

ISSN 2218–130X

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

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

№ 2 – 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 химических наук, профессор **Калач Андрей Владимирович**, начальник кафедры безопасности информации и защиты сведений, составляющих государственную тайну Воронежского института федеральной службы исполнения наказаний России;

член-корреспондент РАЕН, почетный работник Высшего профессионального образования Российской Федерации, сертифицированный преподаватель международного образовательного центра Artech, доктор технических наук, профессор **Мокрозуб Владимир Григорьевич**, заведующий кафедрой компьютерно-интегрированных систем в машиностроении Тамбовского государственного технического университета;

доктор технических наук, доцент **Кубасов Игорь Анатольевич**, профессор кафедры информационных технологий Академии управления МВД России;

доктор технических наук, профессор **Маторин Сