing the fire and environmental risk of the landfill» offers a list of measures to reduce the risk of occurrence or elimination of fires inside the landfill body. The module «Smart garbage» for processing and visualization of indicators of monitoring the morphological composition, temperature of waste, the level of filling of garbage containers, forecasting the values of their occupancy, assessing the possibility of a fire-hazardous situation, forming a route for collecting and fixing waste brought to the landfill.

The joint use of the proposed modules will improve the accuracy of forecasting and optimize the decision-making process for risk management throughout the life cycle of solid municipal waste.

Keywords: solid municipal waste, waste management, monitoring, big data, data governance, security, building information model

For citation: Khaidarov A.G., Panferov M.A., Koroleva L.A. Using of data management as a promising direction for reducing fire and environmental hazards in the field of waste management // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 30–40.

Актуальные направления решения проблемы обращения с твердыми коммунальными отходами

Обращение с твердыми коммунальными отходами (ТКО) стало глобальной проблемой, не решенной в полном объеме практически ни в одной стране мира [1–5]. Можно констатировать, что на сегодняшний день в Российской Федерации реформа в сфере обращения с отходами «не принесла ожидаемых результатов» [4]; ситуация с полигонами «близка к критической» [4], в крупных городах они переполнены, при этом растет количество и размеры несанкционированных свалок, что негативно сказывается на состоянии окружающей среды и здоровье населения. Кроме того, на свалках и полигонах с достаточной регулярностью возникают пожары, которые трудно поддаются тушению и практически не прогнозируются.

В нашей стране необходима существенная перестройка системы обращения с отходами. При этом следует учесть, что в ряде государств, достигших «минимального захоронения», реформы коснулись многих сфер, включая законодательное регулирование и формирование культуры обращения с отходами.

Для разработки и внедрения эффективных и безопасных стратегий управления ТКО в Российской Федерации необходимы системные исследования, направленные на изучение объемов, морфологического состава мусора, его свойств, проведение анализа изменений рассматриваемых показателей и оценки влияния на них различных факторов. Следует учесть опыт передовых стран и использовать современные ИТ-технологии, позволяющие в режиме реального времени получать и эффективно использовать информацию об отходах. При этом имея дело с данными большого объема (Big Data), необходимы эффективные формы их обработки, позволяющие получить разностороннюю и полную информацию, принимать своевременные обоснованные управленческие решения по управлению ТКО, включая обеспечение безопасности.

Целью работы является проведение сравнительного анализа стратегий обращения с отходами в различных странах, и предложение ИТ-решений, позволяющих в режиме реального времени получать и эффективно использовать информацию об отходах в рамках реализации концепции руководства данными и информационного моделирования сооружений (Building Information Model (BIM)).

Сравнительный анализ стратегий обращения с отходами в различных странах

Для оценки воздействия отходов на население и окружающую среду, рассмотрения мер, предпринимаемых странами по сокращению количества ТКО, из 10 стран-лидеров по ВВП были выбраны государства, по которым имеется наибольшее количество статистической информации [6–9]: США, Германия, Япония, Франция и Великобритания и проведено сравнение с Российской Федерацией [5, 10]. При анализе акцент был сделан на тенденции развития каждой страны.

Изменение ситуации с образованием ТКО в рассматриваемых странах представлено на рис. 1.

Общая масса отходов уменьшается только в Японии. В Великобритании, Франции и Германии резкого скачка образования ТКО в настоящее время не наблюдается, что отличает эти страны от России и США. Причем в нашей стране наблюдается значительное увеличение массы образующихся отходов.

Наибольшее количество ТКО образуется в США, что определяется большим количеством населения, широким использованием полимерных материалов в производстве недорогих бытовых товаров, высоким уровнем урбанизации населения, ростом потребления, однопоточной системой сбора отходов (сортировкой мусора занимаются специальные организации, а не граждане) и другими причинами.

Изменение технологий обращения с отходами во времени в исследуемых странах представлено на рис. 2.

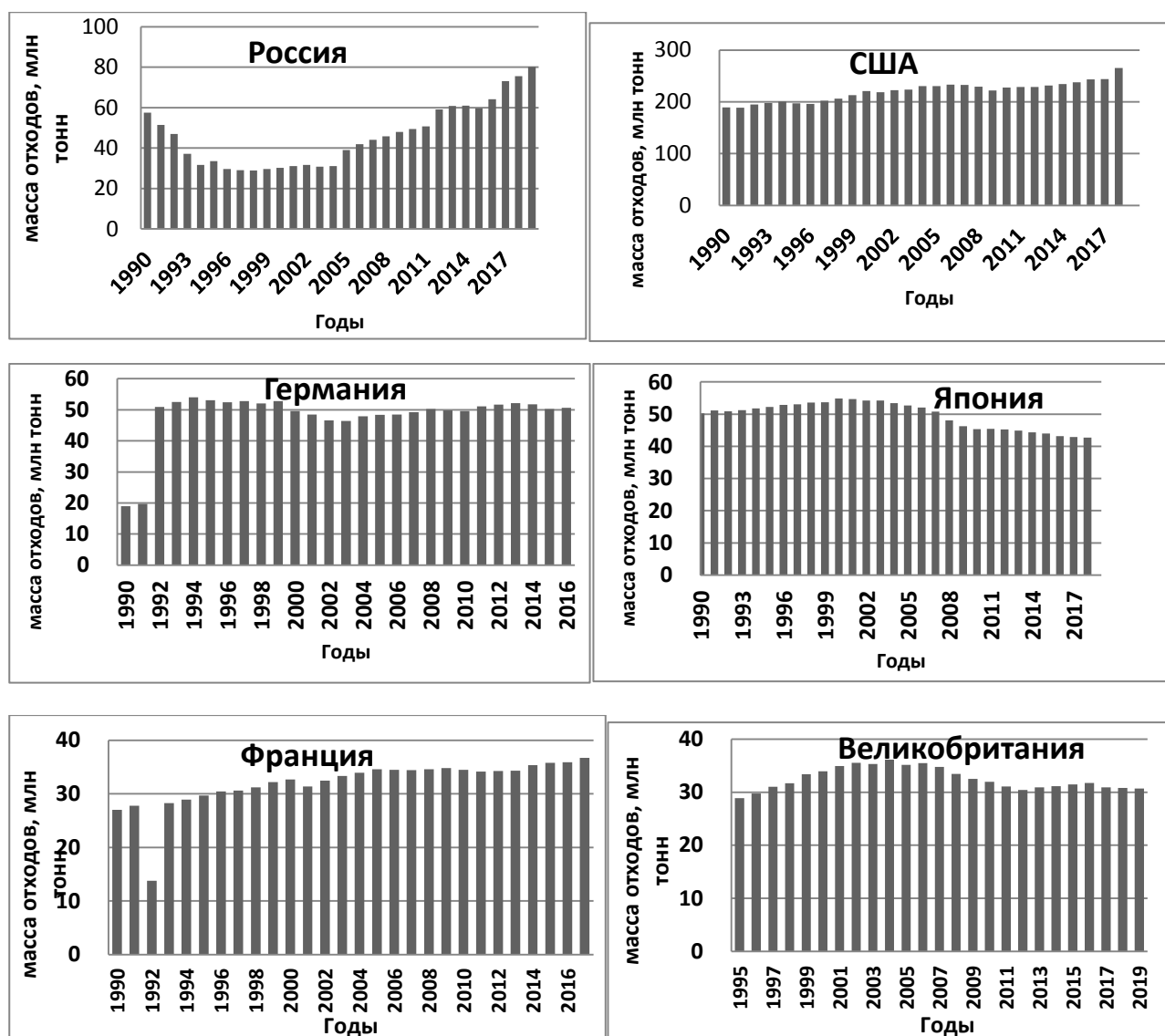


Рис. 1. Изменение массы образующихся отходов по странам

В Советском Союзе была организована стройная система переработки мусора, которую считали одной из лучших в мире. Прием стеклотары, сбор металлолома и макулатуры. В городах образовывалось меньше отходов, пластика почти не было. Пропагандировалась защита лесов, сбор и сортировка мусора. Однако уже к 1995 г. переработка мусора в России занимает всего 4 %. Такое положение сохраняется в настоящее время (по данным [4] перерабатывается лишь 7 % отходов).

На протяжении последних 30 лет масса отходов, отправляемых на захоронение в США, систематически увеличивалась. Однако в процентном соотношении наблюдается увеличение доли отходов, поступающих на переработку. Так, в 2019 г. было захоронено 50 % от общего количества мусора, что примерно на 13 % меньше, чем в 1995 г. Следует отметить, что рассматриваемый показатель в настоящее время остается высоким.

Германии и Японии к 2019 г. удалось снизить количество отходов, поступающих на захоронение, до 0,2 % и 1 % соответственно. Во Франции количество ТКО, депонируемых на полигонах, уменьшилось с 1995 г. более чем в два раза и в 2019 г. составило 20 %. По сравнению с другими странами, Великобритания сделала настоящий прорыв, значительно увеличив мощности по переработке отходов. В 1995 г. количество мусора, которое отправлялось на захоронение, составляло 83 %. К 2019 г. этот показатель снизился до 14 %.

Таким образом, рассматриваемые страны, за исключением России, смогли найти решения, направленные на сокращение массы отходов, направляемых на захоронение.

При анализе было учтено, что территории стран сильно отличаются по площади. Диаграмма (рис. 3) отражает массу образующихся отходов на единицу площади каждой из рассматриваемых стран в 1995 и 2018 гг.

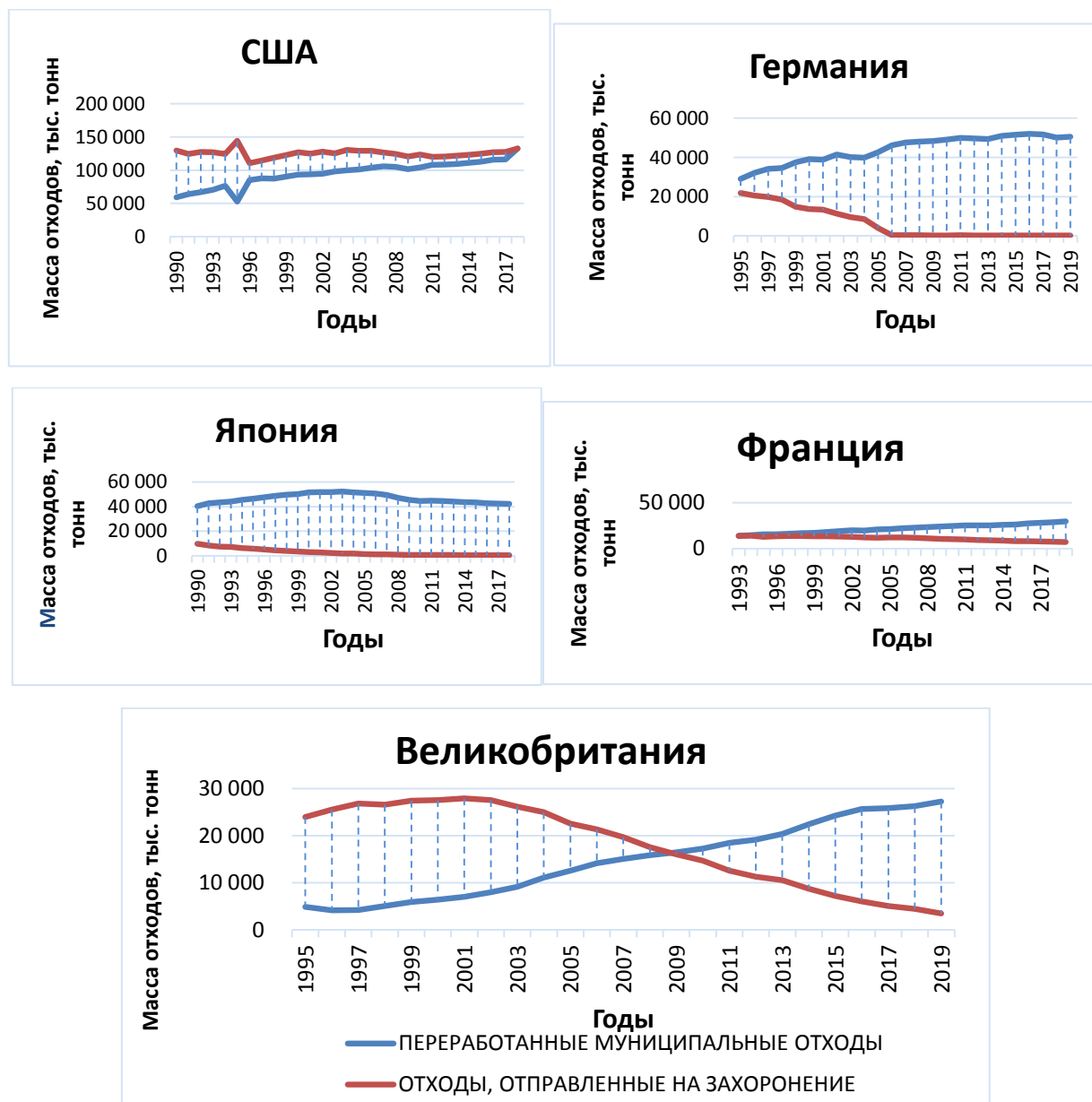


Рис. 2. Изменение во времени массы переработанных отходов и отходов, направленных на захоронение

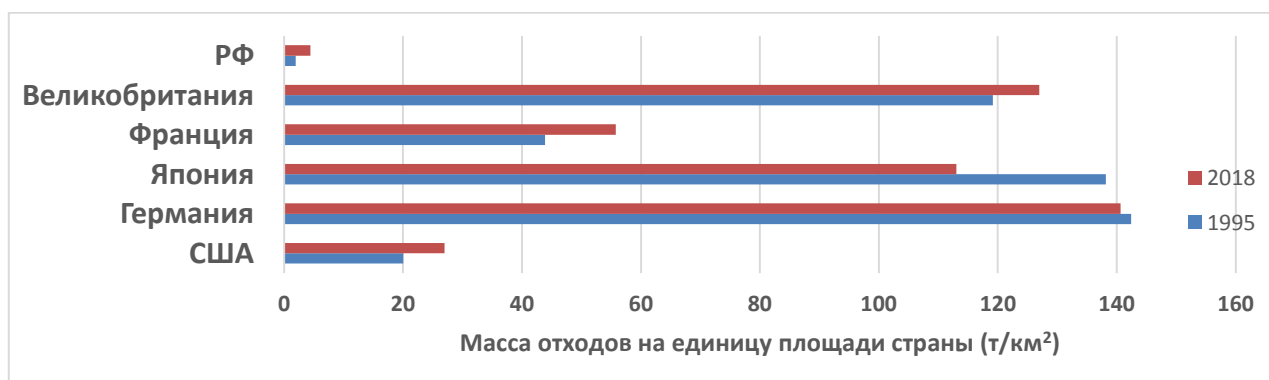


Рис. 3. Масса отходов, приходящихся на единицу площади страны (т/км²)

Изменение во времени массы отходов, приходящихся на душу населения представлено на рис. 4.

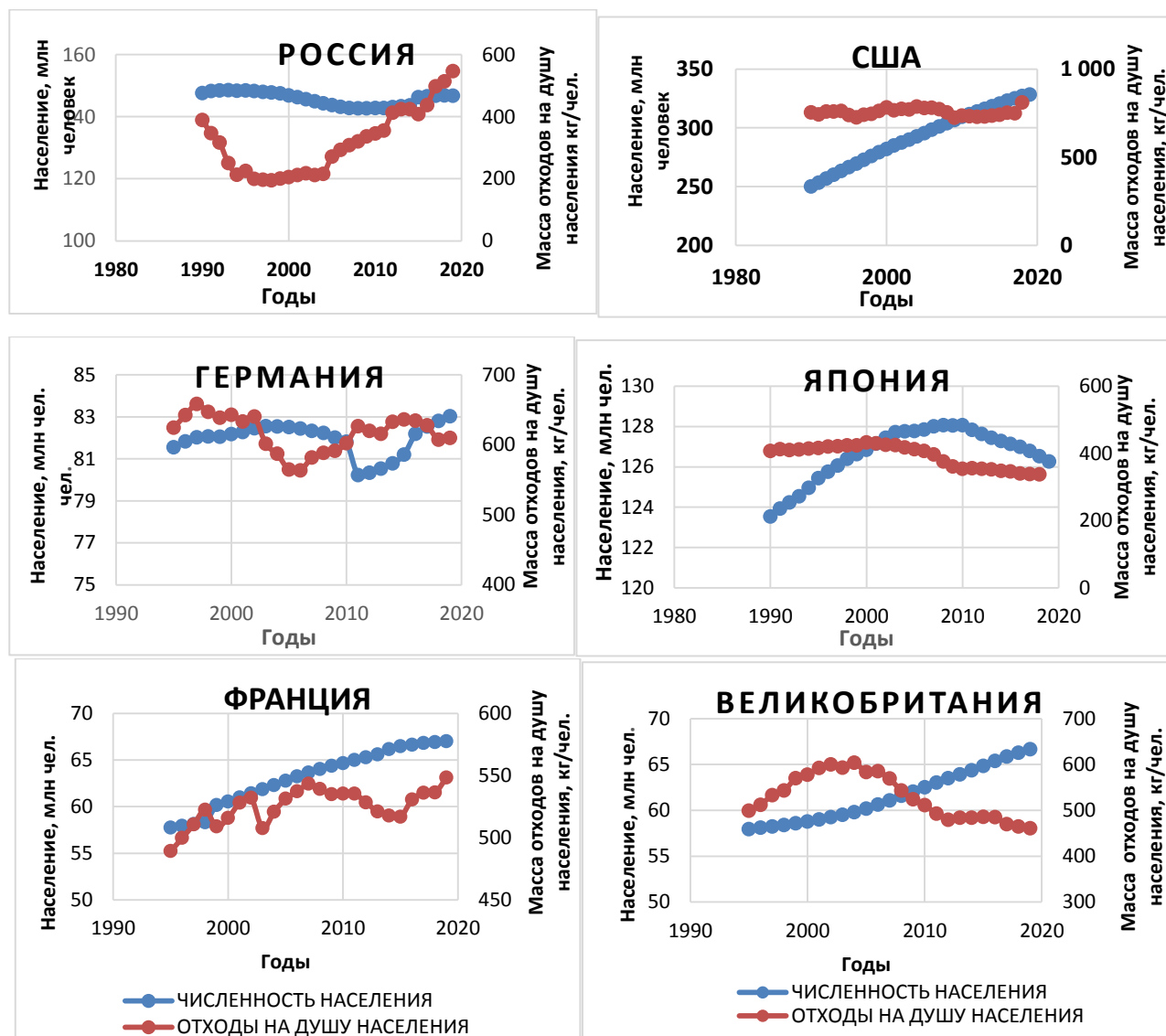


Рис. 4. Изменения во времени общей численности населения и средней массы отходов, приходящейся на одного человека по странам

Изучение изменения количества отходов на душу населения в период с 1995 по 2019 гг. показало, что в России, США и Франции рассматриваемый показатель растет. Причем наибольшее увеличение наблюдается в нашей стране (примерно в 2,3 раза). Японии удалось снизить массу отходов на душу населения в 1,2 раза, Великобритании – в 1,1 раз. В Германии наблюдается незначительное снижение рассматриваемого показателя.

По общему количеству запатентованных технологий, направленных на снижение воздействия ТКО на окружающую среду, лидируют США и Япония (рис. 5). Для США это связано как со стремлением уменьшить негативное воздействие отходов, так и с размерами страны и высокой численностью населения. Значительное внимание исследуемые страны уделяют экологическому мониторингу.

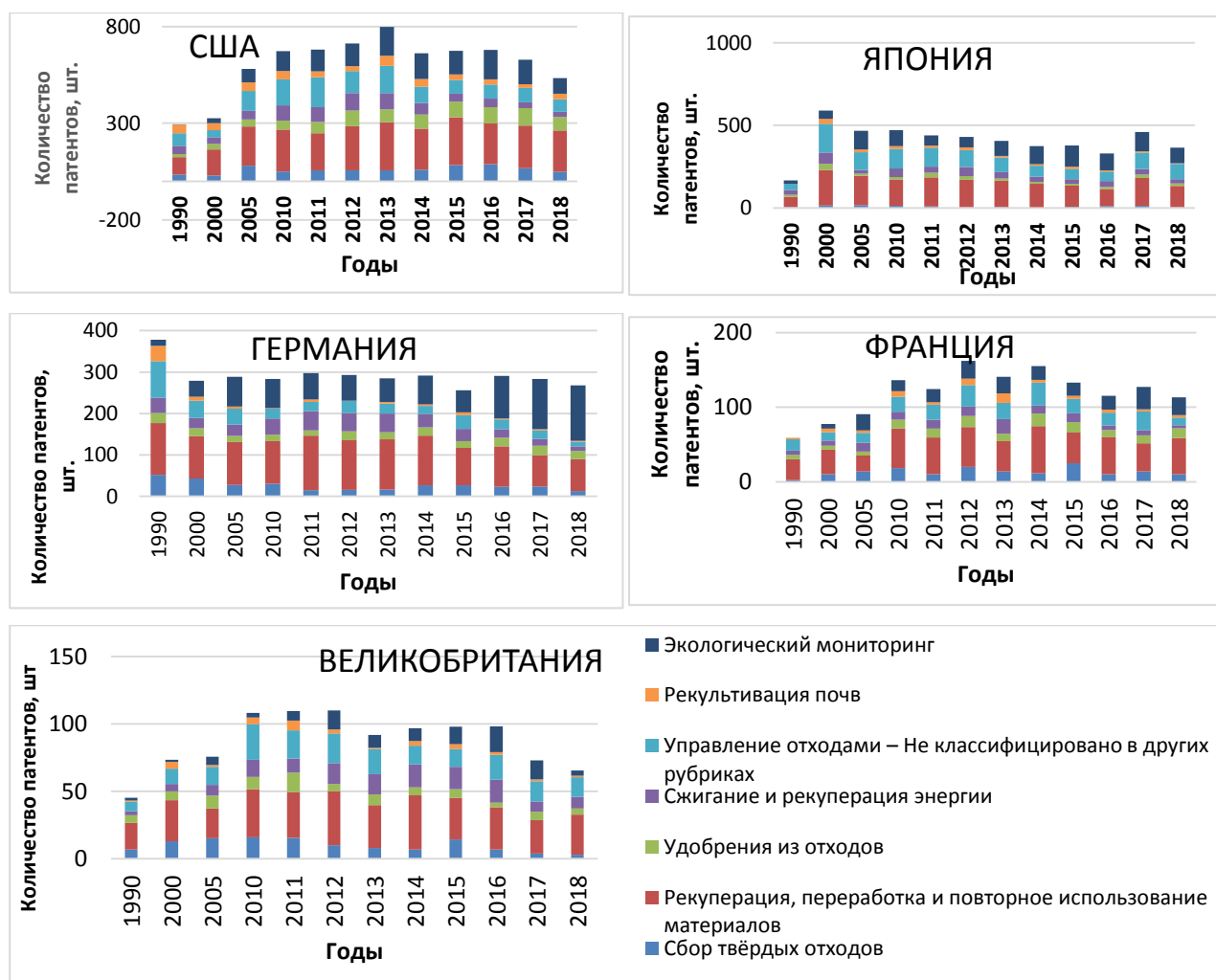


Рис. 5. Запатентованные технологии, направленные на снижение вредного воздействия ТКО по странам

Учитывая происходящие изменения в сфере обращения с ТКО, необходимость быстрого реагирования на возникающие чрезвычайные ситуации, рост объемов данных, усложнение системы их обработки, обязательным условием для осуществления эффективного управления отходами является совершенствование системы сбора и обработки информации. Необходимо обеспечение возможности получения данных не только, например, «в среднем по годам» или «в среднем по населенному пункту», но и в режиме реального времени, что является особенно важным для решения вопросов, связанных с обеспечением безопасности.

Реализация концепции руководства данными в сфере обращения с ТКО

Из множества применимых к ИТ-области сводов знаний, авторы использовали DMBOOK2 [11]. Данный выбор связан с широкими возможностями применения изложенных в нем руководящих принципов в сфере Big Data. Принятая структура управления данными представлена на рис. 6.



Рис. 6. Функции системы руководства данными

Центральной функцией выступает руководство данными (Data Governance), остальные области знаний (архитектура, моделирование, хранение данных и т.д.) являются важными составляющими управления данными об отходах. Использование Data Governance позволит обеспечить доступность, достоверность и непротиворечивость данных об отходах, прозрачность их жизненного цикла, создать «единую систему учета отходов» и сформировать гибкую и эффективную стратегию безопасного обращения с отходами. Для реализации и использования Data Governance в сфере обращения с ТКО было разработано комплексное ИТ-решение, позволяющее моделировать весь жизненный цикл отходов и содержащее три модуля.

1) Модуль «Мониторинг, визуализация и прогнозирование состояния полигонов» на базе BIM подхода включающую трехмерную модель полигона, датчики, расположенные внутри полигона с указанием их местоположения, базу данных для хранения информации с датчиков, графический интерфейс для ввода и вывода информации, модуль анализа данных. Разработанные математические модели позволяют осуществлять краткосрочное и долгосрочное прогнозирование процессов, происходящих внутри полигона отходов на основе данных о состоянии полигона (температуре, заполняемости, объеме выделяющегося биогаза), собранных с датчиков (рис. 7).

Математические модели реализованы с использованием методов конечных элементов и методов на основе нейронных сетей, развернутых в облаке. Применение предлагаемых моделей позволяет давать оценку пожарной и экологической опасности полигона как объекта мониторинга в условиях неполных и неточных данных и контролировать состояние объекта в течение всего жизненного цикла.

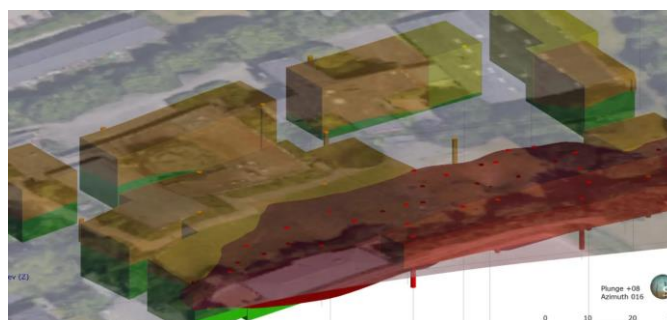


Рис. 7. Визуализация полигона и датчиков с использованием BIM

Важным преимуществом BIM-технологий является возможность контролировать состояние объекта в течение всего жизненного цикла.

2) Модуль «Поддержка принятия управленческих решений, направленных на снижение пожарного и экологического риска полигона» ТКО. Данная система на основе имеющихся данных предлагает список мероприятий для снижения риска возникновения или ликвидации очагов возгорания внутри тела полигона.

3) Модуль «Умный мусор» для обработки и визуализации показателей мониторинга морфологического состава, температуры отходов, уровня наполнения мусорных контейнеров, прогнозирования значений заполняемости контейнеров, оценки возможности возникновения пожароопасной ситуации, формирования маршрута сбора отходов и его оптимизации по наикратчайшему пути, а также фиксации отходов, привозимых на полигон.

Примеры визуализации данных, полученных при реализации предлагаемых систем, приведены на рис. 8, 9.

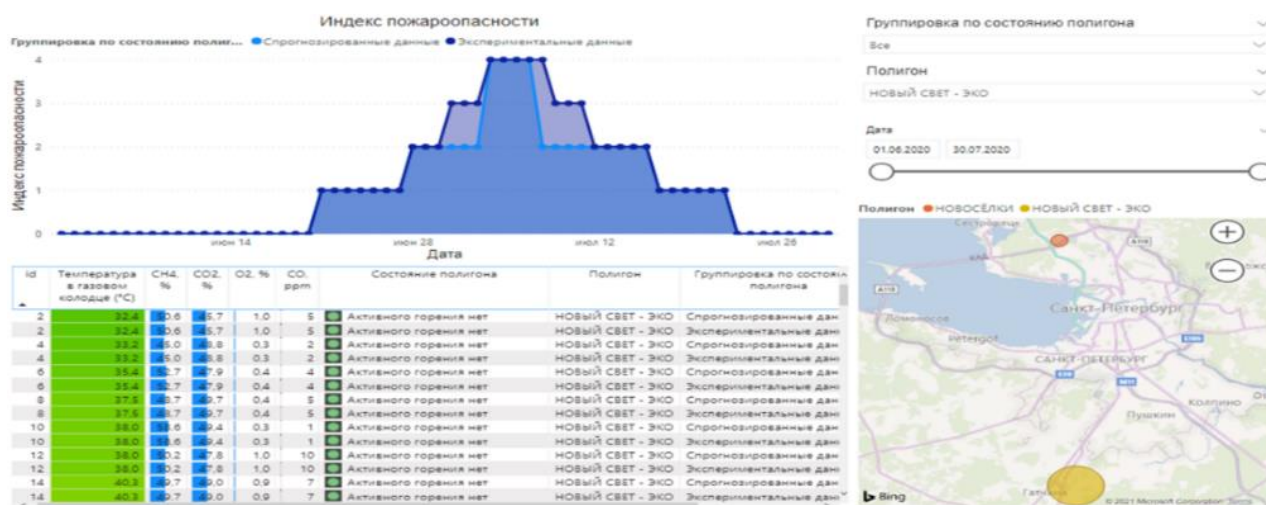


Рис. 8. Определение пожароопасности полигонов ТКО в режиме реального времени

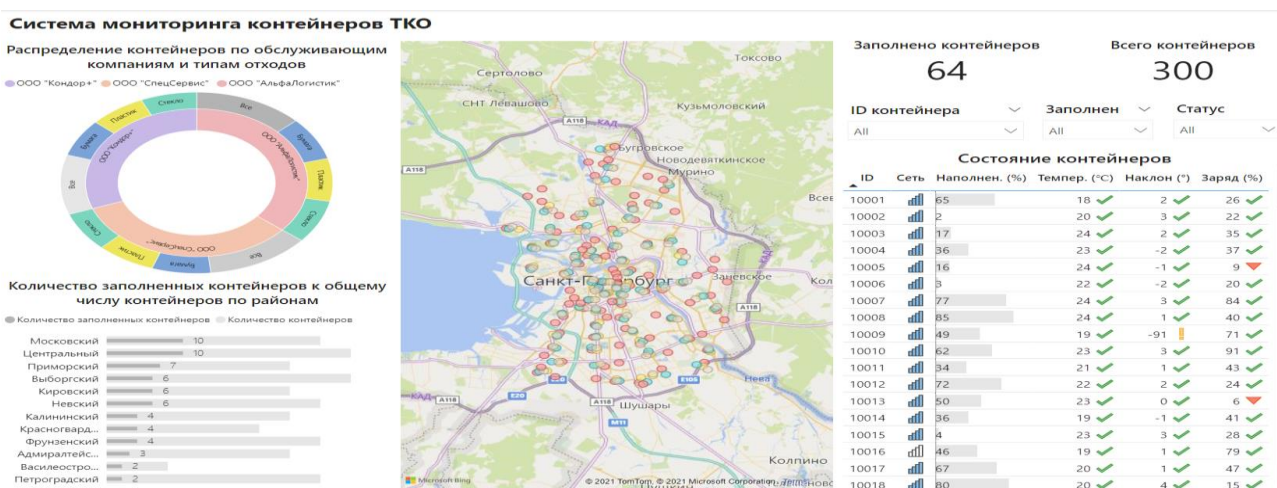


Рис. 9. Оценка состояния контейнеров для сбора ТКО

Совместное использование и объединение трех модулей позволит повысить точность прогнозирования и оптимизировать процесс принятия решений по управлению рисками на всем жизненном цикле обращения с ТКО.

Для реализации комплексного ИТ-решения используется следующее программное обеспечение: Power Platform (Power BI, Power Apps, Power Automate), Docker, Airflow,

COMSOL, язык программирования и библиотеки Python. Визуализация результатов прогнозирования выполнена в Power BI.

Заключение

Проведенный сравнительный анализ стратегий обращения с отходами показал значительное отставание Российской Федерации от передовых стран. Необходимо реформирование сферы обращения с ТКО, включая формирование «единой системы учета отходов». Как перспективное направление определено совершенствование работы с данными по отходам.

Представлены возможности применения руководства данными при управлении ТКО. Использование разработанного комплексного ИТ-решения позволяет моделировать жизненный цикл отходов и осуществлять риск-ориентированное прогнозирование экологической и пожарной опасности процессов обращения с ТКО.

Список источников

1. Hong J., Li X., Zhaojie C. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China // *Waste Management*. 2010. Vol. 30. pp. 2362–2369.
2. Wang P., Hu Y., Cheng H. Municipal solid waste (MSW) incineration fly ash as an important source of heavy metal pollution in China // *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 252. Part A. P. 461–475.
3. Применение модели Хольта-Уинтерса и эксергетического метода для прогнозирования безопасного обращения с отходами в Российской Федерации / Л.А. Королева [и др.] // *Безопасность труда в промышленности*. 2021. № 11. С. 34–40.
4. Анализ выполнения мероприятий, обеспечивающих экологическую безопасность Российской Федерации, в части ликвидации объектов накопленного вреда и формирования комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами: Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия // Бюл. Счетной палаты Рос. Федерации. 2020. № 9 (274). С. 6–43.
5. Хайдаров А.Г., Королева Л.А., Ивахнюк Г.К. Эксергетическая оценка пожарной опасности перевозок на железнодорожном транспорте // *Пожаровзрывобезопасность*. 2018. Т. 27. № 10. С. 26–37.
6. OECD Statistics. Food Waste. URL: <https://stats.oecd.org/> [Accessed 11 June 2020].
7. OECD Statistics. Green Growth Indicators: Environmental and resource productivity URL: <https://stats.oecd.org/> [Accessed 18 June 2020].
8. OECD Statistics. Green Growth Indicators: All indicators. URL: <https://stats.oecd.org/> [Accessed 11 June 2020].
9. Ríos A.-M., Picazo-Tadeo A.J. Measuring environmental performance in the treatment of municipal solid waste: The case of the European Union-28 // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 123. P. 107328.
10. Единая государственная информационная система учета отходов от использования товаров. URL: <https://uoit.fsrpn.ru/> (дата обращения: 01.06.2021).
11. DAMA-DMBOK: Свод знаний по управлению данными. Второе издание / Dama International: пер. с англ. Г. Агафонова. М.: Олимп–Бизнес, 2020. 828 с.

References

1. Hong J., Li H., Zhaojie S. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China // *Waste Management*. 2010. Vol. 30. rr. 2362–2369.
2. Wang R., Hu Y., Cheng N. Municipal solid waste (MSW) incineration fly ash as an important source of heavy metal pollution in China // *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 252. Part A. R. 461–475.

3. *Primenenie modeli Hol'ta-Untersa i eksergeticheskogo metoda dlya prognozirovaniya bezopasnogo obrashcheniya s othodami v Rossijskoj Federacii* / L.A. Koroleva [i dr.] // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2021. № 11. S. 34–40.
4. *Analiz vypolneniya meropriyatij, obespechivayushchih ekologicheskuyu bezopasnost' Rossijskoj Federacii, v chasti likvidacii ob"ektov nakoplenno go vreda i formirovaniya kompleksnoj sistemy obrashcheniya s tverdymi kommunal'nymi othodami: Otchet o rezul'tatah ekspertno-analiticheskogo meropriyatiya* // *Byul. Schetnoj palaty Ros. Federacii*. 2020. № 9 (274). S. 6–43.
5. Hajdarov A.G., Koroleva L.A., Ivahnyuk G.K. *Eksergeticheskaya ocenka pozharnoj opasnosti perevozok na zheleznodorozhnom transporte* // *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2018. T. 27. № 10. S. 26–37.
6. OECD Statistics. Food Waste. URL: <https://stats.oecd.org/> [Accessed 11 June 2020].
7. OECD Statistics. Green Growth Indicators: Environmental and resource productivity URL: <https://stats.oecd.org/> [Accessed 18 June 2020].
8. OECD Statistics. Green Growth Indicators: All indicators. URL: <https://stats.oecd.org/> [Accessed 11 June 2020].
9. Ríos A.-M., Picazo-Tadeo A.J. Measuring environmental performance in the treatment of municipal solid waste: The case of the European Union-28 // *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 123. P. 107328.
10. *Edinaya gosudarstvennaya informacionnaya sistema ucheta othodov ot ispol'zovaniya tovarov*. URL: <https://uoit.fsrpn.ru/> (data obrashcheniya: 01.06.2021).
11. *DAMA-DMBOK: Svod znaniy po upravleniyu dannymi. Vtoroe izdanie* / Dama International; per. s angl. G. Agafonova. M.: Olimp-Biznes, 2020. 828 s.

Информация о статье:

статья поступила в редакцию: 25.01.2022; одобрена после рецензирования: 11.02.2022; принята к публикации: 01.03.2022

The information article info: the article was received by the editorial office: 25.01.2022; approved after review: 11.02.2022; accepted for publication: 01.03.2022

Информация об авторах:

Андрей Геннадьевич Хайдаров, доцент кафедры бизнес-информатики Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 24–26/49, лит. А), кандидат технических наук, доцент, e-mail: andreyhaydarov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0693-8027>

Михаил Андреевич Панферов, бакалавр Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26), e-mail: dcvips@mail.ru

Людмила Анатольевна Королева, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: koroieva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

Information about the authors:

Andrey G. Khaidarov, associate professor department of business informatics St. Petersburg State Technological Institute (technical university) (190013, St. Petersburg, Moskovsky pr., 24–26/49, lit. A), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: andreyhaydarov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0693-8027>

Michael A. Panferov, bachelor of the National research Moscow state university of civil engineering (129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26), e-mail: dcvips@mail.ru

Lyudmila A. Koroleva, professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: koroieva.l@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5661-5774>

УДК 004.942: 504.4.054

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕФТЯНОГО ПЯТНА С МОРСКОЙ СРЕДОЙ

Сергей Валентинович Маценко;**Елена Алексеевна Чижова-Ноткина.****АО «ЮжНИИМФ», г. Новороссийск, Россия.****Яна Юрьевна Блиновская**✉.**Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, г. Владивосток, Россия****✉blinovskaya@hotmail.com**

Аннотация. Для современного человека ресурсные запросы продолжают оставаться весьма актуальными, и среди многообразия таковых выделяется нефть. Она является важным стратегическим сырьем, определяющим экономические и политические настроения многих государств мира. Но пренебрежение вопросами безопасности при ее добыче, транспортировке, переработке и иных производственных процессах ставит под угрозу качество окружающей среды, поскольку при разливе вследствие многокомпонентной структуры нефть существенно меняет свои физико-химические свойства. Существенный отпечаток накладывает и собственно среда, особенно характеризующаяся значительными динамическими параметрами. Так, несмотря на достаточный опыт в области изучения поведения нефти в морской среде и установленные при этом закономерности, до сих пор не существует достоверной модели, позволяющей получить однозначные количественные параметры, определяющие все процессы преобразования нефти на акватории. Многочисленные неопределенности, характеризующие понятие риска, обуславливают необходимость корректировки существующих моделей, позволяющих прогнозировать поведение нефтяного пятна при разливе. В соответствии с этим, в настоящей статье рассмотрены вопросы совершенствования математической модели процесса естественного диспергирования нефтяного пятна, его пространственного перемещения в морской среде под действием внешних сил, а также дрейфа взвешенных в толще воды частиц под влиянием гидродинамических факторов. Учет данных особенностей позволил получить более точные результаты, приближенные к реальности, способствующие более эффективному принятию решения при планировании мероприятий по реагированию на чрезвычайные ситуации, обусловленные разливами нефти и нефтепродуктов.

Ключевые слова: разлив нефти, моделирование поведения нефтяного пятна, диспергирование нефти в морской среде, чрезвычайная ситуация, загрязнение

Для цитирования: Маценко С.В., Чижова-Ноткина Е.А., Блиновская Я.Ю. Совершенствование математической модели взаимодействия нефтяного пятна с морской средой // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 1. С. 41–51.

IMPROVEMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF OIL SPOT INTERACTION WITH MARINE ENVIRONMENT

Sergey V. Matsenko; Elena A. Chizhova-Notkina. JSC «YuzhNIIMF», Novorossiysk, Russia.**Yana. Yu. Blinovskaya**✉.**Far Eastern fire and rescue academy – a branch of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Vladivostok, Russia****✉blinovskaya@hotmail.com**

Abstract. For modern person the resource requirement continue to be very relevant, and among the variety of them oil is allocated. It is an important strategic resource that determines

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

the economic and political sentiment of the many nations in the world. But neglect of safety issues in its development, transportation, conversion and other production processes jeopardizes the environment quality, since when spilled due to a multicomponent structure, oil changes its physicochemical properties significantly. A significant mark is the environment itself, especially characterized by considerable dynamic parameters. So, despite sufficient experience in the field of studying the oil behavior in the marine environment and the patterns established by this, there is still no reliable model that allows to obtain unambiguous quantitative parameters determining all oil conversion processes in the sea water area. The many uncertainties that characterize the risk concept make it necessary to adjust existing models to predict the oil spill behavior. In accordance this in the article the issues of improvement of mathematical model of oil spot natural dispersion process, its spatial movement in marine environment under action of external forces, as well as drift of particles suspended in water column under the influence of hydrodynamic factors are considered. Taking into account these features, more accurate results close to reality are obtained, which contribute to more effective decision making when planning the respond to emergencies caused by oil and oil products spills.

Keywords: oil spill, modeling the behavior of the oil spot, dispersion of oil in the marine environment, emergency, pollution

For citation: Matsenko S.V., Chizhova-Notkina E.A., Blinovskaya Ya.Yu. Improvement of mathematical model of oil spot interaction with marine environment // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 41–51.

Введение

Сложно переоценить актуальность проблемы загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами. Участвовавшие в последние годы инциденты приводят к возникновению противоречий: организационных, административных, экологических, экономических и прочих, что обуславливает необходимость разработки превентивных мероприятий, позволяющих нивелировать появляющиеся конфликты. Одним из инструментов, обеспечивающих понимание процессов, происходящих при разливе нефти на морской акватории, является моделирование поведения нефти.

В период с 2002 г. по настоящее время авторами настоящей статьи применяется программное обеспечение (ПО) PISCES II производства компании ЗАО «Транзас». Описание математических моделей, применённых ЗАО «Транзас» для моделирования процессов, происходящих с нефтяным пятном при его попадании на водную поверхность, приводится в соответствующих руководствах.

Принципиальным отличием используемой в PISCES II методики от других разработок является возможность моделирования всего известного спектра процессов, отображающих поведение нефтяного slicka на воде. Для этого используются расчётные алгоритмы, построенные на анализе и обобщении экспериментальных данных, полученных отечественными и зарубежными авторами.

Однако в ходе эксплуатации ПО PISCES II его пользователями, включая авторов С.В. Матенко, Я.Ю. Блиновскую, был выявлен ряд несоответствий математической модели (ММ) реальным физико-химическим процессам. В частности, было установлено, что ММ некорректно имитирует процесс диспергирования нефти в морской среде, а именно не учитывает процесс возвращения диспергировавших капель нефти на поверхность, что приводит к существенной ошибке в предсказании площади и формы нефтяного пятна, особенно при моделировании разливов нефти и нефтепродуктов в неблагоприятных погодных условиях [1, 2].

В целях корректировки вышеуказанных и ряда других несоответствий ЗАО «Транзас» в 2013–2014 гг. была инициирована опытно-конструкторская работа (ОКР) [3], направленная в числе прочего на совершенствование имеющейся ММ и создание нового продукта PISCES III с новыми возможностями и функциональностью. В настоящей статье приводится

описание дополнений к ММ, внесённых по результатам выполнения ОКР [3] при личном участии авторов С.В. Маценко, Е.А. Чижовой-Ноткиной, в части процесса естественного диспергирования нефтяного пятна.

Общие принципы моделирования нефтяного пятна, принятые в PISCES II, и предложения по их совершенствованию

В ранней версии модели PISCES II процесс естественного диспергирования реализован таким образом, что масса каждого спиллета через определённые моделью промежутки времени пересчитывается в сторону уменьшения. При этом имеется в виду, что вычитаемый объём спиллета отрывается от основного пятна и далее движется хаотично в глубинных слоях морской воды за счёт турбулентной диффузии. Чем сильнее внешнее воздействие, тем на большую величину уменьшаются объёмно-массовые показатели каждого спиллета в частности и, соответственно, нефтяного пятна в целом.

Диспергированные составляющие спиллетов, таким образом, навсегда покидают «родительское» нефтяное пятно и «исчезают» из поля зрения модели, условно «растворяясь» в окружающей среде. Их дальнейшее состояние не учитывается и не рассматривается. Данный подход следует считать верным лишь отчасти, только на момент действия внешних сил. В действительности, исходя из закона сохранения вещества, а также по данным работ [4, 5], когда внешнее воздействие прекращается, после наступления благоприятной погоды, отделённые от основного пятна и обладающие достаточной плавучестью частицы нефти вновь возвращаются на поверхность моря. В связи с тем, что отделённые частицы имеют разную величину вследствие изменения их физико-химической структуры и воздействия внешних факторов, место их выхода на поверхность может отличаться от текущего местоположения основного пятна. Так, частицы малого размера могут относиться глубинными течениями на значительные расстояния, а обладающие большей плавучестью более крупные частицы всплывают в непосредственной близости к «родительскому» пятну или даже внутри него.

Совершенствование математической модели «обратного» диспергирования

Порядок разработки математической модели. Процесс возврата диспергированной нефти на морскую поверхность после прекращения действия ветра и волны не был учтён в исходной версии ММ PISCES II, поэтому в ходе выполнения ОКР [3] была выполнена корректировка ММ рабочей группой под руководством С.В. Маценко при личном участии Е.А. Чижовой-Ноткиной. Для разграничения существующего описания процесса диспергирования (прямого диспергирования) и внесённых изменений процессу возврата диспергированной нефти на морскую поверхность было присвоено условное обозначение «обратное диспергирование».

Разработка модели «обратного диспергирования» подразумевает поиск и обоснование математического описания следующих физических величин:

- область распространения диспергированной нефти в глубинных слоях морской воды;
- размеры частиц нефти, участвующих в процессе обратного диспергирования, и их распределение в слоях воды;
- скорость вертикального перемещения (всплывания) частиц с учётом действия сил плавучести и турбулентной диффузии;
- скорость горизонтального перемещения частиц с учётом течения и ветрового дрейфа.

Для определения толщины Z_m слоя смешения, в котором происходит концентрация фрагментов диспергированной нефти, применяется подход, описанный в работе [6]:

$$z_m \approx 1,5H_0 = 0,3 \frac{v_w^2}{g} = 0,031 \cdot v_w^2, \quad (1)$$

где H_0 – средняя высота волны, которая определяется скоростью ветра v_w , м.

Определим какие именно размеры капель будут распределены в слое смешения и какое количество капель каждого размера будет находиться в диспергированном состоянии. По данным работы [7], размер капель нефти может приниматься до 300 мкм, однако такие крупные капли имеют большую плавучесть и достаточно быстро (1–2 с) возвращаются на поверхность. При этом время «жизни» менее крупных капель может составлять несколько часов, а мелкие капли могут находиться в дисперсном состоянии несколько часов и даже дней. Экспериментальные исследования в работе [8] подтверждают возможность образования капель нефтепродуктов размером 300–450 мкм в водной среде, время «жизни» которых составляет несколько секунд.

Для корректной работы ММ в качестве минимального размера капель целесообразно принять такой, при котором капли не успевают всплыть и присоединиться к пятну за один модельный (расчётный) шаг математической модели Δt_{RCGen} . В работе [9] из формулы Стокса получена следующая формула для определения радиуса таких капель:

$$r_{\min} = \left[\left(\frac{2K_v}{\Delta t} \right)^{0,5} \frac{18\mu}{g\Delta_w} \right]^{0,5},$$

где $K_v \approx 0,005 \text{ м}^2/\text{с}$ – коэффициент турбулентной диффузии.

В работах, посвящённых моделированию диспергированных капель, в частности [5], используются различные варианты их распределения по размерам, основанные на аппроксимации экспериментальных данных. Наиболее распространённый вариант предложен в работе [6]:

$$N(r) \sim r^{-\frac{2}{3}},$$

где r – радиус капли, мм; $N(r)$ – количество капель радиуса r .

С учётом вышеизложенного, в ходе разработки математической модели принято, что интересующие нас размеры капель нефти находятся в диапазоне от 6 до 500 мкм. Для их систематизации и учёта диспергированные капли в расчётном диапазоне разбиваются на 33 класса с шагом 15 мкм. Рассмотрение капель с размерами вне указанного диапазона нецелесообразно, в связи с чем принято допущение, что образования таких капель не происходит.

Скорость всплывания капель диспергированной нефти. Скорость движения мелких частиц диаметром до 0,12 мм, для которых вязкостное сопротивление превосходит гидродинамическое, рекомендуется определять по формуле Стокса:

$$W_{refl}(d) = \frac{gd^2\Delta_w}{18\nu_w} \text{ для } 0,006 < d < 0,12 \text{ мм}, \quad (2)$$

где d – диаметр капли, м; $\Delta_w = \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w}$ – относительная разность плотностей нефти и воды;

ρ_w – плотность воды, кг/м³; ρ_o – плотность нефти, кг/м³; ν_w – кинематическая вязкость воды, сСт.

Скорость всплывания капель среднего размера чаще всего определяют по формуле Аллена:

$$W_{refl}(d) = 0,89d \sqrt[3]{\frac{\Delta_w^2}{\nu_w}} \text{ для } 0,12 < d < 0,8 \text{ мм.} \quad (3)$$

Скорость всплывания крупных капель, для которых можно пренебречь силами вязкости воды, можно определить по формуле Ньютона-Риттингера:

$$W_{refl}(d) = \sqrt{\frac{8}{3} \Delta_w g d} \text{ для } 0,8 < d < 2,0 \text{ мм.} \quad (4)$$

В работе [10] выполнен сравнительный анализ 18 формул скоростей свободного падения частиц шарообразной (сферической) формы в слое жидкости, которые, вследствие схожести физических процессов, применяются также для случаев всплытия аналогичных частиц, имеющих положительную плавучесть. В результате данного анализа установлено, что вышеуказанные формулы Стокса (2), Аллена (3) и Риттингера (4) имеют самые низкие квадратические отклонения по сравнению с другими общеупотребительными формулами Осеена, Бельст-Герли, Шене, Крея, Соколова, Вагонера и др. Вместе с тем, учитывая интересующий нас размер частиц (от 6 до 500 мкм), применение формулы Ньютона-Риттингера представляется нецелесообразным.

В этой связи принято решение в ходе дальнейшего исследования применять формулу Стокса для определения скорости всплывания мелких частиц размером до 0,12 мм и формулу Аллена для более крупных частиц размером от 0,12 мм и более до максимально интересующего нас размера. Для обеспечения плавного перехода от одной функции к другой в промежуточном диапазоне значений было решено применить нижеприведённую сплайн-функцию специального вида, рекомендованную доктором технических наук Д.В. Казуниным и реализованную автором С.В. Маценко.

$$f_{1t4}(x) = \frac{0,5 \cdot x \cdot |x|}{x^2 + 1} + 0,5$$

Реализация сращивания производится по принципу учёта большей доли одной функции до начала переходного диапазона, равномерное распределение доли каждой функции на переходном диапазоне и учёт большей доли другой функции после переходного диапазона.

Применительно к уравнениям (2, 3) данный принцип может быть записан следующим образом:

$$W_{refl} = spline_1 \cdot W_{refl(1)} + spline_2 \cdot W_{refl(2)}, \quad (5)$$

где $spline_1 = -f_{1t4}(b_1 \cdot (d - d_{cros} - W_{refl(n1)} \cdot a_1))$ – сплайн-функция первой переменной;
 $spline_2 = f_{1t4}(b_2 \cdot (d - d_{cros} - W_{refl(n2)} \cdot a_2))$ – сплайн-функция второй переменной;
 $W_{refl(n1)}, W_{refl(n2)}$ – ординаты в точке пересечения с осью ординат; a_1, a_2 – настроечная величина, определяющая долю сдвига каждой функции; b_1, b_2 – настроечная величина плавности перехода каждой функции; d_{cros} – абсцисса точки пересечения функций.

Величины $W_{refl(n1)}$ и $W_{refl(n2)}$ предназначены для определения характера наклона кривых зависимостей в точке перехода. Зависимость Аллена является линейной функцией, проходящей через начало координат, поэтому $W_{refl(n2)} = 0$. Для нахождения $W_{refl(n1)}$ необходимо определить ординату пересечения с осью W_{refl} касательной к зависимости $W_{refl(1)}$ в точке её пересечения с прямой $W_{refl(2)}$. Исходя из общего уравнения касательной к кривой в определённой точке, учитывая решение системы уравнений (2, 3) для нахождения точки пересечения, находим уравнения касательной для зависимости Стокса:

$$W'_{refl(1)} = \frac{g\Delta_w}{18\nu_w} M_1^{\frac{2}{3}} \left(2dM_1^{-\frac{1}{3}} - 1 \right);$$

$$W_{refl(n1)} = -\frac{g\Delta_w}{18\nu_w} M_1^{\frac{2}{3}},$$

где $M_1 = \frac{864\nu^2}{g\Delta_w}$ – вспомогательная расчётная величина.

По найденным переменным определены значения итоговой сплайн-функции W_{refl} по формуле (5). Так, на рисунке представлена графическая визуализация результатов расчёта для нефти II группы.

Путём подбора значений установлено, что наилучшие результаты перехода достигаются при следующих значениях настроечных величин:

- $a_1=1,5$; $a_2=0,2$;
- $b_1=11$; $b_2=10$.

Таким образом, получено решение для промежуточных значений скоростей всплывания нефтяных пятен при переходе от формулы Стокса к формуле Аллена во всём диапазоне плотностей нефти и нефтепродуктов групп I–IV согласно международной классификации.

Модель всплывания капель диспергировавшей нефти. Моделирование всплывания капель осуществляется с применением принятой технологии «затопленных» спиллетов, каждый из которых представляет собой совокупность капель, равномерно (условно) распределённых в слое смешения. При достижении поверхности воды затопленные спиллеты добавляются к основному пятну.

Расчёт одного шага по времени осуществляется следующим образом:

- генерация затопленных спиллетов;
- перемещение затопленных спиллетов на один шаг по времени;
- присоединение к основному пятну всплывших спиллетов.

Генерация затопленных спиллетов производится с шагом Δt_{RCGen} , выбор которого определяется размерами пятна нефти, скоростью его растекания и диспергирования и временем всплывания наиболее глубоко диспергировавших капель (то есть плотностью нефти и скоростью ветра). По генерируемым затопленным спиллетам распределяется вся масса нефти, диспергировавшей за интервал времени Δt_{RCGen} .

Затопленные спиллеты распределяются случайным образом по площади разлива внутри слоя смешения, толщина которого определяется по формуле (1). Таким образом, в толще воды формируется некое дискретное распределение спиллетов, суммарно представляющих всю массу диспергировавших капель.

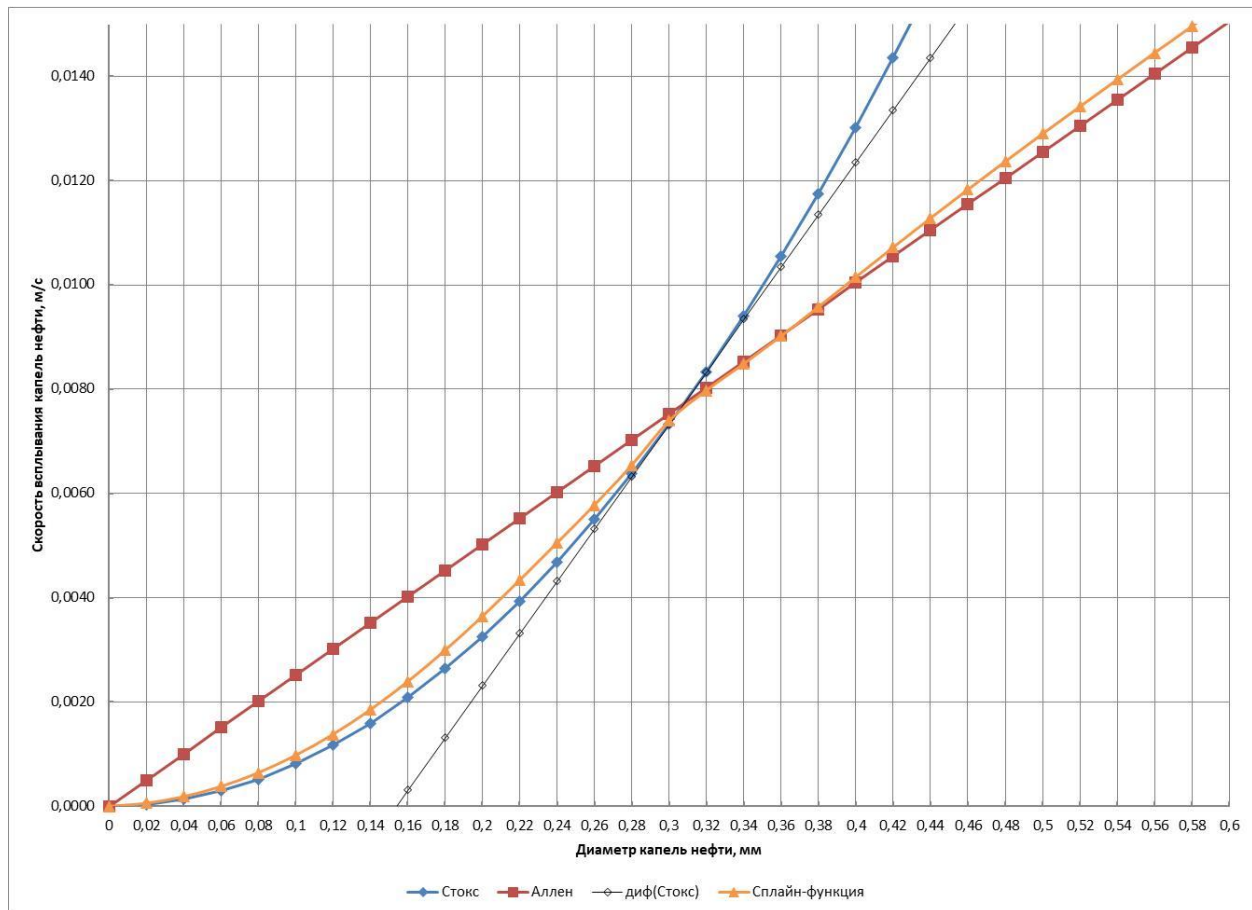


Рис. Скорость всплывания частиц нефти для $\rho_o = 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Смещение частиц, представляющих всплывающие капли, осуществляется на каждом шаге модели и определяется следующими составляющими:

$$\Delta \vec{l} = \Delta \vec{l}_w + \Delta t_{RCGen} \cdot \vec{v}_c + \Delta t_{RCGen} \cdot \vec{v}_{reft},$$

где $\Delta \vec{l}_w = f(\Delta t_{RCGen}, x_{sp}, y_{sp}, h_{sp})$ – смещение спиллета вследствие ветрового дрейфа с учётом глубины, м; x_{sp}, y_{sp}, h_{sp} – составляющие вектора $\Delta \vec{l}$ смещения спиллета по координатным осям, м; $\vec{v}_c = f(\Delta t_{RCGen}, x_{sp}, y_{sp}, h_{sp}, v_c)$ – смещение спиллета вследствие действия течения со скоростью v_c ; $\vec{v}_{reft} = f(\Delta t_{RCGen}, W_{reft})$ – вертикальное смещение вследствие всплывания.

При определении значения вертикального смещения частиц внутри каждого спиллета используем среднюю скорость всплывания крупных и мелких капель:

$$\langle W_{reft} \rangle = 0,5 (W_{reft}(r_{\min}) + W_{reft}(r_{\max})).$$

Для учёта влияния турбулентной диффузии на скорость всплывания капель введён коэффициент C_{reftD} , который зависит от скорости ветра:

$$W_{reft} = C_{reftD} \cdot \langle W_{reft} \rangle.$$

Расчёт скорости смещения каплей вследствие ветрового дрейфа должен производиться с учётом не только поверхностного течения, но и течения внутри слоя морской воды, соответствующего определённому выше слою смещения. Расчёт поля морских течений в определённом районе Мирового океана является достаточно сложной задачей и зависит от множества факторов. В этой связи с достаточной точностью можно воспользоваться теорией Экмана [11] с уточнениями Мадсена [12], которая позволяет получить поле глубинных морских течений, исходя из ряда упрощений, не являющихся критическими для поставленной задачи.

Для скорости смещения относительно течения предлагается использовать частное решение, полученное в работе [12] для случая незначительной глубины, когда:

$$\frac{z}{D_E} \ll 1,$$

где z – вертикальная координата, отсчитываемая от поверхности воды вниз, м; D_E – глубина слоя Экмана (глубина трения), при которой вектор скорости течения направлен противоположно вектору скорости на поверхности, м.

По данным работ [13, 14], эмпирический эквивалент теоретической формулы для определения глубины трения имеет вид:

$$D_E = \frac{7,6}{\sqrt{\sin|\varphi|}} v_{10},$$

где φ – географическая широта места расчёта, град.; v_{10} – скорость ветра на высоте 10 м от уровня моря, м/с.

В этом случае величина дрейфа спиллетов относительно основного пятна определяется следующим образом:

$$u'(z) = \pm 0,00345 \cdot v_{10} \cdot \left(\frac{\pi}{2} + z \cdot \ln \left(\frac{z}{D_E} \right) \right); \quad (6)$$

$$v'(z) = -0,00345 \cdot v_{10} \cdot \left(1,154 + \ln \left(\frac{z}{D_E} \right) \right),$$

где u' – компонента скорости дрейфа, перпендикулярная направлению ветра; v' – компонента скорости дрейфа, сонаправленная с направлением ветра.

Дрейф отклоняется от направления ветра вправо в северном полушарии, чему соответствует знак «+» в правой части формулы для $u'(z)$ и влево – в южном, чему соответствует знак «–». Таким образом, в математической модели для дрейфа нефтяного пятна адаптирован и применён математический аппарат, использующийся в океанологии для определения показателей дрейфа морского течения. В разработанной модели асимптотическое решение Мадсена (6) было переработано и преобразовано Е.А. Чижовой-Ноткиной в формы, удобные для использования.

При достижении поверхности воды затопленные спиллеты присоединяются к основным спиллетам пятна. При этом первые, представляющие крупные капли нефти (размером более 1 мм), всплывают быстро и присоединяются к спиллетам «родительского» пятна, а мелкие капли при всплывании формируют тонкую плёнку в следе за пятном.

Таким образом, учёт данных особенностей позволяет скорректировать математическую модель взаимодействия нефтяного пятна с морской средой, определить её адекватность и получить более точные результаты, приближенные к реальности, способствующие более эффективному принятию решения при планировании мероприятий по реагированию на чрезвычайные ситуации, обусловленные разливами нефти и нефтепродуктов.

Список источников

1. Маценко С.В. Моделирование разливов нефти и нефтепродуктов // Государственное регулирование в области предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на море и внутренних акваториях: материалы науч.-практ. семинара / отв. ред. С.В. Маценко, Л.Г. Дунец. Новороссийск: МГА им. адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2009. С. 34–36.
2. Маценко С.В. Математические модели нефтяного загрязнения и его взаимодействия с окружающей средой и оборудованием по ликвидации разливов нефти // Проблемы эксплуатации водного транспорта и подготовки кадров на Юге России: материалы VIII Науч.-техн. конф.: в 2-х ч. Новороссийск: МГА им. адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2010. Ч. 1. С. 9–12.
3. Программно-аппаратный комплекс высокоточного обнаружения, идентификации, прогнозирования развития ситуации, оценки параметров разлива нефти и степени угроз окружающей среде, а также поддержки управленческих решений, направленных на принятие эффективных мер по ликвидации разливов нефти и минимизации экологического ущерба (ВТО РН и МЭУ): Итоговый научно-технический отчёт об опытно-конструкторской работе от 28 марта 2014 г., инв. № 12-112.14/3.1 номер отраслевой регистрации № 101212 от 1 апр. 2014 г.
4. Natural processes of spilled oil at surface and sub-surface shoreline sediment / Svein Ramstad, Jane Helen Carlsen Øksenvåg and Per Snorre Daling // Article in 2009 International Oil Spill Conference Proceedings. 2009. 9 p.
5. О роли ветрового волнения в процессе диспергирования нефтяного разлива в море / С.Н. Зацепа [и др.] // Океанология. 2018. Т. 58. № 4. С. 556–564.
6. Delvigne G.A., Sweeney C.E. Natural dispersion of oil. Oil and Chemical pollution. 1998. Vol. 4. pp. 281–310.
7. Merv F. Fingas. A Review of Natural Dispersion Models // Handbook of Oil Spill Science and Technology. John Wiley & Sons, Inc., 2015. pp. 487–494. DOI:10.1002/9781118989982.
8. Васильев М.П., Абиев Р.Ш. Диспергирование капель масла в воде в пульсационном аппарате проточного типа // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2014. № 23 (49). С. 66–68.
9. Varlamov S.M., Yoon J.-H., Nagaishi H., Abe K. Japan Sea oil spill analysis and quick response system with adaptation of shallow water ocean circulation model // Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University. 2000. № 118. pp. 9–22.
10. Васильев А.М. Оптимизация формул скорости свободного падения частиц при гравитационном обогащении руд // Маркшейдерия и недропользование. 2011. № 5 (55). С. 52–54.
11. Шулейкин В.В. Физика моря. 5-е изд. М.: ЛЕНАНД, 2014. 1096 с.
12. Madsen O.S. A realistic model of the wind-induced Ekman boundary layer // Journal of Physical Oceanography 7. 1977. 2 mar. pp. 248–255.
13. Крюков Н.Д., Шматов В.А. Учёт течений, генерируемых ветром, при плавании судов // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. Вып. 3 (31). С. 23–29.
14. Крюков Н.Д., Шматов В.А. Обзор исследований поверхностных течений, генерируемых ветром // Евразийский союз ученых. 2015. № 6-2 (15). С. 109–113.

References

1. Macenko S.V. Modelirovanie razlivov nefti i nefteproduktov // Gosudarstvennoe regulirovanie v oblasti preduprezhdeniya i likvidacii razlivov nefti i nefteproduktov na more i vnutrennih akvatoriyah: materialy nauch.-prakt. seminarov / otv. red. S.V. Macenko, L.G. Dunec. Novorossiysk: MGA im. adm. F.F. Ushakova, 2009. S. 34–36.
2. Macenko S.V. Matematicheskie modeli neftyanogo zagryazneniya i ego vzaimodeystviya s okruzhayushchej sredoj i oborudovaniem po likvidacii razlivov nefti // Problemy ekspluatatsii vodnogo transporta i podgotovki kadrov na Yuge Rossii: materialy VIII Nauch.-tekhn. konf.: v 2-h ch. Novorossiysk: MGA im. admirala F.F. Ushakova, 2010. Ch. 1. S. 9–12.
3. Programmno-apparatnyj kompleks vysokotochnogo obnaruzheniya, identifikacii, prognozirovaniya razvitiya situacii, ocenki parametrov razliva nefti i stepeni ugroz okruzhayushchej srede, a takzhe podderzhki upravlencheskih reshenij, napravlennyh na prinyatie effektivnyh mer po likvidacii razlivov nefti i minimizacii ekologicheskogo ushcherba (VTO RN i MEU): Itogovyj nauchno-tekhnicheskij otchyot ob opytno-konstruktorskoj rabote ot 28 marta 2014 g., inv. № 12-112.14/3.1 nomer otraslevoj registracii № 101212 ot 1 apr. 2014 g.
4. Natural processes of spilled oil at surface and sub-surface shoreline sediment / Svein Ramstad, Jane Helen Carlsen Øksenvåg and Per Snorre Daling // Article in 2009 International Oil Spill Conference Proceedings. 2009. 9 p.
5. O roli vetrovogo volneniya v processe dispergirovaniya neftyanogo razliva v more / S.N. Zacepa [i dr.] // Okeanologiya. 2018. T. 58. № 4. S. 556–564.
6. Delvigne G.A., Sweeney C.E. Natural dispersion of oil. Oil and Chemical pollution. 1998. Vol. 4. pp. 281–310.
7. Merv F. Fingas. A Review of Natural Dispersion Models // Handbook of Oil Spill Science and Technology. John Wiley & Sons, Inc., 2015. pp. 487–494. DOI:10.1002/9781118989982.
8. Vasil'ev M.P., Abiev R.Sh. Dispergirovanie kapel' masla v vode v pul'sacionnom apparate protochnogo tipa // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta). 2014. № 23 (49). C. 66–68.
9. Varlamov S.M., Yoon J.-H., Nagaishi H., Abe K. Japan Sea oil spill analysis and quick response system with adaptation of shallow water ocean circulation model // Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University. 2000. № 118. pp. 9–22.
10. Vasil'ev A.M. Optimizaciya formul skorosti svobodnogo padeniya chastic pri gravitacionnom obogashchenii rud // Markshejderiya i nedropol'zovanie. 2011. № 5 (55). S. 52–54.
11. Shulejkin V.V. Fizika morya. 5-e izd. M.: LENAND, 2014. 1096 s.
12. Madsen O.S. A realistic model of the wind-induced Ekman boundary layer // Journal of Physical Oceanography 7. 1977. 2 mar. pp. 248–255.
13. Kryukov N.D., Shmatkov V.A. Uchyot techenij, generiruemyh vetrom, pri plavanii sudov // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova. 2015. Vyp. 3 (31). S. 23–29.
14. Kryukov N.D., Shmatkov V.A. Obzor issledovanij poverhnostnyh techenij, generiruemyh vetrom // Evrazijskij soyuz uchenyh. 2015. № 6-2 (15). S. 109–113.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 15.01.2022; одобрена после рецензирования: 20.02.2022;
принята к публикации: 28.02.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 15.01.2022; approved after review: 20.02.2022;
accepted for publication: 28.02.2022

Сведения об авторах:

Сергей Валентинович Маценко, генеральный директор АО «ЮжНИИМФ» (353900, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Революции 1905 г., наб. им. адмирала Серебрякова, д. 1/5), кандидат технических наук, e-mail: msv@ujnimf.ru

Елена Алексеевна Чижова-Ноткина, независимый эксперт АО «ЮжНИИМФ» (353900, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Революции 1905 г., наб. им. адмирала Серебрякова, д. 1/5), кандидат физико-математических наук

Яна Юрьевна Блиновская, профессор Дальневосточной пожарно-спасательной академии – филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 27), доктор технических наук, профессор, e-mail: blinovskaya@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3137-0835>

Information about authors:

Sergey V. Matsenko, general director of JSC YuzhNIIMF (353900, Krasnodar territory, Novorossiysk, St. Revolution 1905 / Admiral Serebryakova embankment, 1/5), candidate of technical sciences, e-mail: msv@ujnimf.ru

Elena A. Chizhova-Notkina, independent expert of JSC YuzhNIIMF (353900, Krasnodar territory, Novorossiysk, St. Revolution 1905 / Admiral Serebryakova embankment, 1/5), candidate of physical and mathematical sciences

Yana Yu. Blinovskaya, professor of Far Eastern fire and rescue academy – a branch of St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (690922, Vladivostok, Russky Island, Ayaks village, 27), doctor of technical sciences, professor, e-mail: blinovskaya@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3137-0835>

УДК 004.94

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РАБОТ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ФРОНТА ПАРЕТО

Екатерина Борисовна Доронина.**НОЦ ВКО «Алмаз-Антей», г. Севастополь, Россия.****Александр Владимирович Скатков**✉.**Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия**✉doka0605@yandex.ru

Аннотация. Предлагается подход к решению задачи многокритериальной оптимизации обслуживания (ремонтно-профилактических работ) сложной технической аппаратуры на основе применения нестационарного фронта Парето, предложена классификация задач многокритериальной оптимизации: с критическим временем, с точкой невозврата, по сценарию упущенных возможностей, что дало возможность получить сценарии обслуживания. Приводятся результаты моделирования, отражающие возможность принятия решений по выбору квазиоптимальных вариантов состава ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры. Целью работы является формулировка принципа решения задачи многокритериальной оптимизации ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры на основе применения нестационарного фронта Парето, что позволит учесть случаи значительного изменения условий реализации процесса обслуживания в течение заданных временных промежутков.

Ключевые слова: сложная техническая аппаратура, техническое обслуживание и ремонт, ремонтно-профилактические работы, планирование технического обслуживания, нестационарный фронт Парето

Для цитирования: Доронина Е.Б., Скатков А.В. Многокритериальная оптимизация ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры на основе нестационарного фронта Парето // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 1. С. 52–64.

MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF REPAIR AND MAINTENANCE WORK OF COMPLEX TECHNICAL EQUIPMENT BASED ON THE UNSTEADY PARETO FRONT

Ekaterina B. Doronina. NOC VKO «Almaz-Antey», Sevastopol, Russia.**Aleksandr V. Skatkov**✉. Sevastopol state university, Sevastopol, Russia✉doka0605@yandex.ru

Abstract. An approach to solving the problem of multi-criteria optimization of maintenance (repair and preventive maintenance) is proposed. Based on the application of a non-stationary Pareto front, the classification of multi-criteria optimization problems is proposed: with a critical time, with a point of no return, according to the scenario of missed opportunities, which made it possible to obtain service scenarios. The results of modeling are presented, reflecting the possibility of making decisions on the choice of quasi-optimal variants of the composition of repair and maintenance work of complex technical equipment. The aim of the work is to formulate the principle of solving the problem of multi-criteria optimization of the presentation of a complex of repair and maintenance works of complex technical equipment based on the use of a non-stationary Pareto front, which will allow taking into account cases of significant changes in the conditions for the implementation of the service process during specified time intervals.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

Keywords: complex technical equipment, maintenance and repair, repair and maintenance work, maintenance planning, non-stationary Pareto front

For citation: Doronina E.B., Skatkov A.V. Multi-criteria optimization of repair and maintenance work of complex technical equipment based on the unsteady Pareto front // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 52–64.

Введение

При планировании процесса ремонтно-профилактических работ (РПР) сложной технической аппаратуры (СТА) возникает ряд проблем:

- необходимость выполнения комплекса регламентных технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или исправности при использовании по назначению, при ожидании, хранении и транспортировке СТА;
- техническое обслуживание и ремонт СТА могут быть как плановыми, так и внеплановыми, то есть выполняемыми не в соответствии с регламентом;
- нерегулируемый процесс обслуживания СТА может быть реализован в условиях дефицита времени, ресурсов или специальной постановки задачи особых регламентных работ;
- источниками неопределенности РПР являются составной характер операций, вариабельность условий и сред реализации обслуживания СТА.

В этих или подобных случаях целесообразно выбирать только те операции, которые являются основными, наиболее подходящими в данных условиях. Совокупность требуемых операций также может определяться последовательностью выполнения или составом, который в определенных случаях перегруппирован или распараллелен. Возникает неопределенность планирования РПР, причем в ряде случаев эта неопределенность зависит от периода времени (например, относительно начала РПР в особых условиях).

Таким образом, представляется важным иметь рычаги управления РПР в изменяемых условиях на основе многокритериальной оптимизации, что обусловлено особенностями решаемых задач восстановления или проверки работоспособности СТА.

Обзор существующих исследований в области оптимизации ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры с учетом нестационарности требований

Существующие исследования в области оптимизации планов РПР в основном опираются на сетевые модели и детерминированный характер процессов обслуживания [1–4].

В ряде источников часто используются экономические и статистические модели, где критериями оптимизации являются максимизация функции доступности и минимизация времени простоя и удельных затрат РПР [1, 2–4]. Этот объясняется применимостью для непрерывных производственных процессов при детерминированных планах РПР. Использование моделей оптимизации предполагает отход от этого принципа, и их эффективность выражается в снижении затрат на слияния и поглощения на несколько десятков процентов [8, 5–11].

В работе [4] приводится принцип РПР, применяемый для некритичных, но частых сбоев, при котором обнаруженный в процессе контроля дефектный элемент СТА будет заменен в случае проверки на основе модели Диллона.

В некоторых исследованиях [12, 13] авторы постулируют идею о том, что принципы строгого регулирования структуры и продолжительности ремонтного цикла оказывают негативное влияние на эффективность системы технического обслуживания и ремонта, продолжительность ремонтного цикла должна быть разной даже в рамках одной модели

элементов СТА. В этой связи построение планов РПР проблематично, но наиболее эффективно.

В источниках [5, 8, 14, 15] рекомендовано корректировать систему технического обслуживания и ремонта, разработанную при проектировании машин, во время эксплуатации из-за неопределенностей при эксплуатации СТА и случайного изменения их технического состояния, то есть при планировании РПР целесообразно учитывать фактор времени.

В работе [9] рассмотрена модель планирования на основе классификации ремонтов на плановые и неплановые, учитывается, что элементы системы связи и радиотехнического обеспечения полётов относятся к классу элементов с возрастающей функцией интенсивности отказов, аппроксимирующей линейной функцией времени:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + kt,$$

где λ_0 – начальное значение интенсивности отказов элементов; k – коэффициент, определяющий интенсивность старения элементов.

Для минимизации сроков ремонтов учитываются удельные затраты C_1 выражения:

$$Q = \sqrt{k(C_0 + C_{\Pi})},$$

где C_0 – затраты на ремонт в случае отказа; C_{Π} определяет затраты на плановый ремонт. Предложенный в работе метод позволяет планировать интенсивности ремонтов, но не учитывает ряд описанных выше неопределенностей, связанных с изменением задач в ходе обслуживания СТА.

В работе [10] предложен метод планирования применения перспективных средств технического обслуживания и войскового ремонта (ТО и ВР) вооружения и военной техники противовоздушной обороны в зоне ответственности, где показано, что «разрабатываемые в настоящее время комплексы унифицированных средств ТО и ВР (КУСТО и ВР) Головное производственно-техническое предприятие «Гранит» воплотили в себе передовые технологии и должны заменить парк устаревших средств» [10, с. 50]. В задаче требуется определить план (Y) применения КУСТО и ВР (P), обеспечивающие минимизацию простоев (Z) вооружения и военной техники (S) в зоне ответственности.

При сложном виде целевой функции Z авторы предлагают приближенный алгоритм оптимизации плана $Y(P, S)$, что относится к сформулированному выше виду задачи детерминированного типа.

Обзор исследований в области анализа эффективности планирования процессов РПР СТА в отдельных смежных областях позволяет сделать заключение о том, что нестационарность процессов РПР СТА, обусловленная в том числе неопределенностью отдельных задач, не может быть учтена без вмешательства лица, принимающего решения (ЛПР), на некоторых этапах процесса, что также приводит к необходимости применения интерактивных методов принятия решений [11, 16, 17].

С целью решения задачи нахождения области решений, определяющих эффективные последовательности операций РПР на основе многокритериальной оптимизации необходимо получение так называемых Парето-оптимальных вариантов [16–18].

Решением задачи многокритериальной оптимизации является Парето-множество $S \subset \Omega$ всех Парето-оптимальных допустимых точек, которые не доминируются никакими другими допустимыми точками. Парето-множеству S соответствует Парето-фронт $P = f(S)$ (представляющий собой образ Парето-множества в пространстве целевых функций) [19, 20].

Таким образом, в отличие от однокритериальной задачи, в качестве решений находится не одна точка, а множество точек, что представляет собой в общем случае сужение множества допустимых решений для ЛПР [21–23].

Для задач, когда изменения множества точек принятия решений в течение заданного промежутка времени значительно, принятие решений ЛПР проблематично. В связи с этим актуальной является исследование с учетом динамичности фронта Парето.

Цель статьи: сформулировать принцип решения задачи многокритериальной оптимизации представления комплекса ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры на основе применения нестационарного фронта Парето, что позволит учесть случаи значительного изменения условий реализации процесса обслуживания в течение заданных временных промежутков.

Постановка задачи

Под планом РПР СТА понимается совокупность действий, направленных на осуществление технического обслуживания, ремонта и профилактики сложной технической аппаратуры, то есть план – это последовательность операций, необходимых при обслуживании сложной технической аппаратуры:

$$(O_1, O_2, \dots, O_J), j = \overline{1, J}.$$

В связи с тем, что последовательность операций, их длительность и важность в определенных случаях могут быть различными, формируется множество последовательностей операций для одного объекта (множество вариантов планов), $v_m \in V$.

Формирование совокупности операций в плане реализуется на основе бинарного вектора $x = \langle x_1, \dots, x_J \rangle$, построенного на основе булевых переменных, равных единице, если осуществляется j -й вариант выполнения операций, и равных нулю в противном случае. Например, запись $x = \langle 1 \ 0 \ 1 \ 1 \rangle$ означает, что для последовательности из четырех операций в плане x вторая операция отсутствует.

Сформированный в процессе РПР план как некоторая последовательность операций реализуется на основе некоторой технологии $\omega_k \in \Omega$, $o_i \rightarrow \omega_k, i = \overline{1, I}, k = \overline{1, K}$. Множество технологий Ω формируется для каждого РПР и, например, может описывать различные способы РПР: испытательные стенды, протоколы, ремонтные ведомости, замена элемента, полная замена оборудования. Ремонт своими силами, ремонт подрядчиком и т.п.

Запишем совокупность вариантов планов как матрицу технологий:

$$X_\omega = \begin{matrix} & \begin{matrix} v1 & & & vn \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_{11} \cdot \omega_{11} & \dots & x_{1J} \cdot \omega_{1J} \\ \dots & x_{ij} \cdot \omega_{ij} & \dots \\ x_{1n} \cdot \omega_{1n} & \dots & x_{Jn} \cdot \omega_{Jn} \end{matrix} \end{matrix}. \quad (1)$$

Например, матрица (1), заполненная по некоторому РПР, который сформирован на трех вариантах планов, причем в первом плане отсутствует вторая операция, а в третьем варианте отсутствует третья операция, имеет вид:

$$X_\omega = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & & v_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \omega_{11} & 0 & \omega_{13} \\ \omega_{12} & \omega_{22} & \omega_{23} \\ \omega_{13} & \omega_{23} & 0 \end{matrix} \end{matrix}.$$

Многокритериальная оптимизация поиска квазиоптимального комплекса РПР для некоторых параметров процесса решается в следующем выбранном критериальном пространстве: I_v, O_v, R_v – стоимость, оперативность и ресурсоемкость соответственно.

Обозначим множество допустимых значений аргументов критериальной функции РПР СТА: $D \subset \{I_v, O_v, R_v\}$.

В области D определяется подлежащая оптимизации критериальная функция:

$$W_v < I_v, O_v, R_v > ,$$

где $v \in V$ – варианты планов РПР; I_v – метрика стоимости v -го варианта плана; O_v – метрика оперативности v варианта плана; R – метрика ресурсов, необходимых для реализации РПР СТА по v варианту плану.

Значение целевых функций представляет собой сумму затрат на проведение РПР СТА, сумму времен осуществления РПР СТА и суммарную информативность РПР СТА соответственно с ограничениями на сроки реализации процесса и требуемого уровня результатов РПР (отклонений от заданных характеристик):

$$F_j(x_{ij}) = \sum_{j=1}^J c(x_{ij}\omega_{ij})_{ij}; D_j(x_{ij}) = \sum_{j=1}^J t_{ij}(x_{ij}\omega_{ij}); S_j(x_{ij}) = \sum_{j=1}^J h_{ij}(x_{ij}\omega_{ij}),$$

где c_{ij} – стоимость технологии j операции в i варианте плана РПР: $\omega_j \in \Omega$, $c_{ij} > 0$; h_{ij} – ресурсоемкость технологии j операции в i варианте плана РПР: $\omega_j \in \Omega$; t_{ij} – время, требуемое на выполнение технологии j операции в i варианте плана РПР, $t_{ij} > 0$; i – номер варианта, $i = \overline{1, I}$; j – номер операции РПР, $x_{ij} \in \{1, 0\}$.

Пусть существует x_0 такое, которое обеспечивает минимум функциям $F_j(x_{ij})$, $D_j(x_{ij})$, $S_j(x_{ij})$ требуется найти:

$$\begin{aligned} x_{ij}^1 &= \arg \min_{x_{ij} \in X} F_j(x_{ij}) = \arg \min_{x_{ij} \in X} \left(\sum_{j=1}^J c_{ij} x_{ij} \right), \\ x_{ij}^2 &= \arg \min_{x_{ij} \in X} D_j(x_{ij}) = \arg \min_{x_{ij} \in X} \left(\sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \right), \\ x_{ij}^3 &= \arg \min_{x_{ij} \in X} S_j(x_{ij}) = \arg \min_{x_{ij} \in X} \left(\sum_{j=1}^J h_{ij} x_{ij} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

при условиях:

$$H_{min} \leq h_{ij} \leq H_{max}, T_{max} \geq t_{ij}, C_{max} \geq c_{ij}. \quad (3)$$

Условия (3) формулируют ограничения на критические значения стоимости I_{min} , оперативности O_{min} и ресурса R для РПР, выраженных в виде h_{ij} , времени реализации операций t_{ij} , физического ресурса C_{max} и определяются конкретными задачами и особенностями СТА.

В случае, когда $x_{ij}^1 = x_{ij}^2 = x_{ij}^3$, задача имеет единственное решение, в общем случае имеем Парето-оптимальное решение.

Предположим, что ресурс, требующийся для реализации i операции по $\omega_j \in \Omega$ – технологии может быть двух видов: ω_j^1, ω_j^2 – за счет собственных средств и с привлечением дополнительных средств соответственно:

$$r_{ij}^1 = c_{ij}(x_{ij} \cdot \omega_{ij}^1); t_{ij}(x_{ij} \cdot \omega_{ij}^1); r_{kl}^2 = c_{kl}(x_{kl} \cdot \omega_{kl}^2); t_{kl}(x_{kl} \cdot \omega_{kl}^2).$$

В этом случае имеем траекторию в координатном пространстве «время–стоимость», рис. 1.

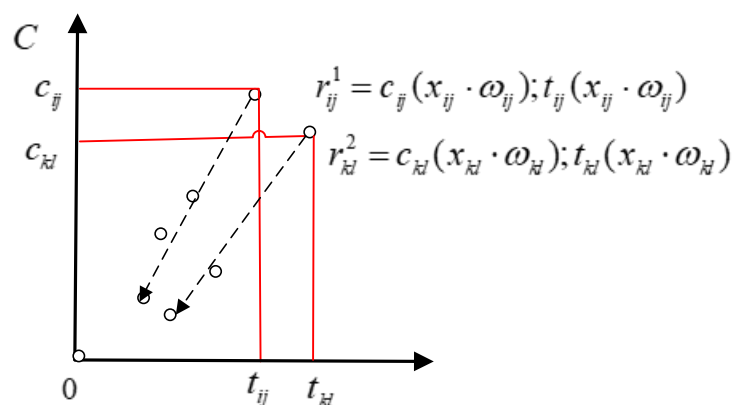


Рис. 1. Схема принятия решений для двух типов ресурса

Таким образом, имеем двухэтапную задачу: 1 – дискретная постановка в форме множества вариантов решений, матрица (1) и 2 – ввод непрерывной составляющей в виде изменяющихся ресурсов (на основе технологий ω_j^1, ω_j^2). Это позволяет осуществить переход к фронту Парето.

Для нахождения фронта Парето по критериальной функции $W_v < I_v, O_v, R_v >$ применим принцип нахождения границы Парето, включающей в себя точки x , удовлетворяющие условиям:

$$P(X) = \{x \in X: \{x' \in X: x' > x\} = \emptyset\}.$$

При решении задачи двухкритериальной оптимизации РПР СТА описание фронта Парето (ФП) при отыскании согласованного оптимума (сильного оптимума Парето) опирается на следующие соотношения [19]. Справедливо условие касания поверхностей уровня $h_1(x)=b_1, h_2(x)=b_2$, порождающее соответствующую систему линейных уравнений относительно переменных λ . Градиенты в точках соприкосновения задаются формулами:

$$\text{grad } h_1(x) = -\lambda \text{grad } h_2(x), \quad (4)$$

и n скалярные алгебраические уравнения, равносильные (2):

$$\frac{\partial h_1(x)}{\partial x_j} = -\lambda \frac{\partial h_2(x)}{\partial x_j}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Уравнение (5) определяет кривую в пространстве параметров: $x_1 = \phi_1(\lambda), \dots, x_n = \phi_n(\lambda)$. Если участок этой кривой, на котором $\lambda \geq 0$ принадлежит множеству допустимых параметров X , то он принадлежит и Парето-множеству E . На выбор наилучшего сценария РПР влияет множество факторов, причем временные диапазоны влияния значительно определяют их изменчивость.

Для интервалов наблюдения $t_{ij}, t_{kl} \in T$, требуемых для принятия решений ЛПР, и с учетом выражения (4), получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \text{grad } h_1(x, t_{ij}) = -\lambda \text{grad } h_2(x, t_{ij}), \\ \text{grad } h_1(x, t_{kl}) = -\lambda \text{grad } h_2(x, t_{kl}). \end{cases}$$

Представим выпуклый нестационарный фронт Парето (НФП) как дуги окружности радиуса r , рис. 2 а.

В предположении, что изменение радиуса R окружности Парето реализуется по закону синуса, получим: $R_1 = \frac{a}{2 \sin A}$, $R_2 = \frac{a}{2 \sin B}$. С учётом динамики изменения радиуса окружности решается задача нахождения $\max R_1 h_2$.

Для прямоугольного треугольника радиуса R_1 и $\angle C = 90^\circ$ катет BC равен значению критерия h_1 , а точка C (вершина C) соответствует значению критерия h_2 в исследуемый момент времени t_1 , рис. 2 б. Для выпуклой области производные по времени от радиусов равны $\frac{dR_1}{dt} = 0$, $\frac{dR_2}{dt} = 0$.

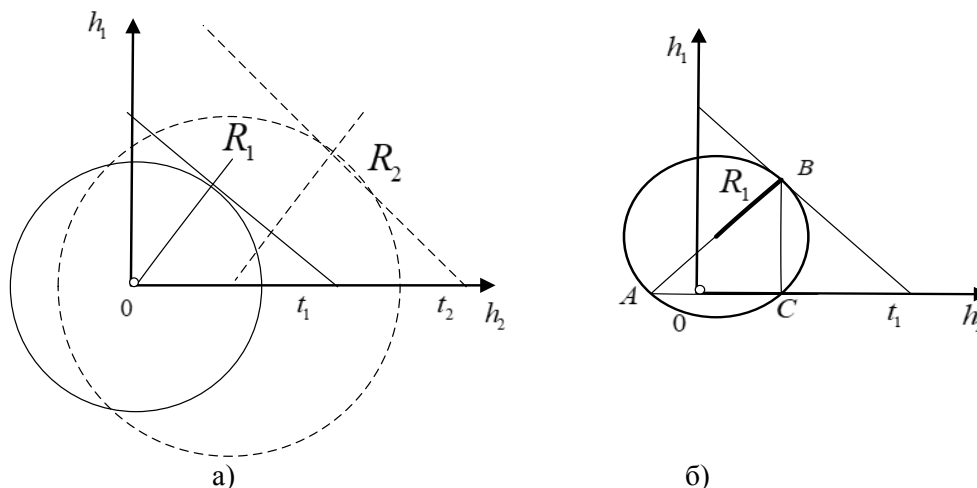


Рис. 2. Представление выпуклого НФП: а) дугами окружности радиусов R_1 и R_2 для временных диапазонов t_1 , t_2 ; б) дугой описанной окружности и касательной к ней в точке B , при решении задачи многокритериальной оптимизации РПР СТА

Классификация некоторых задач многокритериальной оптимизации обслуживания СТА на основе применения НФП

1. НФП с критическим временем. Задача формулируется следующим образом: найти время принятия решений при условии, что есть ограничение на это время, то есть существует предел $\lim_{t \rightarrow t_{\max}} z$, где z – решение; $t_{\max}$ – критическое время принятия решения.

2. НФП с точкой невозврата. Задача формулируется следующим образом: найти область решений при условии единственности этого решения, то есть существует предел времени принятия решения и это решение критично (по отношению к задаче, параметрам I_v , O_v , R_v).

3. НФП в сценарии упущенных возможностей. Ставится задача найти точку невозврата, так как при $t=t_k$ решение задачи будет неактуальным. Если на кривой Парето построить производную по направлению и градиент, он ортогонален к линиям уровня. Если эта производная уменьшается, то момент принятия решения будет упущен.

Предлагаемая классификация позволяет сформировать множество типовых задач, представляющих определенные, наиболее важные случаи при реализации РПР СТА и создания системы поддержки принятия решений на их основе.

Результаты моделирования решений представления комплекса РПР СТА на основе применения фронта Парето

Предположим, что объект СТА требует нескольких видов ремонта: легкого, среднего, капитального, для каждого из видов ремонта существует определенный сценарий ремонта и профилактики. Состояния объекта неизвестны, и в зависимости от них имеется свой

профиль Парето. Фрагмент моделирования множества точек по постановке задачи 1 (НФП с критическим временем) приведен в таблице.

Таблица. Фрагмент результатов моделирования решений по представлению комплекса операций обслуживания СТА для задачи «с критическим временем»

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
O1	0,13	0,24	0,26	0,4	0,25	0,32	0,46	0,67	0,31	0,53	0,8	0,6	0,26	0,7
R1	0,54	0,82	0,59	0,75	0,53	0,56	0,82	0,44	0,61	0,38	0,63	0,16	0,42	0,35
O2	0,45	0,44	0,26	0,4	0,48	0,5	0,39	0,79	0,3	0,5	0,39	0,55	0,26	0,33
R2	0,6	0,57	0,55	0,74	0,34	0,56	0,52	0,22	0,45	0,37	0,6	0,36	0,64	0,35

На рис. 3 представлены результаты моделирования НФП по постановке задачи 1 (НФП с критическим временем) при детерминированном показателе информативности и двух сценариях РПР: 1 – легкий; 2 – средний (без привлечения дополнительных ресурсов). Сценарий 1 предусматривает РПР с набором базовых операций и предназначен для применения в условиях крайнего дефицита времени; сценарий 2 предназначен для применения в условиях крайнего дефицита ресурсов.

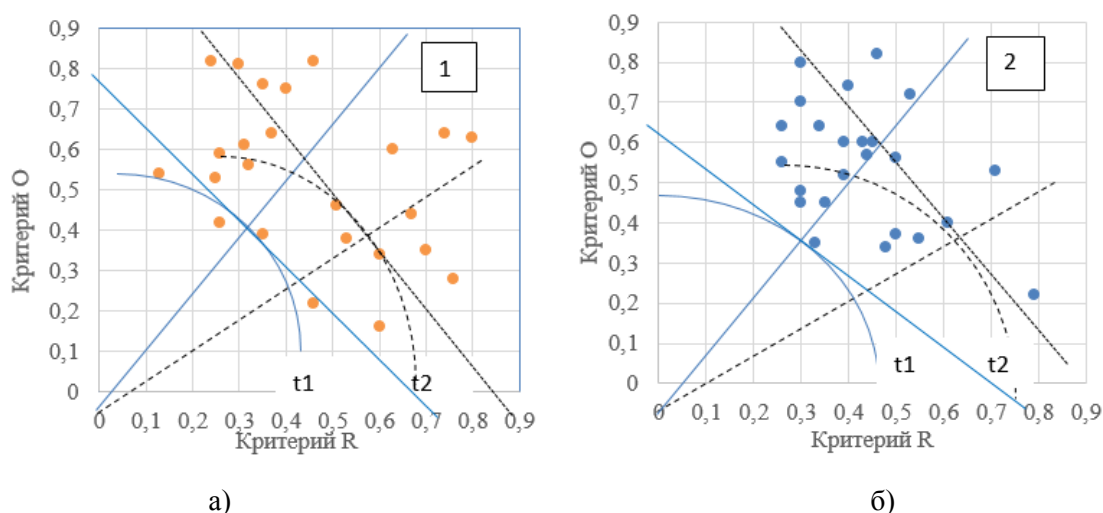


Рис. 3. Результаты моделирования значений целевых функций по постановке задачи 1: а) по сценарию 1; б) по сценарию 2

Представленные результаты моделирования значений целевых функций по постановке задачи 1 отражают значительные отличия в решениях относительно времен t_1 и t_2 в рамках соответствующих НФП. На рис. 3 а можно видеть, что общее число точек, лежащих на фрагментах окружностей, построенных для t_1 и t_2 различно, а, следовательно, Парето-оптимальные решения для сценария 1 не детерминированы и фронт Парето «дрейфует».

Решения, приведенные на рис. 3 б по сценарию 2 отражают ситуацию, когда для искомого времени t_1 имеется одно решение, а для t_2 – уже несколько, то есть при дефиците ресурсов следует учитывать момент времени РПР СТА. Для подобных ситуаций применимо описание задачи в виде паттернов, что означает формирование спецификаций сценариев РПР.

Полученные результаты могут быть использованы для поддержки принятия решений по формированию оптимального представления комплекса РПР электронных модулей (ЭМ) СТА по различным сценариям, например, в условиях дефицита времени или ресурсов.

На рис. 4 приведена укрупненная схема системы поддержки принятия решений (СППР) по представлению комплекса РПР СТА с учетом нестационарного фронта Парето.

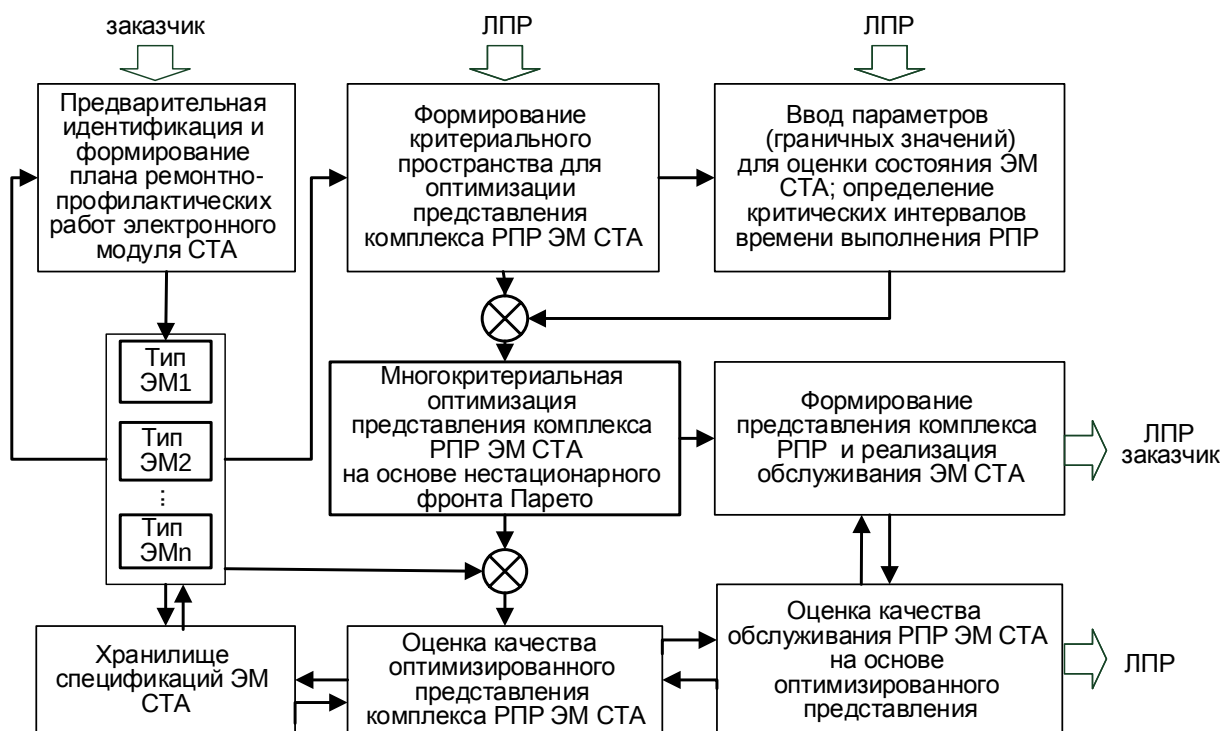


Рис. 4. Укрупненная схема системы поддержки принятия решений по представлению комплекса РПР СТА на основе применения фронта Парето

Особенностями представленной на рис. 4 укрупненной схемы СППР являются:

- учёт существующей нестационарности фронта Парето при осуществлении многокритериальной оптимизации представления комплекса операций РПР ЭМ СТА, спецификации типов которых находятся в специальном хранилище;
- учёт двухуровневого оценивания качества решений: оптимизации представления комплекса операций РПР ЭМ СТА и осуществления обслуживания как решения задачи заказчика по текущему экземпляру ЭМ СТА.

Заключение

При принятии решений в области оптимального выбора последовательности и состава операций РПР СТА в изменяющихся условиях известные стационарные методы многокритериальной оптимизации не всегда работают, особенно в условиях неопределенности. Например, при изменчивости процесса обслуживания (РПР) СТА целесообразно применение нестационарного фронта Парето.

В статье сформулировано описание этого подхода и предложена каркасная классификация отражающих особенности постановок задач ЛПР.

Принцип применения НФП реализуется в области нестационарных целевых функций, когда фронт решений дрейфует, причем этот дрейф определяется условиями осуществления РПР СТА, видом РПР, типом ЭМ СТА.

Результаты моделирования, отражают возможность принятия решений по выбору квазиоптимальных вариантов состава ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры. Дальнейшие исследования авторов предполагаются в формулировке других случаев и сценариев применения предложенного подхода и моделировании области решений.

Список источников

1. Company life cycle model: The influence of interior and exterior factors / O. Malafeyev [et al.] // AIP Conference Proceedings 2293:1, 420027. Online publication date: 25-Nov-2020.
2. Соловейчик К.А., Левенцов В.А., Сафронова Е.М. Модель планирования технического обслуживания оборудования // Организатор производства. 2019. Т. 27. № 3. С. 69–78. DOI: 10.25987/VSTU.2019.47.73.006.
3. Damilare T.O., Olasunkanmi O.A. Development of Equipment Maintenance Strategy for Critical Equipment // The Pacific Journal of Science and Technology. 2010. № 1. С. 328–342.
4. Rezaei E., Imani D.M. A New Modeling of Maintenance Risk Based inspection interval Optimization with fuzzy failure interaction for Two-component Repairable system // Indian Journal Of Natural Sciences. 2015. Vol. 6. № 31. P. 9003–9017.
5. Арепин Ю.И., Смоляков А.А., Допира Р.В. Военная кибернетика: методология создания автоматизированных систем управления техническим обеспечением: монография. Тверь: ЗАО НИИ «Центрпрограммсистем», 2006. 204 с.
6. Федотов А.В., Иванов П.С. Подход к построению имитационной модели системы технического обслуживания и ремонта военных приборов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 5. С. 277–283.
7. Безуглов А., Кислицына О. Ключевые показатели эффективности при проведении технического обслуживания и ремонта оборудования // Russian Journal of Innovation Economics. 2019. 9. 1501. 10.18334/vines.9.4.41208.
8. Буренок В.М. Проблемы создания системы управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика: электронный научный журнал. 2014. № 2 (27). С. 4–10.
9. Алексеев В.В., Хоменко И.В., Прохорский Р.А. Модели планирования ремонтов и замен элементов в процессе жизненного цикла сложных технических систем // Вестник Воронежского института МВД России. 2011. № 3. С. 94–102.
10. Методика построения и расчета интегрированной динамической сетевой модели процессов технического обслуживания и войскового ремонта образцов вооружения и военной техники воздушно-космических сил / Д.В. Ягольников [и др.] // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. № 9 (5). С. 26–32.
11. Метод планирования применения перспективных средств войскового ремонта и технического обслуживания вооружения и военной техники противовоздушной обороны в зоне ответственности / Р.В. Допира [и др.] // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. № 8 (S1). С. 49–53.
12. Chang, Chin-Chih. Optimum Preventive Maintenance Policies for Systems Subject to Random Working Times, Replacement, and Minimal Repair // Computers & Industrial Engineering 67 (January 2014): 185–194. doi:10.1016/j.cie.2013.11.011.
13. Knopik Leszek, Klaudiusz Migawa // Semi-Markov System Model for Minimal Repair Maintenance // Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability 21 № 2 (March 22, 2019): 256–260. doi:10.17531/ein.2019.2.9.
14. Marco E., Lazoi M., Margarito A., and Quarta L. Innovating the Maintenance Repair and Overhaul Phase through Digitalization // Aerospace 2019. № 5 (May 9): 53. doi:10.3390/aerospace6050053.
15. Винник А.И., Макаренко Н.Г., Шаргаев А.А. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта бронетанкового вооружения и техники // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 4 (50). С. 7–13.
16. Eskelinen P., Miettinen K. Trade-off analysis approach for interactive nonlinear multiobjective optimization // OR Spectrum. 2012. Vol. 34. № 4. P. 803–816. DOI: 10.1007/s00291-011-0266-z.
17. Кривулин Н.К., Цобенко М.А. Решение двухкритериальной задачи оценки альтернатив с помощью тропической оптимизации // КИО. 2019. № 4. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-dvuhkriterialnoy-zadachi-otsenki-alternativ-s-pomoschyu-tropicheskoy-optimizatsii> (дата обращения: 15.08.2021).

18. Miettinen K., Ruiz F., Wierzbicki A.P. Introduction to Multiobjective Optimization: Interactive Approaches // In: Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches / ed. by J. Branke, K. Deb, K. Miettinen, R. Slowin'ski. Springer Berlin Heidelberg, 2008. P. 27–57. DOI: 10.1007/978-3-540-88908-3_2.

19. Романова И.К. Постановка задачи управления фронтом Парето и ее решение в анализе и синтезе оптимальных систем // Машиностроение и компьютерные технологии. 2015. № 8. pp. 140–170.

20. Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches / ed. by J. Branke, K. Deb, K. Miettinen, R. Slowin'ski. Springer Berlin Heidelberg, 2008. 481 p. DOI: 10.1007/978-3-540-88908-3.

21. Mahmoud Samadi, Ali Barootiha, Mohsen Rahmani, Ali Taherkhani. Pareto Optimal Robust Feedback Linearization Control of a Nonlinear System with Parametric Uncertainties // Journal of Basic and Applied Scientific Research. 2013. Vol. 3. pp. 91–95.

22. Calandra R., Peters J., Deisenrothy M.P. Pareto Front Modeling for Sensitivity Analysis in Multi-Objective Bayesian Optimization // NIPS Workshop on Bayesian Optimization. 2014. 5 p. URL: <http://www.ias.tu-darmstadt.de/uploads/Publications/Calandra-NIPS2015-bayesopt.pdf>, accessed 20.01.2021.

23. Hendriks M., Geilen M., Basten T. Pareto Analysis with Uncertainty: ESR-2011-01 // Eindhoven University of Technology. 2011. 8 p. URL: <http://www.es.ele.tue.nl/esreports/esr-2011-01.pdf>, accessed 22.01.2021.

References

1. Company life cycle model: The influence of interior and exterior factors / O. Malafeyev [et al.] // AIP Conference Proceedings 2293:1, 420027. Online publication date: 25-Nov-2020.

2. Solovejchik K.A., Levencov V.A., Safronova E.M. Model' planirovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya oborudovaniya // Organizator proizvodstva. 2019. T. 27. № 3. S. 69–78. DOI: 10.25987/VSTU.2019.47.73.006.

3. Damilare T.O., Olasunkanmi O.A. Development of Equipment Maintenance Strategy for Critical Equipment // The Pacific Journal of Science and Technology. 2010. № 1. S. 328–342.

4. Rezaei E., Imani D.M. A New Modeling of Maintenance Risk Based inspection interval Optimization with fuzzy failure interaction for Two-component Repairable system // Indian Journal Of Natural Sciences. 2015. Vol. 6. № 31. R. 9003–9017.

5. Arepin Yu.I., Smolyakov A.A., Dopira R.V. Voennaya kibernetika: metodologiya sozdaniya avtomatizirovannyh sistem upravleniya tekhnicheskim obespecheniem: monografiya. Tver': ZAO NII «Cenrtprogrammsistem», 2006. 204 s.

6. Fedotov A.V., Ivanov P.S. Podhod k postroeniyu imitacionnoj modeli sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta voennyh priborov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016. № 5. S. 277–283.

7. Bezuglov A., Kislicyna O. Klyuchevye pokazateli effektivnosti pri provedenii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya // Russian Journal of Innovation Economics. 2019. 9. 1501. 10.18334/vinec.9.4.41208.

8. Burenok V.M. Problemy sozdaniya sistemy upravleniya polnym zhiznennym ciklom vooruzheniya, voennoj i special'noj tekhniki // Vooruzhenie i ekonomika: elektronnyj nauchnyj zhurnal. 2014. № 2 (27). S. 4–10.

9. Alekseev V.V., Homenko I.V., Prohorskiy R.A. Modeli planirovaniya remontov i zamen elementov v processe zhiznennogo cikla slozhnyh tekhnicheskikh sistem // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. 2011. № 3. S. 94–102.

10. Metodika postroeniya i rascheta integrirovannoj dinamicheskoy setевой modeli processov tekhnicheskogo obsluzhivaniya i vojskovogo remonta obrazcov vooruzheniya i voennoj tekhniki

vozdushno-kosmicheskikh sil / D.V. Yagol'nikov [i dr.] // Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli. 2017. № 9 (5). S. 26–32.

11. Metod planirovaniya primeneniya perspektivnykh sredstv voyskovogo remonta i tekhnicheskogo obsluzhivaniya vooruzheniya i voennoj tekhniki protivovozdushnoj oborony v zone otvetstvennosti / R.V. Dopira [i dr.] // Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli. 2016. № 8 (S1). S. 49–53.

12. Chang, Chin-Chih. Optimum Preventive Maintenance Policies for Systems Subject to Random Working Times, Replacement, and Minimal Repair // *Computers & Industrial Engineering* 67 (January 2014): 185–194. doi:10.1016/j.cie.2013.11.011.

13. Knopik Leszek, Klaudiusz Migawa // Semi-Markov System Model for Minimal Repair Maintenance // *Eksploatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability* 21 № 2 (March 22, 2019): 256–260. doi:10.17531/ein.2019.2.9.

14. Marco E., Lazoi M., Margarito A., and Quarta L. Innovating the Maintenance Repair and Overhaul Phase through Digitalization // *Aerospace* 2019. № 5 (May 9): 53. doi:10.3390/aerospace6050053.

15. Vinnik A.I., Makarenko N.G., Shargaev A.A. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta bronetankovogo vooruzheniya i tekhniki // *Vestnik Sibirskoy gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoy akademii*. 2016. № 4 (50). S. 7–13.

16. Eskelinen P., Miettinen K. Trade-off analysis approach for interactive nonlinear multiobjective optimization // *OR Spectrum*. 2012. Vol. 34. № 4. P. 803–816. DOI: 10.1007/s00291-011-0266-z.

17. Krivulin N.K., Cobenko M.A. Reshenie dvuhkriterial'noj zadachi ocenki al'ternativ s pomoshch'yu tropicheskoy optimizatsii // *KIO*. 2019. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-dvuhkriterialnoy-zadachi-otsenki-alternativ-s-pomoschyu-tropicheskoy-optimizatsii> (data obrashcheniya: 15.08.2021).

18. Miettinen K., Ruiz F., Wierzbicki A.P. Introduction to Multiobjective Optimization: Interactive Approaches // In: *Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches* / ed. by J. Branke, K. Deb, K. Miettinen, R. Slowin'ski. Springer Berlin Heidelberg, 2008. P. 27–57. DOI: 10.1007/978-3-540-88908-3_2.

19. Romanova I.K. Postanovka zadachi upravleniya frontom Pareto i ee reshenie v analize i sinteze optimal'nykh sistem // *Mashinostroyeniye i komp'yuternyye tekhnologii*. 2015. № 8. pp. 140–170.

20. Multiobjective Optimization: Interactive and Evolutionary Approaches / ed. by J. Branke, K. Deb, K. Miettinen, R. Slowin'ski. Springer Berlin Heidelberg, 2008. 481 p. DOI: 10.1007/978-3-540-88908-3.

21. Mahmoud Samadi, Ali Barootiha, Mohsen Rahmani, Ali Taherkhani. Pareto Optimal Robust Feedback Linearization Control of a Nonlinear System with Parametric Uncertainties // *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2013. Vol. 3. pp. 91–95.

22. Calandra R., Peters J., Deisenroth M.P. Pareto Front Modeling for Sensitivity Analysis in Multi-Objective Bayesian Optimization // *NIPS Workshop on Bayesian Optimization*. 2014. 5 p. URL: <http://www.ias.tu-darmstadt.de/uploads/Publications/Calandra-NIPS2015-bayesopt.pdf>, accessed 20.01.2021.

23. Hendriks M., Geilen M., Basten T. Pareto Analysis with Uncertainty: ESR-2011-01 // *Eindhoven University of Technology*. 2011. 8 p. URL: <http://www.es.ele.tue.nl/esreports/esr-2011-01.pdf>, accessed 22.01.2021.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 01.02.2022; одобрена после рецензирования: 20.02.2022;
принята к публикации: 28.02.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 01.02.2022; approved after review: 20.02.2022;
accepted for publication: 28.02.2022

Информация об авторах:

Александр Владимирович Скатков, профессор кафедры «Информационные технологии и компьютерные системы» Севастопольского государственного университета (299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33), доктор технических наук, профессор, e-mail: vm1945@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5678-9587>

Екатерина Борисовна Доронина, аспирант Автономной некоммерческой организации «Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны «Алмаз – Антей» им. академика В.П. Ефремова» (121471, Москва, ул. Вере́йская, д. 41, стр. 2), e-mail: doka0605@yandex.ru

Information about authors:

Aleksander V. Skatkov, professor of the department of information technologies and computer systems of the Sevastopol State university (299053, Sevastopol, st. Universitetskaya, d. 33), doctor of technical sciences, professor, e-mail: vm1945@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5678-9587>

Ekaterina B. Doronina, postgraduate student of the Autonomous non-profit organization «Scientific and educational center of aerospace defense «Almaz-Antey» named after academician V.P. Efremova, (121471, Moscow, Vereiskaya st., 41, buil. 2), e-mail: doka0605@yandex.ru

УДК 004.82

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ПРИНЦИПАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (НА ПРИМЕРЕ ГАЗОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ)

Андрей Викторович Андреев[✉];**Александр Сергеевич Доронин.****Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,****Санкт-Петербург, Россия.****Сергей Николаевич Терехин.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия****[✉]andreev_av@spbstu.ru**

Аннотация. Освещение тенденций современных взглядов на безопасность и направлений развития систем безопасности в условиях глобальной автоматизации и интеграции в единые комплексы автоматизированного управления. Обзор перспектив использования искусственного интеллекта в системах обеспечения безопасности для выявления ситуаций, которые трудно классифицировать с помощью признаков, полученных по данным мониторинга. Оценка перспектив использования систем пожарной сигнализации на принципах искусственного интеллекта на базе нейронных сетей (построения на принципах комбинаторики методов нейронных сетей и систем нечетной логики). Построение математической модели, описывающей процесс формирования достоверного сигнала о переходе системы в состояние «пожар» и описание проблемы корректной установки порога срабатывания систем по формированию сигнала, решение проблемы минимизации количества ложных срабатываний путем введения дополнительного канала, получающего исходную информацию о состоянии объекта в оптическом диапазоне. Исследование достоверности заявленных производителем характеристик газовых пожарных извещателей с целью определения возможности использования их в качестве исходных элементов систем пожарной сигнализации, построенных на принципах нейронных сетей.

Ключевые слова: нейронные сети, обучение нейронных сетей, искусственный интеллект, верифицирующий канал, нечеткая логика, системы пожарной сигнализации, порог срабатывания, газовые пожарные извещатели

Для цитирования: Андреев А.В., Доронин А.С., Терехин С.Н. Перспективы построения систем пожарной сигнализации на принципах искусственного интеллекта (на примере газовых пожарных извещателей) // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 65–74.

FIRE ALARM SYSTEMS CONSTRUCTION ON THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE PRINCIPLES (BASIS ON THE GAS FIRE DETECTORS)

Andrey V. Andreev[✉]; Alexander S. Doronin.**Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia.****Sergey N. Terekhin.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia****[✉]andreev_av@spbstu.ru**

Abstract. Coverage of trends in modern views on security and directions for the development of security systems in the context of global automation and integration into unified automated control systems. An overview of the prospects for using artificial intelligence in security systems to identify situations that are difficult to classify using signs obtained from monitoring data. Assessment of the prospects for the use of fire alarm systems based on the principles of artificial intelligence based

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

on neural networks (building on the principles of combinatorics of methods of neural networks and odd logic systems). Construction of a mathematical model that describes the process of generating a reliable formation of a signal about the transition of the system to the «fire» state and a description of the problem of correctly setting the system response threshold for signal generation, solving the problem of minimizing the number of false positives by introducing an additional channel that receives initial information about the state of the object in the optical range. Investigation of the reliability of the characteristics of gas fire detectors declared by the manufacturer in order to determine the possibility of using them as initial elements of fire alarm systems built on the principles of neural networks.

Keywords: neural networks, neural network training, artificial intelligence, verification channel, fuzzy logic, fire alarm systems, response threshold, gas fire detectors

For citation: Andreev A.V., Doronin A.S., Terekhin S.N. Prospects for building fire alarm systems based on the principles of artificial intelligence (on the example of gas fire detectors) // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 65–74.

Введение

Одним из основных требований, предъявляемых к системам пожарной сигнализации (СПС), является «надежность» [1–3]. Под надежностью понимают: достоверное обнаружение возгорания на начальной стадии развития пожара, а также отсутствие ложных тревог, которые снижают доверие эксплуатирующих лиц к системе безопасности. Наибольшее распространение получили СПС, работа которой построена на логике нахождения датчиков сигнализации в двух состояниях: «норма» и «пожар». Пожарная сигнализация срабатывает, если контролируемый параметр настроенного датчика превышает порог срабатывания. Таким образом, возникает проблема установки корректного значения порога срабатывания.

Тенденции современного развития систем безопасности неразрывно связаны с процессами широкой автоматизации и интеграции, которые касаются не только систем безопасности, но и всех систем, предназначенных для автоматизации управления жизнеобеспечением и функционированием жилого здания, офиса, предприятия или любого другого объекта. Логическим развитием такой интеграции явилось создание интегрированных систем безопасности (ИСБ) с широкими функциональными возможностями, позволяющими автоматизировать управление инженерными системами здания или объекта [4]. Во всех странах нормативно регламентируются требования СПС, которые являются обязательным элементом при вводе любого здания (сооружения) в эксплуатацию [5].

Методы исследования: математические, эмпирические и теоретические

Одним из наиболее перспективных направлений проектирования интегрированных к СПС и управления эвакуацией является использование элементов искусственного интеллекта (ИИ), строящегося на принципах обучаемых нейронных сетей (НС). НС представляют собой комплексную систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает и периодически посылает другим процессорам, что позволяет решать сложные задачи [6]. Авторами статьи выдвигается научная гипотеза о возможности применения НС для распознавания образов и решения задач классификации пожаров по визуальным признакам.

ИИ наиболее подходит для выявления ситуаций, которые трудно классифицировать с помощью признаков, полученных из данных мониторинга объекта (тление, горение и т.п.). Например, ИИ может определить набор специальных характеристик или особенности различных пожарных ситуаций, используя собранные данные, и применить их для принятия

решений в реальных пожарных ситуациях. Одним из основных свойств НС является способность к обучению. Это свойство позволяет СПС, построенным на принципах ИИ, повысить достоверность оценки различных пожарных ситуаций, оптимизируя функциональные веса и параметры алгоритмов. Обучение – это процесс, в котором параметры НС настраиваются путем моделирования среды, в которую эта сеть встроена (очаг пожара). Однако алгоритмы обучения сложно адаптировать к динамическим изменениям, к которым относится процесс горения, поскольку значения переменных фиксируются после процесса обучения [7–10].

Структурная схема процесса обучения НС СПС приведена на рис. 1.

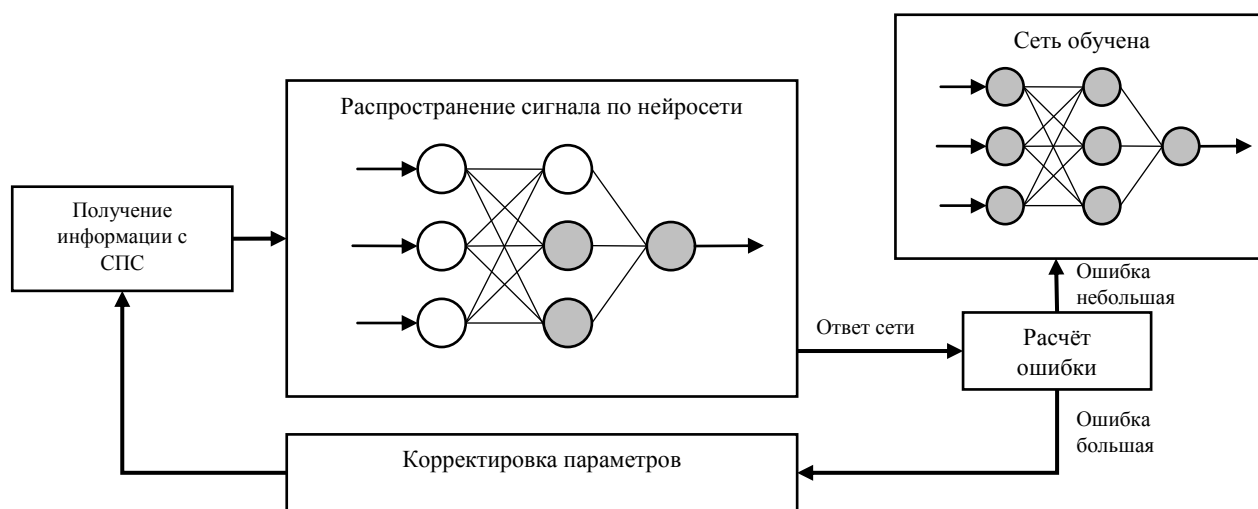


Рис. 1. Схема обучения НС

Анализ научных работ в области ИИ позволяет сделать вывод о том, что это направление исследований наиболее перспективно при проектировании СПС, так как срабатывание системы является величиной случайной и зависит от значительного количества слабокоррелированных факторов [11–13].

Формально состояние СПС применительно к объекту (зданию) имеет четыре возможных состояния, являющихся случайным событием. Состояние системы характеризуется условными вероятностями, приведенными в табл. 1.

Таблица 1. Состояния СПС

Пожар (λ) \ Срабатывание (Y)	0	1
0	Система в исходном состоянии P_6	Пропуск P_{Π}
1	Ложное срабатывание $P_{лс}$	Правильное обнаружение $P_{обн}$

Попарно события, характеризующие состояние системы, составляют полную группу событий, вероятности:

$$\begin{cases} P_6 + P_{лс} = 1 \\ P_{\Pi} + P_{обн} = 1 \end{cases}$$

Соответственно, вероятности правильного и ложного срабатывания могут быть описаны выражениями:

$$P_{\text{обн}} = \mathbb{P}\{Y = 1 | \lambda = 1\} = \textit{Detection},$$

$$P_{\text{лс}} = \mathbb{P}\{Y = 1 | \lambda = 0\} = \textit{False}.$$

Графическое представление распределений вероятности состояний, в которых находится СПС: правильное и ложное срабатывание, представлено на рис. 2 [14–16]. Из графика следует, что увеличение значения порога Y ведет к уменьшению вероятности ложной тревоги, однако при этом увеличивается вероятность несрабатывания сигнализации при пожаре на объекте. Таким образом, возникает проблема установки корректного значения порога срабатывания. Одним из подходов решения данной проблемы является создание дополнительного, верифицирующего канала контроля, что графически поясняется уменьшением дисперсии распределений, характеризующих вероятности правильного и ложного срабатывания [17, 18].

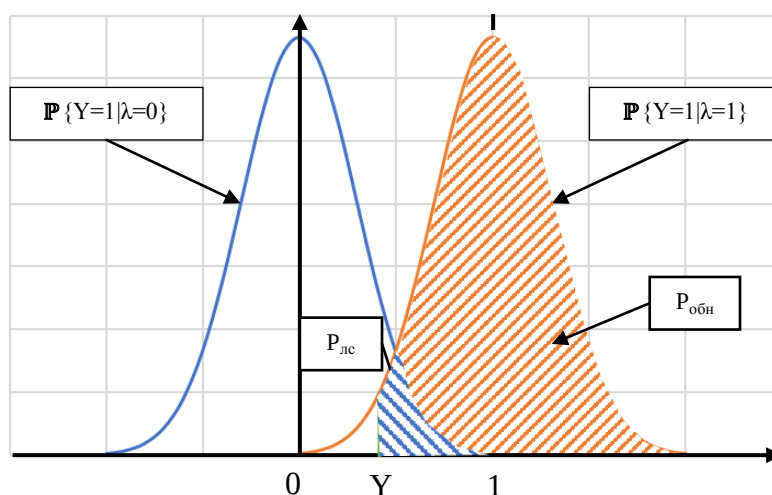


Рис. 2. Графическое представление распределений вероятности состояний

Фактически в СПС установка порога Y происходит на этапе настройки и остается неизменной в процессе эксплуатации. Изменение порога может проводиться при проведении периодического технического обслуживания или при необходимости.

Таким образом, одной из задач при обучении НС является постоянная корректировка порога срабатывания в зависимости от обстановки на объекте, что технически сводится к процедуре верификации, которая направлена на определение правильности настройки оборудования, оценивание корректности полученных данных и установление требований их выполнения.

Исходные данные для проведения эксперимента

На рынке предлагается много различных газовых пожарных извещателей, соответственно, возникает проблема корректной оценки их параметров и выбора датчиков, подходящих для использования при обучении НС. Например, для продажи предлагаются следующие датчики серии MQ: широкого спектра газов – MQ-2; паров спирта – MQ-3;

природного газа – MQ-4; горючих газов – MQ-5; сжиженных нефтяных газов – MQ-6; угарного газа – MQ-7; водорода – MQ-8; горючих и угарного газов – MQ-9 [19]. В статье в качестве оконечного устройства СПС рассматриваются газовые пожарные извещатели, изготовленные на базе датчика из диоксида олова типа MQ-2,4,9. В Российской Федерации требования к данному типу извещателей являются нормативными согласно ГОСТ Р 53325–2012 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний».

Рассмотренная серия датчиков относится к полупроводниковым приборам, принцип работы которых основан на изменении сопротивления тонкопленочного слоя диоксида олова SnO_2 при контакте с молекулами определяемого газа. Чувствительный элемент датчика состоит из керамической трубки с покрытием Al_2O_3 и нанесенного на неё чувствительного слоя диоксида олова. Внутри трубки проходит нагревательный элемент, который нагревает чувствительный слой до температуры, при которой он начинает реагировать на определяемый газ. Чувствительность к разным газам достигается варьированием состава примесей в чувствительном слое. Для сравнения характеристик датчиков предлагаем использовать параметр – концентрации в миллионной доле (сокращенно ppm), что характеризует соотношения одного газа к другому.

Результаты исследования

Решение задачи сравнительной оценки выбранных показателей проводится экспериментальным путем с целью уточнения корректности заявленных технических характеристик. Логика проведения эксперимента условно разбита на несколько этапов: первый – подключение датчика к программному микроконтроллеру и его прогревание в соответствии с техническим регламентом; второй – заполнение экспериментальной камеры продуктами горения фиксированной концентрации; третий – установка датчика в камеру, исключая изменение концентрации продуктов горения; четвертый – считывание и обработка данных; пятый – съем датчика и фиксация времени возвращения в исходное состояние; шестой – после каждого замера производится вентиляция дымовой камеры. С целью корректной статистической обработки данных целесообразно проводить не менее 10 замеров для каждого вида датчиков с последующей математической обработкой данных путём усреднения показаний.

Предварительно были изучены заявленные характеристики датчиков, указанные в сопроводительной технической документации в открытых источниках. В результате проведенных экспериментов были получены данные, сведенные в таблицу для сравнения с заявленными (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительные характеристики датчиков

Характеристики датчиков	Диапазон чувствительности, ppm		
	MQ-2	MQ-04	MQ-9
Заявленные	200–20000	200–10000	20–10000
Экспериментальные	325–888	99–386	30–330

Из данных, приведенных в табл. 2, следуют выводы, что экспериментальные значения отличаются от заявленных производителем. Полученные данные находятся в границах заявленного диапазона, однако верхняя граница диапазона чувствительности намного меньше заявленной. Основываясь на этом, можно сделать вывод, что некорректная работа датчика в условиях лавинообразного нарастания концентрации дыма в реальных условиях может повлиять на эффективность работы СПС. Таким образом, вероятность корректного срабатывания СПС снижается, что требует введения дополнительных каналов идентификации явления пожара [20–23].

Результаты эксперимента отображены в графическом виде для наглядного представления данных. Полученные в результате эксперимента данные отображают зависимость сопротивления датчика в чистом воздухе (R_o), сопротивления датчика при наличии газа (R_s) в дымовой камере и представлены на рис. 3.

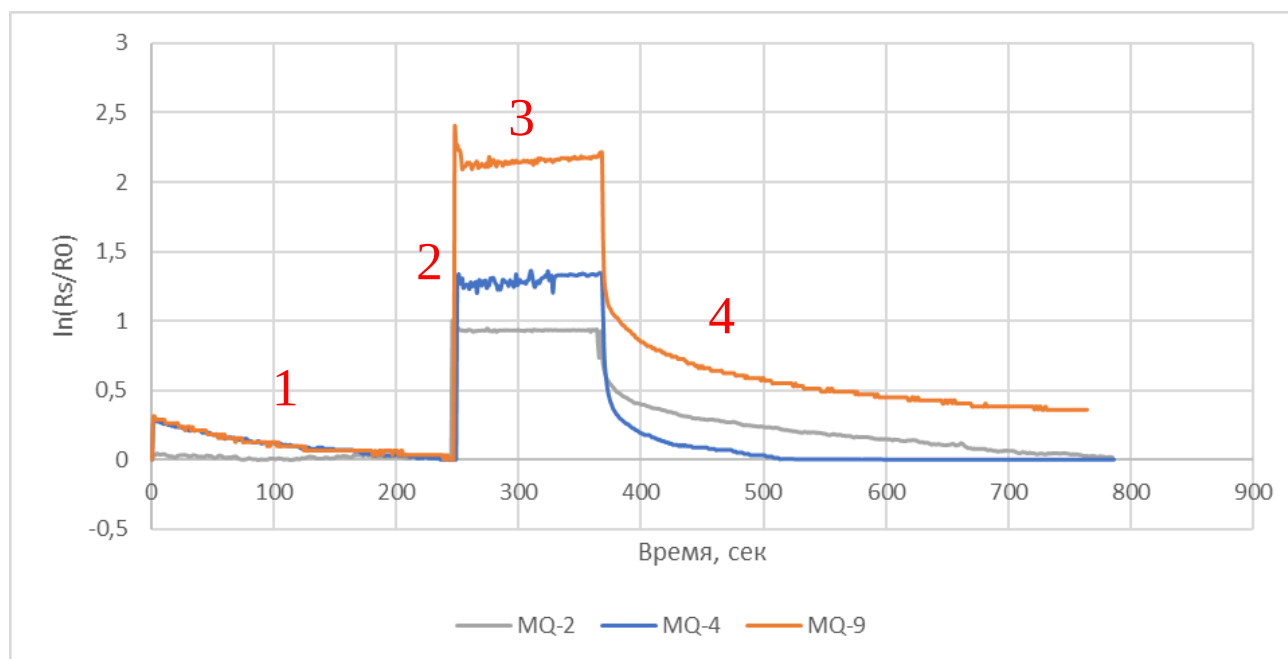


Рис. 3. Результаты эксперимента

Вид зависимости идентичен для различных датчиков и характеризуется четырьмя условными участками: 1 – калибровка датчика; 2 – срабатывание; 3 – рабочее состояние; 4 – возврат в исходное состояние. Вид графической зависимости может быть аппроксимирован меандром и описывается следующей математической зависимостью:

$$x_{\text{меандр}}(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi(2k-1)ft)}{2k-1}$$

Первый участок можно аппроксимировать прямой линией; второй – фронт вертикальный без «завалов»; третий – вершина – может описываться прямой линией. Для исключения флуктуаций можно применить процедуру фильтрации. Наибольший интерес представляет четвертый участок, который можно аппроксимировать экспоненциальной зависимостью. Кривизна экспоненты характеризует время перехода датчика в исходное состояние, при этом длительность процесса перехода влияет на время нахождения СПС в неопределенном состоянии и не может корректно выполнять функциональные задачи. Например, показания датчика свидетельствует о том, что пожар продолжается (значения с датчика выше значения нижнего порога), при этом фактически очаг пожара уже ликвидирован. Для оценки времени перехода в исходное состояние, можно использовать математическое описание нестационарных процессов в электрических цепях.

Заключение

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. С целью минимизации ложного срабатывания СПС необходим верифицирующий

канал, получающий исходную информацию о состоянии объекта в оптическом диапазоне. По исполнению оконечного устройства принцип работы канала может быть следующим: постоянный мониторинг оператором состояния объекта через камеры наблюдения либо использование технических устройств. Первый вариант является традиционно реализуемым, однако, учет «человеческого фактора» при обеспечении пожарной безопасности является сложноформализуемой задачей.

Предлагается рассмотреть возможность использования в качестве оконечного – техническое устройство, реализующее принципы НС. Построение систем СПС исключительно с использованием газовых пожарных извещателей является нецелесообразным, поскольку достоверность получаемой информации о пожаре обуславливается спецификацией датчика и нестабильностью разброса заявленных характеристик.

В Высшей школе техносферной безопасности Инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого предварительно проводилось исследование по данной теме. Для этого привлекалась экспериментальная установка ООО «Холдинг Гефест», и работы выполнялись с разрешения руководства компании. Представленные в статье материалы носят предварительный характер и требуют дополнительного исследования и корректировки.

Список источников

1. СП 485.1311500.2020 СППЗ. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://www.docs.cntd.ru/document/573004280> (дата обращения: 29.05.2021).
2. СП 484.1311500.2020 СППЗ. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://www.docs.cntd.ru/document/566249686> (дата обращения: 20.12.2021).
3. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (с изменением № 1) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://www.docs.cntd.ru/document/1200071148> (дата обращения: 24.02.2022).
4. Андреев А.В., Доронин А.С. Перспективы использования нейронных сетей для повышения надежности систем пожарной сигнализации // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. 2021. Т. 10. № 2. С. 178–182.
5. Быстров В.И., Сагдеев К.М. Анализ существующих технических решений по созданию интегрированной системы безопасности предприятия // Студенческая наука для развития информационного общества. 2015. С. 150–151.
6. Аюпов И.Р. Параметрический метод обучения нейронной сети при решении задач прогнозирования: дис. ... канд. техн. наук. М.: Нац. исслед. ун-т МИЭТ, 2015.
7. Andreev A.V., Burlov V.G., Grachev M.I. Information technologies and synthesis of the management process model in the enterprise // EastConf: 2019 International Science and Technology Conference. IEEE, 2019. P. 1–5.
8. Boltyonkova E., Andreev A., Doronin A. Development of measures to ensure information security in structural division of the university // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. T. 140. P. 08005.
9. Improving Emergency Response Systems in the Oil and Gas Industry To Reduce Environmental Damage / A. Kostyuk [et al.] // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. T. 221. P. 01008.

10. Computer simulation of the safety of radio electronics production in an emergency situation: III International scientific workshop MIP / A. Tumanov [et al.] // Computing-2021: modeling, Information processing and computing. 2021.
11. Model of settlement evacuation based on the imitation modelling application / M.O. Avdeeva [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2020. T. 918. № 1. P. 012076.
12. Borisova M., Byzov A., Efremov S. Assessment of the maximum possible number of victims of accidents at hazardous production facilities for insurance purposes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. T. 666. № 1. P. 012096.
13. Development of laboratory techniques for assessment of operating properties of intumescent fireproofing coatings / I. Virolainen [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. T. 666. № 1. P. 012087.
14. ГОСТ Р 53325-2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний (с изменениями № 1–3) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://www.docs.cntd.ru/document/1200102066?section=text> (дата обращения: 15.02.2022).
15. ГОСТ Р 57552-2017. Техника пожарная. Извещатели пожарные мультикритериальные. Общие технические требования и методы испытаний // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146338?section=text> (дата обращения: 20.01.2022).
16. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 30 апр. 2021 г.). Доступ из с прав.-правовой системы «КонсультантПлюс».
17. Доронин А.С., Андреев А.В. Усовершенствование математической модели угроз безопасности информации в информационной системе // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. 2018. С. 104–107.
18. Доронин А.С. Моделирование влияния информационной безопасности на объекте опасной инфраструктуры // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. 2020. С. 199–201.
19. Страковский Д.А., Симаков Е.Е. Анализатор воздуха на платформе Arduino // Юный ученый. 2017. №. 3. С. 49–56.
20. Разработка учебного стенда для практических занятий по изучению работы автоматической системы пожарной сигнализации / Я.В. Вайчулис [и др.] // Биотехнологии и безопасность в техносфере: сб. трудов Всерос. конф. 2021. С. 15–17.
21. Совершенствование системы контроля качества огнезащитных покрытий / И.А. Виролайн [и др.] // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: сб. трудов Всерос. науч.-практ. конф. 2018. С. 3–6.
22. Инструментальный контроль линий систем оповещения и управления эвакуацией / А.М. Козырев [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2018. Т. 7. № 3. С. 118–122.
23. Танклевский Л.Т., Бабинов И.А., Танклевский А.Л. Об оценке достоверности обнаружения возгорания // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 3 (59). С. 28–32.

References

1. SP 485.1311500.2020 SPPZ. Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoj dokumentacii. URL: <https://www.docs.cntd.ru/document/573004280> (data obrashcheniya: 29.05.2021).
2. SP 484.1311500.2020 SPPZ. Sistemy pozharnoj signalizacii i avtomatizaciya sistem protivopozharnoj zashchity. Normy i pravila proektirovaniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoj dokumentacii. URL: <https://www.docs.cntd.ru/document/566249686> (data obrashcheniya: 20.12.2021).

3. SP 5.13130.2009. Sistemy protivopozharnoj zashchity. Ustanovki pozharnoj signalizacii i pozharotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya (s izmeneniyami № 1) // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://www.docs.cntd.ru/document/1200071148> (data obrashcheniya: 24.02.2022).
4. Andreev A.V., Doronin A.S. Perspektivy ispol'zovaniya nejronnyh setej dlya povysheniya nadezhnosti sistem pozharnoj signalizacii // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego. 2021. T. 10. № 2. S. 178–182.
5. Bystrov V.I., Sagdeev K.M. Analiz sushchestvuyushchih tekhnicheskikh reshenij po sozdaniyu integrirovannoj sistemy bezopasnosti predpriyatiya // Studencheskaya nauka dlya razvitiya informacionnogo obshchestva. 2015. S. 150–151.
6. Ayupov I.R. Parametricheskij metod obucheniya nejronnoj seti pri reshenii zadach prognozirovaniya: dis. ... kand. tekhn. nauk. M.: Nac. issled. un-t MIET, 2015.
7. Andreev A.V., Burlov V.G., Grachev M.I. Information technologies and synthesis of the management process model in the enterprise // EastConf: 2019 International Science and Technology Conference. IEEE, 2019. P. 1–5.
8. Boltyonkova E., Andreev A., Doronin A. Development of measures to ensure information security in structural division of the university // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. T. 140. P. 08005.
9. Improving Emergency Response Systems in the Oil and Gas Industry To Reduce Environmental Damage / A. Kostyuk [et al.] // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2020. T. 221. P. 01008.
10. Computer simulation of the safety of radio electronics production in an emergency situation: III International scientific workshop MIP / A. Tumanov [et al.] // Computing-2021: modeling, Information processing and computing. 2021.
11. Model of settlement evacuation based on the imitation modelling application / M.O. Avdeeva [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2020. T. 918. № 1. P. 012076.
12. Borisova M., Byzov A., Efremov S. Assessment of the maximum possible number of victims of accidents at hazardous production facilities for insurance purposes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. T. 666. № 1. P. 012096.
13. Development of laboratory techniques for assessment of operating properties of intumescent fireproofing coatings / I. Virolainen [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019. T. 666. № 1. P. 012087.
14. GOST R 53325-2012. Tekhnika pozharnaya. Tekhnicheskie sredstva pozharnoj avtomatiki. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy (s izmeneniyami № 1–3) // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://www.docs.cntd.ru/document/1200102066?section=text> (data obrashcheniya: 15.02.2022).
15. GOST R 57552–2017. Tekhnika pozharnaya. Izveshchateli pozharnye mul'tikriterial'nye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200146338?section=text> (data obrashcheniya: 20.01.2022).
16. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ (v red. ot 30 apr. 2021 g.). Dostup iz s prav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
17. Doronin A.S., Andreev A.V. Uovershenstvovanie matematicheskoy modeli ugroz bezopasnosti informacii v informacionnoj sisteme // Nedelya nauki SPbPU: materialy nauch. konf. 2018. S. 104–107.
18. Doronin A.S. Modelirovanie vliyaniya informacionnoj bezopasnosti na ob"ekte opasnoj infrastruktury // Nedelya nauki SPbPU: materialy nauch. konf. 2020. S. 199–201.
19. Strakovskij D.A., Simakov E.E. Analizator vozduha na platforme Arduino // Yunyj uchenyj. 2017. №. 3. S. 49–56.

20. Razrabotka uchebnogo stenda dlya prakticheskikh zanyatij po izucheniyu raboty avtomaticheskoy sistemy pozharnej signalizacii / YA.V. Vajchyulis [i dr.] // Biotekhnologii i bezopasnost' v tekhnosfere: sb. trudov Vseros. konf. 2021. S. 15–17.

21. Sovershenstvovanie sistemy kontrolya kachestva ogneshchitnykh pokrytij / I.A. Virolajnen [i dr.] // Bezopasnost' v chrezvychajnykh situacijah: sb. trudov Vseros. nauch.-prakt. konf. 2018. S. 3–6.

22. Instrumental'nyj kontrol' linij sistem opoveshcheniya i upravleniya evakuaciej / A.M. Kozyrev [i dr.] // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2018. T. 7. № 3. S. 118–122.

23. Tanklevskij L.T., Babikov I.A., Tanklevskij A.L. Ob ocenke dostovernosti obnaruzheniya vozgoraniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 3 (59). S. 28–32.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 22.03.2022; одобрена после рецензирования: 24.03.2022; принята к публикации: 28.03.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 22.03.2022; approved after review: 24.03.2022; accepted for publication: 28.03.2022

Информация об авторах:

Андрей Викторович Андреев, директор Высшей школы техносферной безопасности инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая, д. 29), кандидат военных наук, доцент, e-mail: andreev_av@spbstu.ru

Александр Сергеевич Доронин, ассистент Высшей школы техносферной безопасности инженерно-строительного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая, д. 29), аспирант, e-mail: doronin_as@spbstu.ru

Сергей Николаевич Терехин, профессор кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: expert_terehin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1478-8129>

Information about authors:

Andrey V. Andreev, director of the Higher school of technosphere security institute of civil engineering of Peter the Great St. Petersburg polytechnic university (195251, St. Petersburg, Polytechnic, 29), candidate of military sciences, associate professor, e-mail: andreev_av@spbstu.ru

Alexander S. Doronin, assistant at the Higher school of technosphere security institute of civil engineering of Peter the Great St. Petersburg polytechnic university (195251, St. Petersburg, Polytechnic, 29), postgraduate student, e-mail: doronin_as@spbstu.ru

Sergey N. Terekhin, professor of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: expert_terehin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1478-8129>

УДК 37.018.43

РОЛЬ ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕК И БАЗ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Наталья Михайловна Юхта✉.**Санкт-Петербургский государственный институт культуры, Санкт-Петербург, Россия.****Инна Ивановна Пивоварова.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**✉Nataly-tregybova@yandex.ru

Аннотация. Исследуется вопрос актуальности и возможностей систем дистанционного обучения. Системы дистанционного обучения появились на базах большинства высших учебных заведений мира, открылись частные курсы в сети, предлагая самый разнообразный контент, программы и методики. Феномен массовых открытых онлайн курсов показал, какое значительное место занимает онлайн-обучение в сфере образования. Процесс появления систем дистанционного обучения в сети обусловлен развитием новых информационных технологий, их адаптации для образовательных целей. В статье рассмотрен вопрос взаимодействия систем дистанционного обучения и электронных библиотек, их актуальное состояние, а также возможности. Проблема современных систем дистанционного обучения – отсутствие методических рекомендаций в формировании образовательного контента. Электронные библиотеки наряду с базами данных – важнейший информационный ресурс для систем дистанционного обучения. Современные электронные библиотеки, содержащие в себе не только электронные книги, учебники, но и мультимедийный интерактивный контент, позволяют сделать системы дистанционного обучения более эффективными. На примере обучения творческим специальностям, показана возможность создания автоматизированной системы рецензирования и оценки графического изображения для обучения в системе дистанционного обучения.

Ключевые слова: электронная библиотека, электронно-библиотечные системы, системы дистанционного образования, учебные материалы, электронная информационно-образовательная среда, электронные курсы, массовые открытые онлайн-курсы, дистанционное образование

Для цитирования: Юхта Н.М., Пивоварова И.И. Роль электронных библиотек и баз данных в системе дистанционного обучения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 1. С. 75–83.

THE ROLE OF ELECTRONIC LIBRARIES AND DATABASES IN THE DISTANCE LEARNING SYSTEM

Natalia M. Yukhta✉. Saint-Petersburg state institute of culture, Saint-Petersburg, Russia.**Inna I. Pivovarova.** Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia✉Nataly-tregybova@yandex.ru

Abstract. The article examines the relevance and capabilities of distance learning systems. Distance learning systems have appeared on the bases of most higher education institutions in the world, private courses have opened online, offering a wide variety of content, programs and techniques. The phenomenon of Massive open online courses has shown what a significant place online learning occupies in the field of education. The process of the emergence of distance learning systems in the network is due to the development of new information technologies, their adaptation for educational purposes. The article considers the issue of interaction between distance

learning systems and electronic libraries, their current state, as well as opportunities. The problem of modern distance learning systems is the lack of methodological recommendations in the formation of educational content. Electronic libraries, along with databases, are the most important information resource for distance learning systems. Modern electronic libraries containing not only electronic books, textbooks, but also multimedia interactive content will make distance learning systems more effective. Using the example of teaching creative specialties, the possibility of creating an automated system for reviewing and evaluating graphic images for learning in a distance learning system is shown.

Keywords: electronic library, electronic library systems, distance education systems, educational materials, electronic information and educational environment, e-courses, mass open online courses, distance education

For citation: Yukhta N.M., Pivovarova I.I. The role of electronic libraries and databases in the distance learning system // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 75–83.

Введение

Развитие дистанционного образования в России за последние годы привнесло несколько важных трендов: автоматизацию процессов онлайн обучения, применение электронных библиотек (ЭБ), электронно-библиотечных систем (ЭБС) и специализированных баз данных (СБД). Информационно-технологическая модернизация образования является мировой тенденцией его развития и направлена на создание принципиально новых способов приобретения знаний [1, 2]. Информатизация и повсеместная компьютеризация общества дали возможность получить бесперебойный доступ в интернет, что привело к видоизменению познавательной деятельности и образовательных процессов. Пандемия за последние пару лет также выявила новый вектор развития – это воспитание самостоятельности обучаемого, а также индивидуализация обучения. Нельзя не согласиться с О.В. Шлыковой, отмечающей, что «развитие цифровой инфраструктуры, переход на сетевые принципы коммуникации, персонализация интернета выступают факторами, меняющими этические принципы и основания социокультурного взаимодействия» [3, с. 516], что, в свою очередь, меняет образовательные парадигмы.

Сегодня особой популярностью пользуется направление обучения 54.03.01 «Дизайн». Данное направление имеет самые различные профили: графический дизайн, промышленный дизайн, дизайн интерьера и многие другие. Но к числу самых востребованных специалистов на рынке труда в полной мере можно отнести дизайнеров-графиков. В настоящее время специалисты в области графического дизайна нужны организациям любого профиля – от библиотеки и школы до промышленного предприятия. Графический дизайнер является визуализатором самого разнообразного продукта: рекламного, имиджевого, интерактивного и др.

Востребованность специалистов в области визуальных искусств (дизайн, декоративно-прикладные и изобразительные искусства) определяет актуальность исследований по созданию систем дистанционного обучения (СДО) именно для этого контингента обучающихся. В связи с растущим спросом на обучение по творческим специальностям актуализируется и проблема расширения возможностей дистанционного обучения в области визуальных искусств.

Но есть сложности по переводу в дистанционный формат творческих специальностей, это связано с рядом факторов.

1. Для студентов мотивацией в обучении зачастую становится энергия и значимость преподавателя, а без эмоциональной нагрузки теряется интерес к предмету. Важнейший критерий, определяющий успех обучения как в традиционном, так и в иных формах обучения. Система традиционного обучения работала многие столетия и опиралась

на авторитет и ответственность. Для успешного процесса необходима сила воли и самоконтроль.

2. Вся нагрузка ложится на разнообразный мультимедийный контент, который постоянно должен вовлекать пользователя в обучение. Разработка такого контента долгий, трудоемкий и дорогой процесс. Необходимо не только переработать методологию подачи программы для самостоятельного обучения, но и создать с нуля вовлекающий интерактивный контент. ЭБ, СБД могут значительно повысить качество контента. Современные ЭБ – это не просто электронный учебник, это самый разнообразный мультимедийный контент, содержащий передовую научную периодику, а также интерактивные формы информации, аудио и видео, тесты и др.

3. Как правило, студенты ощущают недостаток практических занятий. Обучение в системе очень часто основано на теоретических материалах, а изученный материал не отрабатывается на практике. Внедрение мультимедийных средств отчасти решает данную проблему, формируя последовательные блоки теория-практика, уделяя внимание практическим упражнениям. Несмотря на то, что технологии позволяют успешно решать данный вопрос, разработчики не готовы тратить финансы на создание уникального контента.

4. Важнейший фактор – система контроля знаний. Не имея системы оценивания практических заданий, система, по сути, не соответствует базовым нормам обучения. Отсутствие контроля позволяет студентам получать образование с огромными пробелами. А системы, которые обеспечивают контроль изученного материала, не могут отследить корректность выполнения итоговых заданий. Создание системы автоматизированного рецензирования и оценки графических изображений (САРГР) и БД, которая имеет доступ к объемным массивам данных и доступ к ЭБ, играет ключевую роль в развитии данного направления.

Цель данного исследования показать роль ЭБ, СБД в формировании контента СДО, а также САРГР на примере направления графический дизайн.

Методы исследования

Основным компонентом СДО становится интерактивный мультимедийный контент, представляющий собой синтез средств мультимедиа, таких как: графическое изображение, звук, анимация, видео, гипертекст, позволяющий создавать адаптивные обучающие системы. Елинер И.Г. отмечает: «Именно объединение грамотной методической базы с яркой, привлекательной, эстетической аудиовизуальной составляющей делает это направление чрезвычайно перспективным» [4, с. 36]. Создание методической базы и программного обеспечения для СДО требует привлечения широкого круга специалистов из разных областей. В настоящее время пришло понимание того, что помимо профессиональной работы программистов, которые отвечают за программно-технологическую реализацию СДО, базовой составляющей является именно учебно-методическая, которая и определяет черты будущей системы.

На рынке образовательных информационных технологий существует обширный выбор универсальных платформ. При этом приходится констатировать, что далеко не все направления и специальности реализованы для обучения в СДО. Это обусловлено рядом трудностей. Но очевидно, что необходимо продолжать путь развития СДО в адаптивную систему индивидуального обучения, так как это обладает мощным стратегическим потенциалом [5, 6].

Современные технологии в корне меняют представление о возможностях СДО. К ряду технологий, которые значительно повлияли на развитие СДО, можно отнести VR/AR. VR/AR – технология, применение которой значительно повышает эффективность обучения, способствующая формированию мышечной памяти, а элементы игры, сопровождающие обучение, служат усилению этих процессов [7, 8].

Применение симуляторов показывает хороший результат в обучении. Симуляторы часто используются при обучении военных, летчиков, пожарных и других категорий

профессий, сопряженных с повышенной опасностью. Например, обучение пожарно-техническому минимуму открыто на базе множества курсов, вузов в России. На рынке представлено несколько обучающих 3D-симуляторов пожарно-технического минимума в виртуальной реальности (VR), программная среда симуляторов универсальна. Симулятор воссоздает модель ситуации и оценивает действия обучаемого.

В симуляторах учитываются реальные физические процессы: распространение огня и дыма, расходование воды и пены, направление ветра и другие параметры. Часть параметров формируется случайным образом для приближения тренировки к реальности. Наряду и с прогрессивными технологиями, на базе СПб университета ГПС МЧС России представлены несколько направлений обучения дистанционно, что позволяет сотрудникам повышать уровень квалификации без отрыва от производственной деятельности.

Важным вопросом в СДО остается тема поиска альтернативы педагогу в дистанционной образовательной среде. Проведен ряд исследований (И.А. Тагунова, Н.Л. Селиванова, Н.Н. Найденова [9] и др.). Общий вывод таких исследований таков, что подменить собой педагога не может даже самая совершенная СДО, но высокий потенциал таких технологий, как машинное обучение, нейронные сети, открывают широкие перспективы в разработке экспертных оценочных компонентов дистанционных систем.

Гибридное образование (педагог и СДО) – «концепт образования будущего, и это уже признано многими ведущими экспертами в области образовательных инноваций» [10, с. 13].

Современные библиотеки широко используют элементы дистанционного обслуживания, в том числе системы удаленного доступа. Особенно актуальны в настоящее время – в условиях самоизоляции – автоматизированные библиотечные системы (АБИС). «Ирбис» – одна из самых популярных в России. Имеет множество встроенных модулей, не прихотлива в технических мощностях. По истине, считается стандартом среди АБИС. Система «МегаПро» – автоматизированная интегрированная библиотечная система демонстрирует высокий потенциал использования сетевых ресурсов. Функционал системы имеет стандартный набор: повсеместный, безвременной доступ; доступность полного каталога и его инструментов; синхронизация и сквозная коррекция сохранности и целостности данных; модуль является прототипом известных всем браузерам; сквозной поиск по каталогу, переход по гиперссылкам через авторов и ключевые слова и др. Система адаптирована под мобильные устройства, что обеспечивает большую посещаемость и отзывчивость интерфейса [11].

Также популярностью пользуются система Руслан и MAPK-SQL. Функционал всех АБИС имеет доступ к собственным электронным ресурсам в сети и электронно-библиотечной системе (ЭБС), основные модули защищены от копирования. Такая технологическая структура обеспечивает хорошее взаимодействие ЭБС с СДО. Очевидно, что любая ЭБС – выполняя свои производственные функции (комплектование, каталогизация и т.п.), реализует еще одну важнейшую задачу – цифровое информационное обеспечение образовательного процесса онлайн. В отличие от СДО, которые ярче всего воплотились в массовые открытые онлайн-курсы (МООС) и о которых много написано, о развитии и важности ЭБС в качестве поддержки дистанционного обучения исследований значительно меньше. Очевидно, что СДО и ЭБС развиваются параллельно и их взаимосвязь мало изучена. Нельзя не согласиться с мнением К.Н. Костюк, что ЭБС и СДО «в равной степени вызваны приходом цифровой парадигмы в области образования и служат двумя ветвями единого процесса – развития форм сетевого онлайн-образования» [12, с. 18].

Наряду с ЭБ, которые формируют информационное наполнение СДО, активно используется и подключение экспертных и специализированных БД. Создание специализированных БД по различным направлениям обучения обусловлено созданием общего хранилища для поддержки СДО.

Результаты исследования и их обсуждение

Основываясь на анализе опыта создания электронных цифровых библиотек и специализированных БД, содержащих самый разнообразный медиа контент, а также доступ к огромному массиву ресурсов в сети, в статье предлагается результат решения задачи по созданию модели САРГР. Структурные элементы данной системы включают в себя: систему распознавания образов, систему рецензирования и формат описания данных. Каждый элемент системы работает на основании обращения к ЭБ, экспертным и СБД.

Например, обучение графическому дизайну в СДО – задача, которая требует создание САРГР программными средствами. Основываясь на опыте разработчиков data science, google и других, можно создать систему, которая структурно будет представлена, как на рисунке.



Рис. Общая структура САРГР в СДО

Подсистема распознавания образов для корректной работы должна быть обеспечена доступом к ресурсам ЭБ. А также необходимо создать СБД, к которой будет обращаться программа для поиска и анализа критериев соответствия в графических изображениях. Данная система строится на соотнесении исходных значений определенных классов характеристик и признаков.

БД, необходимая САРГР, должна обладать следующим функционалом:

- хранение данных информационных ресурсов;
- обеспечение непрерывного доступа к данным;
- формирование наборов данных по определенным значениям, а также сбор и актуализация информации по взаимодействию в процессе их использования;
- доступ к ЭБ;
- доступ к встроенным подсистемам и др.

Для разработчиков САРГР стоит задача – создание методов обработки нетекстовых информационных ресурсов, применение БД как научного полигона для исследований. БД имеет сущности данных и метаданных, которые будут описывать образовательный ресурс. При этом контент метаданных не ограничивается текстом, это могут быть данные любого рода: текст, видео, графические изображения, аудио и др.

Нетекстовая БД, создаваемая как инструмент оценки творческих работ, представляет собой совокупность метаданных и самых разнообразных графических элементов, систематизированных по следующему принципу:

- 1) эталонное графическое изображение элемента;
- 2) графическое изображение, содержащее ошибки;
- 3) усредненное значение графического элемента.

Компьютерная программа САРГР сравнивает поэлементно проверяемую работу с БД примеров графических изображений, каждое из которых включает ряд критериев. Это основано на примере работы электронных библиотек изображений – стоков. Алгоритмы стоков основаны на работе ключевых точек и поиска совпадений.

Критериями оценки служат композиционные закономерности: композиционный центр, ритм, симметрия/асимметрия, статика/динамика, пропорции и др. Программа распознает значение, присвоенные каждому графическому изображению и сравнивает их с образцами. Компьютерная программа обнаруживает критерий и начинает сравнивать изображения и определять характеристики. Фильтрация значений, присвоенных метаданным графическому изображению, выступает в роли классификатора, который и будет определять признаки значений для объектов [13].

Чем больше векторов изображения совпадает, тем система вернее определяет соответствие образцу и дает оценку. Чтобы повышать степень точного анализа, проверка соответствия проводится по множеству образцов: так, система отбрасывает лишние векторы, не соответствующие кластерам (разница изображения). Все эти характеристики будут найдены и учтены при рецензировании. Для корректной работы БД необходимо постоянно пополнять ее структурированными и маркированными графическими данными, а также метаданными [14].

Заключение

Данные/информация становятся центральным фактором технического и социального развития. К критериям успеха информатизации относится обеспечение общества доступа к информации, ее использованию и обмену.

СДО решают ряд образовательных задач – развития креативного, творческого и критического мышления личности обучаемого, повышения уровня его самостоятельности, формирования навыка разрабатывать стратегию поиска решений как учебных, так и практических задач. ЭБ и БД отвечают за непрерывность данных в информационном пространстве, ее распространение и сохранение. Они становятся важнейшим источником информации для образовательных ресурсов, в особенности СДО. Целью БД становится формирование электронных документов в помощь учебно-воспитательному процессу [15, 16].

Задачи глобального образования: переход к цифровым производственным технологиям, роботизированным системам, системам обработки больших объемов данных, внедрение машинного обучения и искусственного интеллекта; культурное и гуманитарное развитие населения в качестве основы экономического процветания, государственного суверенитета и цивилизационной самобытности страны. Наиболее полно реализовать возможности дистанционного обучения позволяет информационно-технологическое взаимодействие между всеми системами, обеспечивающими непрерывность обучения онлайн [17–19].

Создание специализированных БД решит назревающую проблему некачественного образовательного контента в СДО, позволит поднять дистанционное обучение на новый уровень и расширить возможные предметные области обучения. Современные технологии, такие как машинное обучение, позволяют спрогнозировать рост качества и автоматизации процессов обучения в СДО.

Применение подобных технологий обеспечивает непрерывное самообучение программного обеспечения системы – СДО не просто «учатся», а алгоритмы программно-технологического комплекса системы устроены так, что даже ошибочные результаты обучаемых собираются для последующего анализа и хранения, что позволяет программе становиться «умнее».

Использование БД графических изображений с системой контроля и оценки профессиональных компетенций обучающегося позволит организовать высокий уровень обучения в СДО по творческим специальностям. Преимущество такого обучения

заключается, во-первых, в снижении материальных затрат на его организацию и, во-вторых, в возможности вовлечения в процесс обучения максимального количества самых разных категорий обучающихся: студенты, пенсионеры, лица с ограниченными возможностями здоровья и др. Системы автоматизированного рецензирования творческих работ могут быть использованы при повышении квалификации специалистов, так или иначе связанных с созданием сетевых мультимедийных информационных ресурсов, например, работников библиотек.

Список источников

1. Федеральные государственные образовательные стандарты – 2021. URL: <https://fgos.ru/> (дата обращения: 13.06.2021).
2. Остроух А.В., Николаев А.Б. Интеллектуальные информационные системы и технологии: монография. СПб.: Лань, 2019. 308 с.
3. Астафьева О.Н., Никонорова Е.В., Шлыкова О.В. Культура в цифровой цивилизации: новый этап осмысления стратегии будущего для устойчивого развития // Обсерватория культуры. 2018. Т. 15. № 5. 596 с.
4. Втюрина Н.В. Электронные библиотеки как ресурсная база для обеспечения учебной и научной деятельности университета // Научные и технические библиотеки. 2019. № 6. С. 87–94.
5. Вайндорф-Сысоева М.Е., Грязнова Т.С., Шитова В.А. Методика дистанционного обучения: учеб. пособие для вузов / под общ. ред. М.Е. Вайндорф-Сысоевой. М.: Юрайт, 2018. 194 с.
6. Волкова В.А. Организация дистанционного обучения в условиях обновления образования в Санкт-Петербурге // Социальная сеть работников образования «Наша сеть» nsportal.ru. URL: <https://nsportal.ru/shkola/raznoe/library/2019/11/11/organizatsiya-distantsionnogo-obucheniya-v-usloviyah-obnovleniya> (дата обращения: 15.09.2021).
7. Гулаков В.К., Трубаков А.О., Трубаков Е.О. Структуры и алгоритмы обработки многомерных данных: монография. СПб.: Лань, 2018. 356 с.
8. Дворко Н.И. Интерактивные цифровые медиа и новые формы повествования // Дизайн и медиатехнологии: теория, практика, образовани: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2015. С. 7–11.
9. Елинер И.Г. Развитие мультимедийной культуры в информационном обществе. СПб.: СПбГУКИ, 2010. 276 с.
10. Костюк К.Н. ЭБС и LMS – две ветви дистанционного онлайн-образования // Дистанционное и виртуальное обучение. М., 2016. № 9 (111). С. 11–23.
11. Тагунова И.А., Селиванова Н.Л. Образование в эпоху Интернета // SHS Web of Conferences. Образовательная среда для информационной эпохи: Междунар. конф. М., 2016. Т. 29. DOI: 22.1051 / shsconf / 20162901062
12. Костюк К.Н. Книга в новой медийной среде: монография. М.: Директ-Медиа, 2015. 68 с.
13. Инновационные решения для библиотек. URL: <https://www.data-express.ru/> (дата обращения: 18.09.2021).
14. Юхта Н.М. Лингвистическое обеспечение дистанционных мультимедийных обучающих систем. СПб.: С.-Петерб. гос. ин-т культуры, 2020. URL: https://www.spbgik.ru/upload/file/nauka/dis/kand/2020/Yuhta/yuhta_diss.pdf (дата обращения: 08.01.2021).
15. Шлыкова О.В. Электронная культура молодежи: студенческие инициативы // Информационные ресурсы России. 2010. № 3. С. 78–84.
16. Шрайберг Я.Л., Волкова К.Ю. Анализ тенденций развития современной библиотечно-информационной инфраструктуры в условиях продолжающейся пандемии (Обзор материалов зарубежных профессиональных изданий) // Научные и технические библиотеки. 2020. № 10. Ч. 1. С. 15–36.

17. Редько В.Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики. М.: Ленанд, 2019. 224 с.
18. Системы виртуальной реальности CLASSVR. URL: <https://www.polymedia.ru/> (дата обращения: 08.09.2021).
19. Соколов А.В. Российские библиотеки на пороге постсовременности // Научные и технические библиотеки. 2020. № 5. С. 15–32.

References

1. Federal'nye gosudarstvennye obrazovatel'nye standarty – 2021. URL: <https://fgos.ru/> (data obrashcheniya: 13.06.2021).
2. Ostrouh A.V., Nikolaev A.B. Intellektual'nye informacionnye sistemy i tekhnologii: monografiya. SPb.: Lan', 2019. 308 с.
3. Astaf'eva O.N., Nikonorova E.V., Shlykova O.V. Kul'tura v cifrovoj civilizacii: novyj etap osmysleniya strategii budushchego dlya ustojchivogo razvitiya // Observatoriya kul'tury. 2018. T. 15. № 5. 596 s.
4. Vtyurina N.V. Elektronnye biblioteki kak resursnaya baza dlya obespecheniya uchebnoj i nauchnoj deyatel'nosti universiteta // Nauchnye i tekhnicheskie biblioteki. 2019. № 6. S. 87–94.
5. Vajndorf-Sysoeva M.E., Gryaznova T.S., Shitova V.A. Metodika distancionnogo obucheniya: ucheb. posobie dlya vuzov / pod obshch. red. M.E. Vajndorf-Sysoevoy. M.: Yurajt, 2018. 194 s.
6. Volkova V.A. Organizaciya distancionnogo obucheniya v usloviyah obnovleniya obrazovaniya v Sankt-Peterburge // Social'naya set' rabotnikov obrazovaniya «Nasha set'» nsportal.ru. URL: <https://nsportal.ru/shkola/raznoe/library/2019/11/11/organizatsiya-distantsionnogo-obucheniya-v-usloviyah-obnovleniya> (data obrashcheniya: 15.09.2021).
7. Gulakov V.K., Trubakov A.O., Trubakov E.O. Struktury i algoritmy obrabotki mnogomernyh dannyh: monografiya. SPb.: Lan', 2018. 356 с.
8. Dvorko N.I. Interaktivnye cifrovyje media i novye formy povestvovaniya // Dizajn i mediatekhnologii: teoriya, praktika, obrazovani: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb., 2015. S. 7–11.
9. Eliner I.G. Razvitie mul'timedijnoj kul'tury v informacionnom obshchestve. SPb.: SPbGUKI, 2010. 276 s.
10. Kostyuk K.N. EBS i LMS – dve vetvi distancionnogo onlajn-obrazovaniya // Distancionnoe i virtual'noe obuchenie. M., 2016. № 9 (111). S. 11–23.
11. Tagunova I.A., Selivanova N.L. Obrazovanie v epohu Interneta // SHS Web of Conferences. Obrazovatel'naya sreda dlya informacionnoj epohi: Mezhdunar. konf. M., 2016. T. 29. DOI: 22.1051 / shsconf / 20162901062.
12. Kostyuk K.N. Kniga v novej medijnoj srede: monografiya. M.: Direkt-Media, 2015. 68 s.
13. Innovacionnye resheniya dlya bibliotek. URL: <https://www.data-express.ru/> (data obrashcheniya: 18.09.2021).
14. Yuhta N.M. Lingvisticheskoe obespechenie distancionnyh mul'timedijnyh obuchayushchih sistem. SPb.: S.-Peterb. gos. in-t kul'tury, 2020. URL: https://www.spbgik.ru/upload/file/nauka/dis/kand/2020/Yuhta/yuhta_diss.pdf (data obrashcheniya: 08.01.2021).
15. Shlykova O.V. Elektronnaya kul'tura molodezhi: studencheskie iniciativy // Informacionnye resursy Rossii. 2010. № 3. S. 78–84.
16. Shrajberg Ya.L., Volkova K.Yu. Analiz tendencij razvitiya sovremennoj bibliotechno-informacionnoj infrastruktury v usloviyah prodolzhayushchejsya pandemii (Obzor materialov zarubezhnyh professional'nyh izdanij) // Nauchnye i tekhnicheskie biblioteki. 2020. № 10. Ch. 1. S. 15–36.
17. Red'ko V.G. Evolyuciya, nejronnye seti, intellekt: Modeli i koncepcii evolyucionnoj kibernetiki. M.: Lenand, 2019. 224 с.

18. Sistemy virtual'noj real'nosti CLASSVR. URL: <https://www.polymedia.ru/> (data obrashcheniya: 08.09.2021).
19. Sokolov A.V. Rossijskie biblioteki na poroge postsovremennosti // Nauchnye i tekhnicheskie biblioteki. 2020. № 5. S. 15–32.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 22.02.2022; одобрена после рецензирования: 28.02.2022;
принята к публикации: 03.03.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 22.02.2022; approved after review: 28.02.2022;
accepted for publication: 03.03.2022

Сведения об авторах:

Наталья Михайловна Юхта, преподаватель Санкт-Петербургского института культуры (196084, Санкт-Петербург, ул. Красуцкого, д. 3/2), e-mail: Nataly-tregybova@yandex.ru

Инна Ивановна Пивоварова, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail i_pivovarova@mail.ru

Information about authors:

Natalya M. Yukhta, lecturer at the St. Petersburg institute of culture (196084, St. Petersburg, Krasutskogo st., 3/2), e-mail: Nataly-tregybova@yandex.ru

Inna I. Pivovarova, associate professor of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail i_pivovarova@mail.ru

УДК 614.8: 353

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Андрей Владимирович Калач✉.**Воронежский институт ФСИН России, Воронеж, Россия;****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**✉ a_kalach@mail.ru**Николай Викторович Мартинович.****Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия****martin-nv@mail.ru****Андрей Климентьевич Черных.****Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии,****Санкт-Петербург, Россия****nataliachernykh@mail.ru**

Аннотация. Масштабы чрезвычайных ситуаций различного характера последних десятилетий формируют необходимость постоянной готовности сил и средств к действиям в мирное время в кризисных условиях. В статье рассмотрены особенности системы мониторинга техногенных чрезвычайных ситуаций с точки зрения рамок современных подходов к обеспечению безопасности, выделены ключевые особенности функционирования системы. Выполнен анализ и определены основные элементы системы защиты населения от чрезвычайных ситуаций техногенного характера, параметры которых могут являться показателями состояния защищенности жизни и здоровья людей, их имущества и среды обитания человека от опасностей при техногенных чрезвычайных ситуациях. На основе существующих методик и инструментов анализа, статистических данных и данных по функционированию системы составлен реестр рисков, характерных для рассматриваемой территории, и выполнена их базовая скрининговая оценка и предварительный анализ опасностей.

Ключевые слова: управление, управленческие решения, взаимодействие сил и средств, чрезвычайная ситуация

Для цитирования: Калач А.В., Мартинович Н.В., Черных А.К. Современные аспекты управления системой территориальной комплексной безопасности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 84–94.

MODERN ASPECTS OF TERRITORIAL INTEGRATED SECURITY SYSTEM MANAGEMENT

Andrey V. Kalach✉. **Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia,****Voronezh, Russia; Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,****Saint-Petersburg, Russia**✉ a_kalach@mail.ru**Nikolay V. Martinovich. Siberian Fire and rescue academy of State fire service of EMERCOM
of Russia, Zheleznogorsk, Russia****martin-nv@mail.ru****Andrey K. Chernykh.****Saint-Petersburg military institute of the national guard troops, Saint-Petersburg, Russia****nataliachernykh@mail.ru**

Abstract. The scale of emergencies of various kinds in recent decades form the need for constant readiness of forces and means to act in peacetime in crisis conditions. The article discusses the features of the monitoring system of man-made emergencies from the point of view

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

of the framework of modern approaches to safety, highlights the key features of the system functioning. The analysis carried out and the main elements of the system of protection of the population from fabricated emergencies were determined, the parameters of which can be indicators of the state of protection of life and health of people, their property and human habitat from the dangers of fabricated emergencies. Based on existing methods and analysis tools, statistical data and data on the functioning of the system, a register of risks characteristic of the territory under consideration compiled and their basic screening assessment and preliminary hazard analysis were performed.

Keywords: management, management decisions, interaction of forces and means, rescue military formations, emergency.

For citation: Kalach A.V., Martinovich N.V., Chernykh A.K. Modern aspects of territorial integrated security system management // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 84–94.

Введение

В последнее десятилетие количество крупных техногенных катастроф на территории Российской Федерации ежегодно растет [1]. Вместе с тем риски техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС), возникающие в процессе хозяйственной деятельности или в результате крупных техногенных аварий и катастроф, несут значительную угрозу для населения и объектов экономики страны. Особенно актуален вопрос обеспечения безопасности жизнедеятельности населения от угроз техногенного характера при реализации новых крупных экономических и инфраструктурных проектов [2–5].

В основе защиты населения от ЧС техногенного характера лежит мониторинг и прогнозирование рисков и предварительное планирование действий на защищаемой территории, позволяющий осуществлять как функции предупреждения, так и обеспечения своевременного экстренного реагирования необходимыми силами и средствами для спасения людей и снижения последствий ЧС. Современные условия динамического развития человечества обуславливают возникновение как новых источников рисков, так и способов, методов предупреждения ЧС, что вызывает необходимость постоянного совершенствования системы управления единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

Рост количества и масштабов ЧС является негативным фактором, тормозящим развитие экономики и общества.

Изучение проблем возникновения, развития опасных ситуаций техногенного характера, последствий, возникающих при реализации аварий в техносфере, способов повышения устойчивости и организации мероприятий по ликвидации ЧС и защиты населения является актуальной задачей. Современный уровень знаний в сфере ЧС техногенного характера дает возможность формировать стратегии профилактической и оперативной защиты, тактику спасения и ликвидации аварий в интересах обеспечения безопасности населения и территорий за счёт использования современных технических средств, технологий и методов контроля, прогнозирования и управления в опасных ситуациях [6–10].

Актуальность исследования обусловлена тем, что современное состояние техногенных процессов и существующая научная база знаний, которая описывает методику и алгоритм действий, и режим функционирования системы жизнеобеспечения населения в случаях возникновения ЧС диктует необходимость разрабатывать новые методические подходы, алгоритмы и систему индикативной оценки для разработки более эффективных управленческих решений для системы ЧС с учетом региональных особенностей и специфических рисков.

Цель работы – разработка методики и алгоритма повышения обоснованности управленческих решений на основе анализа ключевых отличий и территориальных

особенностей в параметрах функционирования системы защиты населения от ЧС техногенного характера.

Результаты исследования и их обсуждение

Решениями руководителей федеральных органов исполнительной власти, Государственного комитета Российской Федерации, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций, на территории которых могут возникнуть или возникли ЧС, либо к полномочиям которых отнесена ликвидация ЧС, для соответствующих органов управления и сил РСЧС может устанавливаться один из следующих режимов функционирования:

- режим повышенной готовности – при угрозе возникновения ЧС;
- режим ЧС – при возникновении и ликвидации ЧС.

Каждый режим функционирования предусматривает проведение ряда мероприятий, осуществляемых органами управления системы рис. 1.

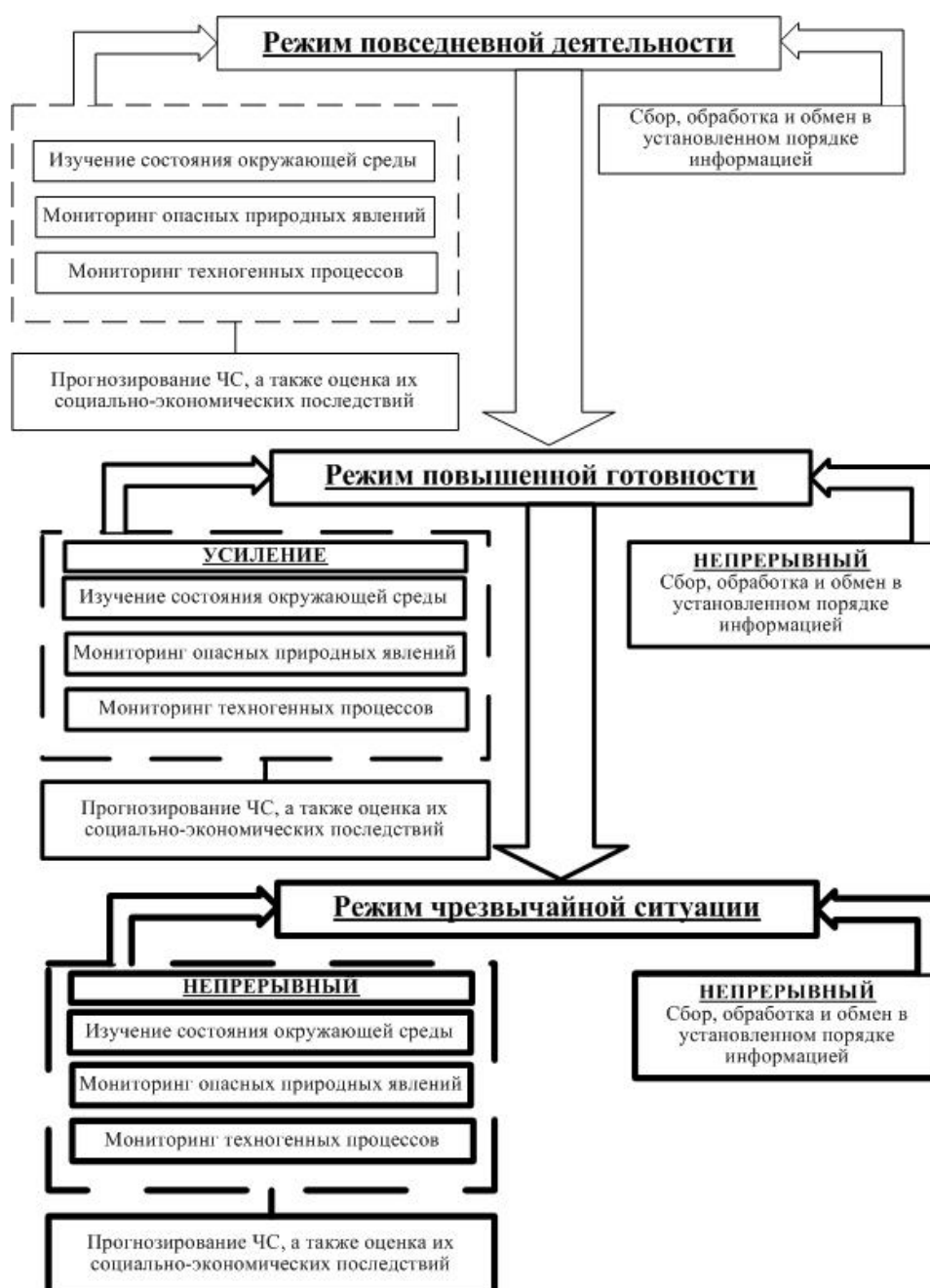


Рис. 1. Объем контролируемых параметров в зависимости от режима функционирования

На территории России возможно проявление значительного количества опасностей, связанных с запроектным функционированием объектов экономики, кризисными явлениями инфраструктуры и жизнеобеспечения населения.

Главной целью мониторинга техносферы является заблаговременная идентификация опасностей и угроз. Контроль количественных, временных, пространственных и других параметров мониторинга позволяет провести профилактические мероприятия, обеспечивающие штатное функционирование технических систем.

Определение понятия «техногенная опасность» раскрывается в «ГОСТ 22.0.05–97 / ГОСТ Р 22.0.05–94 Межгосударственный стандарт. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения».

Прогноз любых событий, их предвидение – возможность избежать негативных последствий, минимизировать потери и ущерб, принять необходимые упреждающие меры. В случае, когда прогноз связан с техническими объектами (ТО), возникновение чрезвычайных событий на ТО – результат неблагоприятных сочетаний уровней большого количества факторов, связанных с функционированием ТО. Поэтому для анализа, имеющего своей целью любые прогнозы, первоочередным действием является, возможно, полное определение всех факторов, связанных с существованием рассматриваемого ТО.

Все факторы могут быть сформированы в две подгруппы: количественные и качественные.

Главный признак количественных факторов – возможность представления их физических признаков числом (температура, давление, нагрузка, напряжение и др.). Такое представление позволяет сравнивать измеренные величины, производить с ними необходимые вычислительные операции и преобразования.

Качественные факторы не обладают такой возможностью, хотя в ряде случаев и с ними могут быть связаны некоторые количественные оценки. Например, если в пространстве ТО рассматривают варианты размещения технологического оборудования, то в первую очередь оценочными критериями являются показатели оптимальности реализации технологического процесса (ТП). В то же время при возникновении ЧС принятое размещение технологического оборудования может создать трудности при эвакуации персонала, перемещении спасательных средств и оборудования. Для описания ситуации может быть использован такой показатель, как время эвакуации при разных вариантах размещения технологического оборудования (количественный признак). Но однозначность такой оценки затруднена, так как она будет разной для разных категорий работников и видов спасательных средств. Поэтому в таких случаях предпочитают применять качественные оценки (хорошо – удовлетворительно – плохо).

Для всех видов факторов, которые могут быть привлечены для оценки уровня безопасности, ЧС, характерно то, что все они имеют различную физическую природу, что затрудняет возможность их группирования, объединения при попытке синтеза некоторого обобщённого показателя – в данном случае оценки уровня безопасности при прогнозировании ЧС. В настоящее время схема организации управления в комплексной системе имеет вид, приведенный на рис. 2.

Органами государственной власти субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления проводится работа по организации и совершенствованию территориальных комплексных систем обеспечения безопасности жизнедеятельности населения на соответствующих уровнях.

Создание территориальной комплексной системы (региона, района или города) предполагает решение следующих задач:

- проведение детализированного анализа характерных рисков с учетом всех особенностей территорий;
- организационно-техническое объединение всех имеющихся элементов и ресурсов в подсистемы (по направлениям деятельности в зависимости от характерных рисков);

- обеспечение согласованного функционирования всех систем мониторинга и лабораторного контроля;
- обеспечение деятельности органов управления путем внедрения современных информационно-управляющих, геоинформационных, программных и аналитических комплексов для прогнозирования и моделирования обстановки, а также комплексов защиты информации;
- определение состава группировки сил и средств (в том числе с учетом формирований, создаваемых на нештатной и добровольной основе);
- создание и пополнение запасов материальных и технических средств.

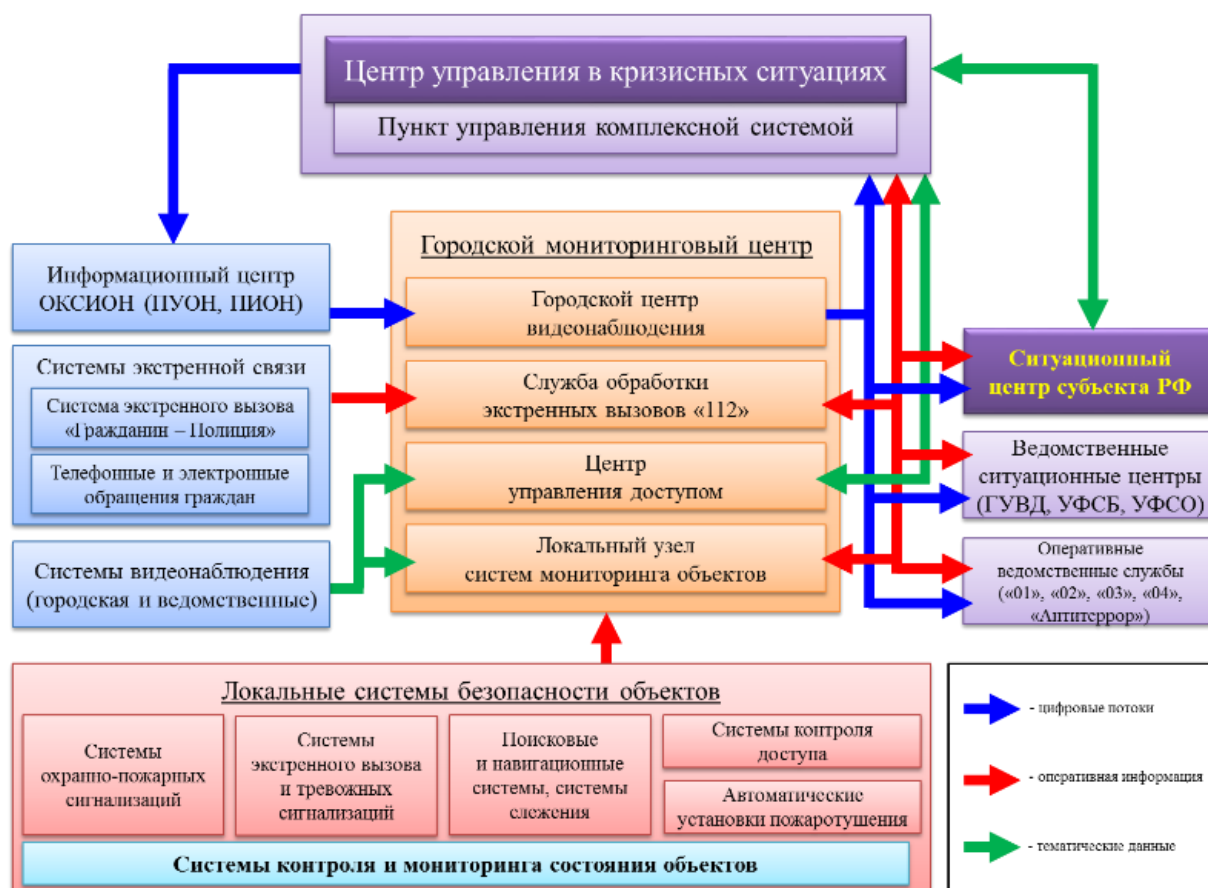


Рис. 2. Схема организации управления и взаимодействия в комплексной системе обеспечения безопасности жизнедеятельности населения
(ГУВД – главное управление внутренних дел; УФСБ – управление федеральной службой безопасности; УФСО – управление федеральной службой охраны)

К задачам комплексной системы, решаемым в целях предупреждения радиационных инцидентов, относятся прогнозирование радиационной обстановки; предупреждение и минимизация возможных последствий радиационных инцидентов; обеспечение высокой вероятности обнаружения возможных источников ионизирующего излучения за отведенное время контроля; обеспечение готовности сил и средств, предназначенных для проведения комплекса мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий радиационных инцидентов; обеспечение экспрессности радиационного контроля; поддержание постоянной готовности элементов подсистемы обеспечения радиационной безопасности (рис. 3).

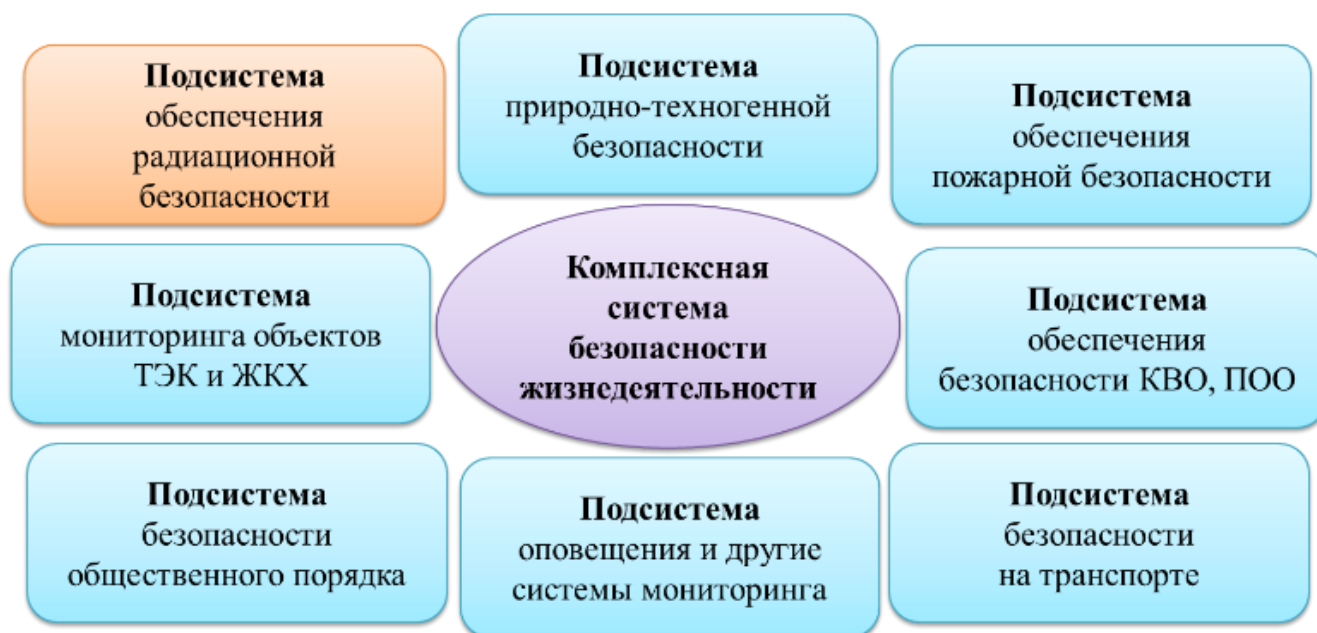


Рис. 3. Примерный состав подсистем, входящих в территориальную комплексную систему обеспечения безопасности жизнедеятельности: ТЭК – топливно-энергетический комплекс; ЖКХ – жилищно-коммунальное хозяйство; КВО – критически важный объект; ПОО – потенциально опасный объект

Подсистема обеспечения радиационной безопасности состоит из следующих основных элементов:

- органы управления;
- система мониторинга радиационной обстановки (совокупность датчиков и оборудования пунктов наблюдения);
- система сбора и обработки информации;
- комплекс прогнозирования и моделирования радиационной обстановки;
- силы и средства обеспечения радиационной безопасности;
- запасы материальных и технических средств.

Для более детального анализа в предлагаемой комплексной методике оценки предполагается применение метода «галстук-бабочка». Основные принципы и правила построения диаграммы изложены в ГОСТ Р 51901.23–2012 «Менеджмент риска. Реестр риска. Руководство по оценке риска опасных событий для включения в реестр риска».

Основное внимание при анализе риска уделяли исследованию барьеров между причинами и опасными событиями; опасными событиями и последствиями рис. 4.

Предварительный анализ рисков и разработанное графоаналитическое представление общей схемы характерных для рассматриваемых техногенных ЧС, позволяет определить проактивные барьеры, влияющие на конкретный вид и источник техногенной ЧС.

Аналогично рассмотрим правую часть диаграммы «галстук-бабочка» (рис. 4) для каждого источника риска.

Это позволяет выделить реактивные барьеры (мероприятия по контролю), влияющие на снижение последствий воздействия каждой конкретной ЧС (рис. 5, 6).

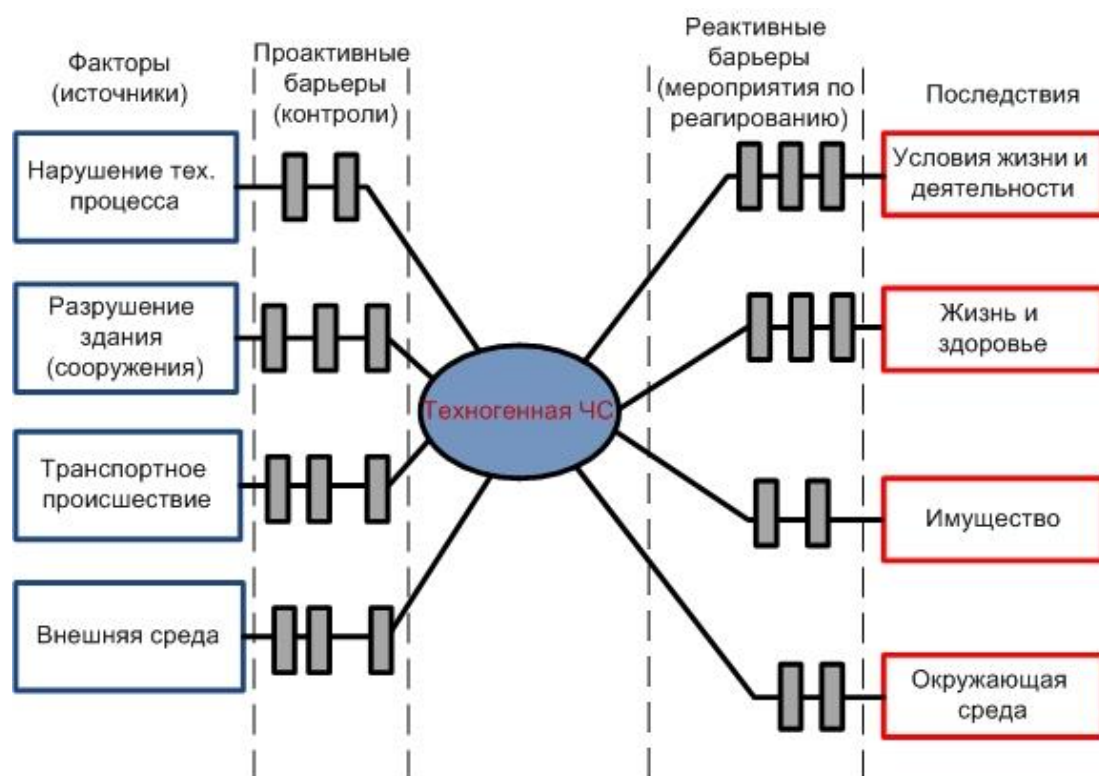


Рис. 4. Пример «галстук-бабочка» для рассматриваемой системы

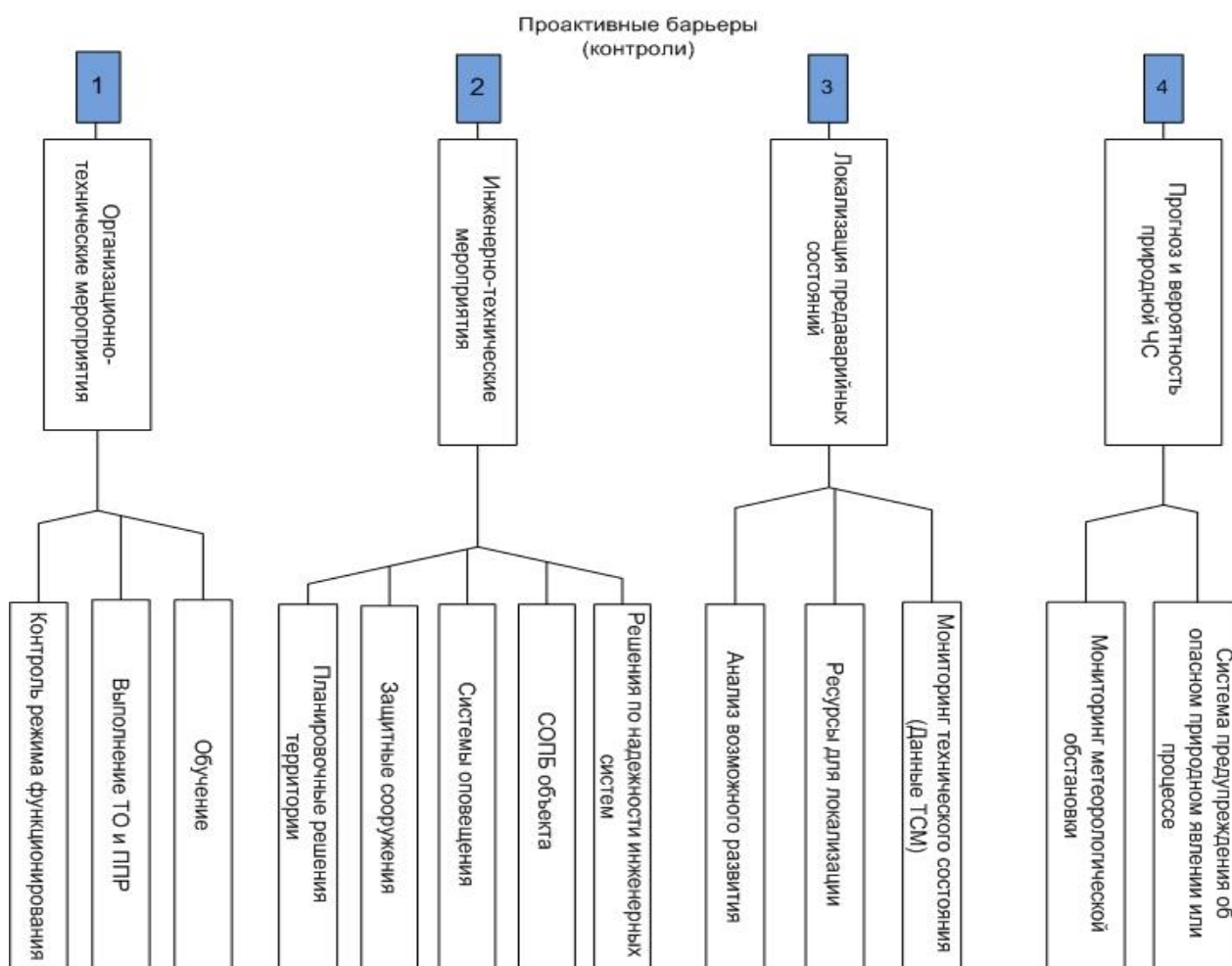


Рис. 5. Пример структуры проактивных барьеров: ППР – проект производства работ; СОПБ – система обеспечения пожарной безопасности; ТСМ – топливосодержащие материалы

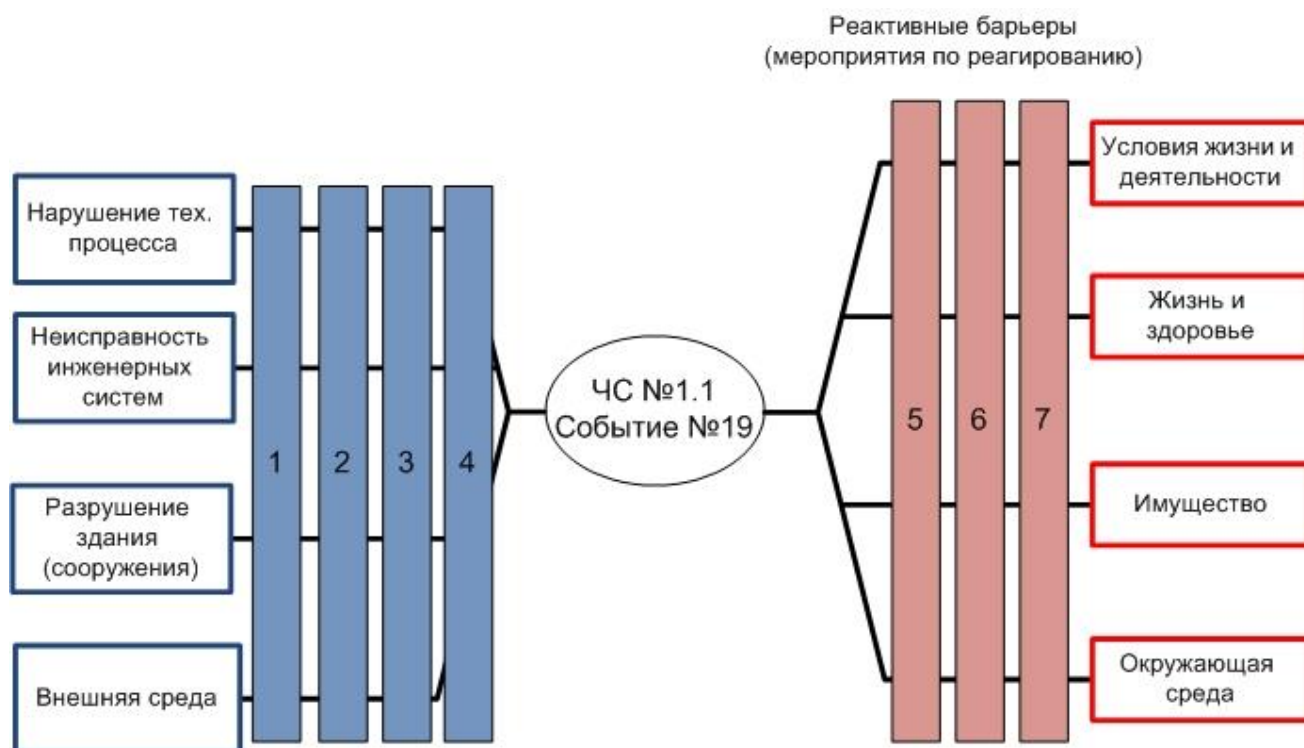


Рис. 6. Пример этапа построение проактивных барьеров

Общий показатель по конкретному источнику техногенной ЧС можно представить в виде дерева рис. 7.

Каждый из источников риска техногенной ЧС, определённых для рассматриваемой территории, возможно представить как набор событий с уникальными проактивными и реактивными барьерами.

Детерминистическое значение искомого показателя ($P_{ИР}$) можно выразить следующим выражением:

$$P_n(ир) = A(pa)_1\omega_1 + A(pa)_2\omega_2 + A(pa)_3\omega_3 + A(pa)_4\omega_4 + A(a)_5\omega_5 + A(a)_6\omega_6 + A(a)_7\omega_7,$$

где a – значение показателя; ω – вес значения в общем показателе.

Значение каждого рассматриваемого барьера будет определяться значениями элемента, его составляющего, так значение для барьера № 1 «Организационно-технические мероприятия» возможно представить следующим выражением в формуле:

$$A_1(pa) = a_{1.1}\omega_{1.1} + a_{1.2}\omega_{1.2} + a_{1.3}\omega_{1.3}.$$

Исходя из принятой в Российской Федерации терминологии, можно выделить основные элементы системы защиты населения от ЧС техногенного характера, параметры и состояния которых могут являться показателем состояния защищенности жизни и здоровья людей, их имущества и среды обитания человека от опасностей при ЧС техногенного характера согласно определению (рис. 8).

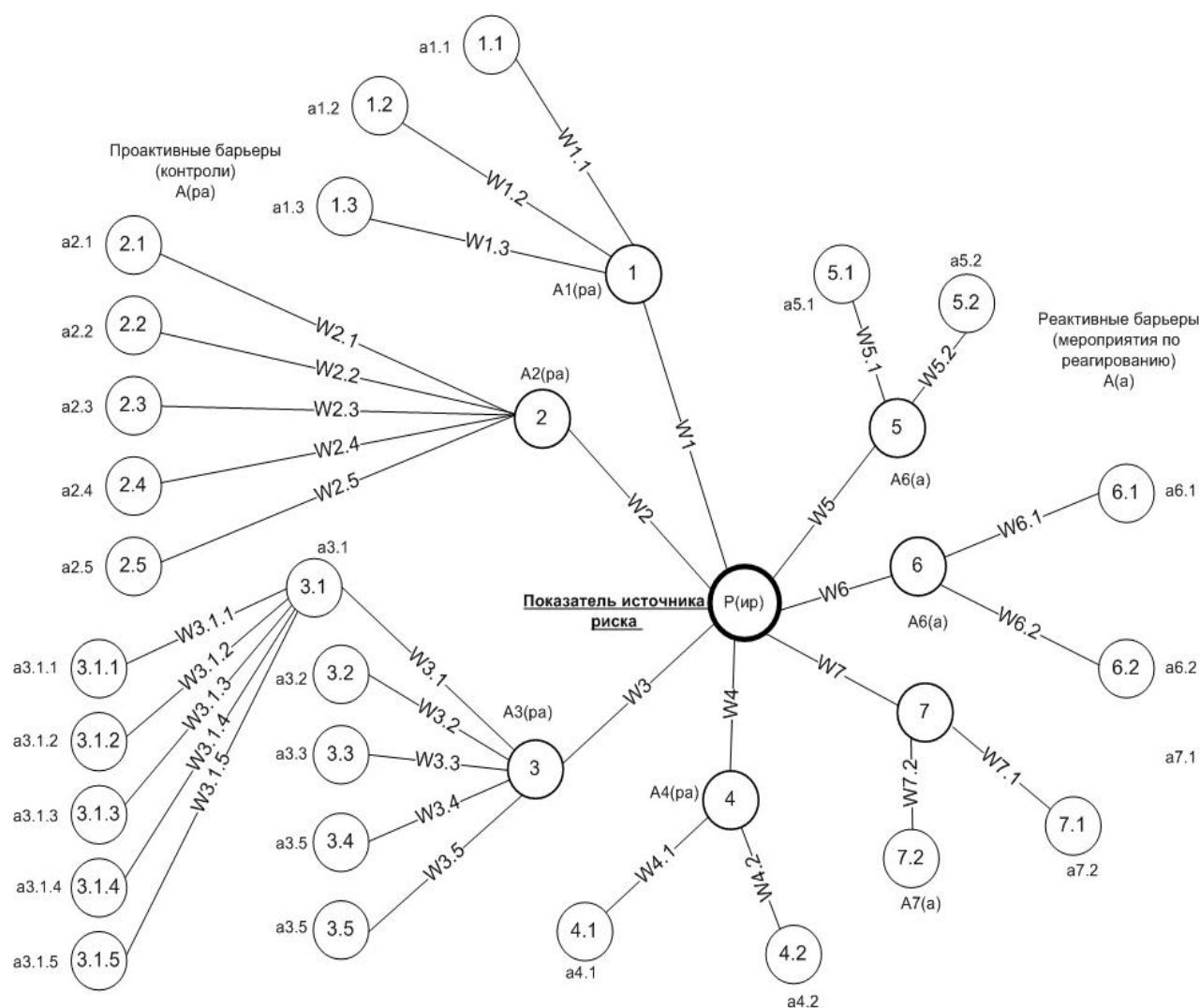


Рис. 7. Дерево показателей источника риска

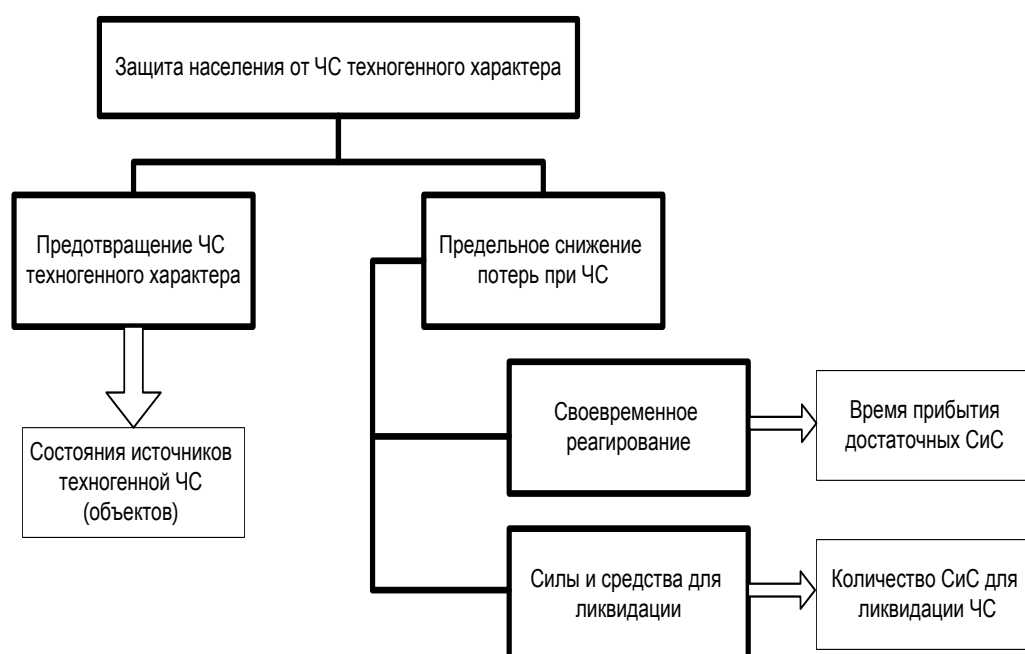


Рис. 8. Основные элементы системы защиты населения от ЧС техногенного характера (СиС – специальные инженерные службы)

Основными элементами системы защиты населения от ЧС техногенного характера будут являться предотвращение ЧС и предельное снижение потерь при ЧС.

Заключение

Рассмотрены особенности системы мониторинга техногенных ЧС в рамках современных подходов к обеспечению безопасности, выделены ключевые особенности функционирования системы. Выполнен анализ и определены основные элементы системы защиты населения от ЧС техногенного характера, параметры которых могут являться показателями состояния защищенности жизни и здоровья людей, их имущества и среды обитания человека от опасностей при техногенных ЧС.

На основе существующих методик и инструментов анализа, статистических данных и данных по функционированию системы составлен реестр рисков, характерных для рассматриваемой территории, и выполнена их базовая скрининговая оценка и предварительный анализ опасностей.

Список источников

1. Акимов В.А. Общая теория безопасности жизнедеятельности в современной картине мира. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2018. 136 с.
2. Надёжность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов [и др.]. М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. 368 с.
3. Государственные доклады о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2010–2019 годах. М.: МЧС России, 2011–2020.
4. The Global Risks Report 2021, 16th Edition, is published by the World Economic Forum.
5. Акимов В.А., Бедило М.В., Суцев С.П. Исследование чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера современными научными методами: монография. М.: ФГБУ ВНИИГОЧС, 2021. 179 с.
6. Информационно-коммуникационные технологии обеспечения безопасности жизнедеятельности: монография / под общ. ред. П.А. Попова. М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2006. 272 с.
7. О разработке модели мониторинга состояния системы комплексной безопасности закрытого административно-территориального образования / А.В. Рыбаков [и др.] // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник». 2019. № 4. С. 65–69.
8. Чуприян А.П. Методические рекомендации АПК «Безопасный город» построение (развитие), внедрение и эксплуатация 2-4-87-12-14 от 22 февр. 2015 г. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
9. Акимов В.А., Диденко С.Л., Олтян И.Ю. Нелинейная наука для исследования аварий, катастроф и стихийных бедствий. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2020. 142 с.
10. Проектирование систем поддержки управления природно-техногенной безопасностью территорий с использованием онтологий / А.В. Калач [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. 2021. № 3. С. 95–105.

References

1. Akimov V.A. Obshchaya teoriya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti v sovremennoj kartine mira. M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2018. 136 s.
2. Nadyozhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk / V.A. Akimov [i dr.]. M.: ZAO FID «Delovoj ekspress», 2002. 368 s.
3. Gosudarstvennyye doklady o sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera v 2010–2019 godah. M.: MCHS Rossii, 2011–2020.
4. The Global Risks Report 2021, 16th Edition, is published by the World Economic Forum.

5. Akimov V.A., Bedilo M.V., Sushchev S.P. Issledovanie chrezvychajnyh situacij prirodno, tekhnogenno i biologo-social'nogo haraktera sovremennymi nauchnymi metodami: monografiya. M.: FGBU VNIIGOCHS, 2021. 179 s.

6. Informacionno-kommunikacionnye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: monografiya / pod obshch. red. P.A. Popova. M.: FGU VNII GOCHS (FC), 2006. 272 s.

7. O razrabotke modeli monitoringa sostoyaniya sistemy kompleksnoj bezopasnosti zakrytogo administrativno-territorial'nogo obrazovaniya / A.V. Rybakov [i dr.] // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Sibirskij požarno-spasatel'nyj vestnik». 2019. № 4. С. 65–69.

8. Chupriyan A.P. Metodicheskie rekomendacii APK «Bezopasnyj gorod» postroenie (razvitie), vnedrenie i ekspluatatsiya 2-4-87-12-14 ot 22 fevr. 2015 g. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

9. Akimov V.A., Didenko S.L., Oltyan I.Yu. Nelinejnaya nauka dlya issledovaniya avarij, katastrof i stihijnyh bedstvij. M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2020. 142 s.

10. Proektirovanie sistem podderzhki upravleniya prirodno-tekhnogennoj bezopasnost'yu territorij s ispol'zovaniem ontologij / A.V. Kalach [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Sistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii. 2021. № 3. S. 95–105.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.03.2022; одобрена после рецензирования: 29.03.2022; принята к публикации: 30.03.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 17.03.2022; approved after review: 29.03.2022; accepted for publication: 30.03.2022

Информация об авторах

Андрей Владимирович Калач, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1-а), доктор химических наук, профессор, почетный работник сферы образования Российской Федерации, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

Николай Викторович Мартинович, научный сотрудник отдела прикладных исследований и инновационных технологий Научно-технического центра Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1); e-mail: martin-nv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6897-853X>

Андрей Климентьевич Черных, профессор кафедры информатики и математики Санкт-Петербургского военного ордена Жукова института войск национальной гвардии (198206, Санкт-Петербург, ул. Летчика Пилютова, д. 1), доктор технических наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-1008-2057>

Information about authors:

Andrey V. Kalach, head of the department of information security and protection of information constituting state secrets of Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, st. Irkutskaya, d. 1-a), doctor of chemical sciences, professor, honorary worker of education of the Russian Federation, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

Nikolai V. Martinovich, researcher of department of applied research and innovative technologies of the scientific and technical center of the Federal state budgetary educational institution of higher education Siberian fire and rescue academy of State fire service of EMERCOM of Russia (662972, Krasnoyarsk Territory, Zheleznogorsk, Severnaya St., 1); e-mail: martin-nv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6897-853X>

Andrei K. Chernykh, professor of the department of informatics and mathematics of the St. Petersburg Military Order of Zhukov Institute of the National guard troops (198206, St. Petersburg, Pilyutov St., 1), doctor of technical sciences, professor, <https://orcid.org/0000-0003-1008-2057>

УДК 614.8

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПОЖАРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ

Денис Сергеевич Королев✉.

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия.

Сергей Александрович Кончаков.

Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия

✉otrid@rambler.ru

Аннотация. Современные реалии таковы, что мировое сообщество призывает энергетические державы переходить на низкоуглеродную энергосистему, в частности на использование водорода, а также повсеместное внедрение цифровых технологий в различные отрасли промышленности. В статье проведен анализ сложившейся ситуации, оценено современное состояние готовности принять современные тренды. Результатом исследования являлся опрос экспертов и дальнейшая статистическая обработка результатов. Было установлено, что согласованность мнений превышает 50 %, что представляет собой хороший показатель. Кроме того, авторами работы представлена условная целесообразность применения новых подходов и технологий по обеспечению пожарной безопасности для взрывоопасных технологических процессов.

Ключевые слова: пожарная безопасность, нефтегазовая отрасль, энергосистема, цифровые технологии, энергопереход

Для цитирования: Королев Д.С., Кончаков С.А. Оценка влияния цифровых технологий на пожарную безопасность нефтегазовых объектов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 95–105.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF DIGITAL TECHNOLOGIES ON THE FIRE SAFETY OF OIL AND GAS FACILITIES

Denis S. Korolev✉.

Voronezh state technical university, Voronezh, Russia

Sergey A. Konchakov.

Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia

✉otrid@rambler.ru

Abstract. Modern realities are such that the world community encourages energy powers to switch to low-carbon power system, in particular, to use hydrogen, as well as the ubiquitous introduction of digital technologies in various industries. The article analyzed the current situation, appreciated the current state of readiness to adopt modern trends. The result of the study was a survey of experts and further statistical processing of results. It was found that the consistency of opinions exceeds 50 %, which represents a good indicator. In addition, the authors of the work presents the conditional feasibility of applying new approaches and technologies to ensure fire safety for explosive technological processes.

Keywords: fire safety, oil and gas industry, power system, digital technologies, power transfers

For citation: Korolev D.S., Konchakov S.A. Assessing the impact of digital technologies for fire safety of oil and gas facilities // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 95–105.

Введение

Одним из значимых событий прошлого года является проведение Всемирного экономического форума в г. Давосе, посвященного «The great reset» – «великой перезагрузке» [1]. Мероприятие проходило в режиме «онлайн», чему способствовала новая коронавирусная инфекция. Обсуждались актуальные вопросы развития концепции восстановления мировой экономики после пандемии COVID-19, и прослеживался призыв к лидерам стран-участниц о необходимости переосмысления современного капитализма и внедрения идей социального и имущественного равенства, развития многосторонних отношений, максимально исключая закрытость, протекционизм и искусственные барьеры. Особо акцентировалось внимание на зеленой энергетике и климатических изменениях.

Набирающая популярность модель энергоперехода к низкоуглеродной энергетике фактически торпедирует российскую энергосистему, вызывая все большую популярность проектов по производству и транспортировке «чистого водорода» [2]. Характерным примером является альянс ОАО «Газпром» и ряда европейских компаний Wintershall Dea, Gasunie, RWE, Shell, начинающим работу над проектом современного газопровода «зеленого» водорода из Северного моря в Германию. Совместный проект ОАО «Газпром» и «Русгаздобычи» по строительству гигантского комплекса по переработке этансодержащего газа в пос. Усть-Луга Ленинградской обл. Данный кластер объединит газопереработку, газохимию и сжижение природного газа [3]. Поэтому неудивительно, что руководство газовых гигантов продвигают «голубой водород», производимый из природного газа.

Согласно статистическим данным [4] Российская Федерация обеспечена запасами нефти на ближайшие 59 лет, при условии сохранения нынешнего уровня добычи, а природного газа – на 103 г. Увеличивая объемы геологоразведки в труднодоступных местах необъятной страны, временные сроки сдвинутся в сторону увеличения, что позволит прирастить новые запасы полезных ископаемых за счет высвобождения старых месторождений и максимальной загрузки новых. На рис. 1 представлено современное состояние разведанных запасов нефтегазовых продуктов.



Рис. 1. Общее представление о запасах нефти и газового конденсата в России

Эксперты отмечают, что такой прогноз основан исключительно на индикативных показателях (развитие технологий, стабильное финансирование, внутреннее потребление, мировой спрос, развитие инфраструктуры в труднодоступных местах и т.д.). Поэтому представленные выше рубежи будут постоянно меняться. При этом по данным Центрального диспетчерского управления топливно-энергетического комплекса Российской Федерации объем полученных нефтепродуктов и газового конденсата на территории России снизился на 9 % (до 512, 68 млн т), в сравнении с доковидными ограничениями [4, 5]. Выделяют основные причины сложившейся ситуации:

- договоренность стран ОПЭК по сокращению добычи;
- медленное развитие отечественных технологий в нефтегазовой отрасли;
- санкционная политика.

В тоже время практически не обсуждаются проблемы технологического хранения или транспортировки того же водорода, характеризуемого высокой взрывопожароопасностью и относящегося к категории взрывоопасной смеси ПС, группе взрывоопасной смеси Т1 [6, 7]. Жидкий водород имеет отличительную особенность испаряться не только за счет тепла окружающей среды, но и за счет тепла орто-, параконверсии, превышая теплоту парообразования. Авторы в работе [8] обсуждали проблемы энергоперехода и призывали обратить особое внимание на обеспечение пожарной безопасности этих технологических процессов.

Методы и исследования

Следует отметить, что в настоящее время отсутствует комплексный подход, призванный реализовать обеспечение пожарной безопасности инновационной среды и высокотехнологичных нефтегазовых предприятий. Поэтому возникает необходимость в научных изысканиях, позволивших адаптировать теоретико-практические рекомендации в процесс управления пожарной безопасностью нефтяной отраслью России [9–11].

Научное сообщество, а также эксперты в области пожарной безопасности должны принять новую реальность, осознать главные проявления и вызовы, адаптировать методологию обеспечения безопасности с цифровыми платформами. Все стремительно меняется: модели, методики, алгоритмы, взаимоотношения, цифровые профили и система коммуникаций. Все вышесказанное позволило установить концептуальные положения:

- повышение уровня пожарной безопасности нефтегазовой отрасли следует рассматривать как один из основных драйверов управления;
- для повышения синергии всех элементов системы обеспечения пожарной безопасности целесообразно создавать и развивать экосистемы пожарной безопасности;
- для развития экосистемы пожарной безопасности необходимы цифровые инфраструктуры, инструменты и компетенции;
- в условиях внедрения цифровых экосистем пожарной безопасности возможно беспрепятственное применение современных технологий, повышающих уровень сложности нефтепереработки.

Поэтому под системой управления пожарной безопасностью нефтегазовой отраслью понимается:

- активное сотрудничество государства, альянсов и др.;
- трансформация и цифровизация нефтегазовых объектов;
- обеспечение тесного взаимодействия в вопросах пожарной безопасности;
- применение новых средств, способов, подходов и методов технического обеспечения пожарной безопасности;
- разработка компенсирующих мероприятий;
- расчет пожарных рисков и рисков возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) и т.д.

А модель управления пожарной безопасностью примет следующий вид:

$$МУПБ = f(СТ, ЦУ, КУ, ФУ, МУ, РУ),$$

где МУПБ – модель управления пожарной безопасностью нефтегазовых предприятий (рис. 2), которая должна включать в себя: СТ – современные тренды; ЦУ – цели управления; КУ – критерии управления; ФУ – факторы управления; МУ – методы управления; РУ – ресурсы управления.

Такой подход должен обеспечить эффективную работу нефтегазовых предприятий за счет совершенствования системы управления пожарной безопасностью путем применения современных цифровых технологий. Кроме того, это будет полностью соответствовать концепции развития системы управления МЧС России до 2030 г., направленной на переход от системы реагирования на ЧС к их предупреждению. Практический опыт применения технологий нового поколения уже показал положительные результаты, особенно в прошлом году при прохождении паводка на территории Дальневосточного федерального округа, что позволило исключить человеческие жертвы и минимизировать материальный ущерб.

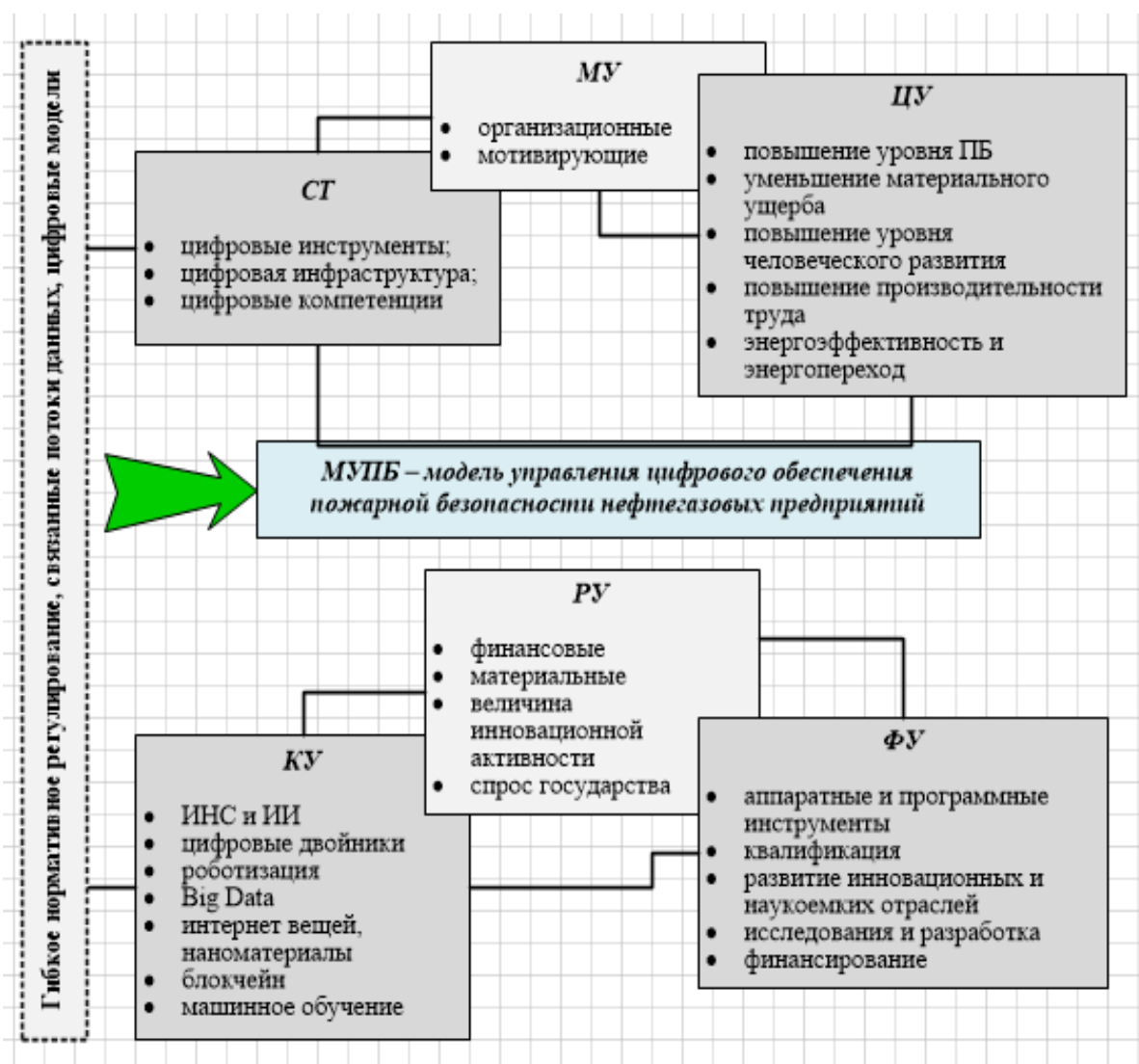


Рис. 2. Особенности МУПБ (ИНС – искусственные нейронные сети; ИИ – искусственный интеллект)

Результаты исследования

Выбор основных параметров модели проведен на основе функционального анализа, а затем верифицирован на основании данных опроса экспертов. На первом этапе разработали

чек-лист с рассматриваемыми параметрами, а также сформировали состав экспертной комиссии. Каждому мнению был присвоен ранговый номер и составлена ранговая матрица (табл. 1), которая будет переформатироваться в связи со связными рангами.

Таблица 1. Ранговая матрица значимости факторов

№ / Эксперты	1	2	3	4	5
1	9	7	9	7	6
2	9	9	9	9	9
3	7	9	3	7	9
4	9	6	7	8	8
5	7	8	6	7	5
6	7	5	7	4	5
Поскольку в матрице присутствуют связные ранги в оценке параметров первого эксперта, проведем переформатирование матрицы					
Номера мест в упорядоченном ряду		Расположение факторов по оценке эксперта		Новые ранги	
1		7		2	
2		7		2	
3		7		2	
4		9		5	
5		9		5	
6		9		5	
Поскольку в матрице присутствуют связные ранги в оценке параметров второго эксперта, проведем переформатирование матрицы					
1		5		1	
2		6		2	
3		7		3	
4		8		4	
5		9		5,5	
6		9		5,5	
Поскольку в матрице присутствуют связные ранги в оценке параметров третьего эксперта, проведем переформатирование матрицы					
1		3		1	
2		6		2	
3		7		3,5	
4		7		3,5	
5		9		5,5	
6		9		5,5	
Поскольку в матрице присутствуют связные ранги в оценке параметров четвертого эксперта, проведем переформатирование матрицы					
1		4		1	
2		7		3	
3		7		3	
4		7		3	
5		8		5	
6		9		6	
Поскольку в матрице присутствуют связные ранги в оценке параметров пятого эксперта, проведем переформатирование матрицы					
1		5		1,5	
2		5		1,5	
3		6		3	
4		8		4	
5		9		5,5	
6		9		5,5	

На основании полученных значений составим новую матрицу рангов экспертов. Проведем расчет безразмерного коэффициента d по формуле (1), а по формуле (2) определим правильность составления матрицы на основе контрольной суммы исчисления. Полученные значения представим в табл. 2.

$$d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum \sum x_{ij} - 17,5, \quad (1)$$

где x – рассматриваемый параметр; n – количество экспертов.

Таблица 2. Предварительные результаты

Факторы / Эксперты	1	2	3	4	5	Сумма рангов	d	d ²
x ₁	5	3	5,5	3	3	19,5	2	4
x ₂	5	5,5	5,5	6	5,5	27,5	10	100
x ₃	2	5,5	1	3	5,5	17	-0,5	0,25
x ₄	5	2	3,5	5	4	19,5	2	4
x ₅	2	4	2	3	1,5	12,5	-5	25
x ₆	2	1	3,5	1	1,5	9	-8,5	72,25
Σ	21	21	21	21	21	105		205,5

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n) \cdot n}{2} = \frac{(1+6) \cdot 6}{2} = 21. \quad (2)$$

По результатам проведенного расчета, суммы по основным столбцам матрицы оказались между собой равны, что означает ее правильность составления, а значит можно разместить факторы по значимости, и рассчитать показатели весомости (табл. 3):

$$S_{ij} = X_{\max} - X_{ij}.$$

Таблица 3. Показатели весомости

Факторы					Сумма рангов		
x ₆					9		
x ₅					12,5		
x ₃					17		
x ₁					19,5		
x ₄					19,5		
x ₂					27,5		
№ / Эксперты	1	2	3	4	5	Σ	Вес λ
1	0	2	0	2	3	7	0,1321
2	0	0	0	0	0	0	0
3	2	0	6	2	0	10	0,1887
4	0	3	2	1	1	7	0,1321
5	2	1	3	2	4	12	0,2264
6	2	4	2	5	4	17	0,3208
Итого						53	1

Проведем статистическую обработку данных, рассчитаем коэффициент конкордации и определим степень согласованности мнений экспертов:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot m^2 \cdot (n^3 - n) - m \cdot \sum T_i},$$

где m – число факторов; n – число экспертов; S – сумма квадратов отклонений суммы рангов по m факторам от их средней арифметической (205,5).

$$T_i = \frac{1}{12} \cdot \sum (t_i^3 - t_i), \quad (3)$$

где t_i – количество элементов в i -й связке для i -го эксперта (количество повторяющихся элементов).

$$T_1 = [(3^3 - 3) + (3^3 - 3)] / 12 = 4;$$

$$T_2 = [(2^3 - 2)] / 12 = 0,5;$$

$$T_3 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2)] / 12 = 1;$$

$$T_4 = [(3^3 - 3)] / 12 = 2;$$

$$T_5 = [(2^3 - 2) + (2^3 - 2)] / 12 = 1;$$

$$\sum T_i = 4 + 0,5 + 1 + 2 + 1 = 8,5;$$

$$W = \frac{205,5}{\frac{1}{12} \cdot 5^2 \cdot (6^3 - 6) - 5 \cdot 8,5} = 0,52.$$

По результатам расчета, коэффициент конкордации составил 0,52, что означает среднюю степень согласованности мнений экспертов по предлагаемым факторам, влияющим на пожарную безопасность нефтегазовой отрасли. Поэтому определим значимость полученного коэффициента при помощи критерия Пирсона:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot mn \cdot (n+1) + \frac{1}{n-1} \cdot \sum T_i} = \frac{205,5}{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 6 \cdot (6+1) + \frac{1}{(6-1)} \cdot 8,5} = 13,01. \quad (4)$$

Поскольку расчетное значение критерия Пирсона – $13,01 \geq$ табличного (11,07050) при степени свободы $K = n - 1 = 6 - 1 = 5$ имеет уровень значимости $\alpha = 0,05$, то значение коэффициента конкордации (0,52) – не случайная величина, которая показывает среднюю согласованность мнений экспертов, а значит, результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших расчетах и исследованиях.

Научной новизной будет являться разработанная модель управления пожарной безопасностью нефтегазовой отраслью, включающая современные технологии и информационные ресурсы, призванные обеспечить энергопереход, повысить уровень пожарной безопасности.

При реализации модели управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов возможно формирование сетевой структуры взаимоотношений системы пожарной безопасности, наполнение ее современными ресурсами по снижению риска возникновения ЧС и минимизации материального ущерба, а также обеспечение научно-технологического развития. В табл. 4 представлено графоаналитическое представление использования разработанной модели на примере нескольких технологических процессов.

Таблица 4. Аналитическое представление модели

№	Основные направления модели	Пиролиз [12]	Термический крекинг [13]	Висбрейтинг [14]	Производство водорода [15]	Каталитическая конверсия [16]	Алкилирование [17]	Окислительная конверсия [18]	Каталитический риформинг [19]
1	СТ								
1.1	Цифровые инструменты	Обладание навыками профессионального решения задач, применение цифровых ресурсов, обеспечивающих вычислительные и коммуникационные операции в режиме реального времени; облачные хранилища; сервисы для совместной работы; программы для удаленной работы технологическим процессом; CRM – системы							
1.2	Цифровая инфраструктура								
1.3	Цифровые компетенции								
2	МУ								
2.1	Организационные	Стремление обеспечить должный уровень пожарной безопасности							
2.2	Мотивирующие	Индивидуальный подход к работникам предприятий							
3	ЦУ								
3.1	Повышение уровня ПБ	Реализация комплекса мероприятий по минимизации риска возникновения пожаров, взрывов, ЧС и материального ущерба							
3.2	Уменьшение материального ущерба								
3.3	Повышение уровня человеческого развития	В условиях развития современных трендов необходимо постоянное совершенствование, что позволит легко интегрироваться в меняющихся условиях							
3.4	Повышение производительности труда	Постоянный контроль и повышенная ответственность							
3.5	Энергоэффективность и энергопереход	Важный аспект в условиях перехода к низкоуглеродному производству, декарбонизации и т.д.							
4	РУ								
4.1	Финансовые	Продажа нефтепродуктов, технологий взамен на модернизацию производства с учетом снижения рисков возникновения пожароопасных ситуаций							
4.2	Материальные	Инвестиционная, фондовая и спонсорская поддержка на разработку и внедрение современной системы обеспечения пожарной безопасности							
4.3	Величина инновационной активности	В зависимости от технологического развития							
4.4	Спрос государства	Необходимо для общественного блага							
5	КУ								
5.1	ИНС и ИИ [20]	Мониторинг процессов, глубокая аналитика и т.д.							
5.2	Цифровые двойники [21]	Исключение ошибок на этапе проектирования							
5.3	Роботизация [22]	Автоматизация взрывоопасного производства							
5.4	Big Data [23]	Обработка массива данных							
5.5	Интернет вещей, наноматериалы [24]	Применение материалов с новыми или заложенными под требования свойствами материалов (веществ)							
5.6	Блокчейн [25]	Мониторинг записей событий							
5.7	Машинное обучение [26]	Обучение за счёт решений множества сходных задач							
6	ФУ								
6.1	Аппаратные и программные инструменты	Повсеместное внедрение цифровых платформ и информационных ресурсов							
6.2	Квалификация	Постоянное повышение квалификации							
6.3	Развитие инновационных и наукоемких отраслей	Разработка новых технологий, минимизирующих риск возникновения пожарной опасности, и т.д.							
6.4	Исследование и разработка	Апробация современных подходов							

Заключение

Таким образом, авторское представление о модели управления пожарной безопасностью нефтегазовой отрасли включает характеристику инновационной среды, в основе которой лежат взаимосвязанные элементы: общественные, государственные, производственные институты; научно-исследовательские возможности; человеческие ресурсы, управление в кризисных ситуациях; производственные сквозные и цифровые технологии. Все вышеперечисленное является базой для формирования компетенций и совершенствования механизма управления пожарной безопасностью рассматриваемой отрасли.

Список источников

1. Об итогах Давосского форума // Эксперт: электрон. журн. 2021. № 5. URL: <https://yandex.ru/turbo/expert.ru/s/2021/12/29/sng-sammit/> (дата обращения: 15.12.2021).
2. Колбина Т.Ю., Набиева И.К., Абдысадыкова А.Н. Водородная энергетика как новый этап мировой энергетике // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 40. С. 266–269.
3. Никифоров Д.С., Лямина Н.Ф. Промысловые технологии монетизации попутного нефтяного газа // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань: АСТ, 2021. С. 44–46.
4. Скоробогатов В.А. Будущее Российского газа и нефти // Геология нефти и газа. 2018. № 4. С. 31–43.
5. Кошкин Р.П. Россия в глобальном мире: современная геополитическая ситуация // Стратегические приоритеты. 2020. № 1. С. 9–48.
6. Королев Д.С., Калач А.В., Щербakov О.В. Применение методики прогнозирования пожароопасных свойств продуктов нефтепереработки на основе молекулярных дескрипторов для обоснования температурного класса взрывозащищенного электрооборудования // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 6. С. 21–30.
7. Королев Д.С., Калач А.В. Определение класса взрывопожароопасных и пожароопасных зон при помощи молекулярных дескрипторов и искусственных нейронных сетей // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2016. № 2 (2). С. 7–10.
8. Королев Д.С., Калач А.В., Зенин А.Ю. Новые вызовы при обеспечении пожарной безопасности в условиях энергоперехода // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайной ситуации. Железногорск, 2021. С. 178–181.
9. Королев Д.С. Разработка предиктивного способа поведения цифрового оборудования, применяемого в нефтегазовой отрасли // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 2 (21). С. 7–12.
10. Анализ математических моделей развития опасных факторов пожара в системе зданий и сооружений / А.С. Ярош [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2019. № 1. С. 50–56.
11. Creation of a software complex for fire safety regulatory document use automation / S.V. Klochkov [et. al] // Journal of Physics: Conference series. Krasnoyarsk, 2020. P. 32072.
12. Huber Renewable chemical commodity feedstocks from integrated catalytic processing of pyrolysis oils / P.V. Tushar [et. al] // Science. 2010. № 600826 (330). P. 1222–1227.
13. Prabir Basu Biomass Gasification. Pyrolysis and Torrefaction (Third Edition) Practical Design and Theory. Canada, 2018. P. 189–210. DOI: 10.1016/B978-0-12-812992-0.00006-6.
14. Серебряков О.И., Ушивцева Л.Ф., Серебряков А.О. Геохимические технологии поисков, разведки, разработки, добычи и переработки нефти и газа: монография. М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 300 с. ISBN 978-5-9729-0653-6.
15. Brian D.J., DeSantis D.A., Saur G. Final Report: Hydrogen Production Pathways Cost Analysis (2013–2016). Arlington: Strategic Analysis Inc., 2016. DOI: 10.2172/1346418.
16. Вакк Э.Г., Семенов В.П. Каталитическая конверсия углеводов в трубчатых печах. М.: Химия, 1973. 192 с.
17. Weitkamp J., Erthl G., Knözinger H. Alkylation of isobutane with alkenes on solid catalysts. Handbook of Heterogeneous Catalysis, Weinheim: VCH, 1997. Vol. 4. P. 2039.

18. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти. М.: ЦНИИТ Энефтехим, 2001. 625 с.
19. Войцеховский Б.В., Корма А. Каталитический крекинг. Катализаторы, химия, кинетика / под ред. Н.С. Печура. М.: Химия, 1990. 152 с.
20. Азимбаев Д.Ж., Куан И.А., Гулида И.В. Искусственный интеллект и машинное обучение // Вестник современных исследований. 2019. № 1.3 (28). С. 6–7.
21. Кораблев А.В. Цифровые двойники как средство «осушения» цифровых озёр // IT-weekly, 2019.
22. World employment social outlook: Trends 2018. International Labour Office. Geneva: ILO, 2018.
23. Орлов Г.А., Красов А.В., Гельфанд А.М. Применение big data при анализе больших данных в компьютерных сетях // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 4. С. 76–84.
24. Internet of things as a complement to increase safety / E. Larsson [et. al] // Журнал Белорусского государственного университета. Международные отношения. 2020. № 1. С. 88–93.
25. Принципы работы технологии блокчейн / А.Е. Тойлыбаев [и др.] // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2017. № 4 (103). С. 249–257.
26. Turganbayeva A.R., Ryskulbek S.A., Ryskulbek A.K. Machine learning in psychometry and psychological research // Синергия Наук. 2021. № 60. С. 35–61.

References

1. Ob itogah Davossskogo foruma // Ekspert: elektron. zhurn. 2021. № 5. URL: <https://yandex.ru/turbo/expert.ru/s/2021/12/29/sng-sammit/> (data obrashcheniya: 15.12.2021).
2. Kolbina T.Yu., Nabieva I.K., Abdysadykova A.N. Vodorodnaya energetika kak novyy etap mirovoj energetiki // Innovacii. Nauka. Obrazovanie. 2021. № 40. S. 266–269.
3. Nikiforov D.S., Lyamina N.F. Promyslovye tekhnologii monetizacii poputnogo neftyanogo gaza // Novejshie tekhnologii osvoeniya mestorozhdenij uglevodorodnogo syr'ya i obespechenie bezopasnosti ekosistem Kaspijskogo shel'fa. Materialy XII Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferencii. Astrahan': AST, 2021. S. 44–46.
4. Skorobogatov V.A. Budushchee Rossijskogo gaza i nefti // Geologiya nefti i gaza. 2018. № 4. S. 31–43.
5. Koshkin R.P. Rossiya v global'nom mire: sovremennaya geopoliticheskaya situaciya // Strategicheskie priority. 2020. № 1. S. 9–48.
6. Korolev D.S., Kalach A.V., Shcherbakov O.V. Primenenie metodiki prognozirovaniya požaroopasnyh svoystv produktov neftepererabotki na osnove molekulyarnyh deskriptorov dlya obosnovaniya temperaturnogo klassa vzryvozhishchennogo elektrooborudovaniya // Pozharovzryvbezopasnost'. 2017. T. 26. № 6. S. 21–30.
7. Korolev D.S., Kalach A.V. Opredelenie klassa vzryvopozharoopasnyh i požaroopasnyh zon pri pomoshchi molekulyarnyh deskriptorov i iskusstvennyh nejronnyh setej // Sibirskij požarno-spasatel'nyj vestnik. 2016. № 2 (2). S. 7–10.
8. Korolev D.S., Kalach A.V., Zenin A.Yu. Novye vyzovy pri obespechenii požarnoj bezopasnosti v usloviyah energoperekhoda // Aktual'nye problemy obespecheniya požarnoj bezopasnosti i zashchity ot chrezvychajnoj situacii. Zheleznogorsk, 2021. S. 178–181.
9. Korolev D.S. Razrabotka prediktivnogo sposoba povedeniya cifrovogo oborudovaniya, primenyaemogo v neftegazovoj otrasli // Sibirskij požarno-spasatel'nyj vestnik. 2021. № 2 (21). S. 7–12.
10. Analiz matematicheskikh modelej razvitiya opasnyh faktorov požara v sisteme zdaniy i sooruzhenij / A.S. Yarosh [i dr.] // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti. 2019. № 1. S. 50–56.
11. Creation of a software complex for fire safety regulatory document use automation / S.V. Klochkov [et. al] // Journal of Physics: Conference series. Krasnoyarsk, 2020. P. 32072.
12. Huber Renewable chemical commodity feedstocks from integrated catalytic processing of pyrolysis oils / P.V. Tushar [et. al] // Science. 2010. № 600826 (330). P. 1222–1227.

13. Prabir Basu Biomass Gasification. Pyrolysis and Torrefaction (Third Edition) Practical Design and Theory. Canada, 2018. P. 189–210. DOI: 10.1016/B978-0-12-812992-0.00006-6.
14. Serebryakov O.I., Ushivceva L.F., Serebryakov A.O. Geohimicheskie tekhnologii poiskov, razvedki, razrabotki, dobychi i pererabotki nefti i gaza: monografiya. M.; Vologda: Infra-Inzheneriya, 2021. 300 c. ISBN 978-5-9729-0653-6.
15. Brian D.J., DeSantis D.A., Saur G. Final Report: Hydrogen Production Pathways Cost Analysis (2013–2016). Arlington: Strategic Analysis Inc., 2016. DOI: 10.2172/1346418.
16. Vakk E.G., Semenov V.P. Kataliticheskaya konversiya uglevodorodov v trubchatykh pechah. M.: Himiya, 1973. 192 s.
17. Weitkamp J., Erthl G., Knözinger H. Alkylation of isobutane with alkenes on solid catalysts. Handbook of Heterogeneous Catalysis, Weinheim: VCH, 1997. Vol. 4. P. 2039.
18. Bannov P.G. Processy pererabotki nefti. M.: CNIIT Eneftekhim, 2001. 625 s.
19. Vojcekhovskij B.V., Korma A. Kataliticheskij kreking. Katalizatory, himiya, kinetika / pod red. N.S. Pechura. M.: Himiya, 1990. 152 s.
20. Azimbaev D.Zh., Kuan I.A., Gulida I.V. Iskusstvennyj intellekt i mashinnoe obuchenie // Vestnik sovremennykh issledovaniy. 2019. № 1.3 (28). S. 6–7.
21. Korablev A.V. Cifrovye dvojniki kak sredstvo «osusheniya» cifrovyykh ozyor // IT-weekly, 2019.
22. World employment social outlook: Trends 2018. International Labour Office. Geneva: ILO, 2018.
23. Orlov G.A., Krasov A.V., Gel'fand A.M. Primenenie big data pri analize bol'shih dannykh v komp'yuternyykh setyakh // Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli. 2020. T. 12. № 4. S. 76–84.
24. Internet of things as a complement to increase safety / E. Larsson [et. al] // Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Mezhdunarodnye otnosheniya. 2020. № 1. S. 88–93.
25. Principy raboty tekhnologii blokchejn / A.E. Tojlybaev [i dr.] // Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva. 2017. № 4 (103). S. 249–257.
26. Turganbayeva A.R., Ryskulbek S.A., Ryskulbek A.K. Machine learning in psychometry and psychological research // Sinergiya Nauk. 2021. № 60. S. 35–61.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 31.01.2022; одобрена после рецензирования: 28.03.2022;
принята к публикации: 30.03.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 31.01.2022; approved after review: 28.03.2022;
accepted for publication: 30.03.2022

Информация об авторах:

Денис Сергеевич Королёв, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (Опорный ВУЗ) (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84), кандидат технических наук, e-mail: otrid@rambler.ru

Сергей Александрович Кончаков, заместитель начальника кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук

Information about the authors:

Denis S. Korolev, associate professor of the department of technosphere and fire safety of Voronezh state technical university (Reference university) (394006, Voronezh, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84), candidate of technical sciences, e-mail: otrid@rambler.ru

Sergey A. Konchakov, deputy head of the department of civil defense, protection of the population and territories of the Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin str., 4), candidate of technical sciences

УДК 004.942

МОДЕЛЬ ОШИБОК ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

Владимир Фёдорович Щетка;**Геннадий Николаевич Заводсков[✉].****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия****[✉]ncuks73@mail.ru**

Аннотация. Представлен подход к моделированию процессов поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на объектах водного транспорта, основанный на реализации ошибочных действий лица, принимающего решения. Выделены взаимосвязи между факторами, которые определяют виды неопределенности, учитываемые при анализе рисков, а также типы решений, которые могут приниматься по результатам сравнительной оценки рисков.

Определены возможные типы ошибок лица, принимающего решения, которые могут быть выявлены системой при ее функционировании, а также возможности устранения этих ошибок. Новизна работы заключается в разработке схемы модели совершения ошибок должностными лицами, которая описывает порядок выявления ошибок в различных режимах работы системы поддержки принятия решений и зависимость возможных ошибок от компетенций лица, принимающего решение, и его личностных особенностей. Обоснована необходимость учета положения о том, что при принятии решения будет задействован определенный круг должностных лиц, каждый из которых будет иметь соответствующую специализацию, уровень подготовки по этой специализации, а решение будет приниматься в тесной кооперации должностных лиц.

Ключевые слова: безопасность людей на водном транспорте, автоматизированная информационно-управляющая система, орган управления, система поддержки принятия решений

Для цитирования: Щетка В.Ф., Заводсков Г.Н. Модель ошибок должностных лиц при принятии решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 106–118.

THE MODEL OF MISTAKES OF OFFICIALS WHEN MAKING DECISIONS ON ASSESSING THE RISKS OF NATURAL AND MAN-MADE EMERGENCIES

Vladimir F. Shchetka;**Gennady N. Zavodskov[✉].****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia****[✉]ncuks73@mail.ru**

Abstract. An approach to modeling decision-making support processes for the prevention and elimination of natural and man-made emergencies at water transport facilities based on the implementation of erroneous actions of the decision-maker is presented. The interrelations between the factors that determine the types of uncertainty taken into account in the risk analysis, as well as the types of decisions that can be made based on the results of a comparative risk assessment are highlighted.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

The possible types of errors of the decision-maker that can be detected by the system during its operation, as well as the possibility of eliminating these errors, are determined. The novelty of the work lies in the development of a model scheme for making mistakes by officials, which describes the procedure for detecting errors in various modes of operation of the decision support system and the dependence of possible errors on the competencies of the decision-maker and his personal characteristics. The necessity of taking into account the provision that when making a decision, a certain circle of officials will be involved, each of whom will have the appropriate specialization, the level of training in this specialization, and the decision will be made in close cooperation of officials.

Keywords: safety of people on water transport, automated information and control system, management body, decision support system

For citation: Shchetka V.F., Zavodskov G.N. Model of mistakes of officials when making decisions on prevention and liquidation of emergency situations of natural and man-made nature // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 106–118.

Введение

Принятие решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) на объектах водного транспорта осуществляется лицом, принимающим решение (ЛПР) и являющимся должностным лицом (ДЛ) центра управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) (специалистом по применению сил и средств, по мониторингу и прогнозированию ЧС, по оповещению и информированию и др.). Решение принимается на основе оценки обстановки. Основой оценки обстановки является оценка рисков возникновения ЧС. Процесс оценки рисков на водном транспорте – частный случай оценки рисков ЧС как техногенного, так и природного характера в зоне ответственности соответствующего территориального органа МЧС России.

Оценка риска ЧС на водном транспорте складывается из идентификации, анализа и сравнительной оценки риска. Целью идентификации риска является определение, распознавание и описание рисков на водном транспорте, при условии, что они могут помешать системе достичь целей ее функционирования (предполагается использование актуальной на данный момент времени информации).

Целью анализа риска, в частности риска ЧС на водных объектах, является определение характеристик риска, а в ряде случаев и уровня риска. При анализе риска предполагается рассмотрение видов неопределенностей, характерных источников риска, возможных последствий, вероятности наступления неблагоприятных событий, возможных сценариев развития ЧС, а также методов управления риском.

Целью сравнительной оценки риска является сопоставление существующего уровня риска с установленными критериями.

В ходе идентификации, анализа и сравнительной оценки риска необходимо учитывать влияние факторов неопределенности различного вида. Для учета этого влияния следует применять методы, которые учитывают величину факторов неопределенности и взаимосвязи между ними. Факторы, определяющие неопределенность представлены на рис. 1.

Сложность процессов идентификации, анализа и сравнительной оценки риска с учетом факторов неопределенности и их взаимного влияния, а также с учетом требований нормативных документов [1–3] может приводить к тому, что решение, принимаемое ЛПР, окажется ошибочным. В данном случае под ошибочным решением понимается решение, содержащее ошибку.

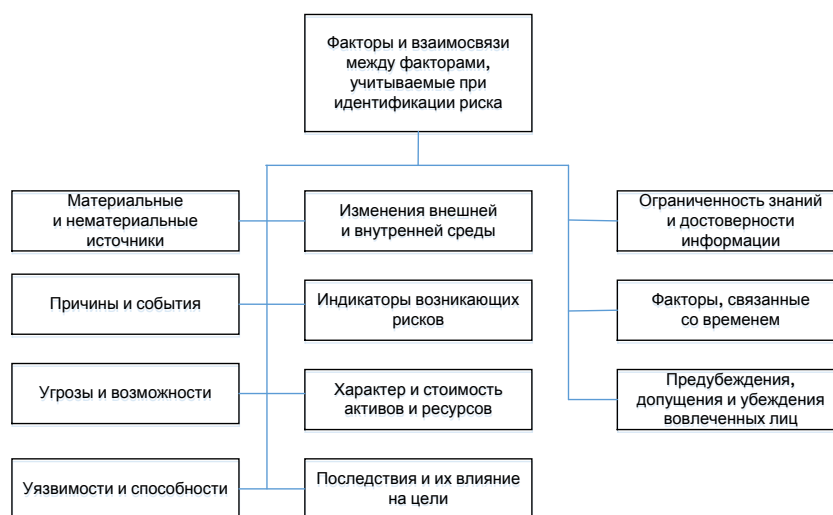


Рис. 1. Факторы, определяющие неопределенность

В работах отечественных и зарубежных авторов, посвященных вопросам выявления причин аварий и ЧС, вызванных ошибками человека [4–6], показано, что 98 % аварий и ЧС могут быть предотвратимы (рис. 2).



Рис. 2. Аварии и ЧС, вызванные ошибками человека

Поэтому задача по выявлению возможных ошибок, допускаемых ЛПР при принятии решений по идентификации, анализу, сравнительной оценке риска и по выработке механизмов устранения выявленных ошибок, является актуальной.

Целью настоящей работы является разработка модели совершения ошибок ЛПР. Данная модель описывает порядок выявления ошибок в различных режимах работы системы поддержки принятия решений и зависимость возможных ошибок от компетенций ЛПР и его личностных особенностей.

Материалы и методы исследования

При принятии решения ЛПР основывается на результатах анализа риска. Неблагоприятное событие, являющееся объектом анализа, может происходить по различным причинам и вызывать соответствующие последствия.

В ряде нормативных документов (ГОСТ Р ИСО 31000–2019, ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011) указывается, что «анализ риска может проводиться с различной степенью детализации и сложности, в зависимости от цели анализа, доступности и достоверности информации, а также доступности ресурсов» [7, 8].

На рис. 3. представлены факторы, которые должны учитываться при осуществлении анализа риска.

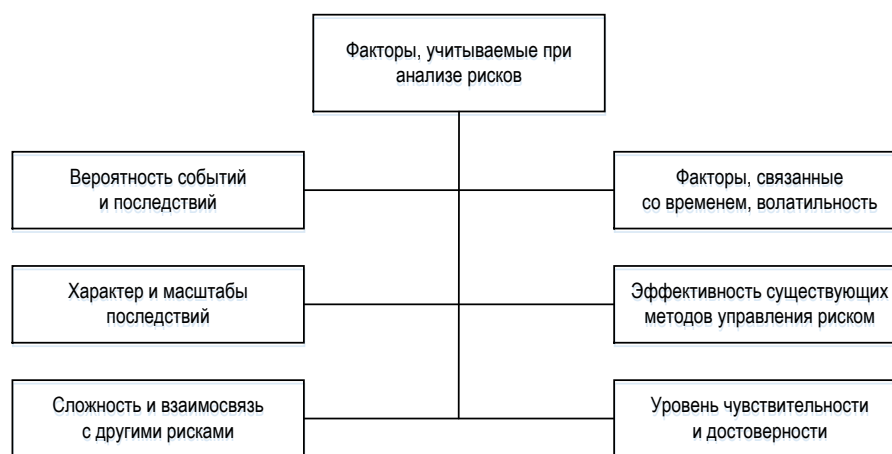


Рис. 3

С учетом того, что анализ рисков осуществляют ДЛ органов управления, на результаты анализа могут оказывать влияние различные факторы. К их числу можно отнести: существенное расхождение мнений ДЛ, принимающих соответствующее решение; возможная предвзятость, личное восприятие ДЛ риска и т.д. Необходимо также учитывать влияние, которое оказывает на принятие решения качество используемой информации ЛПР, а также возможности (допущения и исключения), применяемые в системах поддержки принятия решений [2, 9, 10].

В то же время условия неопределенности, как правило, совсем не поддаются или плохо поддаются количественной оценке. Данное обстоятельство является существенной проблемой при анализе риска. В таких случаях целесообразно применять экспертные методы и методы интеллектуального анализа данных. Результаты анализа риска представляют собой исходные данные, которые в последствии используются для оценки риска, а результаты оценки – для принятия решения. Учет таких результатов позволяет выбрать необходимую стратегию управления риском и методы ее реализации с учетом различных типов и уровней риска [11–13]. Сравнительная оценка риска является основой поддержки принятия решения. При этом в результате сравнительной оценки риска могут быть приняты решения [7], представленные на рис. 4.



Рис. 4. Типы решений, которые могут приниматься по результатам сравнительной оценки рисков

Принимаемые решения должны учитывать уровень подготовки ЛПР в данной предметной области и его личностные особенности.

Для учета уровня подготовки ЛПР и его личностных особенностей необходимо разработать модель ошибок ДЛ, как составную часть модели поддержки принятия решений, которая позволит оценивать риски ЧС природного и техногенного характера на объектах водного транспорта.

Результаты исследования и их обсуждение

Любому ДЛ при принятии решений присуще свойство совершать ошибки, то есть возможность принимать ошибочные решения [5, 6, 14].

В связи с этим предлагается реализовать в системе поддержки принятия решения (СППР) модель совершения ошибок ДЛ. С целью формализации модели необходимо определиться с понятием «ошибочное решение».

Под «ошибочным решением» будем понимать такое принятое решение, которое предполагает отклонение результатов мыслительного акта ДЛ ЦУКС от некоторого интегративного результата, который был сформирован ранее для решаемой в данный момент задачи неким коллективом экспертов. В данном случае имеется в виду решение задачи предупреждения или ликвидации ЧС на объектах водного транспорта. Кроме решений, заранее сформированных экспертами, возможны также случаи, когда задача является неоднократно повторяющейся. В таком случае необходимо производить сравнение принятого ЛПР решения с результатами, полученными при решении аналогичной задачи этим ЛПР ранее.

В ряде работ, посвященных разработке моделей подобного класса, выделяются два ключевых требования к таким моделям [4, 15–17]:

1) модель должна предоставлять возможность отражать степень вероятности принятия ДЛ ошибочного решения при решении задач по предупреждению ЧС на водном транспорте и их ликвидации, используя при этом информацию о характерных свойствах темперамента и свойствах психики конкретного ЛПР; сведения об уровне компетенций, знаниях и умениях ЛПР;

2) модель должна также обладать способностью отражать реакции ДЛ на воздействия, осуществляющиеся с целью интенсификации так называемых творческих возможностей ЛПР, а также определять возможное множество таких воздействий и порядок их формирования.

Результаты анализа ряда источников [4, 11, 13] позволяют сделать вывод о том, что в значительной мере необходимость учета как склонности конкретного ДЛ к совершению ошибок, так и характера этой склонности, предполагает, что они зависят и от особенностей свойств темперамента, и от особенностей нервной системы конкретного ДЛ. В то же самое время определяющее значение имеет уровень компетенций конкретного ДЛ в данной предметной области (ПрО). Уровень компетенций в данном случае можно определить как интегрированную сумму знаний, навыков и умений.

Из этого следует, что понятие «склонность к ошибке» для одного и того же ДЛ, при решении им различных задач в области предупреждения и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта, зависит от уровня его компетенции при решении конкретных задач. При этом необходимо учитывать, что склонность зависит от типа решаемой задачи. Весь класс задач в ПрО можно разделить на два подкласса: задачи предупреждения ЧС (составная часть задач планирования) и задачи ликвидации ЧС. Так, одно ДЛ может быть более компетентным в решении задач планирования, и ему будет присущ один уровень склонности. В то же время если это ДЛ будет решать задачи ликвидации ЧС, то уровень склонности к ошибке может быть существенно выше. Поэтому, можно сделать вывод, что определяющим фактором, который влияет на склонность ЛПР к совершению ошибок, является его компетентность в данной ПрО при решении конкретных задач.

При этом для учета личностных особенностей ЛПР предлагается учитывать ряд характеристик, выделенных исследователями в работах [18, 19] и представленных в обобщенном виде на рис. 5.

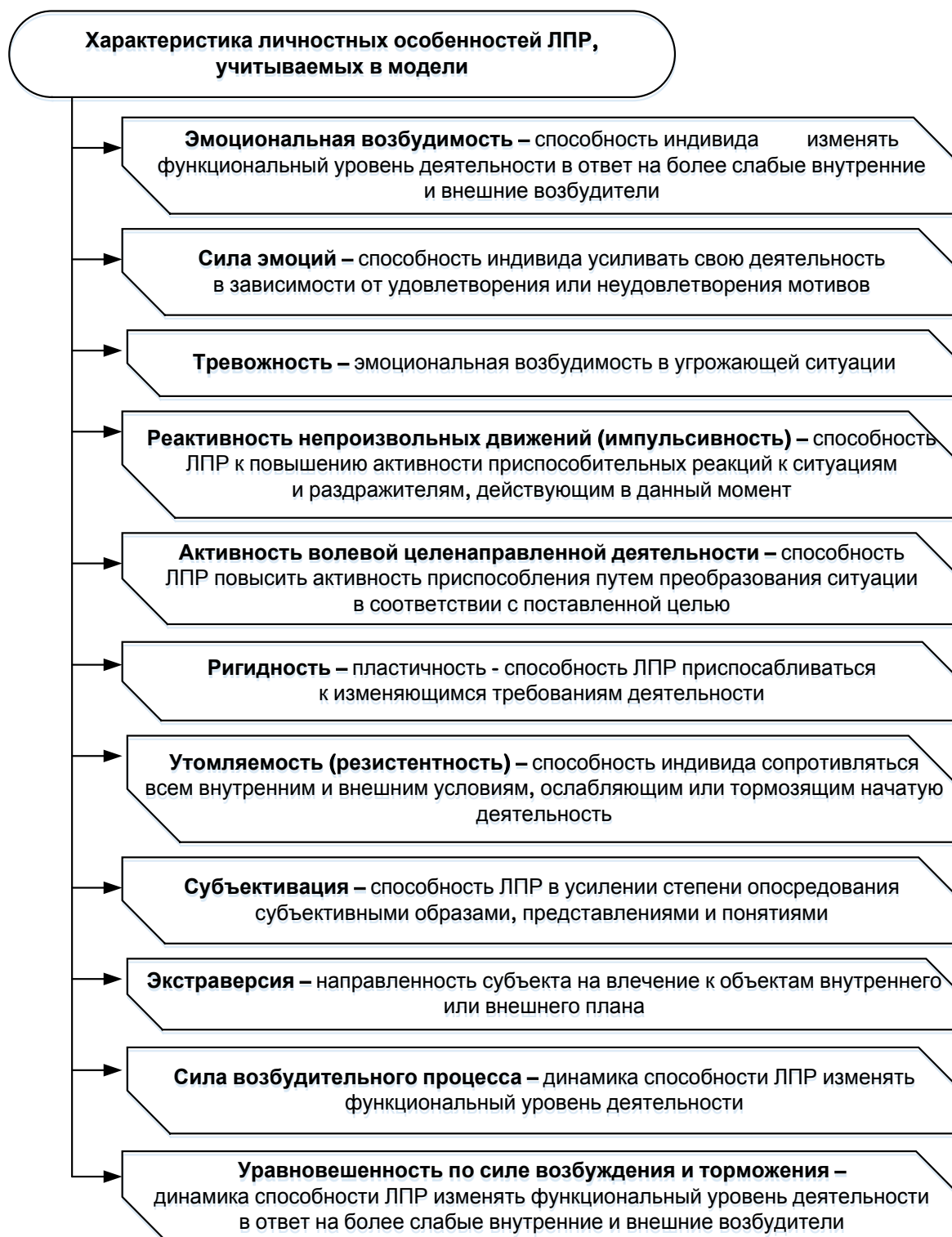


Рис. 5. Характеристики личностных особенностей ЛПР

Выделенные характеристики отнесем к первому уровню. В качестве характеристик второго уровня, определяющих направленность личности, можно выделить три характеристики:

1. Стремление ЛПР к достижению успеха при решении задач, также стремление ЛПР избежать неудачи. Два этих устремления различны, по сути, и действия ЛПР будут зависеть от того, какой тип отношений существует между этими стремлениями.

2. Показатели обобщенной, так называемой субъективной вероятности успеха и обобщенной субъективной вероятности неудачи. Данные показатели характеризуют свойство общей уверенности ЛПР при принятии им любых решений.

3. Свойство ценности, определяемое как обобщенная привлекательность успеха и неудачи.

В настоящее время в среде специалистов нет единого мнения о степени корреляции выделенных свойств и степени принятия ошибочного решения ЛПР, а мнение отдельных авторов находится в прямом противоречии с остальными [4, 11, 18]. Это говорит об отсутствии единого подхода, однозначно определяющего зависимость степени ошибочности ЛПР от свойств темперамента и направленности личности, что не предоставляет твердого базиса для создания модели, отвечающей перечисленным выше требованиям, отражающим возможности определения причин совершения ошибок.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать модель, которая будет описывать зависимость вероятности ошибочного принятия решения ДЛ ЦУКС территориального органа в процессе предупреждения ЧС на транспорте и ликвидации их последствий от компетентности ДЛ.

Структура компетенций ДЛ, предлагаемая в модели, предполагает разделение интегрированных знаний, характеризующих компетентность ЛПР, на две классические составляющие знаний как элемента искусственного интеллекта – декларативную и процедурную. Соответственно, знания представлены на двух уровнях. Предлагаемая структура знаний представлена на рис. 6.

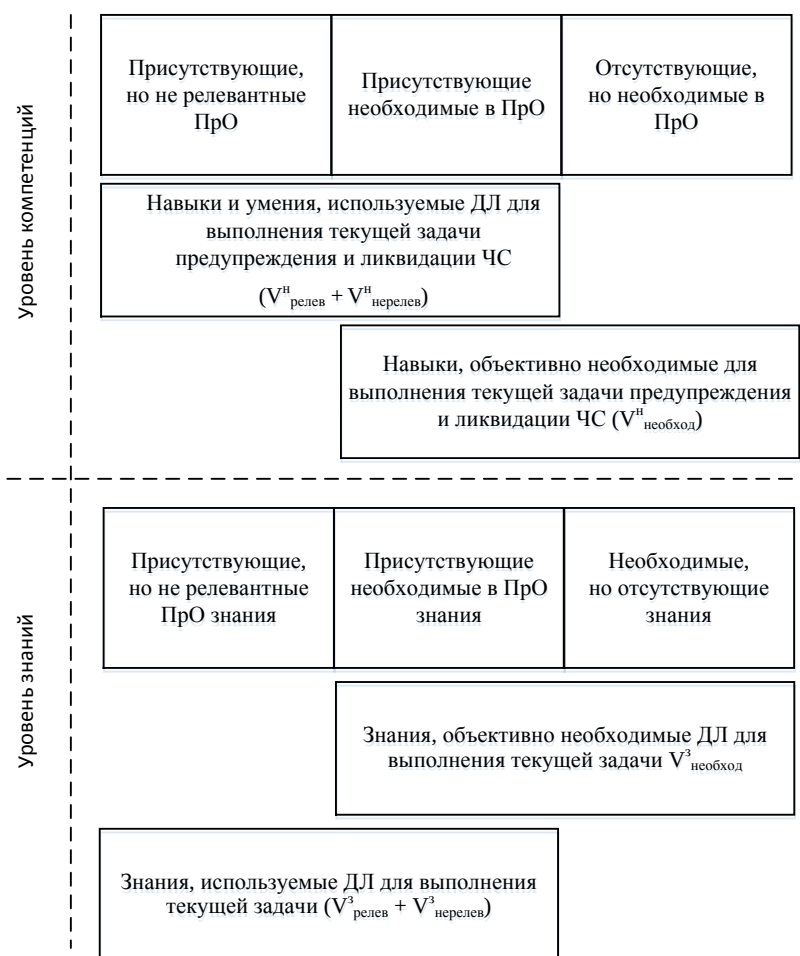


Рис. 6. Структура знаний ЛПР

Верхний уровень характеризует компетенции как способность ДЛ к практической реализации задач. Он представляется практической составляющей, опирающейся на знания. Предназначение данного уровня – задание навыков и умений ДЛ, необходимых при решении задач предупреждения и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта. То есть наличие определенного уровня компетенций предполагает способность ЛПР решать задачи в предметной области (наличие определенных навыков и умений).

Задачи, которые решаются при предупреждении и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта, являются весьма специфическими. Данная специфика определяется как разнообразием объектов водного транспорта (морские, речные и маломерные суда, морские, речные порты и т.д.), так и сложностью их решения обусловленной необходимостью взаимодействия ДЛ ЦУКС с органами, отвечающими за безопасность на различных элементах водного транспорта. Это обстоятельство предполагает, что навыки и умения, которыми должно обладать ЛПР, целесообразно разделить на три подмножества:

- 1) подмножество присутствующих у ЛПР навыков и умений, являющихся релевантными предметной области предупреждения и ликвидации ЧС;
- 2) подмножество присутствующих у ЛПР навыков и умений не релевантных предметной области предупреждения и ликвидации ЧС;
- 3) подмножество необходимых для решения задач предупреждения и ликвидации ЧС, но отсутствующих у данного ДЛ навыков и умений.

Аналогичным образом, декларативная составляющая знаний должностного лица тоже предполагает деление на аналогичные три подмножества.

Приведенные на рисунке знания являются основой при решении задач принятия решений ДЛ в процессе предупреждения и ликвидации ЧС на водном транспорте.

Естественно, возможны различные отклонения от «правильных» решений, которые обуславливается тем, что имеется недостаточное количество требуемых знаний. Такие отклонения также могут наблюдаться, если ЛПР присущи какие-либо когнитивные отклонения, а также различные разновидности мотивационных отклонений.

Вопрос заключается в том, как определить данные отклонения. Определить их можно через соответствующие проявления, которые можно наблюдать посредством изменения предпочтений ЛПР при принятии решений. Следовательно, нужны какие-то показатели и характеристики этих предпочтений, которые можно измерять. Важно ответить на вопрос «почему возникают эти изменения предпочтений?». Проведенный анализ показывает, что таких причин может быть очень много. В качестве основных можно выделить следующие:

- а) наличие неполной или неверной информации о ЧС, что приводит к неправильному пониманию сложившейся ситуации ЛПР;
- б) наличие неполной или неверной информации о ЧС, что приводит к неверной оценке ЛПР возможных последствий ЧС;
- в) использование ЛПР неверно сформированного прогноза и т.д.

Перечисленные причины могут приводить к так называемым «мотивационным смещениям» ЛПР. Они не являются прямым следствием наличия или отсутствия соответствующего уровня компетенций. Однако их необходимо учитывать, потому что при принятии решения необходимо в СППР предусматривать возможность воздействия на ЛПР с помощью дополнительных специфических методов.

Проведенный выше анализ позволяет выделить возможные типы ошибок ЛПР, которые могут быть выявлены СППР при ее функционировании, а также возможность устранения этих ошибок. Типы таких ошибок представлены на рис. 7.

Ошибки каждого типа определяются рядом причин. Так случайные ошибки могут допускаться ЛПР случайно. Они не являются систематически повторяемыми. А вот в случае высокого стресса, обусловленного необходимостью срочного принятия решения по ликвидации ЧС, в условиях возможной гибели людей в результате ЧС или возможной критической величины ущерба, их появление может принять регулярный характер.

В то же время когнитивные ошибки могут проявляться со значительно более высокой вероятностью, чем случайные. Мотивационные смещения также имеют тенденцию к повторению.

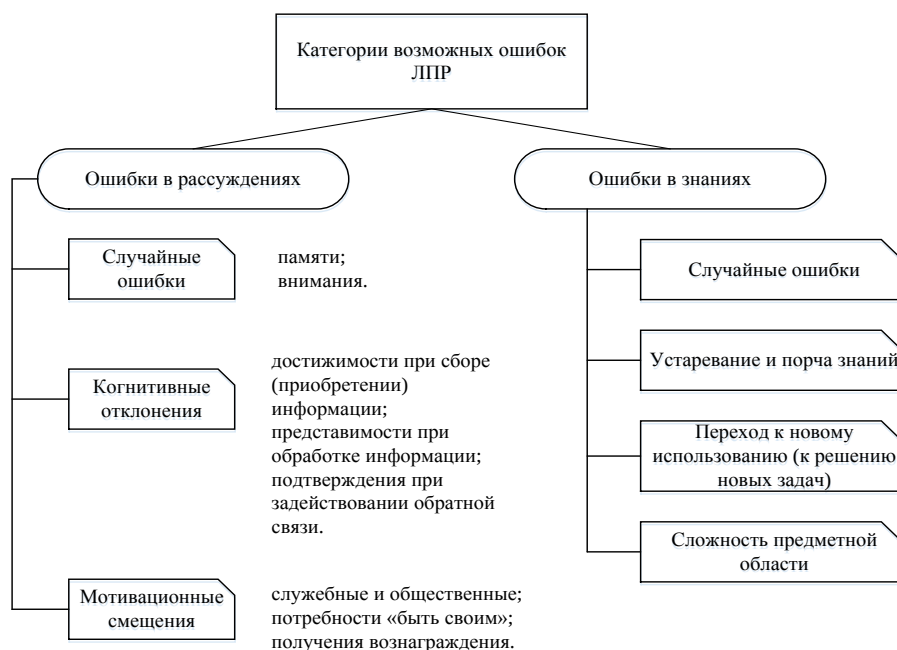


Рис. 7. Типы возможных ошибок ЛПР

Ошибки также могут быть допущены вследствие отсутствия требуемых знаний или наличием ошибок в них. Ошибки данного уровня происходят как из-за неполноты знаний, так и из-за ограниченности ресурсов. В ходе проведения исследования предполагалось, что ДЛ не допускают преднамеренных ошибок.

Место модели совершения ошибок ЛПР в структуре модели поддержки принятия решений для оценки рисков ЧС природного и техногенного характера на объектах водного транспорта представлена на рис. 8.



Рис. 8. Место модели совершения ошибок в структуре модели поддержки принятия решений для оценки рисков ЧС природного и техногенного характера на объектах водного транспорта

Данная модель входит в группу моделей реализации процедур анализа и оценки решений ДЛ по предупреждению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта.

При разработке модели совершения ошибки предполагалось, что ЛПР при решении задач может работать в разных режимах, определяемых складывающейся обстановкой. Если имеются в наличии ошибки, определяемые знаниями, то данный режим называют режимом работы на базе знаний. В случае наличия ошибок на уровне правил работы (ошибки, вызванные нештатной ситуацией, аналога которой нет в базе правил) – режим работы на базе правил.

При работе ЛПР в штатной знакомой обстановке реализуется режим работы на базе навыков. С учетом того, что в данном режиме требуется обработка большого объема информации при задействовании навыка, часть операций по обработке информации осуществляется автоматически на базе психомоторной памяти ДЛ. Ошибки здесь могут проявляться в виде оплошностей и упущений. Обнаружение ошибок осуществляется путем периодических проверок правильности действий ЛПР. При возникновении незапланированных ситуаций ЛПР должно работать на уровне базы правил СППР, искать аналогии (а ошибки обуславливаются ошибками правил). При отсутствии аналогий текущей ситуации ошибки обуславливаются ошибками базы знаний. Сложность заключается в том, что конкретное ДЛ, как правило, лучше подготовлено для решения задач одного уровня детализации. Например, уровень его компетенций позволяет ему успешно решать задачи принятия решений при ЧС с маломерными судами. И, следовательно, в данной области его можно считать экспертом. В то же время это же ДЛ гораздо менее компетентно при решении задач, например, на объектах портовой инфраструктуры. То есть в этой предметной области его нельзя считать экспертом.

С учетом рекомендаций, представленных в работах [5, 14, 16], предлагается модель совершения ошибки ЛПР, схема которой представлена на рис. 9.

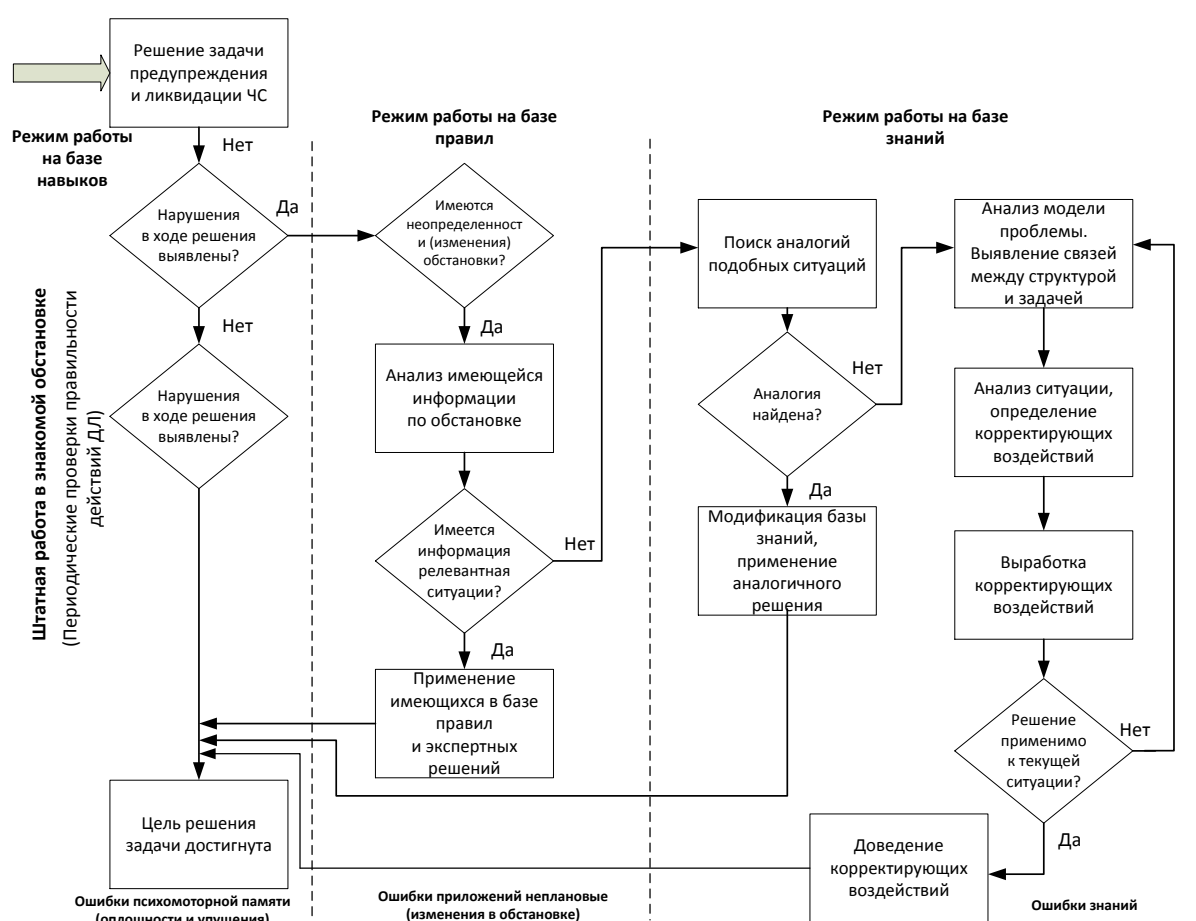


Рис. 9. Схема модели совершения ошибок должностных лиц

Заключение

В процессе принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта ЛПР могут допускать ошибки. Характер этих ошибок зависит как от типа задач, решаемых ЛПР (с учетом того, что последствия ЧС могут располагаться в диапазоне от существенных до катастрофических), компетенций ЛПР, так и от его психофизиологических особенностей.

Данная особенность обуславливает необходимость выявления этих ошибок, классификацию их по типам и выработку системой соответствующих воздействий на ДЛ с целью устранения ошибок.

Предлагаемая модель позволяет обеспечить выявление ошибок в различных режимах работы ЛПР и выработать рекомендации по их компенсации.

Компенсация ошибок возможна при организации соответствующего воздействия на ЛПР. Эти воздействия могут быть учтены в СППР при реализации в ней модели оказания воздействий на ДЛ.

Список источников

1. Системный анализ и принятие решений / В.И. Антюхов. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 352 с.
2. Turban E. Decision support and expert systems: management support systems. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1995.
3. Лещинский П.Д., Онов В.А., Корольков А.П. Информационная поддержка принятия решений по предотвращению ЧС на объектах водного транспорта // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1–2 (6). С. 215–218.
4. Трахтенгерц Э.А. Субъективность в стратегическом управлении // Человеческий фактор в управлении: сб. трудов. М.: КомКнига, 2006. С. 408–438.
5. A Framework for Classifying Errors / J. Reason [et al.] // New Technology and Human Error. London: John Wiley, 1990.
6. Андервуд П., Уотерсон П. Системное мышление, швейцарская модель сыра и анализ аварий: сравнительный системный анализ схода с рельсов поезда Grayrigg с использованием моделей ATSB, AcciMap и STAMP. URL: https://gaz.wiki/wiki/ru/Aviation_accident_analysis (дата обращения: 16.02.2021).
7. ГОСТ Р ИСО 31000–2019 Менеджмент риска. Принципы и руководство. Risk management. Principles and guidelines // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (дата обращения: 16.02.2022).
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска. Risk management. Risk assessment techniques. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (дата обращения: 16.02.2022).
9. Ларичев О.И., Петровский А.В. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития // Итоги науки и техники. Сер.: Техническая кибернетика. М.: ВИНТИ, 1987. Т. 21. С. 131–164.
10. Попов А.Л. Системы поддержки принятия решений: учеб.-метод. пособие / Екатеринбург: Урал. гос. ун-т, 2008. 80 с.
11. Адаптивная система поддержки деятельности центров управления в кризисных ситуациях: монография / Н.Г. Топольский [и др.]. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2014. 151 с.
12. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учеб. пособие. М.: Радиотехника, 2009. 392 с.
13. Бардулин Е.Н., Иванов А.Н., Петрова И.В. Особенности принятия управленческих решений в условиях неопределенности и риска // Экономика и управление народным хозяйством. 2018. № 1. С. 54–60.

14. Reason J. HumanError. Cambridge University Press, United Kingdom, 1990.

15. Методологические аспекты построения систем поддержки принятия решений / В.С. Симанков [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. 2015. № 8 (3). С. 258–267.

16. Лещинский, П.Д., Онов В.А., Щетка В.Ф. Модель поддержки принятия решений для оценки рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на объектах водного транспорта // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (46). С. 80–90.

17. Селиванов Д.Ф. Автоматизация поддержки принятия решений при управлении тренажерной подготовкой на основе реализации процедур экспертного оценивания: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2005. 156 с.

18. Шушпанова К.Д., Шушпанова Т.Н., Васильченко Л.В. Проявление непсихотической депрессии у пациентов с различным темпераментом и личностными чертами характера // Гуманитарный трактат. 2017. № 13. С. 14–18.

19. Пересыпкин С. Культура безопасности труда. М.: Изд-во Интеллектуальная литература, 2019.

References

1. Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij / V.I. Antyuhov. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017. 352 s.

2. Turban E. Decision support and expert systems: management support systems. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1995.

3. Leshchinskij P.D., Onov V.A., Korol'kov A.P. Informacionnaya podderzhka prinyatiya reshenij po predotvrashcheniyu CHS na ob'ekтах водного транспорта // Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. 2015. № 1–2 (6). S. 215–218.

4. Trahtengerc E.A. Sub'ektivnost' v strategicheskom upravlenii // CHelovecheskij faktor v upravlenii: sb. trudov. M.: KomKniga, 2006. S. 408–438.

5. A Framework for Classifying Errors / J. Reason [et al.] // New Technology and Human Error. London: John Wiley, 1990.

6. Andervud P., Uoterson P. Sistemnoe myshlenie, shvejcarskaya model' syra i analiz avarij: sravnitel'nyj sistemnyj analiz skhoda s rel'sov poezda Grayrigg s ispol'zovaniem modelej ATSB, AcciMap i STAMP. URL: https://gaz.wiki/wiki/ru/Aviation_accident_analysis (data obrashcheniya: 16.02.2021).

7. GOST R ISO 31000–2019 Menedzhment riska. Principy i rukovodstvo. Risk management. Principles and guidelines // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (data obrashcheniya: 16.02.2022).

8. GOST R ISO/MEK 31010–2011 Menedzhment riska. Metody ocenki riska. Risk management. Risk assessment techniques. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170125> (data obrashcheniya: 16.02.2022).

9. Larichev O.I., Petrovskij A.V. Sistemy podderzhki prinyatiya reshenij. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy ih razvitiya // Itogi nauki i tekhniki. Ser.: Tekhnicheskaya kibernetika. M.: VINITI, 1987. T. 21. S. 131–164.

10. Popov A.L. Sistemy podderzhki prinyatiya reshenij: ucheb.-metod. posobie / Ekaterinburg: Ural. gos. un-t, 2008. 80 s.

11. Adaptivnaya sistema podderzhki deyatel'nosti centrov upravleniya v krizisnyh situacijah: monografiya / N.G. Topol'skij [i dr.]. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2014. 151 s.

12. Vasil'ev V.I., Il'yasov B.G. Intellektual'nye sistemy upravleniya. Teoriya i praktika: ucheb. posobie. M.: Radiotekhnika, 2009. 392 s.

13. Bardulin E.N., Ivanov A.N., Petrova I.V. Osobennosti prinyatiya upravlencheskih reshenij v usloviyah neopredelennosti i riska // *Ekonomika i upravlenie narodnym hozyajstvom*. 2018. № 1. S. 54–60.
14. Reason J. *HumanError*. Cambridge University Press, United Kingdom, 1990.
15. Metodologicheskie aspekty postroeniya sistem podderzhki prinyatiya reshenij / V.S. Simankov [i dr.] // *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015. № 8 (3). S. 258–267.
16. Leshchinskij, P.D., Onov V.A., Shchetka V.F. Model' podderzhki prinyatiya reshenij dlya ocenki riskov chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogenного haraktera na ob"ektah vodnogo transporta // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2018. № 2 (46). S. 80–90.
17. Selivanov D.F. Avtomatizaciya podderzhki prinyatiya reshenij pri upravlenii trenazhernoj podgotovkoj na osnove realizacii procedur ekspertnogo ocenivaniya: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2005. 156 s.
18. Shushpanova K.D., Shushpanova T.N., Vasil'chenko L.V. Proyavlenie nepsihoticheskoy depressii u pacientov s razlichnym temperamentom i lichnostnymi chertami haraktera // *Gumanitarnyj traktat*. 2017. № 13. S. 14–18.
19. Peresypkin S. *Kul'tura bezopasnosti truda*. M.: Izd-vo Intellektual'naya literatura, 2019.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 05.03.2022; одобрена после рецензирования: 16.03.2022; принята к публикации: 08.04.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 05.03.2022; approved after review: 16.03.2022; accepted for publication: 08.04.2022

Информация об авторах:

Владимир Фёдорович Щетка, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: vfsche@igps.ru

Геннадий Николаевич Заводсков, старший преподаватель кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ncuks73@mail.ru

Information about the authors:

Vladimir F. Shchetka, professor of the department of system analysis and crisis management of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of military sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: vfsche@igps.ru

Gennady N. Zavodskov, senior lecturer at the department of system analysis and crisis management of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: ncuks73@mail.ru

ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 311.172+330.43

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ С УЧЕТОМ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИТ-ОТРАСЛИ

Ирина Васильевна Бородушко✉.**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**✉ bi08@me.com

Аннотация. Основная цель статьи – анализ современных трендов и ожидаемых перспектив развития российского рынка информационно-коммуникационных технологий для решения задач управления ИТ-отраслью. В ходе исследования за методологическую основу были приняты концептуальные положения современной экономической теории, использованы принципы системного анализа экономических процессов, применены методы социально-экономической статистики и эконометрического моделирования.

Статья содержит комплексную характеристику развития важнейших взаимосвязанных составляющих российской ИТ-отрасли. Исследована динамика деятельности крупнейших российских ИТ-компаний и разработан прогноз их развития до 2026 г. Оценена динамика и выполнен прогноз экспорта российского софта. Рассмотрены показатели динамики отечественного ИТ-рынка и статус России в международных рейтингах цифровизации.

В статье акцентируется внимание на успехах и недоработках в области развития ИТ-отрасли. Россия достигла высоких темпов развития отрасли. Наиболее конкурентоспособными на мировом рынке являются российские разработки в области средств обеспечения информационной безопасности. Важной задачей является обеспечение более равномерного территориального размещения ИТ-компаний и преодоление их узкой предметной специализации, наращивание экспортного потенциала ИТ-отрасли. Разработан прогноз некоторых показателей ИТ-отрасли на 2026 г.

В связи с разработкой прогноза показаны возникающие при этом методические проблемы и возможные пути их решения. Научной новизной обладает показатель, предложенный в дополнение к международным рейтинговым оценкам развития информационно-коммуникационных технологий по странам мира. Данный показатель позволяет оценить реальный масштаб отставания от стран-лидеров.

Ключевые слова: управление, закономерности функционирования, цифровая трансформация, информационно-коммуникационные технологии, прогнозирование, ИТ-отрасль, индекс цифровизации, международный рейтинг

Для цитирования: Бородушко И.В. Управление развитием информационно-коммуникационных технологий в Российской Федерации с учетом закономерностей функционирования ИТ-отрасли // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 1. С. 119–128.

MANAGEMENT OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN THE RUSSIAN FEDERATION TAKING INTO ACCOUNT THE REGULARITIES OF THE FUNCTIONING OF THE IT INDUSTRY

Irina V. Borodushko[✉]. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
[✉]bi08@me.com

Abstract. The main purpose of the article is to analyze current trends and expected prospects for the development of the Russian market of information and communication technologies to solve the problems of managing the IT industry. In the course of the study, the conceptual provisions of modern economic theory were taken as a methodological basis, the principles of a systemic analysis of economic processes were used, and the methods of socio-economic statistics and econometric modeling were applied.

The article contains a comprehensive description of the development of the most important interrelated components of the Russian IT industry. The dynamics of the activities of the largest Russian IT companies has been studied and a forecast for their development up to 2026 has been developed. The dynamics was assessed and the export forecast for Russian software was made. The indicators of the dynamics of the domestic IT market and the status of Russia in international digitalization ratings are considered.

The article focuses on the successes and shortcomings in the development of the IT industry. Russia has achieved high rates of development of the industry. The most competitive in the world market are Russian developments in the field of information security tools. Important tasks are to ensure a more even territorial distribution of IT companies and overcome their narrow subject specialization, building up the export potential of the IT industry. A forecast of some indicators of the IT industry for 2026 has been developed.

In connection with the development of the forecast, the methodological problems that arise in this case and possible ways to solve them are shown. Scientific novelty is the indicator proposed in addition to the international rating estimates of the development of information and communication technologies in the countries of the world. This indicator allows us to assess the real scale of the lag behind the leading countries.

Keywords: management, patterns of functioning, digital transformation, information and communication technologies, forecasting, IT industry, digitalization index, international rating

For citation: Borodushko I.V. Management of the development of information and communication technologies in the Russian Federation taking into account the regularities of the functioning of the IT industry // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 119–128.

Введение

Цифровая трансформация социально-экономических систем и развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) все более приобретают роль основного драйвера роста экономики и приоритетного фактора при решении такой задачи управления, как обеспечение конкурентоспособности компаний на внутренних и международных рынках. В развитии ИКТ следует различать два взаимосвязанных направления: 1) развитие ИТ-компаний, то есть компаний, предметом деятельности которых являются разработка и производство информационных технологий; 2) применение ИКТ организациями различных сфер деятельности, органами власти, населением. Взаимодействие производителей и потребителей ИКТ опосредовано механизмами спроса и предложения, образуя единый ИТ-рынок. В статье решаются задачи исследования современных трендов

и возможных перспектив развития на период до 2026 г. российского рынка ИКТ в целом и его структурных составляющих.

Методы исследования

Методологической базой исследования явились концептуальные положения современной экономической теории, основы системного анализа экономических процессов в условиях рыночных механизмов хозяйствования, методы социально-экономической статистики и эконометрического моделирования как инструментов обработки числовой информации.

Статистические методы применены при формировании и оформлении систем показателей (табл. 1, 2), при анализе тенденций динамики и разработки прогнозов. Эконометрическое моделирование и математические методы оценки качества модели были использованы в целях представления в обобщенном виде трендов временных рядов.

Результаты исследования и их обсуждение

Первоначально рассмотрим развитие производителей ИКТ – ИТ-компаний. К началу 2021 г. их численность в стране достигла 14 000 компаний. Информация о содержании и масштабах деятельности 100 наиболее крупных российских ИТ-компаний (без иностранных), опубликованная CNews Analytics, показана в табл. 1 [1].

Таблица 1. Крупнейшие 100 ИТ-компаний России в 2020 г.

Основной вид деятельности	число компаний	Выручка за 2020 г. млн рублей			Среднее число работников на 1 компанию, чел.
		всего	на 1 компанию	на 1 работника	
1. Многопрофильная группа компаний	5	443136	88627	16,2	6 341
2. Разработка ПО	19	215566	11346	...	1 292
3. Производство КТ	10	75379	7538	16,8	428
4. ИТ-услуги, дистрибуция	66	1331109	20168	11,6	1 785

ПО – программное обеспечение и программные продукты, цифровые технологии; КТ – компьютерная техника, оборудование

ИТ-компании были сгруппированы автором по видам деятельности и для каждой группы вычислены обобщающие показатели. Первые три группы компаний выполняют наиболее ответственные и сложные функции в области информационных технологий. Они заняты созданием продукции – компьютерных программ, цифровых технологий, компьютерной техники. Это по масштабам своей деятельности далеко не самые крупные организации (кроме групп организаций). Но их отличительная особенность – выполнение наиболее высокотехнологичных операций, создание нового продукта. У них средняя выручка на одного работника почти в полтора раза выше, чем у компаний наиболее многочисленной четвертой группы, оказывающих услуги в сфере информационных технологий.

Статистические данные демонстрируют крайнюю неоднородность регионов России по достигнутому уровню развития ИТ-компаний. Так, из 100 крупнейших компаний 76 находятся в Москве, 12 – в Санкт-Петербурге, 3 – в Екатеринбурге и 9 – в других крупных научно-производственных центрах страны. На все пространство страны к востоку от Урала в 2020 г. приходились только 2 из 100 крупнейших ИТ-компаний. Из 34 наиболее высокотехнологичных крупных ИТ-компаний (первые три группы) 27 находятся в Москве, 4 – в Санкт-Петербурге и 3 – в других городах. Таким образом, Москва и частично Санкт-

Петербург составляют основную зону размещения российских наиболее развитых и высокотехнологичных ИТ-компаний.

В табл. 1 профиль деятельности 100 крупнейших ИТ-компаний России представлен в предельно обобщенном виде. Конкретный же перечень функций этих компаний весьма разнообразен. В нем представлены: бизнес-разработка систем тестирования, консалтинг, инновационные разработки, стартапы, обеспечение кибербезопасности, облачные сервисы, производство микроэлектроники, управляемые сервисы, обучение ИТ, правайдеры цифровых сервисов, системная интеграция, управление программами проектов, организация хранилищ больших данных, создание сетевой инфраструктуры, внедрение ИТ, создание мобильных приложений и многое другое [2]. В числе крупнейших ИТ-компаний представлены, например, Радиоэлектронный кластер Ростеха, компания «Ланит», облачная платформа Группы «Сбербанк» и др.

Деятельность 100 ведущих ИТ-компаний, оцениваемая объемом выручки, характеризуется плавным стабильным ростом в период 2002–2018 гг. [1]. Период 2019–2020 гг. отличается сменой тренда – переходом на более высокие темпы роста. В условиях пандемии резко возрос спрос на ИКТ в связи с взрывным распространением бесконтактных форм учебы, трудовой деятельности, различных форм коммуникаций. Можно предположить, что по ИТ-отрасли в целом показатели роста несколько более скромные, чем у 100 компаний-лидеров.

Для получения обобщенной оценки тренда динамики выручки 100 ИТ-компаний автором был предварительно использован простейший прием – расчет среднегодового абсолютного прироста за период 2002–2018 гг.:

$$(y_{2018}-y_{2002}):16=(1287-142):16=71,56 \text{ млрд руб.}$$

Следовательно, на протяжении длительного периода имела место устойчивая тенденция – средний ежегодный прирост выручки 100 ИТ-компаний составлял 71,56 млрд руб.

Экстраполируя средний абсолютный прирост выручки на последующие годы, получаем прогноз выручки 100 компаний в 2026 г. (прогноз № 1):

$$y_{2026}=2014+71,56 \times 6=2443 \text{ млрд руб.}$$

Более предпочтительным является прогнозирование на основе эконометрического моделирования тренда. В пределах периода 2002–2018 гг. имел место плавный линейный рост, следовательно, может быть использована парная линейная функция.

$$\text{Результат моделирования: } y=a+bt=41,67+72,55t.$$

Моделирование тренда практически подтвердило уже ранее полученный результат, но обнаружило несколько более высокий показатель среднегодового прироста выручки.

Как показал расчет критерия Фишера (F), полученная модель достаточно точно описывает тренд динамики: фактическая величина F составила 684 при нормативном значении 5. Высокое качество модели подтверждает также коэффициент детерминации ($r^2=0,9785$). Следовательно, модель может быть использована для прогнозирования (прогноз № 2).

$$y_{2026}=41,67+72,55 \times 25=1855,42 \text{ млрд руб.}$$

Результаты двух прогнозов существенно расходятся. В первом прогнозе учтен ускоренный рост выручки в 2019–2020 гг., а во втором он не принят во внимание, что не вполне корректно.

Если построить модель тренда за период 2002–2020 гг., то получаем следующие результаты (прогноз № 3):

$$y=a+bt=39,96+84,996 t; F=215; r^2=0,93.$$

$$y_{2026}=39,96+84,996 \times 25=2164,86 \text{ млрд руб.}$$

В прогнозе № 3 учтены высокие приросты 2019–2020 гг., но тренд на 2021–2026 гг. в основном воспроизводит закономерность динамики 2002–2018 гг. Достоверность модели несколько уступает модели № 2, так как в исходных данных имеет место некоторое отклонение от линейного тренда.

Наконец, построим модель № 4 по исходным данным за 2014–2020 гг., наиболее приближенным к современной ситуации, хотя в этом случае несколько снижается качество модели из-за некоторого отклонения исходных данных от линейного тренда.

$$y=a+bt=670,14+159,25 t; F=29; r^2=0,85.$$

$$y_{2026}=670,14+159,25 \times 13=2740,39 \text{ млрд руб.}$$

Обобщая представленные выше материалы, можно сделать следующие выводы:

1. Принято обычно строить три варианта прогноза – высокий, средний, низкий. Если дан только один вариант прогноза, то он соответствует наиболее вероятному – среднему варианту. В данном случае условно будем считать средним вариантом прогноз № 1. Высокий вариант – № 4, низкий – № 2. Условной такая интерпретация является потому, что в основу построения прогнозов положен принцип экстраполяции трендов предшествующих лет на прогнозный период. Это плавный рост за 2002–2018 гг., интенсивный рост 2019 г. и его продолжение в 2020 г., осложненное фактором пандемии. Представленные варианты прогноза различаются разным сочетанием учтенных в них трендов. Более достоверным был бы прогноз на основе учета влияния основных факторов, но в доступных источниках отсутствует необходимая исходная информация.

2. Достоверность прогноза зависит от наличия и выбора исходных числовых данных, от применяемых алгоритмов расчета, от состава учитываемых факторов. Даже наиболее простые прогнозные модели, основанные на экстраполяции трендов, не свободны от субъективного выбора исследователя. Следовательно, результаты прогнозирования должны использоваться с осторожностью.

Проведенный выше анализ касается только 100 наиболее крупных ИТ-компаний. Развитие ИТ – отрасли в целом в России характеризуется положительной динамикой, хотя и уступает по своим масштабам наиболее развитым странам мира. Например, ее доля в ВВП России составляет около 1 %, а в ВВП США – около 3 %. Государственная политика России направлена на поддержку организаций ИТ-отрасли, что способствует ее успешному развитию. В пакете мер поддержки ИТ-индустрии представлены: вступивший в силу с 1 января 2021 г. налоговый маневр (льготная ставка налога на прибыль в размере 3 %, пониженный размер взносов на фонд оплаты труда – 7,6 %); выделение грантов для стартапов и компаний с зрелыми решениями по новым продуктам (гранты до 20 млн руб. для стартапов, до 300 млн руб. гранты, предоставляемые фондом информационных технологий); акселерационная программа фонда развития интернет-инициатив для молодых ИТ-компаний.

Производство российских ИТ-компаний востребовано не только на внутреннем, но и на международных рынках. На зарубежных рынках наиболее конкурентоспособными являются российские разработки в области информационной безопасности. Экспорт российского софта (программного обеспечения и программных продуктов, компьютерных услуг) в 2020 г. возрос в сравнении с 2010 г. в 2,6 раза и составил 8,6 млрд долл. США (или 632,2 млрд руб.) [3]. Общий объем российского экспорта в 2020 г. по данным Федеральной таможенной службы, составил 338,2 млрд долл. США [4]. В его структуре на долю софта приходится лишь 2,5 % ($8,6:338,2 \times 100=2,5$). Таким образом, экспорт российского софта характеризуется устойчивым ростом, но масштабы его пока остаются весьма низкими.

Для более конкретной оценки тенденции динамики экспорта софта произведены расчеты среднего за период 2010–2020 гг. абсолютного среднегодового прироста уровня показателя и построена линейная модель тренда показателя за этот период.

Среднегодовой абсолютный прирост: $(8,6-3,3):10=0,53$ млрд долл. США. Если экстраполировать данный показатель на 2026 г., то получаем следующий результат: $8,6+0,53 \times 6=11,78$ млрд долл.

Более точный результат дает эконометрическая модель. Используя парную линейную функцию получаем уравнение:

$$y=a+bt=2,9586+0,6129t.$$

Коэффициент регрессии b составляет 0,6129, следовательно, средний ежегодный прирост экспорта в предыдущем десятилетии равен 0,6129 млрд долл., что несколько выше данных выполненного выше приближенного расчета. Оценка степени точности построенной модели дала следующие результаты: $F=83$ (нормативное 5,11); $R^2=0,901$. Модель достоверна. Прогноз на 2026 г.:

$$Y_{2026}=2,9586+0,6129 \times 17=13,37 \text{ млрд долл.}$$

Объем продаж российского софта на внутреннем рынке в 2020 г. составил 9,5 и на внешнем рынке 8,6 млрд долл. США. Доля экспорта в общем объеме российского внешнего и внутреннего рынка софта высока и составляет 47,5 %. Но это не означает, что внутренний спрос полностью удовлетворен. Существует структурный дисбаланс на российском рынке софта, тормозящий развитие ИТ-отрасли. Отечественные ИТ-компании не всегда находят достаточные объемы инвестиций внутри страны и часть компаний переходят в зарубежную юрисдикцию. Одновременно с этим российские инвестиционные фонды, которым нужны потоки проектов, зачастую не находят их в отечественных ИТ-компаниях и вынуждены переносить свою деятельность за рубеж.

Несмотря на это, российский ИТ-рынок демонстрирует устойчивый рост. Объем отечественного ИТ-рынка, по данным международной исследовательской компании IDC, составил: в 2019 г. – 1,608 трлн руб. (рост к 2018 г. на 8,8 %); в 2020 г. – 1,833 трлн руб. с ростом к 2019 г. на 14,0 % (или 24,66 млрд долл. США с ростом на 2 %) [5]. Ассоциация РУССОФТ дает более высокую оценку российского ИТ-рынка: 2,46 трлн руб. в 2020 г. и рост в сравнении с 2019 г. на 20,6 % (или 34,1 млрд долларов США с ростом на 7,9 %) [6].

По отдельным сегментам российского ИТ-рынка опубликованы прогнозы на 2026 г. Так, рынок офисного ПО, составивший в 2020 г. 38,8 млрд руб., по оценкам экспертов, «будет расти на 6–9 % в год и к 2026 г. составит 59 млрд руб., доля зарубежного ПО снизится до 30 % с текущих 77,5 %» [7]. Предполагается, что к 2026 году процент российских компаний, использующих ПО с открытым кодом, возрастет с нынешних 79 % до 92 %. Общемировым трендом является ускоренный рост такого сегмента ИТ-рынка, как обеспечение кибербезопасности. Ожидается, что его доля в общем объеме мирового рынка возрастет к 2026 г. с нынешних 3,6–5,2 % до 4,5–6,4 %. Российский рынок информационной безопасности растет вдвое быстрее глобального [8].

Наиболее общую, интегральную оценку развития ИКТ дает международный индикатор – индекс развития ИКТ, по которому Россия в 2017 г. занимала 45-е место среди 176 участвовавших в рейтинге стран мира. Значение индекса по России составило 7,07 при самом высоком значении 8,98 у Исландии. В индексе ИКТ интегрировано 11 частных индикаторов. В настоящее время расширяется круг частных индикаторов. Если в 2008 г. Россия занимала 49 место и ее индекс составлял лишь 56,7 % от уровня показателя по стране лидеру ($4,42:7,80 \times 100=56,7$ %), то к 2017 г. отставание резко сократилось ($7,07:8,98 \times 100=78,7$ %). В табл. 2 показано место России в комплексе международных рейтингов, оценивающих уровень цифровизации [9, с. 22].

Таблица 2. Россия в международных рейтингах цифровизации

Международные индексы	Год	Рейтинг РФ	Значение индекса		
			РФ	максимальное	РФ к макс, %
1. Индекс развития ИКТ	2017	45	7,07	8,98	78,7
2. Индекс развития электронного правительства	2018	32	0,7969	0,9150	87,1
3. Международный индекс цифровой экономики и общества	2016	37	0,48	0,76	63,2
4. Глобальный индекс сетевого взаимодействия	2019	41	49	85	57,6
5. Индекс инклюзивного интернета	2020	26	79,0	86,0	91,9
6. Всемирный индекс цифровой конкурентоспособности	2019	38	70,406	100	70,4
7. Индекс готовности к сетевому обществу	2019	48	54,98	82,65	66,5
8. Индекс цифрового развития	2017	39	2,44	3,79	64,4
9. Индекс электронной торговли В2С	2019	40	77,9	96,4	80,8
10. Глобальный индекс кибербезопасности	2018	26	0,836	0,931	89,8
11. Глобальный инновационный индекс	2019	46	37,6	67,2	56,0
12. Индекс экономики знаний ЕБРР	2018	17	4,93	6,82	72,3

Оценки на основе рейтингов – наиболее общедоступный и понятный способ сравнительных оценок. Слабой стороной рейтингов является то, что учитывается только последовательность единиц в рядах распределения, но остаются без внимания масштабы различий между ними. Более точную оценку дает показатель соотношения индекса у конкретной единицы в сравнении с максимальным или средним его значением по совокупности единиц. Сравнивая в табл. 2 данные граф 2 и 6, получаем различные выводы. Если по рейтингам у России наиболее высокий статус по индексам № 5, 10, 12, то по степени близости к странам-лидерам – по индексам № 2, 5, 9, 10, что является более точной оценкой. Со строго научной точки зрения показатель в графе 6 следовало бы нормировать по размаху вариации или, что еще лучше, – по коэффициенту вариации. Но отсутствует необходимая для такого расчета доступная информация.

Следовательно, наиболее благоприятная ситуация в России по индексу инклюзивного интернета, далее следуют индекс кибербезопасности, индекс электронной торговли, индекс развития электронного правительства. О высоком потенциале России в области развития цифровизации свидетельствует тот факт, что по ряду основных индикаторов Москва стабильно входит в число городов мира с очень высоким уровнем этих показателей. Ее рейтинг по локальным онлайн услугам составил: в 2018 г. 1 (первое место!); в 2020 г. – 6. Москва последние три года является лидером рейтинга городов по индексу цифровизации городского хозяйства. Это подтверждает возможность распространения опыта Москвы на другие территории страны и возможность реализации высоких вариантов прогноза индикаторов цифровизации.

Достижение в перспективе высоких результатов цифровизации и обеспечение достойного места России в международных рейтингах в значительной степени определяется активизацией научных исследований в данной области. Вопросам цифровой трансформации российской экономики и общества посвящаются труды ряда ведущих центров (Сколково, ИСИЭЗ НИУ ВШЭ, МГУ, Минцифры России и др.) и многими российскими учеными. Например, вопросам стратегии развития цифровой экономики посвящена монография под ред. А.В. Бабкина [10]. Анализ роли сектора ИКТ в средне- и долгосрочной перспективе развития экономики России представлен в статье Д.Р. Белоусова, К.В. Михайленко и др. [11]. В трудах Е.С. Янковской представлен комплексный подход к вопросам теории и практики регулирования процессов цифровой трансформации [12, 13]. Проводятся исследования в области новейших направлений развития ИКТ, например, нейросетевой технологической

революции [14]. Перспективы использования основных информационных технологий рассмотрены в статье А.Н. Швецова [15]. Здесь упомянуты лишь некоторые примеры из большого массива научных публикаций российских ученых по вопросам цифровизации.

Заключение

Подводя общий итог проведенного анализа, следует отметить: 1) оптимизация управления развитием современных ИКТ все более становится определяющим фактором роста и эффективности всех сфер общественной жизни; 2) успешному управлению ИТ-отраслью способствуют мониторинг ее состояния и прогнозирование трендов развития; 3) единство усилий в области научных исследований, правового обеспечения и государственного управления развитием ИКТ – необходимое условие успешной цифровой трансформации экономики и общества.

В качестве положений, обладающих научной новизной, может быть отмечено предложение дополнить международные рейтинговые оценки развития ИКТ показателем «дистанции» между параметром по стране и его максимально достигнутым уровнем в мире. Такой показатель позволяет, как показано в табл. 2, реально оценить масштаб отставания от лучших мировых образцов.

Список источников

1. Cnews analytics, 2021: The largest IT companies in Russia 2020. URL: https://www.cnews.ru/reviews/rynok_it_itogi_2020/review_table/a5bdc7ff4a688cdd22f0ec71b34a5b0ca796b044 (дата обращения: 02.02.2022).
2. T Adviser100: The largest IT companies in Russia 2021. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Ранкинг_TAdviser100:_Крупнейшие_ИТ-компании_в_России_2021 (дата обращения: 01.02.2022).
3. Cnews. Conferences. Export of domestic software. digital tools to support sustainable development 2022. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-12-10_eksport_otechestvennogo_softa (дата обращения: 02.02.2022).
4. ФТС России: данные об экспорте-импорте России за январь-декабрь 2020 года. URL: <https://customs.gov.ru/press/federal/document/267169> (дата обращения: 01.02.2022).
5. T Adviser. Information technology market 29.12.2021. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ИТ-рынок_России#.D0.A1.D0.B5.D0.B3.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D1.82.D1.8B_.D1.80.D1.8B.D0.BD.D0.BA.D0.B0 (дата обращения: 01.02.2022).
6. РУССОФТ: российский ИТ-рынок должен быть крупнее и расти быстрее // CRN/RE 26.10.2021. URL: <https://www.crn.ru/news/detail.php?ID=157548> (дата обращения: 01.02.2022).
7. J'son & Partners Consulting: Russian office software market in 2020, forecast until 2026 / URL: <https://www.itrn.ru/news/detail.php?id=178200> (дата обращения: 01.02.2022).
8. Кибербезопасность – крупный сегмент ИТ-рынка. URL: <https://www.finam.ru/analysis/forecasts/kiberbezopasnost-krupnyiy-segment-it-rynka-s-vysokimi-perspektivami-rosta-20211209-091733/> (дата обращения: 01.02.2022).
9. Индикаторы цифровой экономики. М.: Изд-во Национальный исследовательский университет ВШЭ, 2021. С. 380.
10. Стратегическое управление развитием цифровой экономики на основе умных технологий: монография / под ред. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во «Политех-Пресс», 2021. С. 793.
11. Роль цифровизации в целевом сценарии развития России / Д.Р. Белоусов [и др.] // Проблемы прогнозирования. 2021. № 4. С. 53–65.
12. Янковская Е.С. Трансформация системы управления бизнесом в Российской Федерации в условиях глобальной цифровизации // Путеводитель предпринимателя. 2020. Т. 13. № 2. С. 37–45.

13. Янковская Е.С. Правовые средства в системе мер по обеспечению экономической безопасности на микро- и макроуровнях // Вестник Санкт-Петербургской юридической академии. 2016. № 2 (31). С. 94–98.

14. Dyatlov S.A., Selishcheva T.A., Feigin G.F. The impact of network human capital on economic growth of supply chain in digital economy // International journal of supply chain management. 2018. № 7 (5). P. 877–885.

15. Швецов А.Н. Новейшие информационные технологии «цифровизации экономики»: содержание, перспективы, затраты // Труды института системного анализа РАН. 2021. Т. 71. № 2. С. 27–35.

References

1. Cnews analytics, 2021: The largest IT companies in Russia 2020. URL: https://www.cnews.ru/reviews/rynok_it_itogi_2020/review_table/a5bdc7ff4a688cdd22f0ec71b34a5b0ca796b044 (data obrashcheniya: 02.02.2022).

2. Tadvise100: The largest IT companies in Russia 2021. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya:Ranking_TAdviser100:_Krupnejshie_IT-kompanii_v_Rossii_2021 (data obrashcheniya: 01.02.2022).

3. Cnews. Conferences. Export of domestic software. digital tools to support sustainable development 2022. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2021-12-10_eksport_otekhestvennogo_softa (data obrashcheniya: 02.02.2022).

4. FTS Rossii: dannye ob eksporte-importe Rossii za yanvar'-dekabr' 2020 goda. URL: <https://customs.gov.ru/press/federal/document/267169> (data obrashcheniya: 01.02.2022).

5. Tadvise100. Information technology market 29.12.2021. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Stat'ya:IT-rynok_Rossii#.D0.A1.D0.B5.D0.B3.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D1.82.D1.8B_.D1.80.D1.8B.D0.BD.D0.BA.D0.B0 (data obrashcheniya: 01.02.2022).

6. RUSSOFT: rossijskij IT-rynok dolzhen byt' krupnee i rasti bystree // CRN/RE 26.10.2021. URL: <https://www.crn.ru/news/detail.php?ID=157548> (data obrashcheniya: 01.02.2022).

7. J'son & Partners Consulting: Russian office software market in 2020, forecast until 2026 / URL: <https://www.itrn.ru/news/detail.php?id=178200> (data obrashcheniya: 01.02.2022).

8. Kiberbezopasnost' – krupnyj segment IT-rynka. URL: <https://www.finam.ru/analysis/forecasts/kiberbezopasnost-krupnyiy-segment-it-rynka-s-vysokimi-perspektivami-rosta-20211209-091733/> (data obrashcheniya: 01.02.2022).

9. Indikatory cifrovoj ekonomiki. M.: Izd-vo Nacional'nyj issledovatel'skij universitet VSHE, 2021. S. 380.

10. Strategicheskoe upravlenie razvitiem cifrovoj ekonomiki na osnove umnyh tekhnologij: monografiya / pod red. A.V. Babkina. SPb.: Izd-vo «Politekh-Press», 2021. S. 793.

11. Rol' cifrovizacii v celevom scenarij razvitiya Rossii / D.R. Belousov [i dr.] // Problemy prognozirovaniya. 2021. № 4. S. 53–65.

12. YAnkovskaya E.S. Transformaciya sistemy upravleniya biznesom v Rossijskoj Federacii v usloviyah global'noj cifrovizacii // Putevoditel' predprinimatel'ya. 2020. T. 13. № 2. S. 37–45.

13. Yankovskaya E.S. Pravovye sredstva v sisteme mer po obespecheniyu ekonomicheskoy bezopasnosti na mikro- i makrourovnyah // Vestnik Sankt-Peterburgskoj yuridicheskoy akademii. 2016. № 2 (31). S. 94–98.

14. Dyatlov S.A., Selishcheva T.A., Feigin G.F. The impact of network human capital on economic growth of supply chain in digital economy // International journal of supply chain management. 2018. № 7 (5). P. 877–885.

15. Shvecov A.N. Novejshie informacionnye tekhnologii «cifrovizacii ekonomiki»: soderzhanie, perspektivy, zatraty // Trudy instituta sistemnogo analiza RAN. 2021. T. 71. № 2. S. 27–35.

Информация о статье:

статья поступила в редакцию: 22.02.2022; одобрена после рецензирования: 28.02.2022;
принята к публикации: 03.03.2022

The information article info: the article was received by the editorial office: 22.02.2022;
approved after review: 28.02.2022; accepted for publication: 03.03.2022

Информация об авторах:

Ирина Васильевна Бородушко, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор экономических наук, доцент, e-mail: bi08@me.com

Information about the authors:

Irina V. Borodushko, professor of the department of applied mathematics and information technologies Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of economics, associate professor, e-mail: bi08@me.com

УДК 517.977.1: 517.977.56

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ МНОГОУРОВНЕВЫХ СИСТЕМАХ

Андрей Владимирович Калач[✉].**Воронежский институт Федеральной службы исполнения наказаний, Воронеж, Россия**[✉]**e-mail: a_kalach@mail.ru****Татьяна Евгеньевна Смоленцева.****МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия**

Аннотация: Детально рассматривается процесс оценки эффективности функционирования иерархических многоуровневых систем. Проводится анализ решения задачи принятия эффективных управленческих решений. Реализация поставленной задачи осуществляется на основе формирования модели принятия эффективных управленческих решений, включающей формирование однородных групп объектов на примере структуры высших учебных заведений. Рассматриваемая в работе модель представляется в виде реализации этапов: сбор первичной информации, формирование групп объектов за исследуемый период на основе данных, полученных на первом шаге, исследование групп учащихся вуза с перераспределением центров тяжести и анализом полученных результатов.

Ключевые слова: управляющие воздействия, иерархические многоуровневые сложные организационные системы, система управления, лицо принимающее решение

Для цитирования: Калач А.В., Смоленцева Т.Е. Разработка модели принятия эффективных управленческих решений в иерархических многоуровневых системах // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 1. С. 129–135.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR MAKING EFFECTIVE MANAGEMENT DECISIONS IN HIERARCHICAL MULTILEVEL SYSTEMS

Andrey V. Kalach[✉].**Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia**[✉]**a_kalach@mail.ru****Tatiana E. Smolentseva. MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia**

Abstract: In this paper, the process of evaluating the effectiveness of the functioning of hierarchical multi-level systems is considered in detail. The analysis of the solution of the problem of making effective management decisions is carried out. The implementation of the task is carried out on the basis of the formation of a model for the adoption of effective management decisions, including the formation of homogeneous groups of objects on the example of the structure of higher educational institutions. The model considered in this paper is presented in the form of the implementation of stages: the collection of primary information, the formation of groups of objects for the study period based on the data obtained at the first step, the study of groups of university students with the redistribution of centers of gravity and the analysis of the results obtained.

Keywords: control actions, hierarchical multilevel systems, management system, decision-maker

For citation: Kalach A.V., Smolentseva T.E. Development of a model for making effective management decisions in hierarchical multilevel systems // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 129–135.

Введение

Существует большое количество подходов к оценке эффективности функционирования систем подобных системе управления (СУ) иерархических многоуровневых систем (ИМС), но многие из этих подходов не позволяют достаточно в полном объеме оценить эффективность функционирования этих систем. Для решения такой проблемы очень часто используются коэффициентные методы, которые обладают простотой использования за счёт упрощения процессов, протекающих в СУ ИМС.

Однако использование только этих методов без учёта использования ресурсов этих систем, учета воздействия элементов внешней среды не позволяет в полном объеме адекватно оценивать эффективность функционирования СУ ИМС [1, 2].

В настоящее время существует большое количество научных работ, посвященных оценке функционирования систем, подобных СУ ИМС. Однако общего подхода к решению этой проблемы не существует. Это объясняется тем фактом, что СУ ИМС не может быть решена переводом ее к формальным структурам, то есть к механическим взаимодействиям или выполнением последовательности команд [3–5]. В некоторых научных работах отсутствует обоснование того, что с помощью исследуемых параметров возможно исследовать эффективность функционирования СУ ИМС, а эти параметры описывают другие аспекты функционирования СУ ИМС.

Методы исследования

Некоторые научные исследования предлагают решать эту проблему с привлечением математических моделей функционирования СУ ИМС на основе анализа внутренних и внешних конфликтов, сотрудничества и независимости [4, 5]. Однако этот подход к оценке функционирования позволяет лишь определить уровень конфликта и не позволяет осуществлять анализ взаимодействия её элементов, который необходим для принятия более эффективных управленческих решений.

Такой анализ структуры СУ ИМС не позволяет оценить эффективность функционирования этой системы в целом, утверждать о причине, в результате чего затрудняется достижение системой своих целей, и как, базируясь на требованиях к возможностям ее функционирования и прогнозируемого воздействия внешней среды, выработать управленческое решение для корректировки выявленных недостатков. Другой подход исследования этой проблемы лежит в области оценки функционирования СУ ИМС на основе: сравнения, детализации, группировки и т.д. [6].

Много проблем появляется при многопараметрическом анализе функционирования СУ ИМС. Так как необходимо определить в формализованном виде критерий эффективности функционирования, который необходим для лица, принимающего решение (ЛПР), а также необходимость распределять ресурсы для СУ ИМС.

Оценка функционирования СУ ИМС должна производиться по следующим направлениям:

- эффективность распределения ее ресурсов;
- определения главных направлений функционирования;
- прогнозирование закономерностей функционирования и т.д.

Использование критерия эффективности функционирования СУ ИМС должно учитывать многоаспектность ее функционирования на основе интегральной оценки функционирования ИМС при использовании совокупности простых критериев. Интегральная оценка эффективности функционирования позволяет осуществлять сравнительный анализ

на основе параметров различной размерности и определять коэффициенты относительной важности функционирования ее элементов. За счет такого оценивания возможно производить сравнительный анализ эффективности функционирования разнообразных СУ ИМС. Ясно, что интегральная оценка функционирования не может в полном объеме описать функционирования всех СУ ИМС и поэтому оценку необходимо совмещать с другими видами оценки.

Интегральную оценку функционирования СУ ИМС с использованием системного анализа необходимо производить по двум направлениям:

- обеспечивать полной информацией ЛПР;
- осуществлять постоянный анализ достижения уровня целей СУ ИМС.

Анализ функционирования при информационном подходе СУ ИМС осуществляется с использованием системного подхода, который подразумевает определение параметров функционирования и локальных критериев, а далее задание интегрального критерия с целью проведения анализа ее функционирования [7, 8].

Для определения совокупности параметров требуется разработать алгоритм, который должен учитывать все множество факторов и, как правило, алгоритм будет многовариантным. Для уменьшения многовариантности необходимо:

- поставить в соответствие с задачами множество независимых параметров функционирования СУ ИМС;
- определить единицы измерения всех параметров и процедуру их измерения;
- интегральный критерий должен иметь единую шкалу измерений параметров.

Для множества независимых параметров необходимо построить дерево целей на основе целевого принципа, который должен учитывать взаимозависимости и взаимосвязанности параметров, позволяющих осуществить оценивание функционирования этой системы и стимулирующих ее деятельность [9]. Все это позволит сформировать систему показателей, которые обеспечат адекватное описание функционирования СУ ИМС.

При определении множества параметров необходимо осуществлять сравнение элементов функционирования СУ ИМС по их идентичности, должны иметь одинаковые единицы измерения и весовые коэффициенты относительной важности для локальных параметров.

Целесообразно многокритериальную оценку функционирования СУ ИМС производить, используя принципы теории активных организационных систем, которые базируются на задании относительной важности различных параметров интегрального критерия, что позволяет интегрировать алгоритмы анализа с планированием и коэффициенты относительной важности функционирования СУ ИМС.

Обсуждение

Рассмотрим, как производить оценку эффективности принятых управляющих решений (УР) ЛПР при функционировании СУ ИМС за определенный промежуток времени и исследовать причины неэффективного функционирования СУ ИМС. Для осуществления результатов, принятых УР ЛПР, необходимо сгруппировать объекты СУ ИМС в группы (классы), совпадающие по характеристикам, и оценивать их групповые характеристики. В этом случае анализ функционирования можно осуществлять в этих группах (классах), что позволит значительно снизить размерность решаемой задачи.

Анализ эффективности принятых управляющих воздействий при функционировании СУ ИМС необходимо осуществлять в три этапа. Такой анализ будем осуществлять на примере университета «МИРЭА – Российского технологического университета» (РТУ «МИРЭА»).

1. Формирование групп объектов по результатам функционирования МИРЭА будем осуществлять по значениям параметров СУ ИМС за предыдущий период.

Формируются исходные данные, необходимые для использования методики.

На основе первичной информации функционирования РТУ «МИРЭА» за предыдущий

период, циркулирующей в системе управления качеством обучения (УКО), представим в виде множества $\{P_{i,j}, A_i, B_j\}$:

$P_{i,j}$ – количественное значение j -ой характеристики i -го объекта СУ ИМС (например, отметки, полученные на занятии, средний балл обучаемого и т.п.);

$i = \overline{1, I}$ – индекс объектов СУ ИМС, носителей первичной информации (например, студент, учебная группа в вузе, курс в вузе и т.д.);

$j = \overline{1, J}$ – индекс характеристик объектов (например, изучаемые в РТУ «МИРЭА» дисциплины и т.д.);

A_i – идентификационные данные i -го объекта;

B_j – наименование j характеристики объекта.

ЛПР определяет:

T_I – необходимую точность разбиения в процентах;

K_{Σ} – необходимое количество классов разбиения.

В результате использования подхода получены следующие результаты:

K – количество определенных классов;

$\overline{P_{k,j}}$ – центры тяжести определенных классов;

K_i – индекс класса, к которому принадлежит i объект;

a_i – индекс объекта СУ ИМС в соответствии с $P_{i,j}$.

2. Формирование групп объектов в соответствии со значениями характеристик за исследуемый период.

Формируются исходные данные за исследуемый период где:

$P_{i,j}$ – количественное значение j характеристики i -го объекта СУ ИМС;

$i = \overline{1, I}$ – индекс объектов (например, студенты, учебная группа в вузе, курс в вузе и т.д.);

$j = \overline{1, J}$ – индекс характеристик объектов СУ ИМС (например, изучаемые в РТУ «МИРЭА» дисциплины).

$A_i, B_j, T_I, K_{\Sigma}$ – определены в пункте 1.

В результате получены следующие результаты:

K – количество определенных классов;

$\overline{P_{k,j}^1}$ – центры тяжести классов;

k_i^1 – номер класса, принадлежащего i -го объекта;

a_i^1 – индекс объекта в $P_{i,j}$.

3. Исследование двух групп обучающихся вуза с разбиением на классы.

В пункте 1 выявлены:

K – количество выявленных классов;

$\overline{P_{k,j}}$ – центры тяжести выявленных классов;

k_i – номер класса принадлежности к i объекту;

a_i – индекс объекта в $P_{i,j}$.

В пункте 2 выявлены:

K – количество выявленных классов;

$\overline{P_{k,j}^1}$ – центры тяжести выявленных классов;

k_i^1 – номер класса принадлежности к i объекту;

a_i^1 – индекс объекта в $P_{i,j}$.

3.1. Сравнение объектов по выявленным классам осуществляется преобразованием центров тяжести классов $\overline{P_{k,j}}$ и $\overline{P_{k,j}^1}$ для того, чтобы выявить оценки этих групп классов независимо от характеристик объектов:

$$P_k = \sum_{j=1}^J W_j \overline{P}_{k,j};$$

$$\overline{P}_k^1 = \sum_{j=1}^J W_j \overline{P}_{k,j}^1,$$

где W_j – коэффициенты значимости j характеристики объекта, которые определяет ЛПР;
 $k = \overline{1, K}$ – индекс выявленных классов; $j = \overline{1, J}$ – индекс характеристик объекта.

Определенные элементы (a_i, k_i) и (a_i^1, k_i^1) упорядочиваются в соответствии с a_i и a_i^1 .

3.2. Полагаем $S=0, i=0, n=0$.

3.3. Если $a_i = a_i^1$ и $k_i \neq k_i^1$, тогда S определяется выражением:

$$S = S + (\overline{P}_{k_i^1} - P_{k_k})$$

и $n=n+1$;

3.4. $i=i+1$.

Если $i < I$, то переход к пункту 3.3.

Если $i \geq I$, то переход к пункту 3.5.

3.5. $\exists = S/n \times 100$

(1)

3.6. Оценка эффективности принятых управляющих воздействий в исследуемый период осуществляется следующим образом:

– если полученное значение в (1) ≥ 0 , то управляющие воздействия принимались эффективные;

– иначе – неэффективные.

Заключение

Рассмотренный способ оценки принятых ранее управляющих воздействий направлен на повышение эффективности системы УКО [10, 11].

Исследуя результаты принятых управляющих воздействий за определенный промежуток времени, формируется вывод об их эффективности. Если решения принимались неэффективные, то, получив дополнительную обеспечивающую информацию, необходимо исследовать причины и сменить стратегию принятия управляющих воздействий. Анализ характеристик отдельных объектов заменяется оценкой эффективности управляющих воздействий.

Использование результатов позволят ЛПР значительно снизить размерность задач выработки параметров управляющих воздействий, повысить наглядность параметров управляющих воздействий, облегчить интерпретируемость полученных результатов и увеличить эффективность принимаемых управляющих воздействий.

Оценка эффективности функционирования системами управления организационными структурами является основной для стимулирования работы сотрудников организационной системы, которая является основой единого механизма функционирования организации. Оценку эффективности функционирования системами управления организационными структурами необходимо согласовывать с планируемыми нормативами организации.

Список источников

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2005. 368 с.
2. Баранов В.В., Махутов Н.А. Принятие решений в проблеме управления развитием // Управление развитием крупномасштабных систем: Программа и пленарные доклады V Междунар. конф. М., 2011. С. 55–58.

3. Бурков В.Н., Ириков В.А. Модели и методы управления организационными системами. М.: Наука, 1994. 272 с.
4. Васильев С.Н., Цвиркун А.Д. Проблемы управления развитием крупномасштабных систем // Управление развитием крупномасштабных систем: Труды I Междунар. конф. М., 2007. С. 9–14.
5. Лопухин М.М. ПАТЕРН – метод планирования и прогнозирования. М.: Сов. радио, 1971. 184 с.
6. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. М.: Наука, 1975. 580 с.
7. Смоленцева Т.Е. Методы определения целевой функции // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6. № 3 (22). С. 143–152.
8. Сумин В.И., Смоленцева Т.Е. Анализ процесса оптимизации формирования иерархических многоуровневых сложных организационных систем // Вестник Воронежского института ФСИИ России. 2020. № 2. С. 139–144.
9. Сумин В.И., Мишин С.А. Алгоритм формирования сетевой модели целевых установок организационной системы // Охрана, безопасность и связь: сб. материалов IV Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: ВИ МВД РФ, 2003. Ч. 2. С. 107–108.
10. Smolentseva T.E., Svishchev A.V., Katakhova N.V. Designing an algorithm for supporting information generation process optimization // III International Workshop on modeling, information processing and computing (MIP: COMPUTING-2021). Krasnoyarsk, 2021.
11. Smolentseva T.E., Berger E.G., Gantz I.S. Description of the process of information flows formalization in the quality management system of education // III International Workshop on modeling, information processing and computing (MIP: COMPUTING-2021). Krasnoyarsk, 2021.

References

1. Anfilatov V.S., Emel'yanov A.A., Kukushkin A.A. Sistemnyj analiz v upravlenii. M.: Finansy i statistika, 2005. 368 с.
2. Baranov V.V., Mahutov H.A. Prinyatie reshenij v probleme upravleniya razvitiem // Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem: Programma i plenarnye doklady V Mezhdunar. konf. M., 2011. S. 55–58.
3. Burkov V.N., Irikov V.A. Modeli i metody upravleniya organizacionnymi sistemami. M.: Nauka, 1994. 272 s.
4. Vasil'ev S.N., Cvirkun A.D. Problemy upravleniya razvitie krupnomasshtabnyh sistem // Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh sistem: Trudy I Mezhdunar. konf. M., 2007. S. 9–14.
5. Lopuhin M.M. PATTERN – metod planirovaniya i prognozirovaniya. M.: Sov. radio, 1971. 184 s.
6. Pervozvanskij A.A. Matematicheskie modeli v upravlenii proizvodstvom. M.: Nauka, 1975. 580 s.
7. Smolenceva T.E. Metody opredeleniya celevoj funkcii // Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii. 2018. T. 6. № 3 (22). S. 143–152.
8. Sumin V.I., Smolenceva T.E. Analiz processa optimizacii formirovaniya ierarhicheskikh mnogourovnevnyh slozhnyh organizacionnyh sistem // Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii. 2020. № 2. S. 139–144.
9. Sumin V.I., Mishin S.A. Algoritm formirovaniya setевой модели целевых установок организационной системы // Oхрана, bezopasnost' i svyaz': sb. materialov IV Vseros. nauch.-prakt. konf. Voronezh: VI MVD RF, 2003. Ch. 2. S. 107–108.
10. Smolentseva T.E., Svishchev A.V., Katakhova N.V. Designing an algorithm for supporting information generation process optimization // III International Workshop on modeling, information processing and computing (MIP: COMPUTING-2021). Krasnoyarsk, 2021.

11. Smolentseva T.E., Berger E.G., Gantz I.S. Description of the process of information flows formalization in the quality management system of education // III International Workshop on modeling, information processing and computing (MIP: COMPUTING-2021). Krasnoyarsk, 2021.

Информация о статье:

статья поступила в редакцию: 10.01.2022; одобрена после рецензирования: 10.02.2022;
принята к публикации: 25.02.2022

The information article info: the article was received by the editorial office: 10.01.2022;
approved after review: 10.02.2022; accepted for publication: 25.02.2022

Информация об авторах:

Андрей Владимирович Калач, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская 1-а), доктор химических наук, профессор, почетный работник сферы образования Российской Федерации, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

Татьяна Евгеньевна Смоленцева, доцент кафедры практической и прикладной информатики ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Москва, пр. Вернадского, д. 78), e-mail: smoltan@bk.ru

Information about the authors:

Andrei V. Kalach, head of the department of information security and protection of information constituting state secrets of Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, Irkutskaya st. 1-a), doctor of chemical sciences, professor, honorary worker of education of the Russian Federation, e-mail: a_kalach@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8926-3151>

Tatyana E. Smolentseva, associate professor of the department of practical and applied Informatics, MIREA – Russian technological university (119454, Moscow, Vernadsky Ave., 78), e-mail: smoltan@bk.ru

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ СОТРУДНИКОВ МЧС РОССИИ К УСЛОВИЯМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 378.2

АКТУАЛЬНЫЕ ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Людмила Владимировна Медведева✉.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉luvlmed@mail.ru

Аннотация. Раскрыта негативная роль информационного загрязнения в искажении мировоззрения человека, который становится объектом манипуляций, способным без верификации информации принимать и одобрять необдуманные агрессивные решения с трагическими последствиями для биосферы и человечества.

Раскрыта доминантная роль сферы образования, которая включает в себя систему высшего образования, в решении проблемы формирования информационной культуры человека в эпоху информационного взрыва.

Сформулированы инвариантные регулятивные нормы разработки и внедрения информационных технологий в образовательный процесс и функции информационной среды учебной дисциплины.

Раскрыта зависимость результата деятельности субъекта познания от качества функционирования его персонального акцептора действий.

Сформулированы современные методические задачи использования компьютерных средств не только в качестве средств обеспечения устойчивой обратной связи в эргатической системе, но и в качестве средств развития сущностных сил человека и развития личной способности разрушения, сложившегося в условиях доминантных репродуктивных учебных действий стереотипа тождественности знания и учебной информации.

Учебная информация становится знанием в процессе ее осмысления в практических действиях. Подчеркнуто, что именно знания, а «не перекодированная на языке мозговых структур информация» (А.А. Вербицкий) становятся для специалиста ориентировочной основой всех его предметных действий и поступков как в образовательном процессе, так и в личной сфере профессиональной деятельности.

Раскрыты значение оперативной обратной связи в человеко-машинной системе и способы ее организации в глобальной Internet-сети.

Ключевые слова: информационный взрыв, коэволюция, функции информационной среды, человеко-машинная система, акцептор действия, продуктивная деятельность, глобальная сеть

Для цитирования: Медведева Л.В. Актуальные психолого-педагогические проблемы использования современных информационных ресурсов в образовательном процессе высшей школы // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 136–145.

CURRENT PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL PROBLEMS OF MODERN INFORMATION RESOURCES USAGE IN THE HIGHER SCHOOL EDUCATIONAL PROCESS

Ludmila V. Medvedeva✉.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,

Saint-Petersburg, Russia

✉luvlmed@mail.ru

Abstract. The negative role of information pollution in distorting of a person worldview who becomes an object of manipulation, capable accept and approve rash aggressive decisions with tragic consequences for the biosphere and humanity without verifying information, is revealed.

The dominant role of the education sector, which includes the system of higher education, in solving the problem of the formation of a person's information culture in the era of the information explosion is revealed.

The invariant regulatory norms for the development and implementation of information technologies in the educational process and the functions of the information environment of the academic discipline are formulated.

The dependence of the subject of cognition activity result on the quality of the of his personal actions acceptor functioning is revealed.

Modern methodological tasks of computer tools using are formulated. They are not only means of stable feedback providing in the ergatic system, but also means of developing person essential powers and developing the personal ability to destroy the stereotype of the identity of knowledge and educational information that has developed under the conditions of dominant reproductive educational actions.

Educational information becomes knowledge in the process of its comprehension in practical actions. It is emphasized that knowledge, but «not information recoded in the language of brain structures» (A.A. Verbitsky), becomes for a specialist an indicative basis for all his substantive actions, both in the educational process and in the personal sphere of professional activity.

The significance of operational feedback in a human-machine system and methods of its organization in the global Internet network are disclosed.

Keywords: information explosion, coevolution, information environment functions, human-machine system, acceptor of action, productive activity, global network

For citation: Medvedeva L.V. Current psychological and pedagogical problems of modern information resources usage in the higher school educational process // Nauch.-analit. journ. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 136–145.

Введение

В настоящее время, по данным статистических исследований, ежегодно в мире объем цифровой информации возрастает на 30 %, а за каждые 18 месяцев объем цифровой информации удваивается. При этом темпы отставания информационного потребления индивида от темпов информационного производства человечества значительно выше темпов отставания материального потребления человека от материального производства человечества.

Явление лавинообразного нарастания массы информации в мире А.Д. Урсул в 1975 г. назвал «информационным взрывом», который, по мнению М.Н. Эпштейна, для человечества «таит в себе не меньшую опасность, чем демографический кризис» [1].

В первую очередь опасность для человека представляет информационное загрязнение, в котором невозможно оценить степень достоверности и полезности информации.

В условиях информационного загрязнения наблюдается сильное искажение миропонимания и мировоззрения человека, который все чаще становится объектом манипуляций, способным без верификации информации принимать и одобрять необдуманные агрессивные решения с трагическими последствиями, что создает глобальную угрозу для биосферы и человечества.

Эпштейн М.Н., анализируя негативные последствия информационного взрыва, задает риторический вопрос: «...Хватит ли человеку биологически отмеренного срока жизни, чтобы стать человеком?» [2].

Выдающийся методолог Н.Н. Моисеев, понимая, что человек в парадигме антропоцентризма (человек и его удобства в центре всего) приближается к «человеческому самоотрицанию» (Н. Бердяев), надеялся на торжество коллективного Разума человечества уже в XXI в., который, по мнению ученого, должен стать эрой коэволюции, то есть скоординированной, гармоничной эволюции человека и биосферы («эрой направленного развития»). Коэволюция человека и природы – это направленность в будущее, которое в современных условиях требует всестороннего развития сущностных сил человека и, главное, духовного прогресса для предотвращения глобальной катастрофы и исчезновения человечества как биологического вида [3, 4].

Поиск способов решения поставленной проблемы в эпоху информационного взрыва является чрезвычайно важным направлением деятельности для наук разных сфер, доминантой которых является сфера образования человека, включающая в себя систему высшего образования [5–9].

Аналитическая часть

В работах выдающихся отечественных и зарубежных ученых В.А. Извозчикова, Г.К. Селевко, Б.С. Гершунского, Г.С. Альтшуллера, Р.М. Грановской, Р.Л. Солсо, Ю.Н. Кулюткина, В.П. Беспалько, И.В. Роберт, Ф. Янушкевича, К. Маклина, Р. Вильямса, Е.И. Машбица, Д. Мичи, Р. Джонстона исследованы проблемы, возможности и психолого-педагогические аспекты компьютерного обучения. При этом объединяющим началом всех научных исследований в области компьютеризации образовательного процесса является постулат о чрезвычайной опасности и недопустимости как абсолютизации компьютерных средств, так и купирования феномена человека (естественного интеллекта) в человеко-машинных системах с гибридным интеллектом [9–13].

Указанные запреты, имеющие в настоящее время статус инвариантных регулятивных норм разработки и внедрения информационных технологий в образовательный процесс, требуют поиска способов решения следующих методических взаимосвязанных задач [5, 13–16]:

1) проектирование человеко-машинной системы с ведущей ролью естественного интеллекта с целью создания образовательных условий для личного осмысления каждым обучающимся мощи и ограниченности искусственного интеллекта в ходе поиска решения учебных проблемных заданий;

2) разработка тематических проблемных средств компьютерного обучения для гармоничного развития высших психических процессов обучающихся (восприятие, внимание, память, мышление) с учетом их возрастных особенностей;

3) создание информационной среды учебной дисциплины, реализующей в логике научного познания перечень определенных функций (табл.) для обеспечения личного развития обучающихся и интенсификации их интеллектуальной деятельности, направленной на развитие навыков и умений трансформации научных знаний.

В процессе решения указанных методических задач компьютерные средства становятся объектами изучения, а также средствами развития и воспитания в образовательном процессе.

Вместе с тем в эффективной информационной среде обеспечивается: интеграция процессов изучения учебного материала и контроля качества освоения знаний; персонификация учебно-воспитательного процесса, которая достигается при личном побуждении обучающегося к продуктивной интеллектуальной деятельности в условиях специально созданной проблемной ситуации.

В психологических исследованиях эмпирически доказано, что результат деятельности субъекта познания зависит не только от уровня сформированности способов умственной деятельности субъекта познания, но и в значительной степени от качества функционирования его персонального акцептора действий [17, 18].

Таблица

Информативная функция	Доступ к информации, комфортные условия для удовлетворения информационных потребностей
Когнитивная функция	Представление информации в знакосимвольной форме (тексты, задания, тесты, формулы и т.д.), графическая и мультипликационная интерпретация учебного материала
Развивающая функция	Развитие потребностей в творчестве, учении, формирование информационной культуры
Практическая функция	Предоставление программных продуктов в качестве средств решения практических задач (практические расчеты, демонстрации, модели и т.д.)
Профессионально-ориентационная функция	Приближение структуры учения к структуре профессиональной деятельности
Прогностическая функция	Соответствие технического оснащения компьютерной базы вуза современному уровню развития техники
Интегративная функция	Реализация междисциплинарных связей, интеграция навыков и умений инновационных поисков

Понятие «акцептор действия» введено П.К. Анохиным в теории обратной афферентации (обратной связи). По определению П.К. Анохина, акцептор действия «...производит сопоставление результатов афферентного синтеза, то есть замысла действия, с результатами произведенного действия» [17, с. 304]. Таким образом, формирование в головном мозге аппарата оценки предстоящего действия (акцептора действия) предшествует любому трудовому действию человека. Это значит, что в каждый момент времени человек, который получает возможность сличения замысла действия с достигнутым результатом, может оперативно внести коррективы в процесс деятельности. Именно в этой возможности субъекта деятельности оперативно скорректировать свои предметные действия проявляется алгоритм осуществления обратной связи (обратной афферентации).

Это означает, что обратная афферентация в каждом физиологическом действии человека информирует его о достигнутом результате, что позволяет человеку оценить успешность собственной деятельности и своевременно внести коррективы в действие исполнительного органа. Таким образом, акцептор действия по существу можно считать персональным прибором сличения и перешифровки, который оценивает степень расхождения требуемого и фактического результата каждого действия человека (Н.А. Бернштейн).

Следует особенно отметить тот факт, что именно цель деятельности формирует обратную афферентацию конечного результата деятельности. Это значит, что в дидактическом и психологическом аспектах чрезвычайную значимость приобретает четкость постановки целей и задач продуктивной деятельности.

Ясное понимание целей и задач деятельности субъектом познания обуславливает личное побуждение к решению поставленных задач в проблемном поле и личное осмысление предложенных для разрешения учебных проблем. По мнению М.Н. Скаткина: «Наличие обратной связи, нормальное функционирование акцептора действий является

непременным условием успеха в труде. Последнее обстоятельство способствует образованию у учащихся профессиональной доминанты» [18, с. 304].

С позиций вышеизложенного, обеспечение оперативной обратной связи в человеко-машинной системе становится обязательным условием при решении образовательной задачи вовлечения субъекта познания в продуктивную интеллектуальную деятельность. Именно для реализации указанного дидактического условия необходимыми дидактическими средствами являются компьютерные средства, которые автоматизируют поиск оптимального решения учебной проблемы в лабиринте возможностей и освобождают субъекта познания от многократных, повторяющихся математических вычислений, что позволяет каждому обучающемуся получить дополнительный резерв учебного времени для осмысления проблемы и поиска наиболее оптимального варианта решения поставленной задачи [6, 16–18].

Следует особенно подчеркнуть тот факт, что компьютерные средства, обеспечивая устойчивую обратную связь, а, следовательно, функционирование акцептора действий субъекта познания, позволяют ему лично осознать и понять, что учебная информация и знание не являются тождественными понятиями. По мнению А.А. Вербицкого, учебная информация становится знанием только в процессе ее осмысления в практических действиях. При этом именно знания, а «не перекодированная на языке мозговых структур информация» (А.А. Вербицкий) становятся для специалиста ориентировочной основой всех его предметных действий и поступков как в образовательном процессе, так и в личной сфере профессиональной деятельности [19, 20].

Если человеко-машинная система проектируется как адаптивная система информационного взаимодействия с приоритетной ролью естественного интеллекта, то появляется возможность не по принуждению, а по убеждению каждого обучающегося использовать внеучебное время для продолжения поиска учебной проблемы. Таким образом, субъектом познания лично осуществляется суперпозиция учебных и самостоятельных занятий, которая обеспечивает построение единого развивающего пространства учебной дисциплины, приобретающего фундаментальные свойства симметрии: свойство «однородности» развивающего пространства и свойство «однородности» времени [21–26].

Современные информационные технологии предоставляют возможности укрепления обратной связи в системе «преподаватель-обучающийся», а глобальная компьютерная Internet-сеть в этой связи становится одним из наиболее эффективных инструментов.

Следует отметить, что работа в глобальной сети требует знания специальной терминологии, которая быстро изменяется и обновляется. Однако в настоящее время существенным препятствием для оптимизации информационных поисков пользователей становится противоречие между относительной стабильностью компьютерного английского языка от одной версии к другой и отсутствием единообразия в его русификации.

С целью разрешения этого противоречия заслуживает внимание опыт разработки иллюстрированных толковых словарей для размещения в Internet-сети, которые включают в себя: компьютерную графику (элементы графического интерфейса, цвет и цветовые модели, векторную графику, растровую графику, текст); мультимедиа; систему автоматизированного проектирования (САПР) (технические средства САПР, векторная графика, форматы файлов представления проектных данных); глоссарий и аббревиатуры.

Следует отметить, что в отличие от традиционных носителей учебной информации, которые требуют переиздания всего тиража, ресурсы, размещенные в Internet-сети, могут быть оперативно обновлены. При этом для субъектов деятельности существует возможность самостоятельного обновления информации о программных продуктах, добавления и изменения ссылок на внешние ресурсы.

Основой новых образовательных систем являются современные компьютерные технологии хранения, обработки и передачи информации, поэтому организация эффективного доступа пользователя к распределенной и постоянно обновляющейся

информации в вычислительных сетях с целью моделирования структуры и наполнения образовательной среды становится актуальной задачей.

Заслуживает внимания опыт работы над инструментом обработки информации в компьютерной системе, основанным на гипермедиа технологии, который предлагает обобщенную невстраиваемую архитектуру системы и интересную модель взаимодействия пользователя с управляемыми мобильными информационными ресурсами. Текстовая реализация модели определяется составом и объемом передаваемой в ней информации. На ее основе реализуется метод формирования обучающего материала как на локальном, так и удаленном уровне взаимодействия.

Информационное наполнение представляет собой хранилище данных, организованное на основе гипермедиа технологий. Содержимое библиотек гипертекстовых документов образуют за счет гиперссылок единое образовательное пространство. Подобным образом любое хранилище может быть статически и динамически интегрировано в среду создаваемого курса. Для обоснования выбора средств обработки и управления информацией в системе определяется область действия системы, организующей процесс обучения, набор функций системы и необходимые для их реализации инструментальные программные средства, а также средства коммуникации и соответствующих им протоколов передачи информации, формат данных, которые используются для представления учебного материала в среде образовательной системы.

В настоящее время реализована первая версия программы, которая формирует образовательный курс по запросам пользователя, взаимодействие с хранилищем информации, базами данных и знаний, удаленный доступ (коммутиационные технологии).

Следует отметить, что распределенные данные в качестве локальных информационных ресурсов являются, по существу, серверами объектов данной предметной области распределенной базы данных (РБД). Распределенные объекты данных сопровождаются абстрактными описаниями, которые выражаются средствами модельных уровней интегрированного представления РБД. Степень интеграции РБД определяет возможности абстрагирования распределенных данных, возможности определения протоколов абстракции распределенных данных и, естественно, возможности их конечного использования.

С этих позиций целевое построение и интеграция РБД для удовлетворения стратегического интереса пользования информацией ориентировано на документальное представление распределенных данных и соответствует сути современного объектно-ориентированного мышления разработчиков компьютерных технологий. В отличие от произвольной стратегии пользования, стратегия профессионального пользования реализуется путем предоставления инструментальных средств документального представления распределенных данных. При профессиональном использовании пользователи в среде интегрированной РБД получают доступ к манипулированию составными компонентами локальных информационных ресурсов и сами определяют требуемый вид представления распределенных данных.

Семантическая интеграция РБД предполагает построение концептуального и фундаментального уровней интегрированного представления РБД. Построение концептуального уровня связано с созданием системы толкового интеграционного словаря, а построение фундаментального уровня выражается в создании формализованной системы знаний РБД на основе семантической интеграции.

Совместимость рассмотрения вопросов концептуальной и фундаментальной интеграции РБД представляется оправданной в том смысле, что именно на этих интеграционных уровнях формируется семантически однородное интегрированное представление РБД: модельно однородные описания взаимосвязанных концептуальной и фундаментальной семантики взаимно дополняют друг друга.

Информация в среде РБД проходит сложный путь определения. На схемном интеграционном уровне информация РБД определяется возможностями локальных ресурсов.

На логическом уровне информационные возможности повышаются за счет построения над РБД совокупности логических интерфейсов, обеспечивающих отображения логических представлений о предметной области в схемные ресурсы их реализации. На логическом уровне формируются интегрированные справочники классификационных понятий предметной области, позволяющие переходить на интегрированный язык общения с РБД. Семантические уровни интегрированного представления РБД обеспечивают установку содержательных связей над интегрированными справочниками классификационных понятий. Таким образом, семантические интеграционные уровни достраивают технологию отображений представлений предметной области до логического конца.

Концептуальная семантика представляет собой один из взглядов на предметную область и строится над классифицированными объектами в терминах идентификации этих объектов. Фундаментальная семантика выражает общий взгляд на предметную область, оперирует терминами и понятиями фундаментальных закономерностей природных явлений окружающего мира и может вообще не иметь прямых терминологических пересечений с терминами классифицированных объектов.

Таким образом, семантическая интеграция РБД позволяет представить любую информационную технологию в виде суперсистемы, все внутренние компоненты которой предназначены для выполнения промежуточных технологических операций в условиях свободного доступа к любой информации. При этом целевое построение и интеграция РБД в первую очередь направляется на удовлетворение стратегических интересов профессионального пользования и производства информации [26–30].

Заключение

В заключение следует отметить, что эпоха информационного взрыва с ростом темпов компьютеризации и объемов цифровой информации, абсолютизацией компьютерных средств и виртуального пространства последовательно разрушает надежду и веру человечества в достижение коэволюции человека и природы. Однако, как и сто лет назад главным объективным условием предотвращения глобальной катастрофы и исчезновения человечества как биологического вида является сопоставимость темпов технического развития с темпами развития сущностных и духовных сил человека.

Поиск способов решения поставленной проблемы в эпоху информационного взрыва является чрезвычайно важным направлением деятельности для наук разных сфер, а доминантная роль принадлежит системе образования человека, все ступени которой в равной ответственности должны искать способы построения информационно-образовательного пространства, в котором преемственно от ступени к ступени достигается духовный прогресс человека.

При этом «мощь искусственного интеллекта» должна использоваться, прежде всего, для воспитания нравственных начал и развития феномена человека, а компьютерные средства являться объектами изучения, а также средствами развития и воспитания в образовательном процессе. Именно в этом заключается главная задача системы современного образования человека, но решения этой главной задачи не случится, если забыть, что даже самое уникальное по техническим возможностям «устройство не может заменить серьезные размышления и педагогическую опытность» (Э. Стоунс).

Список источников

1. Урсул А.Д. Природа информации: философский очерк. 2-е изд. Челябинск, 2010. 231 с.
2. Lyman P., Varian H.R. How much information. Release of the University of California. 2003. Oct. 27.
3. Моисеев Н.Н. Алгоритмы развития. М.: Наука, 1987. 304 с.

4. Моисеев Н.Н. Восхождение к разуму. Лекции по универсальному эволюционизму и его приложениям. М.: ИздАТ, 1993. 175 с.
5. Бордовский Г.А., Извозчиков В.А. Концептуальный подход к компьютерной технологии обучения // Современные технологии контроля знаний и экзамена / науч. ред. Ф. Янушкевич. Сельдце, 1987.
6. Информационные технологии в непрерывном образовании (проблемы методологии и теории) / под общ. ред. В.А. Извозчикова. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 1991.
7. Муромцев В.В., Муромцева А.В. Формирование информационной культуры в условиях доминирующей роли виртуальных коммуникаций // Труды XIII Чаяновских Чтений. Социальное Государство: Вызовы XXI века / отв. ред. Н.И. Архипова. М.: Изд-во РГГУ, 2013. С. 184.
8. Ребко Э.М., Федорова А.П. Информационная образовательная среда учебного заведения как средство формирования информационной культуры студентов // Молодой ученый. 2014. № 1 (60). С. 566–568.
9. Турсунов А. Человек и мироздание. М.: Наука, 1986.
10. Грановская Р.М., Крижанская Ю.С. Творчество и преодоление стереотипов. СПб.: OMS, 1994.
11. Извозчиков В.А. Инфоносферная эдукология: новые информационные технологии обучения. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 1991.
12. Westera W. Competence In Education // J. Curriculum Studies. 2001. Vol. 33. № 1. P. 75–88.
13. Альханов Н.М. Проблемы компетентного подхода к формированию профессиональной компетентности в системе высшего образования // Педагогика высшей школы. 2015. № 3. С. 55–57.
14. Солсо Р.Л. Когнитивная психология: пер. с англ. М.: Тривола, 1996.
15. Возрастные особенности умственной деятельности взрослых: сб. науч. трудов / под ред. Е.И. Степеновой. Л.: НИИ ОВ АПН СССР, 1974.
16. Технологические и управленческие аспекты образования взрослых в России / под общ. ред. А.Е. Марона. СПб.: РАО ИОВ, 2000.
17. Анохин П.К. Физиология и кибернетика // Философские вопросы кибернетики: сб. М., 1961.
18. Скаткин М.Н. Совершенствование процесса обучения. М., 1971.
19. Пригожин И.Р., Стенгерс. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 2000.
20. Вербицкий А.А. Новые грани вечной проблемы образования в контексте и вне его // Высшее образование сегодня. 2017. № 8. С. 6–13.
21. Выготский Л.С. Развитие высших психических функций. М.: Изд-во АПН РСФСР, 1960.
22. Локалов В.А. Развитие мышления, речи и высших психических функций. СПб.: Университет ИТМО, 2020. 80 с.
23. Альтшуллер Г.С., Верткин И.М. Как стать гением: жизненная стратегия творческой личности. Минск: Беларусь, 1994.
24. Лук А.Н. Психология творчества. М.: Наука, 1978.
25. Сокальский Э.А. Юность – время пробы творческих сил и стартов в будущее // Вестник МГТУ им. М.А. Шолохова. Сер.: Педагогика и психология. 2016. № 2. С. 97–108.
26. Карпович Т.Н. Психологические и социальные особенности учащегося XXI века // Профессиональное образование: Электронный научный портал. 2015.
27. Заярная И.А., Куликова В.В. Проблемы реализации компетентного подхода в вузе // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 10. С. 90–92.
28. Свергунова Н.М. Формирование информационной культуры будущих специалистов // Новая библиотека. 2005. № 10. С. 22–23.

29. Хеннер Е.К. Профессиональные знания и профессиональные компетенции в высшем образовании // *Образование и наука*. 2018. Т. 20. № 2. С. 9–31.
30. Будаев В.Д. Размышления о состоянии высшего образования в России // *Высшее образование сегодня*. 2018. № 7. С. 40–43.

References

1. Ursul A.D. Priroda informacii: filosofskij ocherk. 2-e izd. CHelyabinsk, 2010. 231 s.
2. Lyman P., Varian H.R. How much information. Release of the University of California. 2003. Oct. 27.
3. Moiseev N.N. Algoritmy razvitiya. M.: Nauka, 1987. 304 s.
4. Moiseev N.N. Voskhozhdenie k razumu. Lekcii po universal'nomu evolyucionizmu i ego prilozheniyam. M.: IzdAT, 1993. 175 s.
5. Bordovskij G.A., Izvozchikov V.A. Konceptual'nyj podhod k komp'yuternoj tekhnologii obucheniya // *Sovremennye tekhnologii kontrolya znaniy i ekzamina* / nauch. red. F. YAnushkevich. Sel'dce, 1987.
6. Informacionnye tekhnologii v nepreryvnom obrazovanii (problemy metodologii i teorii) / pod obshch. red. V.A. Izvozchikova. SPb.: Izd-vo RGPU im. A.I. Gercena, 1991.
7. Muromcev V.V., Muromceva A.V. Formirovanie informacionnoj kul'tury v usloviyah dominiruyushchej roli virtual'nyh kommunikacij // *Trudy XIII CHayanovskih CHtenij. Social'noe Gosudarstvo: Vyzovy XXI veka* / otv. red. N.I. Arhipova. M.: Izd-vo RGGU, 2013. S. 184.
8. Rebko E.M., Fedorova A.P. Informacionnaya obrazovatel'naya sreda uchebnogo zavedeniya kak sredstvo formirovaniya informacionnoj kul'tury studentov // *Molodoj uchenyj*. 2014. № 1 (60). S. 566–568.
9. Tursunov A. CHelovek i mirozhdanie. M.: Nauka, 1986.
10. Granovskaya R.M., Krizhanskaya Yu.S. Tvorchestvo i preodolenie stereotipov. SPb.: OMS, 1994.
11. Izvozchikov V.A. Infonoosfernaya edukologiya: novye informacionnye tekhnologii obucheniya. SPb.: Izd-vo RGPU im. A.I. Gercena, 1991.
12. Westera W. Competence In Education // *J. Curriculum Studies*. 2001. Vol. 33. № 1. P. 75–88.
13. Al'hanov N.M. Problemy kompetentnostnogo podhoda k formirovaniyu professional'noj kompetentnosti v sisteme vysshego obrazovaniya // *Pedagogika vysshej shkoly*. 2015. № 3. S. 55–57.
14. Solso R.L. Kognitivnaya psihologiya: per. s angl. M.: Trivola, 1996.
15. Vozrastnye osobennosti umstvennoj deyatel'nosti vzroslyh: sb. nauch. trudov / pod red. E.I. Stepenovoj. L.: NII OV APN SSSR, 1974.
16. Tekhnologicheskie i upravlencheskie aspekty obrazovaniya vzroslyh v Rossii / pod obshch. red. A.E. Marona. SPb.: RAO IOV, 2000.
17. Anohin P.K. Fiziologiya i kibernetika // *Filosofskie voprosy kibernetiki*: sb. M., 1961.
18. Skatkin M.N. Sovershenstvovanie processa obucheniya. M., 1971.
19. Prigozhin I.R., Stengers. Poryadok iz haosa: novyj dialog cheloveka s prirodoy. M.: Progress, 2000.
20. Verbickij A.A. Novye grani vечноj problemy obrazovaniya v kontekste i вне ego // *Vysshee obrazovanie segodnya*. 2017. № 8. S. 6–13.
21. Vygotskij L.S. Razvitie vysshih psihicheskikh funkcij. M.: Izd-vo APN RSFSR, 1960.
22. Lokalov V.A. Razvitie myshleniya, rechi i vysshih psihicheskikh funkcij. SPb.: Universitet ITMO, 2020. 80 s.
23. Al'tshuller G.S., Vertkin I.M. Kak stat' geniem: zhiznennaya strategiya tvorcheskoj lichnosti. Minsk: Belarus', 1994.
24. Luk A.N. Psihologiya tvorchestva. M.: Nauka, 1978.
25. Sokal'skij E.A. Yunost' – vremya proby tvorcheskikh sil i startov v budushchee // *Vestnik MGGU im. M.A. Sholohova. Ser.: Pedagogika i psihologiya*. 2016. № 2. S. 97–108.

26. Karpovich T.N. Psihologicheskie i social'nye osobennosti uchashchegosya XXI veka // Professional'noe obrazovanie: Elektronnyj nauchnyj portal. 2015.
27. Zayarnaya I.A., Kulikova V.V. Problemy realizacii kompetentnostnogo podhoda v vuze // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2015. № 10. S. 90–92.
28. Svergunova N.M. Formirovanie informacionnoj kul'tury budushchih specialistov // Novaya biblioteka. 2005. № 10. S. 22–23.
29. Henner E.K. Professional'nye znaniya i professional'nye kompetencii v vysshem obrazovanii // Obrazovanie i nauka. 2018. T. 20. № 2. S. 9–31.
30. Budaev V.D. Razmyshleniya o sostoyanii vysshego obrazovaniya v Rossii // Vysshee obrazovanie segodnya. 2018. № 7. S. 40–43.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 15.12.2021; одобрена после рецензирования: 10.02.2022;
принята к публикации: 28.02.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 15.12.2021; approved after review: 10.02.2022;
accepted for publication: 28.02.2022

Информация об авторах:

Людмила Владимировна Медведева, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: luvlmed@mail.ru, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации

Information about the authors:

Lyudmila V. Medvedeva, head of the department of physical and technical fundamentals of fire safety, St. Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), e-mail: luvlmed@mail.ru, doctor of pedagogical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation

УДК 316.346-053.6:316.774.001.25

К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗВИТИЯ ГИБКИХ НАВЫКОВ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ КАК ФАКТОРА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Ольга Александровна Воронина✉;**Анна Георгиевна Габова.****Вятский государственный университет, г. Вятка, Россия.****Екатерина Евгеньевна Строчкая.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия****forol@list.ru**✉

Аннотация. Актуальность данного исследования определяется стратегическими ориентирами современного образования, направленного на развитие у студентов не только профессиональных (жестких) навыков, но и надпрофессиональных (гибких), которые играют первостепенную роль в обеспечении защиты личности, общества и государства от вызовов и угроз в сфере информационной безопасности. Информационная безопасность представляет собой практику предотвращения несанкционированного доступа, использования, раскрытия, искажения, изменения, исследования, записи или уничтожения информации. Рассмотрена роль четырёх групп гибких навыков, необходимых в обеспечении информационной безопасности: 1) навыки взаимодействия в коллективе; 2) личностные навыки; 3) навыки планирования, 4) навыки жизнестойкости. В практической части статьи представлены результаты анкетирования студентов в возрасте от 17 до 24 лет, дана количественная и качественная характеристика развития их гибких навыков. Показано, что понятие гибкие навыки, как комплекс умений общего характера, необходимых в условиях технического прогресса, отражено в сознании 60 % молодых людей. Для развития гибких навыков 69 % опрошенных включаются в разнообразные практики неформального образования: онлайн-платформы, видеоуроки, тренинги, курсы, мастер-классы, секции. У студенческой молодежи в лучшей степени развиты такие навыки взаимодействия, как коммуникабельность, умение работать в команде, переговорные компетенции и реже представлены навыки, связанные с развитием и мотивацией других. Студенты испытывают сложности в планировании времени (тайм-менеджмент) и в проявлении навыков жизнестойкости (гибкость, принятие критики, стрессоустойчивость, работа в режиме неопределённости и меняющейся ситуации). Определена зона последующих научных исследований данной проблемы.

Ключевые слова: гибкие навыки, информационная безопасность, студенческая молодежь, неформальное образование

Для цитирования: Воронина О.А., Габова А.Г., Строчкая Е.Е. К вопросу о целесообразности развития гибких навыков студенческой молодежи как фактора информационной безопасности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 146–152.

TO THE QUESTION OF THE EXPEDIENCY OF DEVELOPING SOFT SKILLS OF STUDENTS AS A FACTOR OF INFORMATION SECURITY

Olga A. Voronina✉; **Anna G. Gabova.****Vyatka State University, Vyatka, Russia.****Ekaterina E. Strotskaya.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia****forol@list.ru**✉

Abstract. The relevance of this research is determined by the strategic guidelines of modern education aimed at developing students not only professional (hard) skills, but also supra- professional (soft) ones, which play a primary role in ensuring the protection of the individual, society and the state from challenges and threats in the field of information security. Information security is the practice of preventing

unauthorized access, use, disclosure, distortion, modification, research, recording or destruction of information. The role of four groups of soft skills necessary in ensuring information security is considered: 1) teamwork skills; 2) personal skills; 3) planning skills, 4) resilience skills. In the practical part of the article, the results of a survey of students aged 17 to 24 years are presented, quantitative and qualitative characteristics of the development of their soft skills are given. It is shown that the concept of soft skills, as a set of general skills necessary in the conditions of technological progress, is reflected in the minds of 60 % of young people. To develop soft skills, 69 % of respondents are involved in a variety of non-formal education practices: online platforms, video tutorials, trainings, courses, master classes, sections. Students have the best developed interaction skills such as sociability, teamwork, negotiation competencies, and skills related to the development and motivation of others are less often represented. Students experience difficulties in time planning (time management) and in the manifestation of resilience skills (flexibility, acceptance of criticism, stress tolerance, working in a mode of uncertainty and changing situations). The zone of subsequent scientific research of this problem is determined.

Keywords: soft skills, information security, student youth, non-formal education

For citation: Voronina O.A., Gabova A.G., Strotskaya E.E. To the question of the expediency of developing soft skills of students as a factor of information security // Nauch.-analit. journ. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 146–152.

Актуальность развития гибких навыков (soft skills) студентов в современном мире, несомненно, велика, поскольку получаемые в высшем учебном заведении компетенции могут «устареть» еще до того, как выпускник вышел за стены университета. Кроме профессиональных компетенций в конкретных видах деятельности молодым специалистам требуются надпрофессиональные навыки, не связанные с конкретной специальностью. Их называют навыками XXI в., поскольку они обеспечивают гибкое приспособление человека под стремительно изменяющийся мир. Именно развитию гибких навыков следует уделить особое внимание в вузе как фактору не только успешной социально-профессиональной адаптации молодежи, но также и информационной безопасности.

В современном обществе с невероятной скоростью активно внедряются информационные технологии. Информация становится самым ценным стратегическим ресурсом. Важно осуществлять контроль над её хранением, распространением и использованием, из-за чего и возникает потребность в обеспечении информационной безопасности. Постановка вопроса в данной плоскости имеет особое значение еще и потому, что в разных регионах страны с разной скоростью в вузах внедряются новые технические устройства, оборудование и программно-аппаратные средства. Не вся студенческая молодежь имеет к ним равный доступ, а значит и возможность отвечать на новейшие вызовы и угрозы в сфере информационной безопасности.

Информационная безопасность представляет собой состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних информационных угроз [1]. Согласно взглядам В.В. Зотова, О.А. Колобова, А.А. Кривоухова, В.Н. Ясенева, информационная безопасность представляет собой практику предотвращения несанкционированного доступа, использования, раскрытия, искажения, изменения, исследования, записи или уничтожения информации.

Добродеев А.Ю. отмечает, что обеспечение информационной безопасности включает в себя:

- 1) защиту самой информации;
- 2) защиту людей и общества в целом на информированность;
- 3) защиту от информации (навязывания ложной информации) [2, с. 52].

Деятельность по защите информации направлена на предотвращение утечки защищаемых данных, непреднамеренных и несанкционированных воздействий (военная, служебная, коммерческая тайна, интеллектуальная собственность, авторские права, персональные данные и др.). Возникает дилемма: с одной стороны, студент максимально погружён в информационные ресурсы, а с другой – не всегда компетентен в вопросах их безопасного использования.

Становится очевидным, что формирование гибких навыков необходимо студенческой молодежи не только для успешной трудовой деятельности, но и для реализации себя как активного участника безопасных социальных взаимодействий. Современная система формального образования зачастую ориентирована на развитие только жестких навыков (hard skills). Гибкие навыки молодые люди развивают в процессе включения в практики информального и неформального образования, что, в свою очередь, делает актуальным вопрос модернизации стандартной образовательной среды.

Исходя из этого, было проведено эмпирическое исследование, направленное на изучение особенностей развития гибких навыков студенческой молодежи как фактора информационной безопасности.

Определены задачи исследования:

1. Охарактеризовать сущность и классификации гибких навыков.
2. Определить перечень гибких навыков студенческой молодежи, необходимых для обеспечения информационной безопасности.
3. Дать характеристику гибким навыкам студенческой молодежи.

Первые рекомендации по включению гибких навыков непосредственно в систему образования появились в 1950 гг. История «soft skills» и «hard skills» начинается с области цифровых технологий. Сами термины возникли по аналогии с компьютерными понятиями: аппаратное обеспечение («hardware») и программное обеспечение («software»), а затем адаптировались из сферы экономического бизнеса в социальное пространство [3, с. 191].

Дальнейшие исследования этого феномена уже проводились в работах исследователей О.Ю. Ковалевой, Х.Х. Садулаева, О.Я. Пономаревой, О.В. Власовой, С.М. Климова, Ф. Кумбса, М. Ахмеда, О.В. Ройтблат и др. Анализируя подходы разных авторов, вслед за О.Я. Пономаревой, под гибкими навыками рассматривается комплекс неспециализированных, важных для карьеры надпрофессиональных навыков, которые отвечают за успешное участие в рабочем процессе, высокую производительность и являются сквозными, то есть не связанными с конкретной предметной областью [4, с. 30].

Среди авторов нет единого понимания вопроса о типологиях «soft skills». Наиболее полной является классификация, приведенная О.П. Горьковой, Н.В. Козловским, В.С. Матыкиной и А.В. Петровым, которые описывают четыре группы гибких навыков [5]:

1. Навыки взаимодействия в коллективе (умение работать в команде, переговорные компетенции, межотраслевая коммуникация, развитие и мотивация других, коммуникабельность).
2. Личностные навыки (инициативность, обучаемость, креативность, критическое мышление).
3. Навыки планирования (тайм-менеджмент, умение управлять проектами и процессами, постановка задач, делегирование).
4. Навыки жизнестойкости (стрессоустойчивость, работа в режиме неопределённости и в условиях быстрой смены задач, восприятие критики и обратной связи).

В рамках рассматриваемой проблемы можно обосновать перечень гибких навыков студенческой молодежи, необходимых для обеспечения информационной безопасности, опираясь на выше представленную классификацию.

Первая группа навыков связана с выстраиванием эффективных коммуникаций:

- 1) умение распознавать механизмы информационного воздействия (манипуляции, нагнетания межнациональной и социальной напряженности, пропаганда экстремистской идеологии и т.д.);
- 2) умение нивелировать информационно-психологическое воздействие, в том числе направленное на подрыв исторических основ и патриотических традиций, связанных с защитой Отечества;
- 3) принятие мер по предотвращению, например, предоставления неавторизованным лицам информации, которая может быть выдана системой в ответ на запрос;
- 4) выбор тех средств коммуникации, которые позволяют избежать барьеров непонимания, искажения информации при офлайн и онлайн общении.

Студенты являются активными пользователями различных форм коммуникации: электронная почта, чаты, блоги, форумы, социальные сети и др. Нарушение простых правил взаимодействия (распространение излишней информации о себе, общение с незнакомцами, включение в кибербуллинг и др.) увеличивает вероятность столкновения с онлайн-рисками. В данной группе актуальным является комплексный гибкий навык – «цифровая компетентность», под которой исследователями (Г.У. Солдатова, Т.А. Нестик, Е.И. Рассказова, Е.Ю. Зотова) понимается основанная на непрерывном овладении компетенциями способность индивида уверенно, эффективно, критично и безопасно выбирать и применять инфокоммуникационные технологии в разных сферах жизнедеятельности (работа с контентом, коммуникации, потребление, техносфера) [6].

Гибкие навыки второй группы (инициативность, обучаемость, креативность и критическое мышление) становятся особенно актуальны для обеспечения информационной безопасности, поскольку необходим опережающий подход в использовании информационных технологий, которые с каждым годом совершенствуются и становятся все более сложными, а за время, в течение которого разрабатывается защита, угрозы могут быть уже совершенно другими, более опасными и высокотехнологичными.

В третьей группе навыки планирования необходимы в прогнозировании, выявлении, анализе и оценке угроз безопасности, без чего невозможна деятельность по их предотвращению и поддержанию соответствующего уровня безопасности. Планирование также обеспечивает оптимальное распределение ресурсов, что важно для поддержания стрессоустойчивости.

Последняя группа – навыки жизнестойкости: стрессоустойчивость и способность работать в критических ситуациях, адаптироваться к новым вызовам, гибко реагировать на угрозы, успешно восстанавливаться после ударов и т.д. в аспекте информационной безопасности являются самыми важными качествами [7]. Внезапные атаки мошенников могут привести к огромным финансовым и информационным утечкам, что подрывает сложившееся равновесие и приводит к стрессу. Чендлер Д. и Кофи Дж. утверждают, что безопасность логически предшествует стрессоустойчивости. Следуя рассуждениям авторов, в развитии жизнестойкости для студента важным является понимание не только механизмов предотвращения угроз и рисков, но и восприятие кризисных ситуаций как естественной эволюции любой системы, открывающей возможности для трансформаций и дальнейшего развития [8].

Результаты исследования

Для того чтобы определить особенности развития гибких навыков студенческой молодежи, был проведен пилотажный опрос целевой аудитории.

Разработанная анкета включает 11 вопросов, с закрытым и открытым типом выбора ответа, разделенных на четыре содержательных блока:

- 1) социально-демографические характеристики (пол, возраст, степень обучения);
- 2) представления о сущности понятия «гибкие навыки», интерес к нему;
- 3) предпочитаемые ресурсы развития гибких навыков;
- 4) самооценка уровня развития гибких навыков.

В исследовании приняли участие 200 студентов Вятского государственного университета в возрасте от 17 до 24 лет, среди которых 52 % – девушки, а 48 % – юноши.

Большая часть студенческой молодежи (60 %) знает, что такое гибкие навыки. 14 % опрошиваемых уверены, что это комплекс умений, важных в любой профессии; 11 % респондентов считают, что гибкие навыки – это возможность подстроиться под обстоятельства; такое же количество (11 %) характеризуют их как универсальные навыки, которые не связаны с какой-то определенной профессией, специальностью, а отражают личные качества человека, его способности; 10 % склоняются к тому, что это навыки, которые можно использовать во всех сферах своей жизни; 6 % думают, что это надпрофессиональные навыки, которые помогают решать жизненные задачи и работать

с другими людьми. Незначительная часть студенческой молодёжи (5 %) отмечает, что это навыки, которые развиваются самостоятельно и востребованные компетенции в условиях технического прогресса (3 %). Оставшееся достаточно большое количество молодежи (40 %), к сожалению, не имеет представления о том, что такое гибкие навыки и насколько они важны в современном обществе.

Абсолютное большинство студентов (75 %) отмечают важность и необходимость развития гибких навыков наравне с профессиональными, 25 % несколько сомневаются, но в целом также придерживаются этого мнения.

Превалирующее большинство молодых людей считают необходимым начинать развитие гибких навыков со школы (63 %), вторым по популярности ответ является в вузе/ссузе (20 %). Развитие soft skills с дошкольного образовательного учреждения выбрали 17 % опрошенных.

Значительная часть опрошенных студентов (63 %) поддерживают идею о введении специальной программы по развитию гибких навыков в систему формального образования. В последние годы все чаще в образовательные стандарты вузов включаются дисциплины, непосредственно затрагивающие развитие «soft skills», например, «Тайм-менеджмент», «Деловые коммуникации и деловая этика», «Методика самостоятельной работы». Однако это единичные случаи, затрагивающие не все направления подготовки и не охватывающие всю систему необходимых гибких навыков. Поэтому студенческая молодёжь активно включается в практики неформального образования и 69 % опрошенных считают, что оно помогает им в развитии гибких навыков.

Существует огромное количество институтов неформального образования, направленных на развитие гибких навыков индивида. Основными примерами можно назвать онлайн-площадки, курсы, тренинги, семинары, видеоуроки и видеолекции на видеохостингах (например, YouTube, ВКонтакте, TikTok и др.), мастер-классы, круглые столы, конференции и т.д. Особенной популярностью среди молодежи пользуются онлайн-платформы (41 %): 4brain, Нетология, Викиум, Skillbox, Академия Soft-Skills и др., вторыми по популярности являются видеоуроки (39 %), а третье место делят тренинги, курсы (36 %) и мастер-классы (36 %). Практически треть молодежи посещают секции (35 %), кружки (34 %), семинары (30 %), конференции и форумы (29 %). Незначительная доля (8 %) принимает участие в круглых столах. Каждый десятый студент не вовлечен в практики неформального образования.

Половина студентов 2–3 раза в месяц находят время на развитие гибких навыков, 20 % опрошенных развивают soft skills 2–3 раза в неделю, каждый десятый молодой человек развивает навыки будущего каждый день, 4 % – лишь при необходимости, 16 % студентов не развивают свои гибкие навыки.

Самоанализ показал, что самыми развитыми качествами молодые люди отмечают у себя навыки первой группы: коммуникабельность (49 %), умение работать в команде (48 %), переговорные компетенции (38 %). Личностные навыки, связанные с обучаемостью (37 %) и креативностью (35 %) также хорошо представлены у значительной части студентов. Особенные трудности испытывают студенты в проявлении навыков планирования и жизнестойкости. Правильно организовать своё время (тайм-менеджмент) не могут 38 % студентов, испытывают сложности в проявлении гибкости и принятии критики – 33 %. Каждому пятому студенту сложно быстро реагировать на изменения ситуации, работать в режиме неопределённости и проявлять стрессоустойчивость, каждому четвертому – сложно заниматься развитием и мотивацией других (20 %).

Заключение

Подводя итоги, можно сказать, что понятие гибкие навыки и необходимость их развития имеет отражение в сознании большей части студенческой молодежи, и воспринимаются как комплекс умений общего характера, необходимых в условиях технического прогресса, важных не только для успешного построения карьеры, но и социального взаимодействия. Рассмотрена роль четырёх групп soft skills в обеспечении

информационной безопасности: 1) навыки взаимодействия в коллективе; 2) личностные навыки; 3) навыки планирования; 4) навыки жизнестойкости. Среди студенческой молодежи в лучшей степени развиты навыки взаимодействия (коммуникабельность, умение работать в команде, переговорные компетенции) и наименее представлены навыки планирования (тайм-менеджмент) и навыки жизнестойкости (принятие критики, стрессоустойчивость, работа в режиме неопределённости). Для развития гибких навыков студенческая молодежь чаще обращается к таким практикам неформального образования, как онлайн-платформы, видеоуроки, тренинги, курсы, мастер-классы, секции.

Данное исследование является пилотажным и направлено на апробацию методологии изучения гибких навыков. В дальнейшем предполагается более углубленное исследование предмета с соотнесением полученных данных с результатами анализа управления рисками информационной безопасности, разработка и реализация программы развития гибких навыков студенческой молодежи.

Список источников

1. Об утверждении Доктрины информационной безопасности Российской Федерации: указ Президента Рос. Федерации от 5 дек. 2016 г. № 646. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Добродеев А.Ю. Показатели информационной безопасности как характеристика (мера) соответствия сетей и организаций связи требованиям информационной безопасности // Труды ЦНИИС. 2020. Т. 2. № 10. С. 50–78.
3. Цаликова И.К., Пахотина С.В. Научные исследования по вопросам формирования soft skills (обзор данных в международных базах Scopus, Web of Science) // Образование и наука. 2019. Т. 21. № 8. С. 187–207.
4. Пономарева О.Я. Сформированность гибких навыков (soft skills) как условие адаптации современного поколения к рынку труда // Актуальные проблемы социального профессионально-экономического вхождения молодежи региональную общественно-производственную среду: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. Л.П. Пачиковой, Т.В. Филипповской. Екатеринбург: Изд-во УрГЭУ, 2018. Вып. 2. С. 29–33.
5. «Soft skills»: в поиске универсальных трактовок «гибких» навыков современных работников / О.П. Горьковая [и др.] // Общество. Среда. Развитие. 2019. № 4 (53). С. 20–25.
6. Цифровая компетентность подростков и родителей. Результаты всероссийского исследования / Г.У. Солдатов [и др.]. М.: Фонд Развития Интернет, 2013. 144 с.
7. Романова Т.А., Малова А.Н. Проблема применения категории «стрессоустойчивость» в политике кибербезопасности Евросоюза // Вестник Московского университета. Сер. 25: Международные отношения и мировая политика. 2019. Т. 11 (1). С. 20–46.
8. Chandler D., Coaffee J. The Routledge Handbook of International Resilience. London, Routledge, 2017. 420 p.
9. Булат Р.Е. Качество высшего образования в вузе как педагогическая система // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Гуманитарные и общественные науки. 2015. № 4 (232). С. 137–143. DOI 10.5862/JHSS.232.16.
10. Булат Р.Е., Мосин М.А. Теория и практика формирования готовности работников строительных организаций к профессиональной деятельности: поиск, привлечение, оценка, подбор, наем, адаптация, обучение, аттестация, увольнение персонала, документирование кадровой работы. СПб.: Стройиздат, 2008. ISBN 5-87897-068-7.
11. Булат Р.Е. Документационное обеспечение управления персоналом. М.: ООО «Науч.-издат. центр ИНФРА-М», 2015. 234 с. ISBN 978-5-16-010318-1. DOI 10.12737/6596.

References

1. Ob utverzhdenii Doktriny informacionnoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii: ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 5 dek. 2016 g. № 646. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».

2. Dobrodeev A.Yu. Pokazateli informacionnoj bezopasnosti kak harakteristika (mera) sootvetstviya setej i organizacij svyazi trebovaniyam informacionnoj bezopasnosti // Trudy CNIIS. 2020. T. 2. № 10. S. 50–78.
3. Calikova I.K., Pahotina S.V. Nauchnye issledovaniya po voprosam formirovaniya soft skills (obzor dannyh v mezhdunarodnyh bazah Scopus, Web of Science) // Obrazovanie i nauka. 2019. T. 21. № 8. S. 187–207.
4. Ponomareva O.Ya. Sformirovannost' gibkih navykov (soft skills) kak uslovie adaptatsii sovremennogo pokoleniya k rynku truda // Aktual'nye problemy social'nogo professional'no-ekonomicheskogo vhozhdeniya molodezhi regional'nyu obshchestvenno-proizvodstvennyu sredu: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / pod obshch. red. L.P. Pachikovej, T.V. Filippovskoj. Ekaterinburg: Izd-vo UrGEU, 2018. Vyp. 2. S. 29–33.
5. «Soft skills»: v poiske universal'nyh traktovok «gibkih» navykov sovremennyh rabotnikov / O.P. Gor'kovaya [i dr.] // Obshchestvo. Sreda. Razvitie. 2019. № 4 (53). S. 20–25.
6. Cifrovaya kompetentnost' podrostkov i roditel'ej. Rezul'taty vserossijskogo issledovaniya / G.U. Soldatova [i dr.]. M.: Fond Razvitiya Internet, 2013. 144 s.
7. Romanova T.A., Malova A.N. Problema primeneniya kategorii «stressoustojchivost'» v politike kiberbezopasnosti Evrosoyuza // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 25: Mezhdunarodnye otnosheniya i mirovaya politika. 2019. T. 11 (1). S. 20–46.
8. Chandler D., Coaffee J. The Routledge Handbook of International Resilience. London, Routledge, 2017. 420 p.
9. Bulat R.E. Kachestvo vysshego obrazovaniya v vuze kak pedagogicheskaya sistema // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Gumanitarnye i obshchestvennye nauki. 2015. № 4 (232). S. 137–143. DOI 10.5862/JHSS.232.16.
10. Bulat R.E., Mosin M.A. Teoriya i praktika formirovaniya gotovnosti rabotnikov stroitel'nyh organizacij k professional'noj deyatel'nosti: poisk, privlechenie, ocenka, podbor, naem, adaptatsiya, obuchenie, attestatsiya, uvol'nenie personala, dokumentirovanie kadrovoj raboty. SPb.: Strojizdat, 2008. ISBN 5-87897-068-7.
11. Bulat R.E. Dokumentacionnoe obespechenie upravleniya personalom. M.: ООО «Nauch.-izdat. centr INFRA-M», 2015. 234 s. ISBN 978-5-16-010318-1. DOI 10.12737/6596.

Информация о статье:

статья поступила в редакцию: 02.01.2022; одобрена после рецензирования: 25.02.2022;

принята к публикации: 10.03.2022

The information article info: the article was received by the editorial office: 02.01.2022;

approved after review: 25.02.2022; accepted for publication: 10.03.2022

Информация об авторах:

Ольга Александровна Воронина, доцент кафедры социальной работы и молодежной политики Вятского государственного университета (610000, Кировская обл., г. Киров, ул. Московская, д. 36), e-mail: forol@list.ru, кандидат психологических наук, доцент

Анна Георгиевна Габова, студент Вятского государственного университета (610000, Кировская обл., г. Киров, ул. Московская, д. 36), e-mail: annagabova347@gmail.com

Екатерина Евгеньевна Строчкая, студент Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: katerina_strockaya@mail.ru

Information about the authors:

Olga A. Voronina, Associate Professor of the Department of Social Work and Youth Policy of Vyatka state university (610000, Kirov region, Kirov, Moskovskaya str., 36), e-mail: forol@list.ru, candidate of Psychological Sciences, associate professor

Anna G. Gabova, student of Vyatka State University (610000, Kirov region, Kirov, Moskovskaya str., 36), e-mail: annagabova347@gmail.com

Ekaterina E. Strotskaya, student of the St. Petersburg University of the Ministry of Emergency Situations of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: katerina_strockaya@mail.ru

УДК 376.1

ФОРМИРОВАНИЕ СОЗНАТЕЛЬНОГО ОПТИМИЗМА У БУДУЩИХ КОМАНДИРОВ (НАЧАЛЬНИКОВ) ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ**Валерий Анатольевич Михайлов**✉;**Валентина Владиславовна Михайлова;****Мария Олеговна Горячева.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**✉ formihailov@mail.ru

Аннотация. Обоснована тактика формирования сознательного оптимизма у выпускников Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. Показана специфика формирования сознательного оптимизма, предполагающая интеграцию субъектов образовательного процесса в разветвленную и слаженно функционирующую систему идеальных стратегий, социокультурных и профессиональных ориентаций выпускников. Сознательный оптимизм представляется умонастроением, связанным с верой в эффективность собственных действий, направленных на созидание, это основа формирования позитивного мышления, а, следовательно, поведения и поступков. В исследовании феномена сознательного оптимизма рассматриваются группы свойств, являющихся психолого-педагогическими детерминантами способности и готовности сотрудников к уверенным, успешным, эффективным действиям, обеспечивающим ситуативное управление в ходе выполнения служебно-боевых задач. Речь идёт о тактике и стратегии процесса формирования сознательного оптимизма сотрудника, а конкретней – о тактике самоуправления и контроля внешнего поведения. Подчеркивается, что становление профессионала требует своего рода «навигации», то есть норм, правил, установок и ценностных ориентаций, позволяющих регулировать его внутреннюю и внешнюю активность.

Ключевые слова: сознательный оптимизм, тактика самоуправления, самопонимание, ценностные установки, ориентации, когнитивная беспомощность, компетентность

Ссылка для цитирования: Михайлов В.А., Михайлова В.В., Горячева М.О. Формирование сознательного оптимизма у будущих командиров (начальников) пожарно-спасательных подразделений // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 1. С. 153–160.

FORMATION OF CONSCIOUS OPTIMISM IN FUTURE COMMANDERS (CHIEFS) OF FIRE AND RESCUE DIVISIONS**Valery A. Mikhailov**✉; **Valentina V. Mikhailova; Maria O. Goryacheva.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,****Saint-Petersburg, Russia**✉ formihailov@mail.ru

Abstract. The tactics of forming conscious optimism among graduates Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia is substantiated. The specificity of the formation of conscious optimism is shown, which implies the integration of the subjects of the educational process into a branched and well-functioning system of ideal strategies, sociocultural and professional orientations of graduates. Conscious optimism seems to be a state of mind associated with belief in the effectiveness of one's own actions aimed at creation; this is the basis

for the formation of positive thinking, and, consequently, behavior and actions. In the study of the phenomenon of conscious optimism, groups of properties are considered that are psychological and pedagogical determinants of the ability and readiness of employees for confident, successful, effective actions that provide situational control in the course of performing combat missions. We are talking about the tactics and strategy of the process of forming the conscious optimism of an employee, and more specifically, about the tactics of self-management and control of external behavior. It is emphasized that the formation of a professional requires a kind of «navigation», that is, norms, rules, attitudes and value orientations that allow one to regulate his internal and external activity.

Keywords: conscious optimism, self-management tactics, self-understanding, value attitudes, orientations, cognitive helplessness, competence

For citation: Mikhailov V.A., Mikhailova V.V., Goryacheva M.O. Formation of conscious optimism among future commanders (chiefs) of fire and rescue units // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. №. 1. P. 153–160.

Современный этап развития ведомственных образовательных организаций высшего образования предъявляет повышенные требования к выпускникам, особенно если речь идёт об офицерских кадрах. Их профессиональные, деловые, морально-боевые, психологические, общечеловеческие качества предполагают определенные факторы и условия эффективного формирования, требующие пристального внимания всех субъектов образовательного процесса. Современный офицер, сотрудник пожарно-спасательного профиля, должен обладать не только большим объемом знаний, профессиональных умений, универсальными и профессиональными компетенциями, но и способностью адекватно воспринимать окружающий мир как очень сложное, единое и постоянно развивающееся целое. Решению этой проблемы, на взгляд авторов, может способствовать сформированный за годы учёбы сознательный оптимизм выпускника, офицера, посвятившего свою жизнь служению Отечеству. Отметим, что данная проблема не нашла должного освещения в психолого-педагогической литературе, что подчёркивает её актуальность, теоретическую и практическую значимость.

Опыт службы в структурных подразделениях МВД и МЧС России, большой педагогический стаж авторов, анализ психолого-педагогической литературы, выявление существующих противоречий требований профессиональной подготовки и системы профильного высшего образования заставили искать факторы, являющиеся связующим звеном теории обучения и воспитания будущих офицеров с её эффективной реализацией в учебно-воспитательном процессе.

Предметом исследования явился процесс формирования сознательного оптимизма у выпускников Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. Цель исследования состояла в теоретическом обосновании и разработке системы организации и проведения мероприятий, направленных на формирование сознательного оптимизма у будущих офицеров. Методологическую основу составили научные положения философии, психологии и педагогики о деятельности и поведении, о личности, факторах её формирования и развития, о ведущей роли в этом процессе социальных условий и активности самой личности. Очевидно, что вопросы, касающиеся определяющей роли деятельности в формировании и развитии личности сотрудника, активности личности в ходе самой деятельности, ведущей роли коллективной деятельности в формировании и развитии личности также стали предметом внимания.

В ходе исследовательской работы применялась комплексная методика, которая включала в себя контент-анализ научной литературы, обобщение педагогического опыта, анкетирование, опрос, педагогическое наблюдение. Применялся метод самооценки выпускников, способствующий выявлению причинно-следственных связей в изучаемом феномене.

Осуществленный историко-теоретический анализ проблемы формирования сознательного оптимизма в ходе учебно-воспитательной работы показал, что не только данный феномен, но и хорошо изученные категории самой деятельности и поведения трактуются исследователями неоднозначно. На это указывают педагоги-исследователи А.А. Грешных и Ю.В. Рева в работе «Психолого-педагогические основы деятельности как системы» [1]. В данной работе феномен деятельности претерпевает существенные изменения в трактовке его структуры, в частности, выделяются психические и не психические компоненты деятельности. Рассматривая два плана изображения деятельности – внешнего и внутреннего, в первом проводится анализ уровня достижений, а на втором – уровня формирования и выполнения конкретной деятельности. Следует заметить, что в этом случае надо учитывать общие закономерности деятельности, а именно – особенности аналитико-синтетической рефлексивной деятельности индивида, которая опирается на физиологические закономерности работы его мозга, но ни в коем случае не сводится к ним.

Деятельность в широком смысле слова определяется как специфическая форма отношения человека к самому себе и окружающему его миру. Выражением данного отношения является обязательно целесообразное преобразование, изменение человеческого сознания и мира в целом. Чаще всего деятельность рассматривается как процесс, компонентами которого выступают средства, цель и результат [2].

Деятельность и поведение человека априори общественно обусловлены и тесно связаны. Эти два феномена в полной мере обретают характеристики целеполагающей, созидательной, произвольной, коллективной, а значит и в полной мере сознательной деятельности. По этому поводу известный российский психолог и педагог В.П. Зинченко рекомендовал преподавателям не удивляться, когда обучающийся выходит из образа, которым его наделили или за него построили. Это нормальное явление [3]. Действительно так, ведь вышеописанное педагогическое взаимодействие представляет собой, по сути, разнонаправленные процессы субъективации объективного и объективации субъективного. Принято считать, что критериям творческого педагога соответствуют только те, кто реально способен создать и реализовать абсолютно новые подходы и методы. В данном вопросе авторы разделяют точку зрения А.А. Реан и Я.Л. Коломинского, которые выделяют два основных вида результативной педагогической деятельности [4]. Первый из них получил название функционального продукта. Это конкретные занятия, педагогические приёмы, методы и методики. Второй (и как представляется – главный) – это психологический продукт, под которым понимаются новообразования психической природы в личности обучающихся. Таким образом, априори, главным результатом педагогической деятельности должен стать сам обучающийся, а конкретней, развитие его личности, способностей и умений. Последние три дефиниции трансформируются в определение компетентности, как способности все свои знания, навыки, умения, накопленный опыт, а также личностные качества направлять на решение жизненно важных задач [5]. Сознвая, что каждый обучающийся как личность неповторим, трудно не согласиться с рассматриваемой выше трактовкой результата творческой педагогической деятельности.

Поляков А.В. выделил ряд способностей преподавателя высшей школы, определяющих успешность профессиональной деятельности в достижении именно педагогических целей [6]. К таковым он отнёс, во-первых, способность учитывать и оценивать многообразие условий и факторов, которые влияют на становление компетентного специалиста в предметной области, предрасположенность к их выявлению и адекватной интерпретации. Во-вторых, это желание хорошо организовать самостоятельную работу обучающихся, способность передать им веру в собственные силы, свои ресурсы, поверить в себя для достижения поставленных целей. В-третьих, знание и, главное, умение создать морально-психологический климат в учебных группах, где превалирует реальное участие каждого в организации учебного процесса, делегирование полномочий обучающимся. Несомненно, что к этому необходимо добавить ряд общих

и специальных способностей, личностные ценности и уровень притязаний педагогов, а также характер отношений между субъектами образовательной организации в целом.

Каковы особенности организации жизни и деятельности курсанта, в чем ее отличие от учебно-воспитательного процесса у российского студенчества? Главная отличительная черта – жесткая централизация всего уклада жизни и деятельности, различного рода ограничения, директивный стиль управления у первых и отсутствие таковых у вторых.

Есть ли место сознательному оптимизму в курсантской среде, в чём он проявляется, от чего зависит? На этот и многие другие вопросы возможно ответить лишь обратившись к сущности исследуемого феномена. Исследования, проведенные авторами за последние три года, дают нам основание считать, что сознательный оптимизм представляет собой не что иное, как способность и готовность субъекта деятельности оказывать влияние на собственные мысли и чувства, на поведение, поступки, все принимаемые решения, и в целом служебно-боевую деятельность [7]. Очень важно это учитывать, оценивая как процесс, так и результат образования. В образовательных организациях МЧС России прямо или косвенно каждый педагог включается в существующую вертикальную модель организации поведения обучающихся, осуществляя управление им. Следует учитывать специфику подготовки инженеров по специальности «Пожарная безопасность» и бакалавров по направлению подготовки «Техносферная безопасность». В своё время Генри Дэвид Торо говорил, что только та заря способна взойти, к появлению которой мы сами подготовились. Опытные преподаватели кафедры педагогики и психологии экстремальных ситуаций в процессе взаимодействия с обучающимися в тактике и стратегии педагогического процесса используют данный тезис как руководство к действию. И здесь, как ни где, феномен сознательного оптимизма приобретает актуальность, не оставляя места для недопонимания, острых углов, различных противоречий, приводящих к конфликтам.

Необходимо отметить, что преподавателей с базовым педагогическим образованием, читающих дисциплины специализации на выпускающих кафедрах, в целом не много. На кафедре педагогики и психологии экстремальных ситуаций, на факультете подготовки кадров высшей квалификации и в институте развития организован процесс профессиональной переподготовки по программе «Преподаватель высшей школы». Десятки квалифицированных специалистов в области пожарной безопасности только в 2020–2021 учебном году успешно прошли профессиональную переподготовку, что даёт повод для оптимизма. Это то, что отличает Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России от образовательных организаций, целенаправленно выпускающих профессиональных учителей по различным педагогическим специальностям. Особый вид социальной деятельности, направленной на передачу подрастающему поколению накопленного жизненного и профессионального опыта, духовной культуры, а также на создание необходимых и достаточных условий для личностного развития и принято называть педагогической деятельностью. Для каждого обучающегося в жизни и профессиональной деятельности отведена своя роль, своё предназначение, но для будущих офицеров пожарно-спасательных формирований профессия требует, по истине, творческого (креативного) отношения к изучаемым предметам, ко всему образовательному процессу, что практически невозможно без сформированного сознательного оптимизма.

Чем отличается поведение сотрудника ГПС МЧС России, в полной мере демонстрирующего сознательный оптимизм, от того, кто в большей степени проявляет нерешительность, осторожность, элементы когнитивной беспомощности? Отличие, очевидно, в том, что поведение первых общественно обусловлено, а потому буквально пронизано такими характеристиками, как сознательная, целеполагающая, произвольная, коллективная и созидательная деятельность. Термин «поведение» в данном контексте выступает как действия человека по отношению к предметному миру, обществу, другим людям, которые рассматриваются с точки зрения их регуляции социальными, нравственными и правовыми нормами. Именно потому различаем высоконравственное и легкомысленное поведение. Во многом, если не во всём, поведение человека определяются

сознанием. Психологический словарь предлагает хрестоматийное определение сознания как отношения к миру со знанием его объективных закономерностей [8]. Насколько будущие офицеры способны и готовы к такого рода отношениям, могут ответить результаты психолого-педагогических исследований. В частности, С.А. Кирилова рассмотрела «способность» не как предрасположенность, а как умение, с учётом того, что в целом способность рассматривается как свойство личности, которое является условием успешного освоения и выполнения определенного вида деятельности. «Готовность» рассматривается, прежде всего, как психологическая готовность к самостоятельному и, при необходимости, творческому выполнению профессиональной деятельности [9]. Логично будет проследить, как феномены готовности и способности трансформируются в очень важную для будущего офицера характеристику – профессиональную компетентность. Последняя, как представляется, по сути, интегральная характеристика, определяющая способность и готовность решать профессиональные проблемы и задачи, возникающие в реальных ситуациях с использованием знаний, умений, навыков, профессионального и жизненного опыта, ценностей и культуры.

Леонтьев А.Н. утверждал, что «... сознательное отражение в отличие от психического отражения, свойственного животным, – это отражение предметной действительности в её отделимости от наличных отношений к субъекту, то есть отражение, выделяющее её объективные устойчивые свойства» [10].

Далеко не все психические образования, такие, как эмоции, способности, потребности, опыт и наши знания в какой-то определённый момент времени непосредственно принимают участие в осознании предмета, на который направлено внимание субъекта деятельности. Но при этом они могут оказать довольно сильное влияние на мотивацию, а значит и на поведение сотрудника, направление его осознанной деятельности. На это явление, в частности, указывают в своих работах А.А. Грешных, Е.Ю. Дмитриева, Н.Н. Исаева, О.Л. Поминова, Л.С. Узун и др. [1, 11–13].

Сознательный оптимизм представляется нам умонастроением, связанным с верой в эффективность собственных действий, направленных на созидание, это основа формирования позитивного мышления, а, следовательно, и поведения, поступков. В настоящее время, когда пандемия в корне меняет отношения курсантов ко многим явлениям и процессам, очень важно обрести веру в себя, товарища, командира, приобрести психологический иммунитет, сущность которого раскрывает в своих исследованиях Г.В. Москаленко [14].

Становление профессионала требует своего рода «навигации», то есть норм, правил, установок и ценностных ориентаций, позволяющих регулировать его внутреннюю и внешнюю активность. Речь может идти о тактике и стратегии процесса формирования сознательного оптимизма сотрудника, а конкретней – о тактике самоуправления и контроля внешнего поведения. Ранее, в своих работах, авторы подробно анализировали систему «идеальных стратегий» и ценностных предпочтений сотрудника [7, 15]. В данном материале предлагается тактика решения проблемы формирования сознательного оптимизма, стимулирующая ценностное отношение к выполнению задач служебно-боевой деятельности. По сути, это трёхкомпонентная система задач, непосредственная трансляция которых в сознание обучающихся, в принципе, не возможна. Лишь тогда, когда будущими офицерами эти задачи будут приняты самостоятельно, полностью осознаны и наполнены оптимизмом, они станут мощными регуляторами эффективного поведения. В противном случае, при насильственном насаждении чуждых сотрудникам норм и правил, этот же инструментальный способ порождает выученную беспомощность и пессимизм, феномен, получивший в науке наименование «самореализующегося пророчества». Это то, против чего активно боролся основоположник позитивной психологии Мартин Селигман, которому и принадлежит авторство понятия «сознательный оптимизм» [16].

Рассматривая структуру феномена сознательного оптимизма, на основании полученных в ходе педагогического эксперимента данных [7] следует выделить три

взаимосвязанных компонента, которые одновременно рассматриваются авторами и как три ключевые задачи, решаемые в ходе учебно-воспитательного процесса.

Первая задача – научиться эффективному общению во всех сферах жизни и деятельности, а также результативному, рациональному и продуктивному разрешению всех учебных, профессиональных и в целом жизненных проблем. Данная задача получила наименование «технологического искусства» жить.

Вторая задача сводилась к приобретению умений курсантами рационально и своевременно получать всю необходимую им информацию. В ходе работы данная задача получила определение – освоение самообучающих технологий, то есть методов, приёмов и средств.

Третья задача состояла в том, чтобы научить будущих офицеров навыкам и умениям как самопонимания, так и саморегуляции. Полученное наименование этой задачи – освоение технологий применения существующих приёмов саморегуляции непосредственно к себе.

Накопленный исследователями педагогический и служебный опыт, практика учебно-воспитательной работы в курсантской среде показывают, что все другие задачи обучающийся способен решить самостоятельно или во взаимодействии с другими, благодаря сформированным в образовательной организации компетенциям.

Для принятия трудного, но хорошо продуманного, взвешенного решения будущим начальникам структурных подразделений необходимо задействовать множество психических свойств, выполняющих много функций. Концентрация внимания необходима на свойствах, вносящих максимальный вклад для практических действий в руководстве подразделением в противоречивых и непредсказуемых условиях, характерных для работы сотрудников ГПС МЧС России. В исследованиях феномена сознательного оптимизма рассматриваются группы подобных свойств, являющихся психолого-педагогическими детерминантами способности и готовности сотрудников к уверенным, успешным, эффективным действиям, обеспечивающим ситуативное управление в ходе выполнения служебно-боевых задач.

Исследователь А.Г. Асмолов утверждал, что не существует более серьёзной и большой проблемы, чем проблема человеческих возможностей, и что, в принципе, человек может всё [17].

Формирование и развитие сознательного оптимизма у будущих руководителей пожарно-спасательных структурных подразделений, благодаря наличию различных образующих, исследовались не линейно, а как гетерогенез, не последовательно, а как единый синхронистический акт. В то же время формирование сознательного оптимизма предполагало интеграцию субъектов образовательного процесса в разветвленную и слаженно функционирующую систему идеальных стратегий и социокультурных ориентаций выпускников – будущих начальников пожарно-спасательных подразделений ГПС МЧС России.

Авторы уверены, что научно-исследовательская работа по заявленной теме будет продолжена и сознательный оптимизм сотрудника очень скоро станет обязательным атрибутом в тактике и стратегии образовательного процесса в решении сложных задач, стоящих перед МЧС России.

Список источников

1. Грешных А.А., Булатова Ю.М., Рева Ю.В. Психолого-педагогические основы деятельности как системы // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 4. С. 165–170.
2. Социологический энциклопедический словарь. М.: Изд-во НОРМА, 2000. С. 70.
3. Зинченко В.П. Сознание как предмет и дело психологии // Методология и история психологии. 2006. Т. 1. Вып. 1. С. 207–231.
4. Реан А.А., Коломинский Я.Л. Социальная педагогическая психология. СПб.: Изд-во «Питер», 2000. С. 234.

5. Михайлов В.А., Михайлова В.В. Диагностика когнитивных способностей обучающихся к управлению структурными подразделениями // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2019. № 1 (42). С. 31–33.
6. Поляков А.В. Психологические аспекты профессиональной деформации преподавателей вузов // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2007. Вып. 4. Сер. 6. С. 297–298.
7. Михайлов В.А., Михайлова В.В. Формирование сознательного оптимизма у выпускников вузов ГПС МЧС России: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирному дню гражданской обороны. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2018. Ч. II. С. 35–38.
8. Психологический словарь / под ред. В.П. Зинченко, Б.Г. Мещерякова. М.: Педагогика-Пресс, 1997. С. 361.
9. Кирилова С.А. Формирование готовности к профессиональной деятельности у будущих офицеров силовых структур в период обучения в вузе: дис. ... канд. пед. наук. СПб., 2013. 24 с.
10. Леонтьев А.Н. Проблемы развития психики. М., 1981. С. 272.
11. Узун Л.С., Михайлова В.В. Психолого-педагогические факторы, определяющие эффективность процесса формирования психологической готовности к деятельности в условиях риска у курсантов вуза ГПС МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2007. № 2. С. 113.
12. Дмитриева Е.Ю., Полуянова Л.А., Демцура С.С. Проблема духовно-нравственного воспитания в современных условиях // Наука и инновации. 2017. С. 87.
13. Исаева Н.Н., Поминова О.Л. Влияние мотивации обучения на процесс профессионального становления курсантов // Мир науки, культуры, образования. 2021. № 1 (86). С. 246–248.
14. Москаленко Г.В. Влияние самоизоляции на личностные особенности курсантов «группы риска» // Психология и педагогика служебной деятельности. 2021. № 1. С. 65–68.
15. Михайлов В.А., Михайлова В.В., Лобжа М.Т. О содержании феномена психологической готовности курсантов вузов МЧС России // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2015. С. 60–61.
16. Martin Seligman. How to learn optimism. Change the way you see the world and your life. М.: Alpina Publisher, 2013. 338 p.
17. Асмолов А.Г. Школа жизни с непохожими людьми // Национальный психологический журнал. 2011. № 6. С. 54–63.

References

1. Greshnyh A.A., Bulatova Yu.M., Reva Yu.V. Psihologo-pedagogicheskie osnovy deyatel'nosti kak sistemy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 4. S. 165–170.
2. Sociologicheskij enciklopedicheskij slovar'. М.: Izd-vo NORMA, 2000. S. 70.
3. Zinchenko V.P. Soznanie kak predmet i delo psihologii // Metodologiya i istoriya psihologii. 2006. T. 1. Vyp. 1. S. 207–231.
4. Rean A.A., Kolominskij Ya.L. Social'naya pedagogicheskaya psihologiya. SPb.: Izd-vo «Piter», 2000. S. 234.
5. Mihajlov V.A., Mihajlova V.V. Diagnostika kognitivnyh sposobnostej obuchayushchihsya k upravleniyu strukturnymi podrazdeleniyami // Psihologo-pedagogicheskie problemy bezopasnosti cheloveka i obshchestva. 2019. № 1 (42). S. 31–33.
6. Polyakov A.V. Psihologicheskie aspekty professional'noj deformacii prepodavatelej vuzov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. 2007. Vyp. 4. Ser. 6. S. 297–298.
7. Mihajlov V.A., Mihajlova V.V. Formirovanie soznatel'nogo optimizma u vypusknikov vuzov GPS MCHS Rossii: materialy II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Vsemirnomu dnyu grazhdanskoj oborony. М.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2018. Ch. II. S. 35–38.

8. Psihologicheskij slovar' / pod red. V.P. Zinchenko, B.G. Meshcheryakova. M.: Pedagogika-Press, 1997. S. 361.
9. Kirilova S.A. Formirovanie gotovnosti k professional'noj deyatel'nosti u budushchih oficerov silovyh struktur v period obucheniya v vuze: dis. ... kand. ped. nauk. SPb., 2013. 24 s.
10. Leont'ev A.N. Problemy razvitiya psihiki. M., 1981. S. 272.
11. Uzun L.S., Mihajlova V.V. Psihologo-pedagogicheskie faktory, opredelyayushchie effektivnost' processa formirovaniya psihologicheskoy gotovnosti k deyatel'nosti v usloviyah riska u kursantov vuza GPS MCHS Rossii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2007. № 2. S. 113.
12. Dmitrieva E.Yu., Poluyanov L.A., Demcura S.S. Problema duhovno-nravstvennogo vospitaniya v sovremennyh usloviyah // Nauka i innovacii. 2017. S. 87.
13. Isaeva N.N., Pominova O.L. Vliyanie motivacii obucheniya na process professional'nogo stanovleniya kursantov // Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya. 2021. № 1 (86). S. 246–248.
14. Moskalenko G.V. Vliyanie samoizolyacii na lichnostnye osobennosti kursantov «gruppy riska» // Psihologiya i pedagogika sluzhebnoj deyatel'nosti. 2021. № 1. S. 65–68.
15. Mihajlov V.A., Mihajlova V.V., Lobzha M.T. O sodержanii fenomena psihologicheskoy gotovnosti kursantov vuzov MCHS Rossii // Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy»: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2015. S. 60–61.
16. Martin Seligman. How to learn optimism. Change the way you see the world and your life. M.: Alpina Publisher, 2013. 338 p.
17. Asmolov A.G. Shkola zhizni s nepohozhimi lyud'mi // Nacional'nyj psihologicheskij zhurnal. 2011. № 6. S. 54–63.

Информация о статье:

статья поступила в редакцию: 20.02.2022; одобрена после рецензирования: 26.02.2022;

принята к публикации: 01.03.2022

The information article info: the article was received by the editorial office: 20.02.2022;

approved after review: 26.02.2022; accepted for publication: 01.03.2022

Информация об авторах:

Валерий Анатольевич Михайлов, доцент кафедры педагогики и психологии экстремальных ситуаций Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат педагогических наук, доцент, e-mail: formihailov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8649-5320>

Валентина Владиславовна Михайлова, доцент кафедры педагогики и психологии экстремальных ситуаций Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат педагогических наук, доцент, e-mail: formihailov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2377-4503>

Мария Олеговна Горячева, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), <https://orcid.org/0000-0002-8643-4285>

Information about the authors:

Valery A. Mikhailov, associate professor of the department of pedagogy and psychology of extreme situations of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), candidate of pedagogical sciences, associate professor, e-mail: formihailov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8649-5320>

Valentina V. Mikhailova, associate professor of the department of pedagogy and psychology of extreme situations of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), candidate of pedagogical sciences, associate professor, e-mail: formihailov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2377-4503>

Maria O. Goryacheva, adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky pr., 149), <https://orcid.org/0000-0002-8643-4285>

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 614.895.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ СТРУКТУРАМИ

Валерия Анатольевна Борисова[✉].**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**[✉]**valery.borisova.01@yandex.ru**

Аннотация. Рассмотрены способы и методики модификации эпоксидных составов углеродными структурами, изучены способы создания модифицированных компаундов. Приведены результаты исследований эксплуатационных характеристик и термической стабильности полимерных композитов, матрицу которых представляют эпоксидные смолы, модифицированные различными по физико-механическим характеристикам углеродными структурами. Выполнен аналитический обзор литературных источников, посвященных снижению пожарной опасности материалов, применяемых в транспортной отрасли, изучены способы и методы получения огнестойких композитов. Проведено экспериментальное исследование влияния модификаторов на основе углеродных структур: углеродных нанотрубок, графита и астралена. По результатам экспериментального исследования получено, что модификация эпоксидной матрицы композита путем введения углеродных наполнителей при помощи ультразвуковой обработки способствует повышению термической стабильности. Для модифицированного материала характерно снижение интенсивности разрушения матрицы материала, выражающееся в снижении интенсивности потери массы, снижение максимального значения термического эффекта, увеличение периода окисления, а также устойчивое формирование теплоизолирующего углистого слоя. Даны практические рекомендации и предложения по внедрению и использованию огнестойких ремкомплектов для корпусов транспортных средств на основе эпоксидных смол с добавлением углеродных модификаторов.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, эпоксидная смола, модификация, наполнители, углеродные структуры, термическая стабильность

Для цитирования: Борисова В.А. Исследование физико-химических свойств и эксплуатационных характеристик полимерных композиционных материалов, модифицированных углеродными структурами // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 161–173.

RESEARCH OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND OPERATING CHARACTERISTICS OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS MODIFIED WITH CARBON STRUCTURES

Valeria A. Borisova[✉], Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM
of Russia, Saint-Petersburg, Russia[✉]**valery.borisova.01@yandex.ru**

Abstract. Methods and techniques for modification of epoxy compositions by carbon structures are considered in the article, ways of creation of modified compounds are studied.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

The presented article presents the results of studies of operational characteristics and thermal stability of polymer composites whose matrix is represented by epoxy resins modified by carbon structures with different physical and mechanical characteristics. An analytical review of literary sources dedicated to the reduction of fire hazard of materials used in the transport industry has been performed, and the ways and methods of obtaining fire-resistant composites have been studied. An experimental study of the influence of modifiers based on carbon structures: carbon nanotubes, graphite and astralen was carried out. According to the results of the experimental study, it was obtained that the modification of the epoxy matrix of the composite by introducing carbon fillers by ultrasonic treatment contributes to an increase in thermal stability. The modified material is characterized by a decrease of the material matrix fracture intensity, expressed in a decrease of the mass loss intensity, a decrease of the maximum value of the thermal effect, an increase of the oxidation period, as well as a stable formation of a thermally insulating carbonaceous layer. Practical recommendations and proposals for the introduction and use of flame retardant repair kits for vehicle bodies based on epoxy resins with the addition of carbon modifiers are given.

Keywords: polymer composite material, epoxy resin, modification, fillers, carbon structures, thermal stability

For citation: Borisova V.A. Study of physical and chemical properties and performance characteristics of polymer composite materials modified with carbon structures // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 161–173.

Введение

Обширная территория нашей страны, большие расстояния между населенными пунктами, различие климатических зон и условий – одни из немногих факторов, которые влияют на степень развития и эффективность функционирования транспортного комплекса и транспортной инфраструктуры России в целом. Данная сфера оказывает прямое влияние на уровень качества жизни человека, в том числе и на его безопасность.

В совокупности критериев, которые можно отнести к безопасности в транспортной отрасли, особое внимание уделяется огнестойкости материалов, применяемых в изготовлении транспортных средств, что является актуальной проблемой в современной России. Таким образом, данное исследование направлено на выявление новых огнеупорных материалов.

Необходимо отметить, что наибольшим потенциалом в области снижения пожарной опасности материалов, применяемых в этой отрасли, является добавление в их состав эпоксидного связующего полимерных композитов различных модификаторов [1, 2], в том числе катализаторов и антипиренов различной химической природы, благодаря которым улучшаются характеристики огнестойкости материалов, и, как следствие, конструкций транспортных средств [3].

При производстве и ремонте различного рода транспортных средств (ТС) применяются горючие полимерные материалы – эпоксидные клеящие составы, мастики и другие материалы на их основе, которые имеют значительную горючесть. Как следствие, существует угроза повреждения ТС при авариях и пожарах разлива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

Для целей ремонта эпоксидные смолы (ЭС) могут использоваться в качестве клеящего или лакокрасочного материала, а также в качестве связующего полимерного композитного материала (ПКМ) [4]. При получении изделий из эпоксидных смол из сравнительно низкомолекулярных олигомеров с добавками различных модификаторов при отверждении получают неплавкие и нерастворимые матрицы и покрытия с хорошей химической и водостойкостью. Эпоксидная смола является наиболее распространенным классом термореактивной смолы, используемой в различных отраслях из-за их высокой прочности, хорошей химической и коррозионной стойкости, высокой адгезии и стабильности размеров.

Цель настоящей работы заключается в изучении технологии и рецептур изготовления ремкомплектов для транспортных средств и в подборе на основе полученных данных оптимальной рецептуры и технологии изготовления композиционного материала на эпоксидной основе с модифицирующими наполнителями.

Материалы и методы исследования

В качестве модификаторов были использованы:

1. Коллоидный графит – форма технического графита, которая представляет собой модификацию гексагонального полиморфного углерода. Характеризуется порошкообразной тонкодисперсной структурой. Получается путем термообработки из каменноугольного антрацита с последующим измельчением. В работе был использован коллоидный графит марки С-1 [5] с величиной частиц до 4 микрон производства компании ООО «Южно-Уральская сырьевая корпорация».

2. Астрален. Согласно работе [6] астралены представляют собой многослойные тороподобные частицы – полиэдральные структуры из атомов углерода – размерами 60 ... 200 нм. Астралены имеют многогранную структуру с полостью внутри, каждая из граней формы которой содержит от 20 до 50 плоских графитовых листов, порошкообразные углеродные наноматериалы – астрален (Astr), производства ЗАО «НТЦ ПН», Санкт-Петербург, Россия. Astr – это инновационные аддитивы на основе наноразмерного углерода.

3. Графеновые одностенные углеродные нанотрубки марки TUBALL производства компании OCSiAl представляют собой тончайшие графеновые плоскости, которые свернуты в форме цилиндра [7].

На первом этапе подготовки модифицированных образцов осуществлялась подготовка суспензий на основе отвердителя ТЭТА с содержанием наполнителей. Данный этап заключался в добавлении порошкообразных модификаторов в объем отвердителя с последующим их диспергированием и проводился при температуре $20,0(\pm 0,2)$ °С и нормальном атмосферном давлении при помощи турбинной мешалки при воздействии источника ультразвука мощностью 1 кВт с частотой 60 кГц в течение 600 сек. (рис. 1, 2).



Рис. 1. Процесс получения суспензии порошкообразных модификаторов и отвердителя с использованием турбинных мешалок



Рис. 2. Обработка ультразвуком в ультразвуковой ванне

На следующем этапе модифицированные растворы отвердителя добавляли в объем предварительно взвешенной смолы для получения составов с концентрациями элементов, масс. ч. (табл. 1), после чего полученные смеси в течение 300 сек. перемешивались до получения однородного состояния. На этапе полимеризации проводилось холодное отверждение полученных составов при комнатной температуре. Для этого полученные смеси заливали в подготовленную литейную форму и отверждали при температуре $20,0(\pm 0,2)$ °С в течение 5 сут.

Таблица 1. Рецепт модифицированных эпоксидных композитов

Показатели	Модификаторы		
	Astr	УНТ	графит
ф модификатора, масс.ч.	1	1	5
ф ЭД-20, масс.ч.	87	87	83
ф ТЭТА, масс.ч.	12	12	12

Процесс получения полуфабрикатного ПКМ путем аппретирования стеклоленты заключался в подготовке эпоксидной матрицы (1 и 2 этапы, описанные выше). После подготовленную, обезжиренную и высушенную стеклоткань пропитывали модифицированными составами вручную при помощи кисти (так смола распределяется между волокнами), а потом разбивочного валика (который позволяет удалить излишки воздуха и самой смолы).

В результате были получены образцы трехфазного ПКМ – аппретированной эпоксидной смолой стеклоткани, а также образцы модифицированной эпоксидной матрицы (рис. 3).

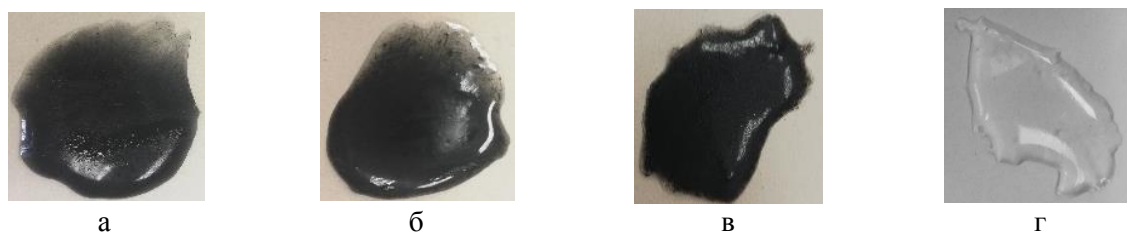


Рис. 3. Образцы модифицированной ЭС с добавлением: а – астралена; б – УНТ; в – графита; г – контрольный образец

Исследование характеристик модифицированных образцов проводилось путем сравнения нескольких параметров: термической стабильности, ударной вязкости и кислородного индекса.

Экспериментальный метод определения кислородного индекса (КИ), согласно работе [8], заключается в нахождении минимальной концентрации кислорода в потоке кислородно-азотной смеси, при которой наблюдается самостоятельное горение вертикально расположенного образца, зажигаемого сверху. Для проведения испытания были подготовлены образцы 80×10×4 мм. Образцы закреплялись в рамку и помещались в испытательную колонку (прибор для измерения КИ МТ 252), в которой снизу-вверх пропускают кислородно-азотную газовую смесь со скоростью потока 4 см/с.

Исследование ударной вязкости проходит в соответствии с работой [9] (методика испытания на ударный изгиб по Шарпи). Испытание проводилось с использованием маятникового копра модели РН-450. Размеры образцов составляли 40 мм×10 мм×80 мм, а на одной боковой поверхности образца был сделан V-образный надрез под углом 45° с глубиной корня (0,25±0,01) мм. Испытание повторялось трижды, для расчета ударной вязкости были взяты средние значения. В результате исследования получается количественное значение энергии, отнесённой к площади поперечного сечения в месте удара в Дж/м².

Термический анализ проводился при помощи установки «Thermoscan-2», нагрев образца осуществлялся от комнатной температуры до 600 °С со скоростью нагрева 10 °С/мин. Методика термического анализа [10] различает несколько вариантов этого анализа.

Структурно-методологическая схема исследования представлена на рис. 4. Она описывает объективно-предметные условия и основные действия, предпринимаемые для достижения цели исследования.

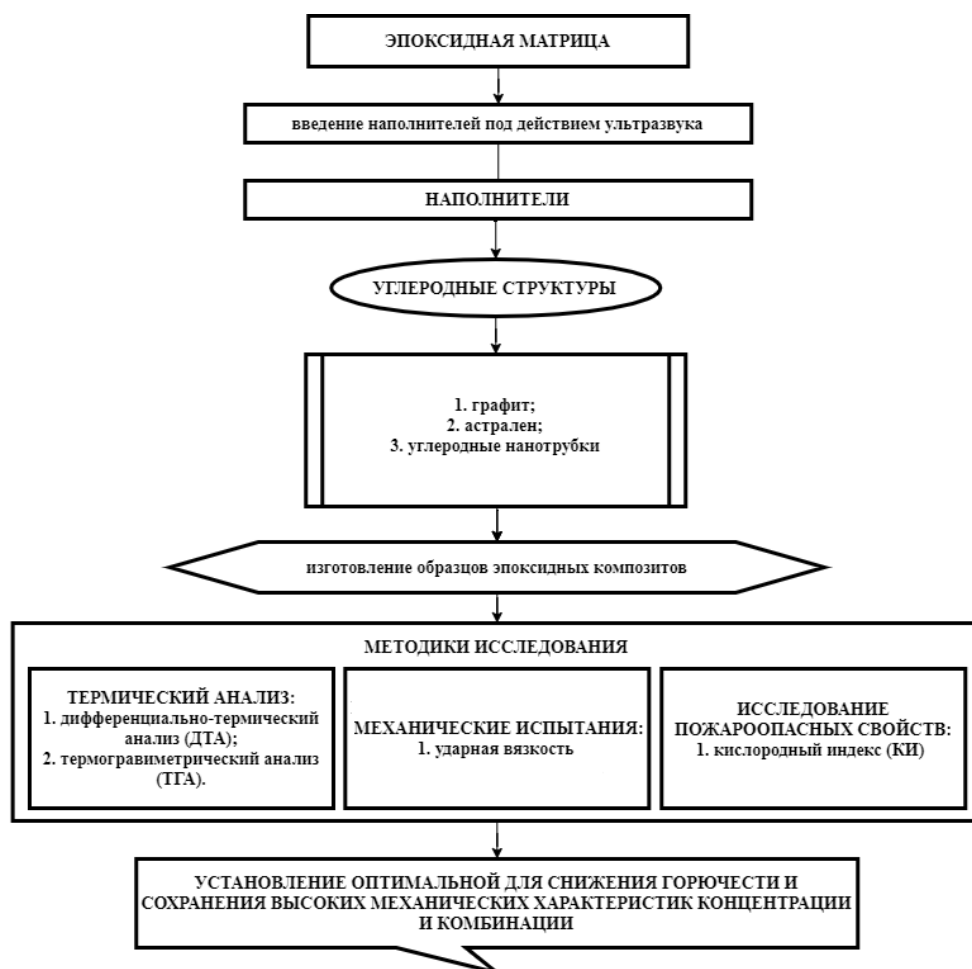


Рис. 4. Структурно-методологическая схема исследования

Экспериментальная часть

Исследование кислородного индекса полимерных композитных материалов, модифицированных углеродными структурами

Полученные в результате обработки данных показатели пожарной опасности ЭС с углеродными модификаторами представлены в табл. 2.

Результаты анализа показывают, что КИ модифицированных графитом, УНТ и Astr образцов вырос на 11,9, 17,6, и 4,14 % соответственно, что позволяет говорить об увеличении требующейся для поддержания горения концентрации кислорода, и, соответственно, показывает увеличение восстановительных свойств модификаторов.

Таблица 2. Показатели КИ эпоксидных композитных материалов, модифицированных углеродными структурами

Образец	КИ, %
ЭД-20+ТЭТА (контрольный образец)	19,3±0,2
ЭД-20+ТЭТА+Astr	20,1±0,2
ЭД-20+ТЭТА+графит	21,6±0,3
ЭД-20+ТЭТА+ Tuball Nanotubes	22,7±0,3

Полученные данные подтверждаются работами авторов [11], которые при изучении влияния Astr на пожароопасные характеристики путем расчетов по методике [12] получили, что рост КИ по сравнению с показателем контрольного образца составил 1–1,25 %.

Анализ показателей горючести эпоксидно-диановых смол с добавлением углеродных нанотрубок [13] говорит об увеличении КИ ПКМ на основе ЭС и УНТ на 18,4–40,8 %, в зависимости от концентрации наполнителя. Помимо этого, существенное значение на КИ оказывает и степень окисления углеродных наноструктур или их степень функционализации [14].

Исследование термической стабильности полимерных композитных материалов, модифицированных углеродными структурами

Анализ процесса нагревания исследуемого материала на термограммах ДТА (ДТ-кривые) (рис. 5) указывает на присутствие нескольких термических пиков, соответствующих термическому эффекту основных компонентов смолы. Все образцы имеют два характерных пика, указывающие на интенсивное окисление с последующей диссоциацией компонентов вещества.

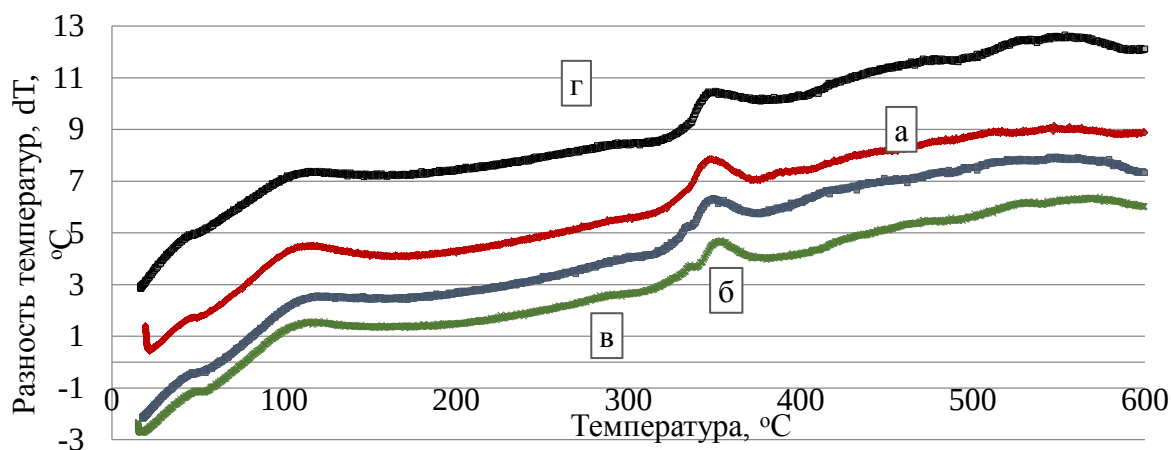


Рис. 5. Дифференциально-термические кривые эпоксидных композитов, модифицированных углеродными структурами: а – контрольный образец; б – эпоксидная смола с добавлением Tuball Nanotubes 1%; в – эпоксидная смола с добавлением графита; г – эпоксидная смола с добавлением Astr 1 %

По результатам анализа ДТ-кривых были получены следующие данные (табл. 3).

Таблица 3. Дифференциально-термический анализ графиков нагрева образцов эпоксидных композитов, модифицированных углеродными структурами

Образцы	Чистая ЭС		ЭС с добавлением Astr		ЭС с добавлением Tuball Nanotubes		ЭС с добавлением графита	
	1 пик	2 пик	1 пик	2 пик	1 пик	2 пик	1 пик	2 пик
Температура начала ТЭ, °C	51	315	48	313	50	310	54	313
Температура максимума ТЭ, °C	115	351	118	353	117	349	115	354
Температура конца ТЭ, °C	170	375	151	377	136	370	139	378
Амплитудное значение ТЭ, ед.	2,78	2,2	2,37	1,88	2,86	2,2	1,8	1,25
Ширина пика ТЭ, °C	119	60	103	64	86	60	85	65
Индекс формы ТЭ, ед.	0,86	0,67	0,47	0,6	0,28	0,54	0,39	0,59

Сведения, полученные путем расшифровки термограмм, а также сравнение показателей термического анализа ЭС с добавлением углеродных структур позволяют сделать следующие выводы:

1. Сравнение индекса формы ТЭ показывает, что скорость окисления модифицированных образцов ниже, чем скорость улетучивания продуктов термического разложения, что говорит нам о повышении термической устойчивости материала за счет увеличения времени, затрачиваемого на процесс окисления от начала до его перехода в процесс самовоспламенения материала [15–17]. Так, отношение продолжительности процесса окисления к продолжительности чистой ЭС равно 0,86 и 0,67 для 1 и 2 пиков соответственно, в то время как для матрицы, модифицированной Astr, аналогичные значения для 1 и 2 пика возросли на 83 % и 12 % соответственно. Схожая тенденция наблюдается и для матрицы, модифицированной УНТ и графитом – показатели индекса ТЭ матрицы с содержанием УНТ увеличились в 3,1 раза и на 24 % для 1 и 2 пика соответственно, а модификация графитом позволила увеличить данный показатель в 2,2 раза и на 14 % для двух пиков соответственно.

2. Амплитудное значение ТЭ ЭС с добавлением углеродных структур ниже аналогичных значений контрольного образца, что говорит о снижении интенсивности протекающих экзотермических реакций и также является подтверждением повышения термической стабильности модифицированного состава по сравнению с немодифицированным [18]. Так, амплитудное значение ТЭ 1 и 2 пика термодеструкций модифицированных смол с добавлением графита сократилось соответственно на 35 % и 43 %. Показатели амплитудного значения ТЭ для ЭС, модифицированных Astr, снизились на 15 %, в то время как наполненный УНТ образец показывает несущественный прирост максимального термического эффекта (3 %).

3. Сокращение продолжительности термоокислительной деструкции компонентов порядка 13–29 % для модифицированных образцов ЭС позволяет сделать предположение об интенсификации процесса образования карбонизированного слоя, затрудняющего дальнейшее протекание пиролитических реакций [19].

Результаты ДТ-анализа показывают, что добавление углеродных структур в объем эпоксидной матрицы позволяют регулировать термоокислительную деструкцию путем сокращения ТЭ. Однако происходящие в веществе при нагревании процессы подлежат наиболее полной интерпретации лишь в сочетании данных ДТА и ТГА.

Анализируя термограммы (ТГ-кривые) (рис. 6–9), получаем следующие результаты.

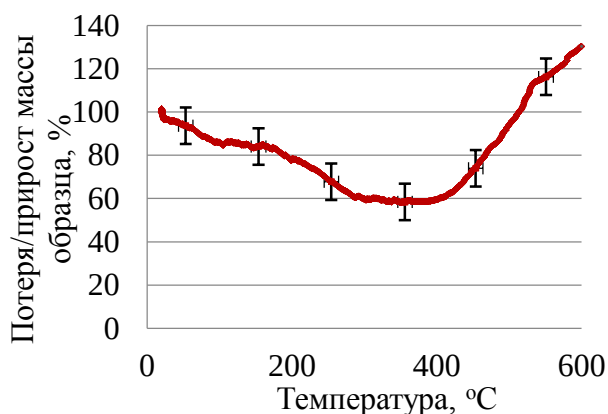


Рис. 6. Термогравиметрическая кривая чистой эпоксидной смолы

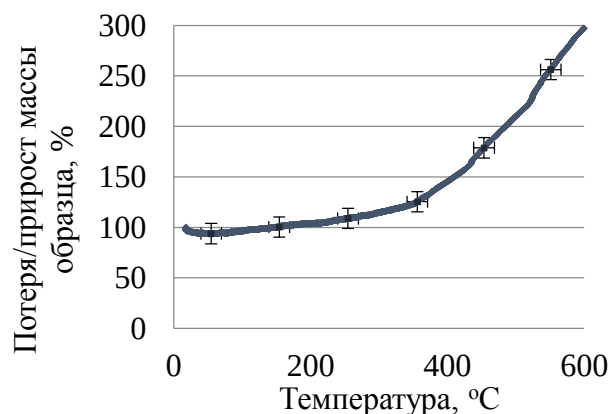


Рис. 7. Термогравиметрическая кривая эпоксидной смолы, модифицированной углеродными нанотрубками Tuball Nanotubes

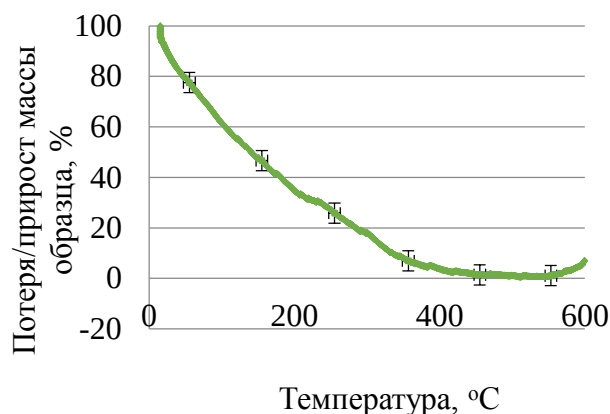


Рис. 8. Термогравиметрическая кривая эпоксидной смолы, модифицированной графитом

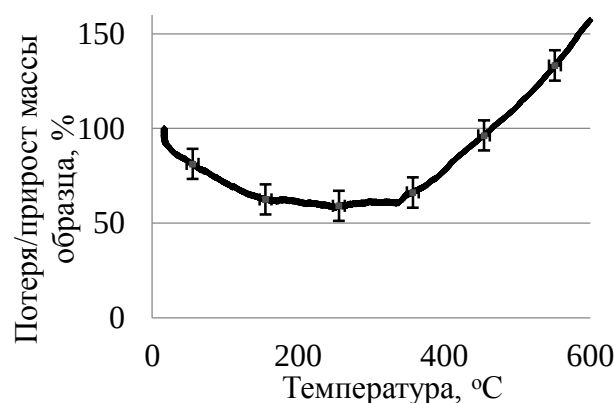


Рис. 9. Термогравиметрическая кривая эпоксидной смолы, модифицированной добавлением астралена

Для контрольного образца наблюдается постепенное окисление материала при нагревании вплоть до 350 °C, однако при достижении этой температуры, равной температуре конца ТЭ, наступает непрерывная деструкция образца с последующим стабильным приростом массы за счет образования углистого остатка [20]. Потеря массы образца не превышает 50 %. Для нанонаполненного образца с 1 % масс. Astr первый переход от прироста массы к ее потере наблюдается при 237 °C, однако на интервале температур от 289 °C до 332 °C изменение массы образца не наблюдается либо является незначительным. При достижении 332 °C начинается процесс деструкции материала. Тем не менее сопоставляя анализ кривых ТГ и ДТГ, можно заметить, что потеря массы образца начинается до наступления максимального ТЭ. Это связано также с потерей теплоизолирующего слоя – улетучиванием соединений, подвергшихся окислению при нагревании.

Отлично поведение эпоксидной смолы с УНТ – для нее характерна незначительная потеря массы при нарастании температуры вплоть до 79 °C, а дальше, параллельно с протекающими ТЭ, наблюдается прирост массы, причем примечательны два момента: при достижении 600 °C масса образца в 2,8 раза превышает начальную массу образца (то есть масса карбонизированного слоя в 1,8 раз больше массы исходного образца), и максимум второго ТЭ совпадает с точкой изменения угла наклона ТГ-кривой.

Более подробный анализ ТГ-кривой ЭС с добавлением УНТ (рис. 10) показывает, что при сравнении угла наклона α_1 и α_2 двух участков аппроксимирующей кривой, полученной полиномиальной функцией 3 степени (участок 1 – 79–349 °C, участок 2 – 349–600 °C) соответственно, $\alpha_1=3,66^\circ$ и $\alpha_2=67,38^\circ$, с точки разделения участков 349 °C угол наклона линии тренда возрастает в 18 раз, что говорит об увеличении интенсивности прироста массы образца, и, соответственно, об увеличении скорости образования изолирующего карбонизированного слоя на поверхности материала, который позволяет замедлять горение ЭС [21].

Результаты исследований характеристик материала при использовании графита в качестве модификатора совершенно отличны от результатов исследований материала с добавлением УНТ и астралена. Так, качество сшивания структуры эпоксидной смолы и модификатора, а также термическая стабильность и процесс нарастания изолирующего карбонизированного слоя, напрямую связаны с полярностью материала.

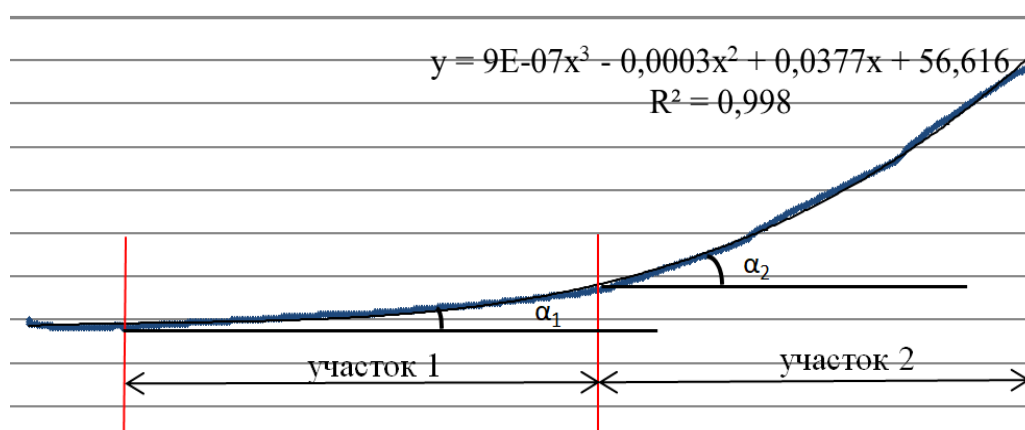


Рис. 10. Аппроксимация ТГ-кривой модифицированной эпоксидной матрицы с добавлением УНТ

Эпоксидная группировка полярна в связи с полярностью связей С–О и небольшим углом С–О–С. Следовательно, эпоксидные смолы – полярные. Введение в состав эпоксидного связующего неполярного наполнителя (в том числе графита) приводит к разупорядочению и разрыхлению структуры материала, и, как следствие, разрушению структуры образца без формирования карбонизированного слоя [21]. Обеспечить лучшее структурирование материала возможно за счет изменения полярности наполнителя – например, путем его окисления.

Исследование ударной вязкости полимерных композитных материалов, модифицированных углеродными структурами

Результаты исследования ударной вязкости модифицированных образцов эпоксидных композитов с включением углеродных структур представлены в табл. 4.

Исследования [22] отмечают, что окисленный графит в структуре выделяется в отдельные агломераты, которые, в свою очередь, играют роль точечных дефектов и концентрируют возникающие в объеме отвержденного материала напряжения. В результате наблюдается падение трещиностойкости и прочностных свойств наполненной смолы, что также подтверждают полученные данные.

Как показывают результаты экспериментальных исследований [23], эпоксидные композиты, модифицированные малыми добавками (0,01 и менее масс.%) как окисленных, так и нативных УНТ, показывают прочностные характеристики, в два раза превосходящие показатели ударной вязкости ненаполненной композиции. Однако большое содержание УНТ в объеме эпоксидной матрицы ведет к ухудшению ударной вязкости материала порядка 30 %.

Таблица 4. Ударная вязкость эпоксидных композитов

Состав композиции	Ударная вязкость, $a_{уд}$, кДж/м ²
ЭД-20 + ТЭТА (контрольный образец)	19,61±0,78
ЭД-20 + ТЭТА+ Astr	22,48±0,86
ЭД-20 + ТЭТА + графит	20,04±0,84
ЭД-20 + ТЭТА + УНТ	12,54±0,48

Зная численное значение ударной вязкости, можно оценить поглощение механической энергии ударной нагрузки, то есть способность материала сопротивляться разрушающему напряжению, приложенному к площади образца, при высокой скорости удара. Таким образом, при помощи значений ударной вязкости можно проанализировать стойкость материала к возникновению дефектов при ударной нагрузке.

Вывод

Информация, полученная путем проведения термогравиметрического анализа, показала практическую пользу использования в качестве модификатора катализаторов химических реакций и антипиренов для достижения термической стабильности эпоксидных композиций. Введение в структуру эпоксидной матрицы ряда антипирящих добавок, а также наполнителей, катализирующих механизмы замедления горения (например, коксообразование или разбавление летучих продуктов горения) позволяет стабилизировать процесс горения, что приводит к снижению показателей горючести и увеличению стойкости образцов в процессе нагревания. Кроме того, для приобретения ПКМ необходимых эксплуатационных свойств и характеристик, материалы могут производиться по технологии создания препрега путем аппретирования (пропитки) волокон различной химической природы модифицированной матрицей на основе эпоксидной смолы.

Представленный способ формирования полуфабрикатов на основе аппретированных стекловолокон позволяет сделать процессы ремонта ТС пожаробезопасными за счет снижения горючести используемых материалов.

Пожарная безопасность при эксплуатации и ремонте ТС обеспечивается использованием при эксплуатации и ремонте ТС материала повышенной огнестойкости.

Создание ремкомплекта на основе модифицированного препрега пониженной горючести, осуществляемое на основе полученных данных, позволит снизить пожарную опасность процессов ремонта и эксплуатации транспортных средств, а также производить новый класс негорючих композиционных материалов на неорганических связующих.

Список источников

1. Герасимова В.М., Зубова Н.Г., Корчина Л.В. Эпоксидные композиционные материалы, армированные модифицированными волокнистыми наполнителями // Химия: образование, наука и технология: Всерос. науч.-практ. конф. Якутск: Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, 2013. С. 246–249.
2. Классификация, состав, достоинства и недостатки многокомпонентных композитных материалов / А.Ю. Попов [и др.] // Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 42–45.
3. Кузьмина С.В., Прудков Е.Н. Оптимизация составов и исследование свойств эпоксидных композитов, модифицированных наноматериалами // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2011. № 2. С. 52–57.
4. Анализ основных направлений исследований, выполняемых зарубежными организациями, занимающимися пожарной безопасностью авиационной техники и материалов авиационно-космического назначения (обзор) / С.Л. Барботько [и др.] // Проблемы безопасности полетов. 2018. № 2. С. 3–35.
5. ТУ 113-08-48-63-90. Препараты коллоидно-графитовые сухие (КГП) // Коллоидно-графитовые препараты. URL: <http://voskgrp.ru/catalog/kolloidno-grafitovyj-preparat-s-1-s-2-s-3> (дата обращения: 25.01.2022).
6. Пономарев А.Н., Никитин В.А. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа: пат. 2196731 Рос. Федерация. № 2000124887/12; заявл. 21.09.2000; опубл. 20.01.03.
7. Графеновые нанотрубки. URL: https://ocsial.com/media/file/2020/06/22/BROCHURE_TUBALL_RUS_200209.pdf (дата обращения: 25.01.2022).
8. ГОСТ 21793–76. Пластмассы. Метод определения кислородного индекса. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. ГОСТ 4647–80. Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

10. ГОСТ Р 53293–2009. Пожарная опасность веществ и материалов. Материалы, вещества и средства огнезащиты. Идентификация методами термического анализа. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
11. Исследование эксплуатационных характеристик огнезащитных покрытий на основе эпоксидных смол, модифицированных астраленами / А.В. Иванов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 1. С. 55–68. DOI 10.18322/PVB.2020.29.01.55-68.
12. Федорова Е.В., Новожилова С.С. Оценка кислородного индекса эпоксидных композитов по результатам термического анализа // Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность: сб. трудов VI Всерос. науч.-практ. конф. Томск: Изд-во ТПУ, 2016. Т. 3. С. 337–339.
13. Композиционные материалы на основе эпоксидной смолы и углеродных наноматериалов / Б.К. Динистанов [и др.] // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. 2016. № 416. С. 58–63.
14. Физико-механические свойства нанокompозитов с УНТ (обзор) / С.В. Кондрашов [и др.] // Труды ВИАМ. 2016. № 5 (41). С. 8. DOI 10.18577/2307-6046-2016-0-5-8-8.
15. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н., Алексахин В.М. Модифицирование конструкционных углепластиков углеродными наночастицами // Российский химический журнал. 2010. Т. 54. № 1. С. 5–11.
16. Лоран Н.М., Циркина О.Г., Пустовалов И.А. Исследование эксплуатационных характеристик вспучивающегося огнезащитного покрытия, модифицированного углеродными наноструктурами // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4 (37). С. 104–110.
17. Крестинин А.В., Шестаков В.Л. Способ ковалентной функционализации углеродных нанотрубок с одновременным ультразвуковым диспергированием для введения в эпоксидные композиции: пат. № 2660852 С1 Рос. Федерация. МПК C01B 32/174, B82B 3/00, B82Y 30/00. № 2017120841; заявл. 14.06.2017; опубл. 10.07.2018.
18. Изучение закономерностей модифицирования полиимидных материалов, применяемых в многослойных конструкциях космических аппаратов / Д.В. Крамарев [и др.] // Пластические массы. 2017. № 5–6. С. 41–45.
19. Решетников И.С., Антонов А.В., Халтуринский Н.А. Математическое описание горения вспучивающихся полимерных систем // Физика горения и взрыва. 1997. Т. 33. № 6.
20. Ширшова Е.С. Создание эпоксидных композиций пониженной горючести с антистатическими и диэлектрическими свойствами: дис. ... канд. техн. наук. Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2007.
21. Оценка влияния полярности дисперсных наполнителей на структуру и водопоглощение эпоксидных материалов / И.А. Котлярова [и др.] // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 6. С. 690–699. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.690-699.
22. Влияние мелкодисперсного углеродного наполнителя на механические свойства эпоксидных матриц / А.О. Камаев [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2015. Т. 11. № 6.
23. Исследование влияния функционализированных многостенных углеродных нанотрубок на электропроводность и механические характеристики эпоксидных композитов / Е.А. Яковлев [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2016. № 3 (5). С. 15–23.

References

1. Gerasimova V.M., Zubova N.G., Korchina L.V. Epoksidnye kompozicionnye materialy, armirovannye modifizirovannymi voloknistymi napolnitelyami // Himiya: obrazovanie, nauka i tekhnologiya: Vseros. nauch.-prakt. konf. Yakutsk: Severo-Vostochnyj federal'nyj universitet im. M.K. Ammosova, 2013. S. 246–249.
2. Klassifikaciya, sostav, dostoinstva i nedostatki mnogokomponentnyh kompozitnyh materialov / A.Yu. Popov [i dr.] // Omskij nauchnyj vestnik. 2015. № 3 (143). S. 42–45.

3. Kuz'mina S.V., Prudkov E.N. Optimizaciya sostavov i issledovanie svojstv epoksidnyh kompozitov, modifitsirovannyh nanomaterialami // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2011. № 2. S. 52–57.
4. Analiz osnovnyh napravlenij issledovanij, vypolnyaemyh zarubezhnymi organizatsiyami, zanimayushchimisya pozharnoj bezopasnost'yu aviacionnoj tekhniki i materialov aviacionno-kosmicheskogo naznacheniya (obzor) / S.L. Barbot'ko [i dr.] // Problemy bezopasnosti poletov. 2018. № 2. S. 3–35.
5. TU 113-08-48-63-90. Preparaty kolloidno-grafitovye suhie (KGP) // Kolloidno-grafitovye preparaty. URL: <http://voskgp.ru/catalog/kolloidno-grafitovyj-preparat-s-1-s-2-s-3> (data obrashcheniya: 25.01.2022).
6. Ponomarev A.N., Nikitin V.A. Poliedral'nye mnogoslojnye uglerodnye nanostruktury fulleroidnogo tipa: pat. 2196731 Ros. Federaciya. № 2000124887/12; zayavl. 21.09.2000; opubl. 20.01.03.
7. Grafenovye nanotrubki. URL: https://ocsial.com/media/file/2020/06/22/BROCHURE_TUBALL_RUS_200209.pdf (data obrashcheniya: 25.01.2022).
8. GOST 21793–76. Plastmassy. Metod opredeleniya kislorodnogo indeksa. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
9. GOST 4647–80. Plastmassy. Metod opredeleniya udarnoj vyazkosti po SHarpi. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
10. GOST R 53293–2009. Pozharnaya opasnost' veshchestv i materialov. Materialy, veshchestva i sredstva ognezashchity. Identifikaciya metodami termicheskogo analiza. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
11. Issledovanie ekspluatatsionnyh harakteristik ognezashchitnyh pokrytij na osnove epoksidnyh smol, modifitsirovannyh astralenami / A.V. Ivanov [i dr.] // Pozharovzryvbezopasnost'. 2020. T. 29. № 1. S. 55–68. DOI 10.18322/PVB.2020.29.01.55-68.
12. Fedorova E.V., Novozhilova S.S. Ocenka kislorodnogo indeksa epoksidnyh kompozitov po rezul'tatam termicheskogo analiza // Nerazrushayushchij kontrol': elektronnoe priborostroenie, tekhnologii, bezopasnost': sb. trudov VI Vseros. nauch.-prakt. konf. Tomsk: Izd-vo TPU, 2016. T. 3. S. 337–339.
13. Kompozicionnye materialy na osnove epoksidnoj smoly i uglerodnyh nanomaterialov / B.K. Dinistanova [i dr.] // Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. 2016. № 416. S. 58–63.
14. Fiziko-mekhanicheskie svojstva nanokompozitov s UNT (obzor) / S.V. Kondrashov [i dr.] // Trudy VIAM. 2016. № 5 (41). S. 8. DOI 10.18577/2307-6046-2016-0-5-8-8.
15. Gunyaev G.M., Kablov E.N., Aleksashin V.M. Modifitsirovanie konstrukcionnyh ugleplastikov uglerodnymi nanochasticami // Rossijskij himicheskij zhurnal. 2010. T. 54. № 1. S. 5–11.
16. Loran N.M., Cirкина O.G., Pustovalov I.A. Issledovanie ekspluatatsionnyh harakteristik vspuchivayushchegosya ognezashchitnogo pokrytiya, modifitsirovannogo uglerodnymi nanostrukturami // Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity. 2020. № 4 (37). S. 104–110.
17. Krestinin A.V., Shestakov V.L. Spособ kovalentnoj funkcionalizacii uglerodnyh nanotrubok s odnovremennym ul'trazvukovym dispergirovaniem dlya vvedeniya v epoksidnye kompozicii: pat. № 2660852 C1 Ros. Federaciya. MPK C01B 32/174, B82B 3/00, B82Y 30/00. № 2017120841; zayavl. 14.06.2017; opubl. 10.07.2018.
18. Izuchenie zakonornostej modifitsirovaniya poliimidnyh materialov, primenyaemyh v mnogoslojnyh konstrukciyah kosmicheskikh apparatov / D.V. Kramarev [i dr.] // Plasticheskie massy. 2017. № 5–6. S. 41–45.
19. Reshetnikov I.S., Antonov A.V., Halturinskij N.A. Matematicheskoe opisanie goreniya vspuchivayushchih polimernyh sistem // Fizika goreniya i vzryva. 1997. T. 33. № 6.

20. Shirshova E.S. Sozdanie epoksidnyh kompozitsiy ponizhennoj goryuchesti s antistaticheskimi i dielektricheskimi svojstvami: dis. ... kand. tekhn. nauk. Saratov: Saratovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2007.

21. Ocenka vliyaniya polyarnosti dispersnyh napolnitelej na strukturu i vodopogloshchenie epoksidnyh materialov / I.A. Kotlyarova [i dr.] // Vestnik MGSU. 2019. T. 14. Vyp. 6. S. 690–699. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.6.690-699.

22. Vliyanie melkodispersnogo uglerodnogo napolnitelya na mekhanicheskie svojstva epoksidnyh matric / A.O. Kamaev [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. T. 11. № 6.

23. Issledovanie vliyaniya funktsionalizirovannyh mnogostennyh uglerodnyh nanotrubok na elektroprovodnost' i mekhanicheskie harakteristiki epoksidnyh kompozitov / E.A. Yakovlev [i dr.] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Himiya. 2016. № 3 (5). S. 15–23.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 20.12.2021; одобрена после рецензирования: 02.02.2022;
принята к публикации: 10.02.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 20.12.2021; approved after review: 02.02.2022;
accepted for publication: 10.02.2022

Информация об авторах:

Валерия Анатольевна Борисова, адъюнкт 3 курса очной формы обучения факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: valery.borisova.01@yandex.ru

Information about the authors:

Valeria A. Borisova, adjunct of the 3rd year of full-time study at the faculty of training of highly qualified personnel of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: valery.borisova.01@yandex.ru

УДК 519.71;159.9

ВЛИЯНИЕ ПАНДЕМИИ НА МОТИВАЦИЮ И ПОВЕДЕНИЕ ПЕРВОКУРСНИКОВ

Ольга Федоровна Дворникова✉.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия

✉olga.dvornikova.68@mail.ru

Аннотация. На основе материалов тестирования студентов первокурсников, проводимых ежегодно в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, проведено исследование, направленное на выявление изменений социально-психологического портрета первокурсника, вызванных условиями пандемии. Исследование проводилось методом сравнения при ориентации на тенденции общих изменений, вскрытых в работах, посвящённых влиянию COVID-19 на социально-психологическое состояние общества. Результаты исследования показали, что мотивационные моменты, определяющие prerogatives выбора у первокурсников, в целом не изменились. Однако при этом наблюдается усиление прагматической составляющей выбора, акцент на опыт и мнение профессорско-преподавательского состава. При этом, несмотря на пандемию, отмечается сохранение общего положительного настроения и оптимистических взглядов на жизнь, что коррелирует с результатами исследования О.П. Цариценцевой и Я.В. Дидковской.

Ключевые слова: тестирование, мотивация поведения, определение наклонностей и интересов студентов, социально-психологический портрет первокурсника

Для цитирования: Дворникова О.Ф. Влияние пандемии на мотивацию и поведение первокурсников // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 174–181.

IMPACT OF THE PANDEMIC ON THE MOTIVATION AND BEHAVIOR OF FRESHMEN

Olga F. Dvornikova✉.

Saint-Petersburg state university of telecommunications of prof. M.A. Bonch-Bruevich, Saint-Petersburg, Russia

✉olga.dvornikova.68@mail.ru

Abstract. Based on the testing materials of freshmen students, held annually at the Saint-Petersburg state university of telecommunications prof. M.A. Bonch-Bruevich conducted a study aimed at identifying changes in the socio-psychological portrait of a freshman caused by the conditions of the pandemic. The study was carried out by comparison methods while focusing on the trends of general changes revealed in works devoted to the impact of COVID-19 on the socio-psychological state of society. The results of the study showed that the motivational aspects that determine the prerogatives of choice among freshmen as a whole did not change. However, at the same time, there is an increase in the pragmatic component of the choice, an emphasis on the experience and opinion of the teaching staff. At the same time, despite the pandemic, there is a preservation of the general positive attitude and optimistic outlooks on life, which correlates with the results of the research by O.P. Tsaritsentseva and Ya.V. Didkovskaya.

Keywords: testing, motivation of behavior, determination of inclinations and interests of students, socio-psychological portrait of a freshman

For citation: Dvornikova O.F. Impact of the pandemic on the motivation and behavior of freshmen // Nauch.-analit. journ. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 174–181.

Введение

Для современного высокотехнологичного общества пандемия, вызванная COVID-19, явилась серьезным испытанием. Заболевание затронуло все сферы жизни человека, включая работу, занятия спортом, организацию досуга [1]. Вынужденная изоляция внесла существенные изменения в модус поведения людей, профессия которых связана с активным социальным общением. Необходимость защитного поведения в условиях пандемии наложила свой отпечаток не только на характере индивидуумов, но и на их психологическом здоровье [2]. В результате в обществе существенно возросла суицидологическая ситуация [3].

Особенно сильный психологический удар пандемия нанесла на подростков, лишив их привычной сферы общения, перешедшей в виртуальное пространство. Это вопрос усиленно исследуется. При этом анализ работ по данному направлению указывает на возрастание потенциального риска возникновения негативных психологических последствий, возникающих ввиду вынужденной изоляции [4].

Но, несмотря на сложность ситуации, как говорится, жизнь продолжается. Государственный механизм, адаптируясь в сложившихся условиях, определяет новые направления для развития общества, в том числе и в сфере образования. Очевидно, что переход на дистанционное обучение неоднозначно был воспринят в педагогическом сообществе. Дискуссии по этому вопросу продолжаются до сих пор. В частности, «... пока не ясно, пойдет ли на пользу цифровизация образования» [5]. При том, что даже министр науки и высшего образования В.Н. Фальков признал, что в результате перехода на дистанционное обучение существенно снизилось качество образования в вузах и в школах [6]. Однако в настоящий момент это является единственной альтернативой получения знаний для абитуриента.

В результате в вузы приходит контингент, который проходил дистанционное обучения, и в период его подросткового становления перед поступлением в вуз большую часть времени вынужден был общаться со сверстниками онлайн. Очевидно, все это наложило определенный отпечаток на его мировосприятие и отношении к учебе в целом.

С учетом указанных обстоятельств, предлагаются результаты исследования, проведенного в Санкт-Петербургском государственном университете телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (СПбГУТ), по выявлению изменений социально-психологического портрета первокурсника, вызванных условиями пандемии.

Организация и методы исследования

В основе исследования лежат результаты ежегодного тестирования первокурсников СПбГУТ, проводимого по переработанным тестам [7, 8].

Целью ежегодно проводимого тестирования является определение способностей, наклонностей и интересов студентов для последующей ориентации вектора работы психолога СПбГУТ. В результате такого тестирования составляется обобщенный «портрет» среднестатистического первокурсника.

Подобная работа ведется во многих вузах, о чем свидетельствуют публикации [9–11].

Тестирование проводится по пяти направлениям:

- определение проблем учебной и социальной адаптации первокурсников;
- получение информации об оценке студентами как потребителями качества образования в СПбГУТ;
- установление степени удовлетворенности студентов процессом обучения в университете;

- изучение ценностного содержания мотивов поступления в выбранный вуз;
- выявление предпочтений студентов при выборе будущей сферы деятельности и др.

Тестирование проводится анонимно онлайн по 37 опросным анкетам, вопросы которых частично перекликаются по смыслу, для исключения ответов в режиме «автомат». Как правило, общее количество студентов первого курса очной формы обучения колеблется от 1 700 до 2 036 человек. При этом в анкетировании принимает участие от 800 до 1 000 человек, что указывает на высокую репрезентативность результатов. Для исследования были отобраны результаты тестирования за 2019 и 2020 гг., которые как раз и позволяют охарактеризовать изменения во взглядах студентов, обусловленных социальными процессами, вызванными пандемией. Способ тестирования определялся в соответствии с работами [12–14].

Следует отметить высокую конкордацию результатов тестирования, полученных в 2019 г. по отношению к предыдущему периоду, что указывает на корректность и сбалансированность подобранных вопросов тестирования.

Результаты исследования и их обсуждение

В тестировании 2019 г. участие приняло 1 030 студентов первого курса. А в 2020 г. – 848 студентов. Следует отметить, что по сравнению с 2019 г. в 2020 г. изменилась гендерная составляющая респондентов в сторону увеличения представителей женского пола в 1,22 раза, то есть с 29,1 % до 35,5 %, при том, что общее соотношение юношей и девочек, поступивших в СПбГУТ, осталось примерно на прежнем уровне.

Нестабильность экономики, вызванная необходимостью перехода на так называемую «удаленку» способствовала тому, что в 2020 г. почти в 1,5 раза увеличилась доля студентов-первокурсников, уже имеющих среднее профессиональное и высшее образование. При том, что согласно тестированию, финансовое состояние семей респондентов фактически не изменилось.

Следует отметить повысившийся интерес петербуржцев к СПбГУТ, доля которых возросла на 6,5 % и составила 37,5 % от общего числа тестируемых.

На рис. 1 представлена география поступивших в СПбГУТ по федеральным округам.

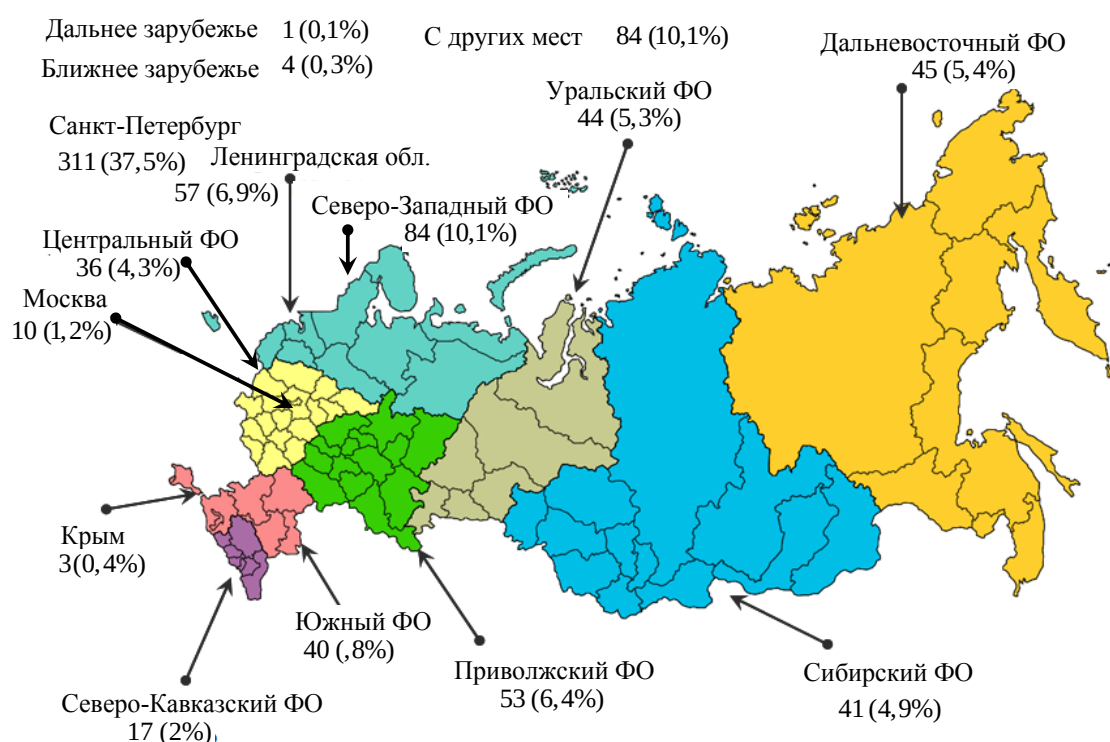


Рис. 1. Распределение поступивших в СПбГУТ по федеральным округам (ФО)

Однако с учетом увеличения доли мест для поступающих, в 2020 г. в 1,4 раза увеличилось число иногородних студентов (достигло 60 %), то есть, которые не могут ежедневно возвращаться после занятий домой.

В блоке вопросов «Профессиональная мотивация к поступлению в университет» интересным моментом явилось то, что сохраняется общая тенденция престижности конкретной профессии у поступающих. Только у 6 % респондентов выбор СПбГУТ был связан с необходимостью учебы в Санкт-Петербурге. Это подтверждают заключения Я.В. Дидковской, которая утверждала, что у молодежи получение образование, прежде всего, выражается в «... удовлетворенности индивидами достигнутым в профессии» [15]. При этом доминирующим фактором явилось соответствие профиля будущей специальности собственным наклонностям респондентов и наличие советов со стороны родителей. Данный показатель составил 77,2 %, что почти на 6 % превысило показатель 2019 г.

Следует отметить, что ответы респондентов представлялись едиными Google-form, пример которой показан на рис. 2 при ответе на вопрос «Вы считаете что, выбранная специальность (профессия):».

11. Вы считаете следующее, что, выбранная специальность (профессия):

1 005 ответов в 2019 г.

846 ответов в 2020 г.

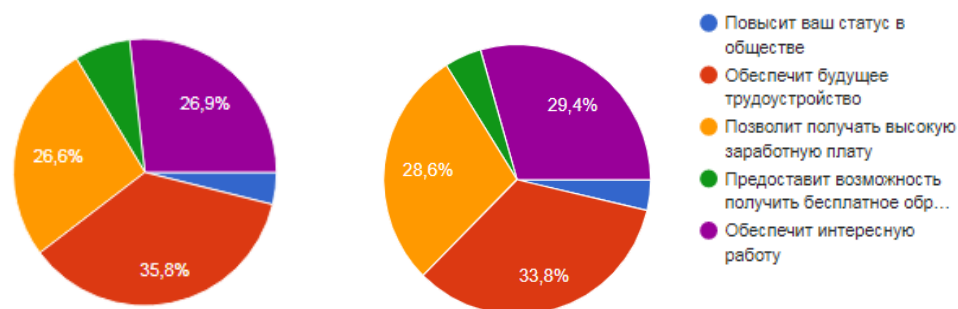


Рис. 2. Пример представления результатов обработки вопросов теста

Достаточно неожиданным явился ответ на вопрос об удовлетворенности студенческой жизнью. Поскольку в условиях социальных ограничений, вызванных пандемией, 84,1 % опрошенных устраивает студенческая жизнь в СПбГУТ, что даже на 1,1 % превысил показатель 2019 г. При этом 69,7 % (68,4 % в 2019 г.) заняты только учебой. Совмещают работу с учебой только 11,6 % (10,8 % в 2019 г.), причем порядка у 40 % работающих студентов специфика труда связана с получаемой профессией.

Другой приятной неожиданностью явилось сохранение высокой адаптивности респондентов, несмотря на социальные ограничения, обусловленные пандемией, к новым условиям жизни, то есть жизни в студенческом коллективе. Так 86,1 % (84,3 % в 2019 г.) вполне довольны новым коллективом, несмотря на достаточно широкую географию респондентов. Полученные результаты хорошо коррелируют с вопросами из другого блока, где оценивалась морально-психологическая атмосфера в вузе и коллективе. Только 1,6 % оценили ее как негативную, по сравнению с 2 % в 2019 г. Примерно такая же картина просматривается и при ответе на вопрос «Насколько психологический климат в нашем вузе благоприятен для творчества студентов?». Так, в 2019 г. только 2,7 % студентов считали, что психологическая обстановка в университете тяжелая. А в 2020 г. такого мнения придерживалось всего 2 % респондентов. И в четвертом блоке тестовых вопросов также затрагивалась данная тематика в контексте взаимоотношений с преподавателями и студентами. Согласно ответам респондентов более 80 % считают, что у них нормальные отношения с преподавателями. Причем 84,5 % полагают, что в университете создан

благоприятный климат для творчества студентов. И только около 4,4 % негативно воспринимают администрацию университета. При этом 20,2 % затруднились с ответом на указанный вопрос.

Заметим, что неопределенность, обусловленная непониманием ситуации, вызванной пандемией, является серьезным ударом по психике. «Человеческая психика имеет наибольшую уязвимость именно перед неопределенностью» [16]. В такой ситуации человек интуитивно ищет защиты. Поэтому в тесты был помещен вопрос «Когда возникают какие-то проблемы, к кому Вы обращаетесь за помощью?». И если в 2019 г. за помощью к педагогам обращалось не более 6,7 % респондентов, то в 2020 г. таких обращений возросло в 1,72 раза, что еще раз подчеркивает о наличии здорового климата в СПбГУТ, поскольку студенты доверяют преподавателям и идут на контакт.

Это особенно важно с позиций недопущения стрессовых состояний в коллективе, вызванных нагнетанием психоза со стороны отдельных индивидуумов [14]. В табл. 1 представлена полная раскладка, характеризующая выбор респондента по вопросам поиска поддержки и помощи при возникновении проблем.

Таблица 1. **Субъекты, к которым респонденты обращались за помощью**

Субъект обращения	2019 г.	2020 г.
Родители и родственники	61,2 %	61,2 %
Друзья и однокурсники	72 %	73,1 %
Студенческий совет	4,6 %	3,6 %
Куратор группы	32,9 %	40,2 %
Профессорско-преподавательский состав	6,7 %	11,5 %
Администрация университета	3,6 %	4,9 %
Не указанные выше категории	16,4 %	14,4 %

Переход к дистанционному обучению сказался и на отношении респондентов к качеству организации учебного процесса. Если в 2019 г. 77,7 % были полностью им удовлетворены, 13,0 % не удовлетворены, а 9,3 % затруднились с выбором ответа, то в 2020 г. ситуация изменилась. Соответственно: 70,4 %; 17,0 %; 12,6 %. Данное мнение подтверждается и другой группой ответов, представленных в табл. 2.

Таблица 2. **Ответы на вопрос «Интересно ли вам учиться в вузе?»**

Варианты ответа	2019 г.	2020 г.
Проявляют полный интерес к учебе	44,1 %	50,4 %
Учебный процесс скорее нравится, чем нет	41,2 %	39,1 %
Считают, что организация учебного процесса не вызывает положительных эмоций по разным причинам	7,5 %	7,5 %
Негативно воспринимают учебу в вузе	4 %	3,7 %
Затрудняются ответить на данный вопрос	3,2 %	3,4 %

В рамках проводимого исследования особый интерес вызвал последний блок вопросов, связанных с выявлением предпочтений студентов и их выбором будущей сферы деятельности.

Казалось бы, депрессивная обстановка, обусловленная пандемией, должна негативно сказываться на отношении к будущему – а нет, все как раз наоборот. В подтверждение, в табл. 3, 4 представлены результаты ответов на вопросы: «Что даст вам высшее образование?»; «Чем планируете заниматься после окончания учебы в университете?».

Таблица 3. Ответы на вопрос «Что даст вам высшее образование?»

Варианты ответа	2019 г.	2020 г.
Возможность заниматься интеллектуальным трудом	34,8 %	36,5 %
Высшее образование престижно	22,5 %	22,1 %
Возможность получить отсрочку от армии	15,7 %	13,0 %
Высокий уровень благосостояния	27,0 %	28,4 %

Таблица 4. Ответы на вопрос «Чем планируете заниматься после окончания учебы в вузе?»

Варианты ответа	2019 г.	2020 г.
Продолжить учебу в магистратуре	35,7 %	38,3 %
Работать по специальности в государственной структуре	15,3 %	9,9 %
Работать по специальности на частном предприятии	13,2 %	19,8 %
Организовать собственное предприятие	9,0 %	10,1 %
Работать в зарубежной компании	10,0 %	10 %
Отдохнуть от учебы	4,9 %	3,1 %
Не определились с ответом	11,9 %	8,8 %

Полученные данные коррелируют с результатами исследования О.П. Цариценцевой, которая сделала заключение «Обращает на себя внимание то, что в целом по факторам, описывающим отношение к будущему, не было получено отрицательных результатов» [17].

Выводы

Пандемия внесла свои коррективы как в мотивацию, так и в поведение первокурсников. Однако в целом их психологический настрой является положительным. При этом можно выделить следующие общие черты первокурсников СПбГУТ. Они аполитичны и социально пассивны, в меру спортивные, но в целом придерживаются здорового образа жизни (свыше 61 %).

Они преимущественно живут на доходы родителей (свыше 92 %) и мечтают, что полученное ими образование позволит занять высокое положение в обществе и заниматься интеллектуальным трудом (свыше 66 %).

Но при этом более 51 % полагает, что в будущем полученная специальность обеспечит им высокий уровень благосостояния. В основном они планируют продолжить учебу в магистратуре (свыше 38 %), а по ее окончании остаться жить и работать в Санкт-Петербурге (более 51 %).

Дальнейшие исследования будут направлены на выявление характера изменения их мотивации и поведения по окончании обучения в СПбГУТ.

Список источников

1. Stankovska G., Memedi I., Dimitrovski D. Coronavirus COVID-19 disease, mental health and psychosocial support // Society Register. 2020. Vol. 4. № 2. P. 33–48. <https://doi.org/10.14746/sr.2020.4.2.03>.
2. Abdulkareem S.A., Augustijn E.-W., Filatova T., Musial K., Mustafa Y.T. Risk perception and behavioral change during epidemics: comparing models of individual and collective learning // PloS One. 2020. V. 1. № 15. Article e0226483, 10.1371/journal.pone.0226483.
3. Любов Е.Б., Зотов П.Б., Положий Б.С. Пандемии и суицид: идеальный шторм и момент истины // Суицидология. 2020. Т. 11. № 1 (38). С. 3–38.
4. Oosterhoff. B., Palmer C.A., Wilson J., Shook N. Adolescents, motivations to engage in social distancing during the COVID-19 pandemic: associations with mental and social health //

J. Adol Health May 2020. V. 67. № 2. P. 179–185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2020.05.004>.

5. Юшаева П.А., Эльсанукаев А.Т. В чем проблема дистанционного обучения? дистанционное обучение // Информационные технологии в образовании: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Махачкала, 2020. С. 253–257.

6. Ведомости: газ. от 28 дек. 2020. URL: <https://www.vedomosti.ru/society/news/2020/12/28/852686-minobrnauki-priznali-snizhenie-kachestva> (дата обращения: 06.11.2021).

7. Сборник психологических тестов. Часть I: пособие / сост. Е.Е. Миронова. Мн.: Женский институт ЭНВИЛА, 2005. 155 с.

8. Худяков А.И. Экспериментальная психология. Х.: Изд-во «Гуманитарный Центр», 2016. 408 с.

9. Рохманийко А.А., Портнова К.А. Исследование психологической адаптации студентов первокурсников к условиям вузовской среды // Актуальные исследования в сфере гуманитарного знания: сб. науч. трудов V Студ. науч.-практ. конф. по гуманитар. дисциплинам. Кинель, 2019. С. 3–5.

10. Бартеньева В.Г., Кутырева А.Д. Анализ адаптации студента в процессе профессиональной подготовки // Технолого-экономическое образование. 2019. № 12. С. 73–76.

11. Шкирман Р.С. Особенности социально-психологической адаптации студентов первого курса, обучающихся в интернациональных группах // Развитие современного образования: от теории к практике: сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 103–105.

12. Способ проведения экспресс-тестирования знаний обучаемых и обработки его результатов / Л.В. Гордиенко [и др.]: пат. 2748301 С1 Рос. Федерация. 21.05.2021; заяв. № 2020122971 от 06.07.2020.

13. Способ обработки результатов экспресс-тестирования знаний обучаемых / С.В. Дворников [и др.]: пат. 2689208 С1 Рос. Федерация. 24.05.2019; заяв. № 2018144042 от 12.12.2018.

14. Дворникова О.Ф., Дворников С.В., Худяков А.И. Вероятностная модель оценки стрессовых состояний // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Психология. 2021. Т. 37. С. 88–103.

15. Дидковская Я.В. Успешность профессиональной карьеры молодежи в трансформирующемся обществе // Дискуссия. 2015. № 9 (61). С. 64–69.

16. Kuzina N.V. Information security in the context of pandemic: consequences for the individual and state. *Galactica Media: Journal of Media Studies*. 2020. № 1. ISSN: 2658-7734. Media Safety & Security. Doi: <https://doi.org/10.46539/gmd.v3i1.119>.

17. Цариценцева О.П. Отношение к будущему людей, перенесших COVID-19 // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Психология. 2021. Т. 37. С. 57–68.

References

1. Stankovska G., Memedi I., Dimitrovski D. Coronavirus COVID-19 disease, mental health and psychosocial support // *Society Register*. 2020. Vol. 4. № 2. P. 33–48. <https://doi.org/10.14746/sr.2020.4.2.03>.

2. Abdulkareem S.A., Augustijn E.-W., Filatova T., Musial K., Mustafa Y.T. Risk perception and behavioral change during epidemics: comparing models of individual and collective learning // *PloS One*. 2020. V. 1. № 15. Article e0226483, 10.1371/journal.pone.0226483.

3. Lyubov E.B., Zotov P.B., Polozhij B.S. Pandemii i suicid: ideal'nyj shtorm i moment istiny // *Suicidologiya*. 2020. T. 11. № 1 (38). S. 3–38.

4. Oosterhoff. B., Palmer C.A., Wilson J., Shook N. Adolescents, motivations to engage in social distancing during the COVID-19 pandemic: associations with mental and social health //

J. Adol Health May 2020. V. 67. № 2. P. 179–185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2020.05.004>.

5. Yushaeva P.A., El'sanukaev A.T. V chem problema distancionnogo obucheniya? distancionnoe obuchenie // Informacionnye tekhnologii v obrazovanii: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. Mahachkala, 2020. S. 253–257.

6. Vedomosti: gaz. ot 28 dek. 2020. URL: <https://www.vedomosti.ru/society/news/2020/12/28/852686-minobrnauki-priznali-snizhenie-kachestva> (data obrashcheniya: 06.11.2021).

7. Sbornik psichologicheskikh testov. Chast' I: posobie / sost. E.E. Mironova. Mn.: Zhenskij institut ENVILA, 2005. 155 s.

8. Hudyakov A.I. Eksperimental'naya psihologiya. H.: Izd-vo «Gumanitarnyj Centr», 2016. 408 s.

9. Rohmanijko A.A., Portnova K.A. Issledovanie psichologicheskoy adaptacii studentov pervokursnikov k usloviyam vuzovskoj sredy // Aktual'nye issledovaniya v sfere gumanitarnogo znaniya: sb. nauch. trudov V Stud. nauch.-prakt. konf. po gumanitar. disciplinam. Kinel', 2019. S. 3–5.

10. Barten'eva V.G., Kutyreva A.D. Analiz adaptacii studenta v processe professional'noj podgotovki // Tekhnologo-ekonomicheskoe obrazovanie. 2019. № 12. S. 73–76.

11. Shkirman R.S. Osobennosti social'no-psichologicheskoy adaptacii studentov pervogo kursa, obuchayushchihся v internacional'nyh gruppah // Razvitie sovremennogo obrazovaniya: ot teorii k praktike: sb. materialov II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2017. S. 103–105.

12. Sposob provedeniya ekspress-testirovaniya znaniy obuchaemyh i obrabotki ego rezul'tatov / L.V. Gordienko [i dr.]: pat. 2748301 C1 Ros. Federaciya. 21.05.2021; yayav. № 2020122971 ot 06.07.2020.

13. Sposob obrabotki rezul'tatov ekspress-testirovaniya znaniy obuchaemyh / S.V. Dvornikov [i dr.]: pat. 2689208 C1 Ros. Federaciya. 24.05.2019; yayav. № 2018144042 ot 12.12.2018.

14. Dvornikova O.F., Dvornikov S.V., Hudyakov A.I. Veroyatnostnaya model' ocenki stressovyh sostoyanij // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Psichologiya. 2021. T. 37. S. 88–103.

15. Didkovskaya Ya.V. Uspeshnost' professional'noj kar'ery molodezhi v transformiruyushchemsya obshchestve // Diskussiya. 2015. № 9 (61). S. 64–69.

16. Kuzina N.V. Information security in the context of pandemic: consequences for the individual and state. Galactica Media: Journal of Media Studies. 2020. № 1. ISSN: 2658-7734. Media Safety & Security. Doi: <https://doi.org/10.46539/gmd.v3i1.119>.

17. Caricenceva O.P. Otnoshenie k budushchemu lyudej, perenessih COVID-19 // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Psichologiya. 2021. T. 37. S. 57–68.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 15.12.2021; одобрена после рецензирования: 10.02.2022; принята к публикации: 28.02.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 15.12.2021; approved after review: 10.02.2022; accepted for publication: 28.02.2022

Информация об авторах:

Ольга Федоровна Дворникова, психолог Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (193232, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, к. 1), e-mail: olga.dvornikova.68@mail.ru

Information about the authors:

Olga F. Dvornikova, psychologist St. Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M.A. Bonch-Bruевич (193232, St. Petersburg, Bolshevikov Ave, 22, building 1), e-mail: olga.dvornikova.68@mail.ru

УДК 51-77:614.8

СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПАНИКИ ПРИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Елизавета Александровна Коткова✉.**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**✉ kotkovaelizaveta23@gmail.com

Аннотация. Одной из задач по снижению возможного ущерба при чрезвычайных ситуациях или пожарах в общественных зданиях является эвакуация. Поведенческая реакция эвакуируемых является важным фактором, обеспечивающим своевременность и безопасность при эвакуации. Стрессовые ситуации могут приводить к нестандартному поведению эвакуируемых, впадающих в паническое состояние, что, в свою очередь, может приводить к снижению эффективности эвакуации и росту возможного количества жертв. Паническое состояние может распространяться в толпе, вызывая в целом у нее непредсказуемое поведение.

Действия людей в процессе эвакуации являются фактором неопределенности, который влияет на поведение всей группы при эвакуации. Поэтому изучение распространения панического поведения при масштабной эвакуации в комплексе с различными факторами неопределенности является актуальной задачей антикризисного управления. Данная статья направлена на исследование процесса распространения паники в толпе при массовой эвакуации. Построена системно-динамическая модель массовой эвакуации, позволяющая учитывать множество причинно-следственных связей исследуемого процесса, получить качественное обоснование для поддержки принятия управленческих решений.

Выявлена взаимосвязь между степенью распространения опасности в общественном здании и количеством людей в паническом состоянии, взаимосвязь между скоростью движения толпы и эффективностью эвакуации. Полученные результаты подтверждают значительное влияние психоэмоционального состояния толпы на процесс эвакуации.

Ключевые слова: эвакуация, паника, толпа, системно-динамическая модель, эффективность эвакуации

Для цитирования: Коткова Е.А. Системно-динамическая модель распространения паники при эвакуации из общественных зданий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 182–194.

SYSTEM-DYNAMIC MODEL OF PANIC SPREAD DURING EVACUATION FROM PUBLIC BUILDINGS

Elizabeth A. Kotkova✉. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia✉ kotkovaelizaveta23@gmail.com

Abstract. One of the tasks to reduce possible damage in emergency situations or fires in public buildings is evacuation. The behavioral response of evacuees is an important factor in ensuring timeliness and safety during evacuation. Stressful situations can lead to non-standard behavior of evacuees falling into a panic state, which in turn can lead to a decrease in the efficiency of evacuation and an increase in the possible number of victims. Panic can spread through the crowd, causing it to behave in a generally unpredictable manner.

The actions of people during the evacuation process is an uncertainty factor that affects the behavior of the entire group during the evacuation. Therefore, the study of the spread of panic behavior during a large-scale evacuation in combination with various uncertainty factors is an urgent task of anti-crisis management. This article is aimed at studying the process of spreading panic in the crowd during a mass evacuation. A system-dynamic model of mass evacuation has been constructed, which makes it possible to take into account many cause-and-effect relationships of the process under study, to obtain a qualitative justification to support managerial decision-making.

The relationship between the degree of spread of danger in a public building and the number of people in a panic state, the relationship between the speed of the movement of the crowd and the efficiency of evacuation was revealed. The results obtained confirm the significant influence of the psycho-emotional state of the crowd on the evacuation process.

Keywords: evacuation, panic, crowd, system dynamic model, evacuation efficiency

For citation: Kotkova E.A. System-dynamic model of panic spread during evacuation from public buildings // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 182–194.

Введение

На сегодняшний день уровень урбанизации во всем мире не стоит на месте. В каждом городе появляются новые объекты с массовым пребыванием людей, торгово-развлекательные комплексы и др. В частности, особенность новых торгово-развлекательных комплексов состоит в том, что в одном здании пытаются уместить как можно больше помещений, что, в свою очередь, приводит к усложнению внутренней планировки комплекса.

В случае возникновения пожара или другой чрезвычайной ситуации (ЧС) процесс эвакуации может быть затруднен из-за сложной планировки, так как многие посетители в экстренной ситуации могут и не вспомнить места расположения эвакуационных выходов. Данные факторы могут приводить к нестандартному и иррациональному поведению эвакуируемых в стрессовых ситуациях, у которых будет проявляться паническое состояние, что, в свою очередь, может приводить к снижению эффективности эвакуации и росту возможного количества жертв [1]. Кроме того, проблема усугубляется тем, что паническое состояние может распространяться в толпе, вызывая в целом у нее непредсказуемое поведение. В этой ситуации инстинкты подавляют социализированные навыки, а коллективные связи или социальные нормы ломаются, поскольку личное выживание становится наиважнейшей целью [2–4]. В результате проявляется эгоистичное и агрессивное паническое поведение, могут возникать конфликтные ситуации, чтобы достигнуть собственной безопасности [5].

В данных условиях существующие стандартные модели массовой эвакуации могут давать неадекватные результаты. Для повышения их адекватности необходимо учитывать данные факторы при моделировании. Необходимо констатировать, что в настоящее время существует достаточно мало исследований, затрагивающих вопросы распространения паники при моделировании эвакуации.

Разрешению данного противоречия посвящена данная статья, целью которой является исследование влияния распространения паники на эффективность эвакуации из общественных зданий. Весьма актуальной задачей антикризисного управления является изучение распространения паники среди людей во время эвакуации, значительно усиливающей факторы неопределенности в ЧС в сложных социальных системах.

Методы исследования

Время эвакуации людей при пожарах или ЧС из общественных зданий и размер возможного ущерба напрямую зависят от поведенческой реакции людей в процессе эвакуации.

Процесс эвакуации людей из здания с массовым пребыванием при возникновении паники будет значительно затруднен. Паника, в свою очередь, приводит к панической атаке (рис. 1), которая сопровождается страхом в сочетании с различными физическими симптомами, такими как: сердцебиение, учащённый пульс, потливость, озноб, тремор, ощущение нехватки воздуха, одышка, дискомфорт в левой половине грудной клетки, тошнота; головокружение, предобморочное состояние, страх смерти, ощущение онемения, спутанность мыслей [6, 7].



Рис. 1. Схема панической атаки

Особенность панической атаки заключается в том, что она достигает максимума в течение всего нескольких минут, при этом может длиться 10–20 мин, а затем внезапно проходит. Состояние паники может достаточно быстро проявляться у некоторых людей в экстремальной ситуации, быстро распространяться между другими эвакуируемыми, что приводит к нестандартному поведению. При недостаточности достоверной информации в процессе эвакуации эвакуируемые должны принимать оперативные решения в условиях временных ограничений. Это может заставить их действовать как большинство окружающих людей, многие из которых могут уже находиться в паническом состоянии, принимая неадекватные действия, вызывая при этом так называемый эффект «стадного поведения».

Ввиду своей актуальности, в настоящее время анализ процессов эвакуации вызывает практический интерес у многих ученых. Существует большое количество подходов и моделей эвакуации людей, которые были разработаны в последние годы и нашли свое широкое применение [8–12]. Существуют разные способы моделирования характеристик движения эвакуированных в ЧС, однако исследований, которые посвящены распространению паники и характеристикам движения эвакуируемых с учетом панической атаки, достаточно мало в общей массе.

На самом деле люди в процессе эвакуации представляют собой наибольшую неопределенность, так как их действия и решения хаотичны и напрямую зависят от эмоционального состояния. И действия каждого эвакуируемого в отдельности могут оказывать влияние на поведение всей толпы.

В процессе эвакуации могут образовываться группы людей со схожим эмоциональным состоянием, которых связывает одна цель и которые способны совершать разного рода поступки (конфликтные ситуации при борьбе за пространство в толпе, выбор другого эвакуационного пути и др.). Между людьми существуют сложные взаимодействия, которые имеют нелинейный характер [13]. Данные взаимодействия формируют групповую динамику поведения.

Существующие до настоящего времени модели эвакуации из общественных зданий не отражают групповую динамику поведения и взаимодействия между отдельными людьми и группами, что конечно сказывается на точности прогнозирования соответствующих показателей.

Вообще, построение модели поведения толпы при массовой эвакуации можно рассматривать на трех уровнях [14]:

- индивидуальная модель поведения каждого эвакуируемого;
- индивидуальная модель поведения эвакуируемого при взаимодействии с другим эвакуируемым;
- модель поведения эвакуируемых при объединении их в группу, то есть групповая модель поведения.

Для изучения динамических явлений при массовой эвакуации предлагается использовать системно-динамический подход. По сравнению с другими видами моделирования этот метод имеет особые преимущества при работе с неполными знаниями при принятии решений. Как уже отмечалось выше, изучение распространения паники при массовой эвакуации является крайне важным, но при этом достаточно сложно на количественном уровне интерпретировать взаимодействие людей в данной ситуации. Использование системно-динамического подхода позволит, по крайней мере, на качественном уровне описать эти взаимодействия и выявить закономерности такого взаимодействия на высоком уровне агрегирования (макроуровне).

Системно-динамический подход, предложенный впервые Дж. Форрестером [15, 16], позволяет использовать принципы обратной информационной связи при моделировании динамики функционирования сложных систем, которая во многом определяется структурой причинно-следственных связей между элементами сложной системы. Применение системно-динамического подхода позволяет строить модели систем с большим количеством фазовых переменных, объединенных большим количеством причинно-следственных связей, соединяя их в одно целое и давая возможность получить количественное обоснование в системах поддержки принятия управленческих решений [17].

Отличительной особенностью данного класса моделей является достаточно низкий уровень точности исходных данных, используемых при моделировании, высокая степень как внешней, так внутренней неопределенности (во многом она определяется значительным количеством учитываемых в модели факторов). В первую очередь данные модели направлены на понимание и исследование общей траектории развития и прогнозирования изменения состояний системы, а не на получение достаточно точных количественных значений. Но такая оценка развития системы под воздействием большого количества учитываемых факторов позволяет обосновывать различного рода управленческие решения.

Форма представления системно-динамических моделей состоит в системе обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка в пространстве состояний. Для сложных систем с большим количеством фазовых переменных сразу составить систему дифференциальных уравнений не всегда является тривиальной задачей. Гораздо проще это реализовать через подход, который заключается в подробном описании всей совокупности причинно-следственных связей между различными элементами (подсистемами), входящими в состав системы, которые будут представлять собой переменные состояния (фазовые переменные). Данный инструмент реализован в ряде современных систем имитационного моделирования [18].

Основой для построения системно-динамических моделей являются знания экспертов об исследуемой системе. Именно эксперты формируют множество факторов, включаемых в описание динамики состояний исследуемой системы, а также определяют причинно-следственные связи между ними.

Результаты исследования

В целом в рассматриваемой системе эвакуации можно выделить три базовых подсистемы, которые взаимодействуют между собой, формируют и определяют весь процесс эвакуации людей (рис. 2):

- толпа перемещающихся людей;
- внешняя среда, формирующая риски угрозы для людей (ЧС, пожар). Внешняя среда (СР) отражает негативные воздействия на людей в результате наступления ЧС или пожара, которые могут привести к возникновению паники и ее дальнейшему распространению среди толпы. Действительно, люди, находящиеся в нормальном эмоциональном состоянии, соблюдают большинство требований в процессе эвакуации и принимают адекватные решения, в то время как люди, находящиеся в паническом состоянии, могут принимать неверное направление эвакуации, передавать паническое состояние окружающим людям, то есть запускать процесс «заражения». Увеличение количества людей в состоянии паники, естественно, приводит к снижению адекватности принимаемых решений толпы в целом и, как следствие, к снижению эффективности эвакуации;
- подсистема управления эвакуацией (модуль принятия решений, МПР), которая может влиять на действия эвакуируемых и в некоторой степени контролировать распространение паники за счет координации действий эвакуируемых в условиях опасности путем оповещения людей с использованием различных технических средств (звуковое и речевое оповещение, световые табло, указатели и др.).

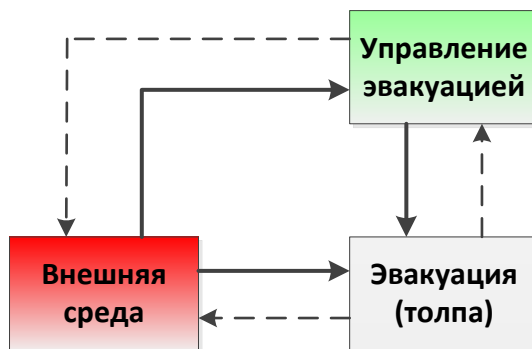


Рис. 2. Структурная схема системы эвакуации

На основе применения метода декомпозиции первую из данных подсистем можно еще разделить на ряд взаимодействующих элементов:

- общее количество эвакуируемых из здания (ОКЭ);
- количество людей, находящихся в паническом состоянии (ПС);
- количество людей, находящихся в нормальном эмоциональном состоянии (НЭС);
- коэффициент точности (КТ) выбора направления движения толпы в целом, то есть для людей, находящихся в НЭС, так и под действием панических атак;
- скорость эвакуации (СЭ), то есть скорость движения толпы;
- интенсивность эвакуации (ИЭ), то есть количество людей, успешно переместившихся в безопасную зону через выход определенной ширины в секунду;

– коэффициент эвакуации (КЭ), то есть отношение числа людей, успешно эвакуированных в безопасное место, к общему числу находившихся людей в здании. КЭ отражает эффективность эвакуации.

Из-за достаточной сложности интерпретации взаимодействия группового поведения для подобной сложной системы весьма существенным становится качественный метод, в котором взаимодействие между различными элементами может быть просто описано следующим образом.

Существует три вида взаимодействия между различными элементами, которые можно описать так:

- положительное воздействие, которое обозначается знаком «+»;
- нейтральное воздействие, то есть не оказывается никакого влияния одного элемента на другой, и обозначается «0»;
- отрицательное воздействие, которое обозначается знаком «-».

Например, рассмотрим взаимодействие между эмоциональным состоянием людей в процессе эвакуации и СЭ. Увеличение количества людей, находящихся в НЭС, приводит к увеличению СЭ. Поэтому параметр НЭС оказывает положительное влияние на параметр СЭ, что отражается в виде знака «+» (рис. 3). Увеличение количества людей в состоянии паники снижает значение КТ выбора направления движения толпы. По этой причине параметр ПС оказывает отрицательное влияние на параметр КТ, что отражается в виде знака «-». Аналогичным образом могут быть получены другие взаимодействия между элементами системы эвакуации.

На основе проведенной идентификации элементов системы эвакуации, возможных взаимодействий между ними была сформирована схема причинно-следственных связей системы эвакуации людей из общественных зданий (рис. 3).

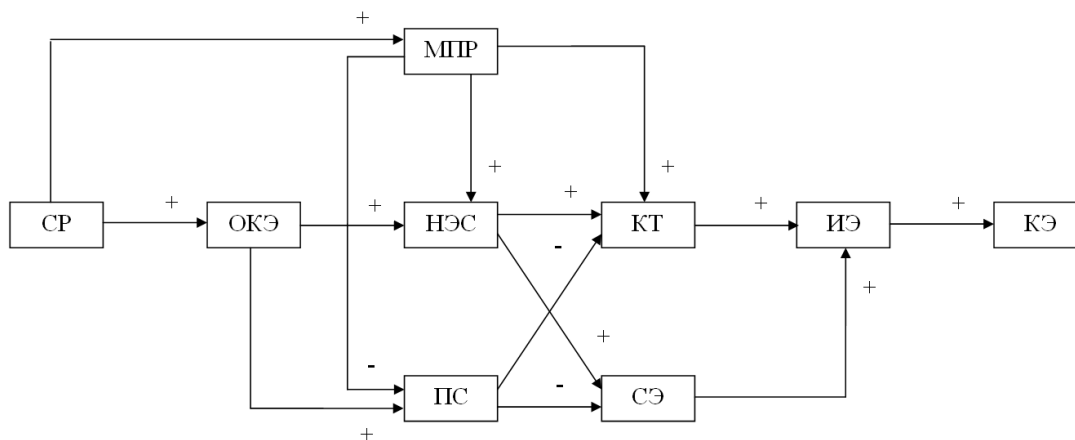


Рис. 3. Схема причинно-следственных связей процесса эвакуации

Из данной структуры видно, что взаимодействие между внешней средой, подсистемой управления эвакуацией и толпой эвакуирующихся фактически представлено множеством колец обратной связи.

Данная системно-динамическая модель была реализована в системе имитационного моделирования AnyLogic. Исследование модели было проведено для анализа взаимодействия различных элементов друг с другом, в частности, влияние управления эвакуацией на паническое состояние толпы.

Согласно схеме причинно-следственных связей исследуемой системы основные переменные и параметры модели, соответствующие введенным элементам, задавались следующим образом (табл.).

Рассматриваемая структура системы (рис. 2) позволяет только приблизительно знать механизм обратной связи между различными элементами через их причинно-следственные связи. Создание имитационной модели, реализующей системно-динамический подход,

позволяет количественно описать эту обратную связь через систему дифференциальных уравнений и получить динамику процесса.

Таблица. Исходные данные для моделирования

Параметр	Значение и обоснование
CP	Диапазон значения параметра от 0 до 1. Значение отражает степень бедствия. Чем ближе CP к 1, тем выше уровень опасности. Значение параметра CP постепенно увеличивается со временем, что отражает развитие степени опасности, например, распространение опасных факторов пожара
ОКЭ	С распространением и развитием пожара будет постепенно увеличиваться количество сегментов здания, находящихся в опасности, что будет приводить к увеличению количества эвакуирующихся. То есть значение параметра ОКЭ зависит от параметра CP. Начальное значение ОКЭ было выбрано в количестве 1 500 человек
МПП	Диапазон значения параметра от 0 до 1. Чем выше значение МПП, тем больше спасательных указаний требуется при эвакуации. На необходимость об информировании толпы и регулировании процесса эвакуации и спасения влияет уровень опасности (то есть элемент CP). То есть чем выше значение параметра CP, тем больше будет значение МПП
НЭС	Параметр НЭС представляет количество агентов в нормальном состоянии, не подвергнувшихся панике. Начальное значение НЭС в модели было принято 1 000 человек
ПС	Параметр ПС, отражающий количество людей, перешедших в состояние паники, которые формируют нестандартное поведение в процессе эвакуации. Начальное значение ПС в модели было принято 50 человек
КТ	Параметр КТ представляет коэффициент точности направления эвакуации всей толпы в целом. Предположим, что P_1 – вероятность того, что люди, находящиеся в нормальном состоянии, выбирают правильное направление эвакуации, а P_2 – вероятность того, что люди, находящиеся в состоянии паники, выбирают правильное направление эвакуации. АВН имеет вероятность того, что P_2 выберет правильное направление, тогда: $КТ = (НЭС \cdot P_1 + ПС \cdot P_2) / ОКЭ.$ Значения вероятностей P_1 и P_2 , очевидно, зависят от МПП, поскольку при правильном управлении эвакуацией и оповещении с использованием различных технических средств значения данных вероятностей будут увеличиваться
СЭ	Начальное значение параметра СЭ было принято 1 м/с. Когда толпа будет постепенно переходить в состояние паники, то значение СЭ будет увеличиваться, в силу того, что эвакуирующиеся будут в большей степени стремиться убежать из опасной зоны
ИЭ	Параметр ПЭ (интенсивность эвакуации) отражает количество людей, успешно эвакуирующихся через выход определенной ширины за секунду (в данном случае в модели рассматривалась ширина выхода 6 м)
КЭ	Параметр КЭ представляет собой соотношение людей, успешно эвакуированных в безопасное место, к общему количеству эвакуируемых

При построении системно-динамической модели оперируем тремя основными группами переменных:

- переменные, задающие значения уровня (накопители);
- переменные, отражающие скорости протекания процессов;
- вспомогательные переменные.

Переменные уровня используются для описания мгновенного состояния элемента в системе, они формируются под воздействием входных и выходных переменных скоростей протекания процессов. Вспомогательные переменные используются для выполнения дополнительных алгебраических операций или для описания нелинейных отношений некоторых переменных.

Параметры КТ, СЭ, ИЭ и КЭ в данной модели рассматривались в качестве переменных скорости протекания процесса. Переменные ОКЭ, НЭС, ПС являются фазовыми переменными, которые отражают изменения состояния системы во времени, то есть это переменные уровня (накопители). Параметры СР и МПР, оказывающие влияние на состояния системы эвакуации, также рассматривались как переменные уровня.

При исследовании построенной модели был проведен анализ зависимости между степенью распространения опасности и количеством людей, находящихся в ПС. В первом случае предполагалось, что отсутствует модуль поддержки решений, то есть не осуществлялось никакое регулирование потока эвакуирующихся и его оповещение (результаты представлены на рис. 4). Результаты исследования показывают, что при отсутствии МПР паника в толпе будет постепенно распространяться (с начального значения в 50 чел.), а затем по мере распространения опасности при распространении площади пожара в здании будет иметь экспоненциальный рост. То есть приходим к ситуации неконтролируемого состояния паники.

В процессе эвакуации люди, поддавшиеся панике или находящиеся в состоянии сильного эмоционального возбуждения, будут двигаться с увеличением скорости, хаотично в поисках эвакуационного выхода. Из-за этого в большом скоплении людей (толпе) будут возникать конфликтные ситуации, что явно не будет повышению эффективности эвакуации.

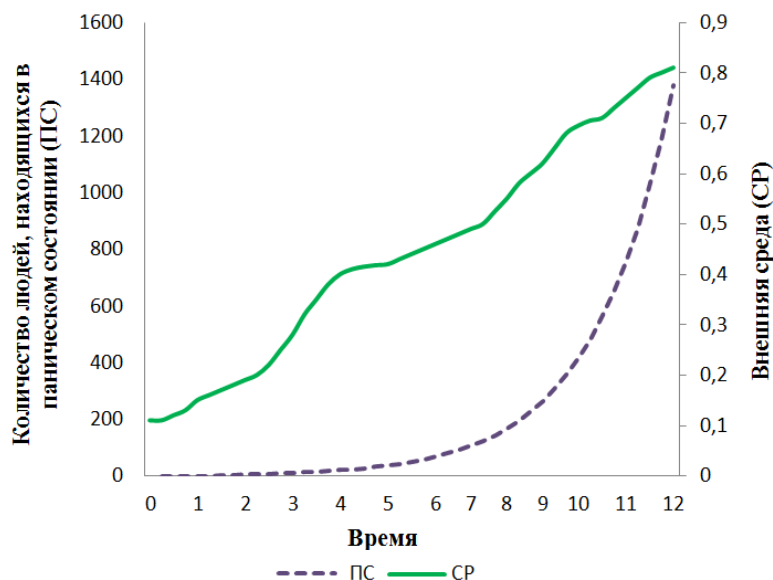


Рис. 4. Взаимосвязь между степенью распространения опасности и количеством людей в ПС (в отсутствии модуля поддержки решений)

При наличии модуля поддержки решений явно наблюдается сдерживающий эффект, не позволяющий развитию ПС перейти в неконтролируемое состояние (эмоцию) (рис. 5). Результаты показывают, что количество людей, находящихся в ПС, будет постепенно снижаться до контролируемого уровня. Из-за взаимосвязи между степенью развития опасности и уровнем оповещения и регулирования потока эвакуирующихся значение параметра МПР будет увеличиваться по мере роста параметра СР. Если интенсивность оповещения и управления толпой будет увеличена, то это, несомненно, будет позитивно влиять на состояние толпы и обеспечивать ее адекватное поведение в процессе эвакуации. Данные факторы обосновывают соответствие полученных результатов реальной ситуации. Также по причине того, что во всей толпе в целом доля людей в ПС в начальный момент времени значительно меньше доли людей в НЭС ($\text{НЭС} \gg \text{ПС}$), то при качественном управлении и регулировании потока эвакуирующихся будет получена ситуация, когда большинство людей, находящихся в нормальном эмоциональном состоянии, поведут

за собой паникующих людей, что постепенно приведет к снижению их количества. То есть в данном случае удастся управлять процессом распространения паники в толпе.

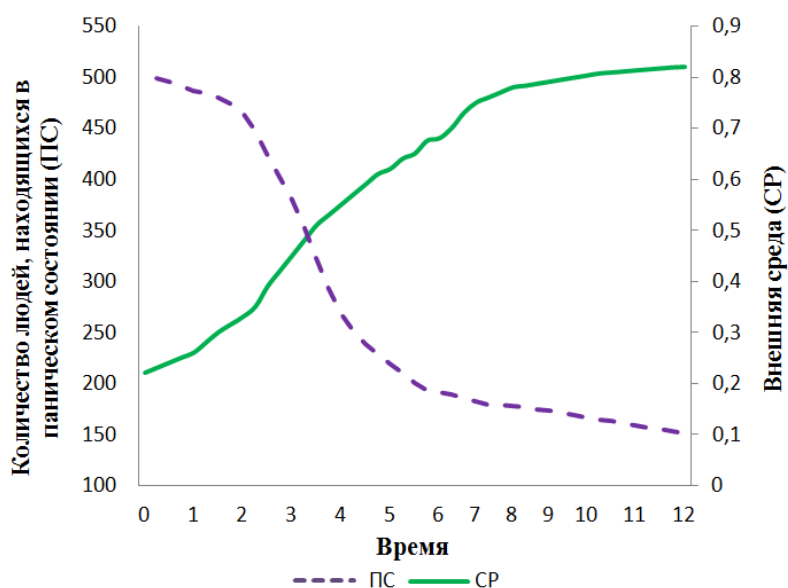


Рис. 5. Взаимосвязь между степенью распространения опасности и количеством людей в ПС (при наличии модуля поддержки решений)

Однако в случае, если значение параметра ПС не будет значительно меньше параметра НЭС, можно получить совершенно другие результаты, что требует дополнительных исследований данной модели.

Далее было проанализировано влияние распространения паники в толпе на эффективность эвакуации. Действительно, параметр ИЭ, отражающий интенсивность выхода толпы через эвакуационный выход в безопасную зону, в определенной степени может рассматриваться в качестве показателя эффективности эвакуации. Для демонстрации возможностей модели и проведения расчетов по эвакуации людей из общественного здания было предложено рассмотреть эвакуационный выход шириной 6 м. В состоянии паники или сильного эмоционального возбуждения, с одной стороны, у толпы будет увеличиваться скорость движения, с другой стороны, будет снижаться КТ направлении движения толпы из здания. На рис. 6 представлены результаты взаимосвязи между СЭ и ИЭ.

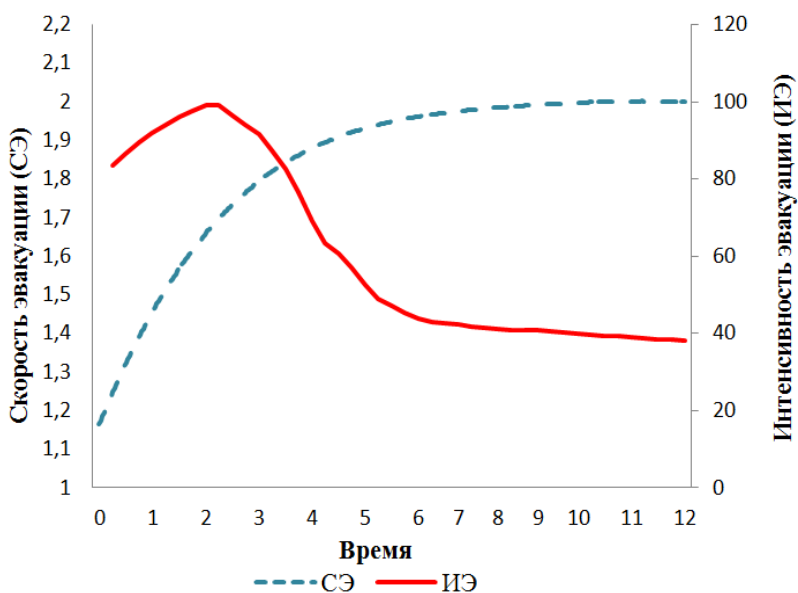


Рис. 6. Взаимосвязь между скоростью толпы и интенсивностью эвакуации

Результаты показывают, что когда значение СЭ находится в диапазоне от 1,5 до 1,7 м/с, значение показателя интенсивности ИЭ является наиболее высоким. С дальнейшим ростом СЭ эффективность эвакуации будет уменьшаться. Обоснование данного результата состоит в следующем. Начальное значение СЭ составляло 1 м/с, что соответствует средней скорости ходьбы человека. По мере роста площади пожара в здании и опасности, люди будут стараться добраться до безопасной зоны как можно быстрее, тем самым будет увеличиваться средняя скорость потока. Как результат будет увеличиваться ИЭ, достигая наибольшего значения при скорости потока 1,5–1,7 м/с. Однако дальнейшее увеличение СЭ будет приводить к росту паники в толпе, образованию скопления людей у эвакуационного выхода, что будет вызывать появление конфликтов в толпе. В итоге ИЭ, напротив, начнет уменьшаться, что будет соответствовать снижению эффективности массовой эвакуации.

Заключение

Несмотря на то, что в настоящее время проведено значительное количество исследований в области моделирования процесса эвакуации из зданий с массовым пребыванием людей, вопросы влияния психоэмоционального состояния толпы на эффективность эвакуации, а также вопросы управления этим состоянием не в полной мере исследованы.

Система массовой эвакуации относится к категории сложных систем, в которой существует множество элементов, имеющих сложные нелинейные взаимодействия друг с другом [19]. В процессе эвакуации есть люди, находящиеся в нормальном эмоциональном состоянии, принимающие адекватные решения в условиях опасности. Однако могут быть и люди, впадающие в паническое состояние, поведение которых в условиях стресса может существенно отличаться, что приводит к снижению эффективности эвакуации.

Смоделировать такую сложную систему с множеством причинно-следственных связей и оценить динамику процесса эвакуации на качественном уровне оказывается возможным с использованием имитационного моделирования, реализующего системно-динамический подход [20].

Существенным ограничением в разработанной модели является возможность оценить результаты исключительно на качественном уровне. Оценку достоверности полученных результатов модели разумно проводить в сравнении с известными результатами других исследований. В частности, получено, что результаты моделирования достаточно хорошо согласуются с исследованием [21], где показано, что значительное увеличение скорости эвакуирующейся толпы приводит к снижению эффективности эвакуации.

Полученные результаты подтверждают значительное влияние психоэмоционального состояния толпы на процесс эвакуации. Таким образом, очень важным является управление распространением паники в толпе для контроля скорости и направления ее движения при пожаре в общественных зданиях для обеспечения своевременной и безопасной эвакуации.

Список источников

1. Касьяник П.М. Современные зарубежные исследования поведения толпы в экстремальных ситуациях // Прикладная юридическая психология. 2014. № 3. С. 157–164.
2. Комлев В.А. Прогнозирование поведенческих феноменов. Базовые подходы // Прикладная юридическая психология. 2011. № 4. С. 15–22.
3. Zia K., Ferscha A. An agent-based model of crowd evacuation: combining individual, social and technological aspects // Proceedings of the 2020 ACM SIGSIM conference on principles of advanced discrete simulation. 2020. С. 129–140.
4. Голубева С.Н., Матюшин А.В., Порошин А.А. Психологические факторы возникновения паники при пожарах: состояние и степень исследования проблемы // Пожарная безопасность. 2006. № 3. С. 82–87.

5. Quarantelli E.L. Statistical and conceptual problems in the study of disasters // *Disaster Prevention and Management*. 2001. V. 10. P. 325–338.
6. Липовая О.А., Соколовский Г.В. Психологические особенности панических атак // *Вестник Таганрогского Государственного педагогического института*. 2017. № 1. С. 57–60.
7. Интернет-служба экстренной психологической помощи МЧС России. Что такое паническая атака и как ее преодолеть? URL: <https://psi.mchs.gov.ru/psihologicheskaya-sluzhba/stati/chto-takoe-anicheskaya-ataka-i-kak-ee-preodolet> (дата обращения: 11.02.2022).
8. Парфененко А.П. Методология моделирования людских потоков и практика программирования их движения при эвакуации // *Пожаровзрывобезопасность*. 2014. Т. 23. № 12. С. 46–55.
9. Matveev A.V. The model of the process of emergency evacuation from the building while using the self-rescue equipment in case of the fire // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. 13(15). 4535–4542.
10. Колодкин В.М., Чирков Б.В., Ваштиев В.К. Модель движения людских потоков для управления эвакуацией при пожаре в здании // *Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки*. 2015. Т. 25. № 3. С. 430–438.
11. Мультиагентная модель процесса эвакуации людей из помещений при возникновении чрезвычайных ситуаций / А.А. Самарцев [и др.] // *Управление большими системами: сб. трудов*. 2018. № 72. С. 217–244.
12. Холщевников В.В., Парфененко А.П. Сопоставление различных моделей движения людских потоков и результатов программно-вычислительных комплексов // *Пожаровзрывобезопасность*. 2015. Т. 24. № 5. С. 68–75.
13. Калачин С.В. Прогнозирование распространения паники среди людей при эвакуации из здания во время пожара // *Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 10. С. 77–82. DOI 10.24000/0409-2961-2020-10-77-82.
14. Crowd models for emergency evacuation: A review targeting human-centered sensing / J. Radianti [et al.] // *46th Hawaii international conference on system sciences*. IEEE, 2013. P. 156–165.
15. Форрестер Д. *Мировая динамика*: пер. с англ. М.: Изд-во АСТ; СПб.: Terra Fantastica, 2003. 379 с.
16. Коломыцева А.О. Трансформация моделей системной динамики Дж. Форрестера для анализа сложных систем взаимодействия // *Вестник МНЭПУ*. 2019. Т. 1. № 5. С. 66–69.
17. Брынцев В.А. Системно-динамический подход как новая научная парадигма // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2009. № 1. С. 16–25.
18. Мезенцев К.Н. Создание моделей системной динамики в программе AnyLogic 6.4.1 // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2014. № 2. С. 39–43.
19. Матвеев А.В. Организационные и методические аспекты обеспечения безопасности потенциально опасных объектов. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 144 с.
20. Коткова Е.А., Матвеев А.В. Методика интеллектуального прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей из общественных зданий // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России»*. 2021. № 4. С. 107–120.
21. Evacuation behaviors at exit in CA model with force essentials: A comparison with social force model / S. Wei-Guo [et al.] // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2006. V. 371. №. 2. P. 658–666.

References

1. Kas'yanik P.M. Sovremennye zarubezhnye issledovaniya povedeniya tolpy v ekstremal'nyh situatsiyah // *Prikladnaya yuridicheskaya psihologiya*. 2014. № 3. S. 157–164.
2. Komlev V.A. Prognozirovaniye povedencheskih fenomenov. Bazovye podhody // *Prikladnaya yuridicheskaya psihologiya*. 2011. № 4. S. 15–22.

3. Zia K., Ferscha A. An agent-based model of crowd evacuation: combining individual, social and technological aspects // *Proceedings of the 2020 ACM SIGSIM conference on principles of advanced discrete simulation*. 2020. S. 129–140.
4. Golubeva S.N., Matyushin A.V., Poroshin A.A. Psihologicheskie faktory vozniknoveniya paniki pri pozharah: sostoyanie i stepen' issledovaniya problemy // *Pozharnaya bezopasnost'*. 2006. № 3. S. 82–87.
5. Quarantelli E.L. Statistical and conceptual problems in the study of disasters // *Disaster Prevention and Management*. 2001. V. 10. P. 325–338.
6. Lipovaya O.A., Sokolovskij G.V. Psihologicheskie osobennosti panicheskikh atak // *Vestnik Taganrogskogo Gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta*. 2017. № 1. S. 57–60.
7. Internet-sluzhba ekstremnoj psihologicheskoy pomoshchi MCHS Rossii. Chto takoe panicheskaya ataka i kak ee preodolet'? URL: <https://psi.mchs.gov.ru/psihologicheskaya-sluzhba/stati/chto-takoe-anicheskaya-ataka-i-kak-ee-preodolet> (data obrashcheniya: 11.02.2022).
8. Parfenenko A.P. Metodologiya modelirovaniya lyudskih potokov i praktika programmirovaniya ih dvizheniya pri evakuacii // *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2014. T. 23. № 12. S. 46–55.
9. Matveev A.V. The model of the process of emergency evacuation from the building while using the self-rescue equipment in case of the fire // *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. 13(15). 4535–4542.
10. Kolodkin V.M., Chirkov B.V., Vashtiev V.K. Model' dvizheniya lyudskih potokov dlya upravleniya evakuaciej pri pozhare v zdanii // *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Komp'yuternye nauki*. 2015. T. 25. № 3. S. 430–438.
11. Mul'tiagentnaya model' processa evakuacii lyudej iz pomeshchenij pri vozniknovenii chrezvychajnyh situacij / A.A. Samarcev [i dr.] // *Upravlenie bol'shimi sistemami: sb. trudov*. 2018. № 72. S. 217–244.
12. Holshchevnikov V.V., Parfenenko A.P. Sopostavlenie razlichnyh modelej dvizheniya lyudskih potokov i rezul'tatov programmno-vychislitel'nyh kompleksov // *Pozharovzryvbezopasnost'*. 2015. T. 24. № 5. S. 68–75.
13. Kalachin S.V. Prognozirovanie rasprostraneniya paniki sredi lyudej pri evakuacii iz zdaniya vo vremya pozhara // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2020. № 10. S. 77–82. DOI 10.24000/0409-2961-2020-10-77-82.
14. Crowd models for emergency evacuation: A review targeting human-centered sensing / J. Radianti [et al.] // *46th Hawaii international conference on system sciences*. IEEE, 2013. P. 156–165.
15. Forrester D. Mirovaya dinamika: per. s angl. M.: Izd-vo AST; SPb.: Terra Fantastica, 2003. 379 s.
16. Kolomyceva A.O. Transformaciya modelej sistemnoj dinamiki Dzh. Forrestera dlya analiza slozhnyh sistem vzaimodejstviya // *Vestnik MNEPU*. 2019. T. 1. № S. S. 66–69.
17. Bryncev V.A. Sistemno-dinamicheskij podhod kak novaya nauchnaya paradigma // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik*. 2009. № 1. S. 16–25.
18. Mezencev K.N. Sozdanie modelej sistemnoj dinamiki v programme AnyLogic 6.4.1 // *Promyshlennye ASU i kontrollery*. 2014. № 2. S. 39–43.
19. Matveev A.V. Organizacionnye i metodicheskie aspekty obespecheniya bezopasnosti potencial'no opasnyh ob'ektov. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 144 s.
20. Kotkova E.A., Matveev A.V. Metodika intellektual'nogo prognozirovaniya effektivnosti upravleniya evakuaciej lyudej iz obshchestvennyh zdaniy // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2021. № 4. S. 107–120.
21. Evacuation behaviors at exit in CA model with force essentials: A comparison with social force model / S. Wei-Guo [et al.] // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2006. V. 371. № 2. P. 658–666.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 28.02.2022; одобрена после рецензирования: 01.03.2022;
принята к публикации: 05.03.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 28.02.2022; approved after review: 01.03.2022;
accepted for publication: 05.03.2022

Информация об авторах:

Елизавета Александровна Коткова, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации, СПб университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149), e-mail: kotkovaelizaveta23@gmail

Information about the authors:

Elizabeth A. Kotkova, adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: kotkovaelizaveta23@gmail

УДК 574.53.013

ВЛИЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРООПАСНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ СМЕСИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ НА УТОЧНЕНИЕ КЛАССА ИХ ОПАСНОСТИ

**Анна Романовна Сай[✉], Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия**
[✉]a-novik@mail.ru

Аннотация. Захоронению на полигоне твердых коммунальных отходов подлежат отходы, образующиеся в результате повседневной деятельности в жилых домах, офисах, утратившие свои потребительские свойства.

В ходе проведенного исследования был проанализирован морфологический состав твердых коммунальных отходов и их пожароопасные свойства. Морфологический состав отходов достаточно разнообразен, на него влияет много факторов, к примеру, социально-экономического положения региона, в котором расположен полигон твердых коммунальных отходов, климатические условия. Анализ показал, что с течением времени морфологический состав менялся, что отражается на свойствах отходов. С изменением морфологического состава изменяется пожароопасность отходов. Пожароопасность отходов зависит от процессов, протекающих в теле полигона, которые, в свою очередь зависят от плотности, температуры окружающей среды, «возраста» отходов, влажности, и, конечно же, от морфологического состава отходов. В проведенном исследовании проанализированы факторы, влияющие на температуру самовоспламенения. Испытания проводились путем помещения подготовленных образцов в муфельную печь. Для обеспечения возможности доступа кислорода топочная камера оставалась открытой. В ходе проведения эксперимента проводилась фиксация параметров (температуры) с помощью пирометра. Были исследованы «свежие» и «старые отходы».

Ключевые слова: морфологический состав, твердые коммунальные отходы, пожарная опасность

Для цитирования: Сай А.Р. Влияние показателей пожароопасности отдельных морфологических компонентов смеси твердых коммунальных отходов на уточнение класса их опасности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 195–203.

INFLUENCE OF FIRE HAZARD INDICATORS OF INDIVIDUAL MORPHOLOGICAL COMPONENTS OF A MIXTURE OF SOLID MUNICIPAL WASTE ON CLASS REFINEMENT THEIR DANGERS

**Anna R. Say[✉], Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,
Saint-Petersburg, Russia**
[✉]a-novik@mail.ru

Abstract. Waste generated as a result of daily activities in residential buildings and offices that have lost their consumer properties are subject to disposal at the municipal solid waste landfill.

In the course of the study, the morphological composition of the municipal solid waste and their fire hazardous properties were analyzed. The morphological composition of waste is quite diverse, its composition is influenced by many factors, for example, the socio-economic situation of the region in which the municipal solid waste landfill is located, climatic conditions. The analysis showed that over time the morphological composition changed, which is reflected in the properties

of the waste. With a change in the morphological composition, the fire hazard of waste also changes. The fire hazard of waste depends on the processes occurring in the body of the landfill, which in turn depend on the density, ambient temperature, «age» of the waste, humidity, and, of course, on the morphological composition of the waste. In the study, these factors that affect the autoignition temperature are analyzed. The tests were carried out by placing the prepared samples in a muffle furnace. To ensure oxygen access, the combustion chamber remained open. During the experiment, the parameters (temperature) were recorded using a pyrometer. «Fresh» and «old waste» were investigated.

Keywords: morphological composition, solid municipal waste, fire hazard

For citation: Say A.R. Nfluence of fire hazard indicators of individual morphological components of a mixture of solid municipal waste on class refinement their dangers // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 1. P. 195–203.

Введение

На территории Российской Федерации насчитывается 8 323 несанкционированных свалок и полигонов, из которых не все являются официальными и зарегистрированными. В Москве и Московской области зарегистрировано 19 полигонов, в Санкт-Петербурге и Ленинградской области – 21, в Архангельской области – 5, в Красноярском крае – 36, в Свердловской области – 39 полигонов и т.д. [1].

Морфологический состав твердых коммунальных отходов (ТКО) достаточно разнообразен и зависит от многих факторов, таких как время года, климатические условия, плотность складирования, благосостояние населения.

Началом изучения и анализа ТКО можно считать XX в., до этого времени сведений о составе ТКО нет. Морфологический состав ТКО отличается как: в России, так и за рубежом. В табл. 1 и 2 представлен состав отходов нескольких городов в начале 1920-х гг. [2].

Таблица 1. Морфологический состав коммунальных отходов г. Лондона 1924 г.

№ п/п	Фракция	% мас.
1	Углеродосодержащие отходы	25,65
2	Пищевые отходы	0,37
3	Ткань, ветошь	0,40
4	Бумага, волокнистые материалы	13,15
5	Зола	47,00
6	Пыль и грязь	9,75
7	Металлы	0,68
8	Стекло	2,57
Итого		99,97

Из данных в табл. 1, 2 видно, что состав ТКО отличается, однако количество бумаги, пищевых отходов находится в преобладающем количестве. В послевоенные годы состав отходов тоже отличался, первые данные по составу появились в начале 50-х гг., а во время Второй мировой войны учет состава отходов не велся. Из анализа довоенного и послевоенного времени прослеживалось, что состав зависел от места расположения города и уровня жизни населения.

С изменением условий жизни общества в составе ТКО постепенно увеличивалось количество полимерных, упаковочных материалов (пластмасса, пластик), что сказалось на снижении их плотности (табл. 3–5).

Таблица 2. Морфологический состав ТКО городов СССР 20-х гг.

№	Фракция	% масс. по сухому весу				
		Москва 1926–1930 гг.	г. Одесса 1929–1931 гг.	г. Баку 1927 г.	Москва 1949–1953 гг.	Ленинград 1951–1954 гг.
1	Дерево	7,0–7,2	2,2	0,6	1,4	5,7
2	Бумага	16,4–17,2	6,7	6,4	15,5	14,7
3	Текстиль	2,5–4,3	1,8	4,5	1,1	4,7
4	Пищевые отходы	16,5–28,2	17,7	6,4	32	6,9
5	Уголь, шлаки	1,0–3,1	3,2	0,2	-	0,2
6	Кости	2,3–3,5	1,0	2,2	0,4	5,2
7	Металл	1,1–1,6	0,9	0,5	1,7	6,1
8	Камни	3,6–8,3	8,9	2,9	6,1	7,9
9	Стекло	1,6	–	–	1,3	5,9
10	Мелкий отсев (3 мм)	16,3–22,0	28,8	24,3	40,5	28,2
11	Крупный отсев (15 мм)	19,6–24,5	24,3	9,0		13,5
Влажность общая в %		47	35,0	Нет данных	Нет данных	47
Итого		–	95,5	56,9	100	99

Таблица 3. Морфологический состав ТКО Москвы, % масс.

Компонент	[5]	[3]	По методике АКХ ¹ [6]	По методике [4]	Расчетный состав
Бумажные отходы	20	17,42	19,7/18,67	16–20	18
Дерево	1		0,88/0,75	16–20	1
Текстиль	2	2,14	4,26/4,26 ²	2,5–5,5	4
Кожа, резина	1		0,81/0,74	2,5–5,5	1
Металл	3	2,38	1,83/1,32	1,8–4	16
Стекло	17	15,44	16,82/14,29	7–15	
Камни	1		0,98/0,93	(в основном стекло)	
Пластмасса	14	13,39	14,21/12,68	15–26	15 ²
Пищевые отходы	18	38,36	18/7,84	5–11	11
Отсев/мелкая фракция	11		10,41 ³ /0	32–38	34
Прочее	13	10,87	12,1/6,69		

1 – в числителе общее содержание, в знаменателе – отходы более 50 мм; 2 – включая памперсы; 3 – отсев < 15 мм

Таблица 4. Морфологический состав ТКО Санкт-Петербурга [7]

Тип ТКО	Относительная доля от общего количества, % масс.
Органические отходы	27,4
Бумага и картон	21,5
Цветные металлы	3,8
Черные металлы	0,8
Стекло	8,9

Тип ТКО	Относительная доля от общего количества, % масс.
ПЭТ (Полиэтилентерефталат – термопластик)	3,4
Пластик высокого давления	1,0
Полиэтиленовые пленки	7,4
Другие пластики	2,5
Текстиль, кожа, резина	4,3
Дерево	2,5
ПВХ (Поливинилхлорид)	0,1
Инертные материалы	12,8
Прочие материалы	2,8
Итого	100

Преобладающее количество отходов занимают пищевые отходы, бумага, пластик.

Таблица 5. **Морфологический состав ТКО г. Петрозаводска за летний и осенний период 2017 г. [8]**

Фракция	Летний период сбора/осенний период сбора				
	Масса, кг	Объем, м ³	Плотность, кг/м ³	% по массе	% по объему
ПЭТ-бутылки	25/11,2	0,765/0,245	35,05/45,7	1,20/2,8	5,8/8,3
Пластик	28,7/15,2	0,4/0,320	68,29/47,5	1,38/3,7	3,0/10,8
Полиэтилен	15,3/20,2	0,285/0,429	53,79/47,1	0,74/5,0	2,2/14,6
Пенополистирол	2,9/5,3	0,178/0,109	16,28/48,9	0,14/1,3	1,4/3,7
Упаковочные пакеты	6	0,127	47,18	0,29	1
Tetra-Pak	15,3/9,8	0,29/0,226	52,59/43,4	0,74/2,4	2,2/7,7
Rampers	14/15,3	0,049/0,069	285,35/221,7	0,67/3,8	0,4/2,3
Стекло	89/54,3	0,401/0,169	274,31/321,3	4,28/13,4	3,1/5,8
Алюминиевые банки	1,55/1,3	0,049/0,047	31,59/27,7	0,07/0,3	0,4/1,6
Жесть	31/2,8	0,149/0,059	236,73/47,5	1,49/0,7	1,1/2,0
Ветошь	84,4/12,1	0,747/0,075	154,32/161,3	4,06/3	5,7/2,6
Картон/бумага	106/36	1,787/0,634	59,77/56,8	5,10/8,9	13,6/21,5
Дерево	55,7	0,44	126,59	2,68	3,4
Несортируемые отходы	1075,45/78,5	5,41/0,209	198,79/375,6	51,70/19,3	41,2/7,1
Пищевые отходы	529,7/129,5	2,04/0,287	260/451,2	25,47/31,9	15,6/9,7
Керамика	-/1,5	-/0,003	-/500	-/0,4	-/0,1
Медикаменты	-/2,1	-/0,003	-/666,7	-/0,5	-/0,1

В результате проведенного анализа научно-технической литературы можно предложить следующую научную гипотезу: для объективного обоснования назначения класса опасности смеси ТКО [9] необходимо учитывать показатели пожароопасности ее отдельных компонентов. Таким образом, целью исследования было изучение влияния

показателей пожароопасности отдельных компонентов морфологического состава ТКО на класс их опасности.

Методы исследования

В ходе исследования применялись эмпирические методы исследования: метод изучения различных источников информации, анализа полученных сведений, наблюдение и эксперимент.

Характеристика ТКО необходима для определения класса опасности отходов. В соответствии с Федеральным законом от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» определяют пять классов опасности отходов, класс отходов зависит от степени негативного воздействия на окружающую среду и ГОСТ Р 53691–2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I–IV класса опасности. Основные требования». Степень воздействия определяется критериями, которые, определяются соответствующим федеральным органом исполнительной власти, регулирующим данный вопрос.

Приказ Росприроднадзора от 22 мая 2017 г. № 242 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» определяет ТКО как 7 31 000 00 00 0, например, 7 31 110 01 72 4 и 7 31 110 02 21 5 – где класс опасности присваивается 4 или 5 (малоопасные и практически не опасные).

Пожароопасности отходов в течение длительного времени не уделялось значительного внимания, как и морфологическому составу ТКО. В составе ТКО до сих пор преобладает большой процент пожароопасных веществ и материалов, основные из которых представлены в табл. 6 [9].

В соответствии с ГОСТ 12.1.044–2018 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» определяется пожароопасность отходов для паспорта отходов. Пожаровзрывоопасность морфологического состава отходов представлена в табл. 6.

Таблица 6. Показатели пожароопасности отдельных компонентов морфологического состава ТКО [10]

Материал	Группа горючести	Температура воспламенения	Температура самовоспламенения	Температура тления
Бумага	Горючий	230 °С	230 °С	360 °С
Картон гофрированный	Горючий	258 °С	427 °С	258 °С
Резина	Горючее	275 °С	350 °С	
Древесина	Горючая	255 °С	399 °С	295 °С
Полистирол	Горючий	345–360 °С	484–496 °С	
Стекло органическое	Горючий материал	260 °С	460 °С	100 °С
Шерсть	Горючий материал	200 °С	570–600 °С	–

Результаты исследования и их обсуждения

Для определения возможных причин возникновения пожаров было проведено исследование по определению теплофизических свойств ТКО.

Необходимо было определить взаимосвязь между содержанием влаги, «возрастом» отходов и временем захоронения. Степень накопления тепла на полигоне также играет роль [11, 12]. Идентификация температуры воспламенения ТКО необходима в предотвращении и борьбе с пожарами [13].

Исследуемый полигон ТКО находится в Ленинградской области в п. Левашево (полигон Новоселки). На полигон поступают отходы от жилых и коммерческих объектов. Площадь захоронения составляет приблизительно 22 га. На полигон ежедневно поступают 1 120 т отходов.

В ходе исследования был определен «возраст» отходов, с помощью изъятия проб с различной глубины и анализа баз данных полигона (3 месяца, 6 месяцев, 36 месячные и 60-месячные отходы). Образцы отходов были отсортированы на пищевые (60 %), древесину (12 %), текстиль (1 %), бумагу (5 %), металл (2 %), стекло (6 %), камень (1 %), пластик (13 %).

Рассчитывалась массовая доля каждого компонента в сортировочном образце по массе компонента. Чтобы получить образец для анализа, масса отходов была уменьшена до 10 кг путем измельчения и последующего квартавания. Для этого использовали полиэтиленовые герметичные мешки, помечали их соответствующим образом: категория и «возраст».

Испытания проводились путем помещения образцов в муфельную печь. Перед помещением в печь проводилось уплотнение образцов, производился их нагрев от температуры окружающей среды до их самовоспламенения. В процессе исследования испытательная камера оставалась открытой для обеспечения достаточной подачи кислорода. Документирование температуры проводилось с помощью инфракрасного пирометра online. Температура самовоспламенения была определена как время устойчивого горения.

Результаты показали, что существует существенная разница в температуре самовоспламенения между «свежими» и «старыми» отходами (6, 36, 60 месяцев). Идентичная тенденция наблюдалась и в отношении температуры самовоспламенения всех категорий отходов.

Отходы с большим содержанием влаги требуют более высокой температуры самовоспламенения. На рисунке видно, что более высокая температура самовоспламенения ТКО характерна для образцов с высоким содержанием влаги:

$$t_{\text{самовоспл}} = (T_{\text{самовоспл}} - T_{\text{тл}}) / a,$$

где $t_{\text{самовоспл}}$ – время, необходимое для воспламенения ТКО, мин; $T_{\text{тл}}$ – температура тления, °C; $T_{\text{самовоспл}}$ – температура самовоспламенения, °C; a – скорость нагрева, °C/с.

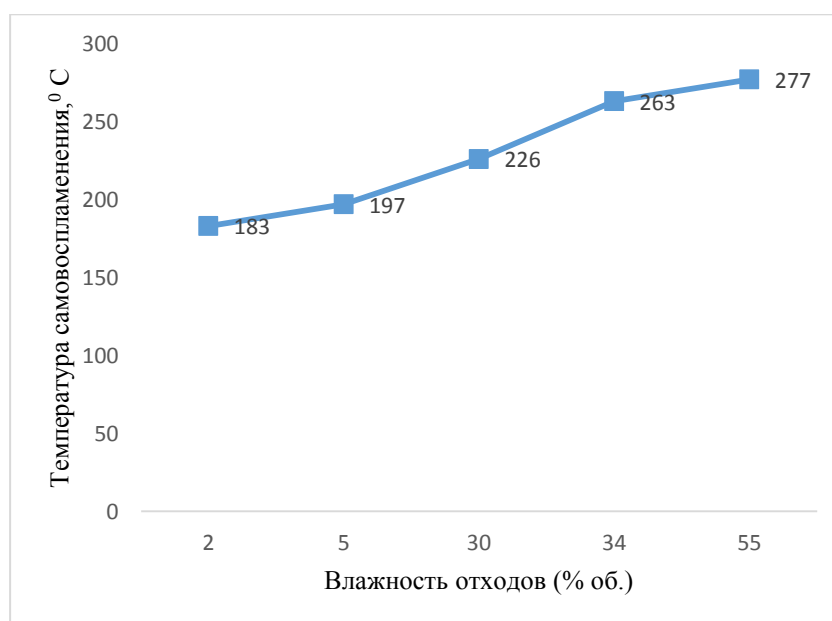


Рис. Зависимость температуры самовоспламенения (°C) ТКО от содержания влаги (%)

Для самовоспламенения ТКО с влажностью 55 % необходима температура более 277 °С, а для ТКО с влажностью 30–34 % – 226⁰–263 °С. Для ТКО с меньшей влажностью при температурах 183 °С и 197 °С, соответственно.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что влажность является определяющим фактором для температуры самовоспламенения.

Исследования проводились для каждого вида морфологического компонента смеси ТКО. Высокая температура самовоспламенения характерна для воспламенения «свежих» отходов. Для ТКО «возрастом» два дня температура самовоспламенения составляла более 263 °С, а для ТКО «возрастом» 3–6 месяцев – 197⁰ и 226 °С, соответственно. ТКО 36–60 месяцев самовоспламеняются при температуре 178–183 °С.

Также отмечается, что имеются существенные различия между «свежими» ТКО и 36, 60-месячными. Влажность обратно пропорциональна «возрасту» ТКО, и более «старые» отходы имеют меньшую влажность, более 5 %.

Самопроизвольному возникновению пожаров на полигонах ТКО способствует низкая плотность отходов и наличие эмиссий ацетона – на стадии ацетоногенеза и метана – на стадии метаногенеза. Таким образом, высокие концентрации выделяющихся ацетона, метана, растущая вследствие биохимических реакций температура ТКО, влажность, климатические условия являются основными причинами пожаров.

Анализ изменений морфологического состава ТКО по показателям пожароопасности отдельных компонентов морфологического состава ТКО с учетом изменения класса опасности представлен в табл. 7.

Таблица 7. Класс опасности отходов по ГОСТ Р 53691–2009 [9], класс опасности с учетом влияния показателей пожароопасности и температура самовоспламенения смеси отходов

Период исследования	1950 г.	1970 г.	2000 г.	2015 г.
Класс по ГОСТ [9]	IV–V	IV–V	IV–V	IV–V
Класс опасности с учетом влияния ППО	IV–V	IV–V	IV–V	III
Плотность	0,6 т/м ³	0,5 т/м ³	0,3–0,5 т/м ³	0,2 т/м ³
Температура самовоспламенения смеси отходов	250 °С	207 °С	190 °С	178 °С

Заключение

Исследование пожароопасности изменения морфологического состава ТКО показали, что плотность отходов снижается и происходит ужесточение класса опасности отходов, который определяется в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 13 октября 2015 г. № 810 «Об утверждении Перечня среднестатистических значений для компонентного состава и условия образования некоторых отходов, включенных в федеральный классификационный каталог отходов».

Список источников

1. Росприроднадзор сообщает о незаконных свалках. URL: <https://rpn.gov.ru/news/156/> (дата обращения: 12.02.2022).
2. Лавров Ф.Я. Городское хозяйство Лондона (совет лондонского графства). М.: Изд-во Московского коммунального хозяйства, 1925. 106 с.
3. Перельштейн Г.Б., Светличный Д.А., Мальцева С.С. Актуальные проблемы регионов в сфере обращения с отходами // ТБО. 2015. № 3. С. 22–24.

4. СТО ВТН 44.001-2011. Методика отбора проб, определения морфологического состава, влажности, зольности и низшей теплоты сгорания твердых бытовых отходов. Нормы и требования. М.: ОАО «ВТН», 2011. 11 с.

5. Ильиных Г.В., Слюсарь Н.Н., Коротаев В.Н. Морфологический состав отходов: основные тенденции изменения // ТБО. 2011. № 8. С. 38–41.

6. Отходы мегаполиса: морфологический и фракционный состав / Н.Ф. Абрамов // ТБО. 2009. № 9. С. 42–45.

7. Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами производства и потребления: Распоряжение Правительства Санкт-Петербурга Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга от 13 июля 2020 г. № 193-р. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».

8. Лебедева К.А., Графов К.А. Определение морфологического состава твердых коммунальных отходов на территории Петрозаводского городского округа // StudArctic Forum. ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет». 2018.

9. ГОСТ Р 53691–2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I–IV класса опасности. Основные требования. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».

10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2-х кн. / А.Н. Баратов [и др.]. М., Химия, 1990. 496 с.

11. Пименова М.А., Собкалов А.В., Сай А.Р. Особенности термических технологий утилизации промышленных и коммунальных отходов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России», 2014. № 4. С. 26–32.

12. Manheim D.C., Hanson J.L., Yeşiller N. Gas emissions from municipal solid waste landfills: a comprehensive review and analysis of global data // Journal of the Indian institute of science. Учредители: Indian Institute of Science ISSN: 0019-4964.

13. An aerobic degradation model for landfilled municipal solid waste Xiao D., Chen Y., Xu W., Zhan. Moe Key Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou // Applied sciences (Switzerland). 2021. № 16.

References

1. Rosprirodnadzor soobshchaet o nezakonnyh svalkah. URL: <https://rpn.gov.ru/news/156/> (data obrashcheniya: 12.02.2022).

2. Lavrov F.Ya. Gorodskoe hozyajstvo Londona (sovet londonskogo grafstva). M.: Izd-vo Moskovskogo kommunal'nogo hozyajstva, 1925. 106 s.

3. Perel'shtejn G.B., Svetlichnyj D.A., Mal'ceva S.S. Aktual'nye problemy regionov v sfere obrashcheniya s othodami // ТБО. 2015. № 3. С. 22–24.

4. СТО ВТН 44.001-2011. Методика отбора проб, определения морфологического состава, влажности, зольности и низшей теплоты сгорания твердых бытовых отходов. Нормы и требования. М.: ОАО «ВТН», 2011. 11 с.

5. Ильиных Г.В., Слюсарь Н.Н., Коротаев В.Н. Морфологический состав отходов: основные тенденции изменения // ТБО. 2011. № 8. С. 38–41.

6. Отходы мегаполиса: морфологический и фракционный состав / Н.Ф. Абрамов // ТБО. 2009. № 9. С. 42–45.

7. Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами производства и потребления: Распоряжение Правительства Санкт-Петербурга Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга от 13 июля 2020 г. № 193-р. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».

8. Лебедева К.А., Графов К.А. Определение морфологического состава твердых коммунальных отходов на территории Петрозаводского городского округа // StudArctic Forum. ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет». 2018.

9. ГОСТ Р 53691–2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I–IV класса опасности. Основные требования. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».

10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2 кн. / А. Н. Баратов [и др.]. М., Химия, 1990. 496 с.

11. Pimenova M.A., Sobkalov A.V., Saj A.R. Osobennosti termicheskikh tekhnologij utilizacii promyshlennyh i kommunal'nyh othodov // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii», 2014. № 4. S. 26–32.

12. Manheim D.C., Hanson J.L., Yeşiller N. Gas emissions from municipal solid waste landfills: a comprehensive review and analysis of global data // Journal of the Indian institute of science. Uchrediteli: Indian Institute of Science ISSN: 0019-4964.

13. An aerobic degradation model for landfilled municipal solid waste Xiao D., Chen Y., Xu W., Zhan. Moe Key Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou // Applied sciences (Switzerland). 2021. № 16.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 29.03.2022; одобрена после рецензирования: 01.04.2022; принята к публикации: 05.04.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 29.03.2022; approved after review: 01.04.2022; accepted for publication: 05.04.2022

Информация об авторах:

Анна Романовна Сай, заместитель начальника кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: a-novik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2955-7035>

Information about the authors:

Anna R. Say, deputy head of the department of supervisory activities of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: a-novik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2955-7035>

МЧС РОССИИ
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы»

Научно-аналитический журнал
«Вестник Санкт-Петербургского университета
ГПС МЧС России»

№ 1 – 2022

Редакторы
И.В. Дмитриева,
П.А. Болотова

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149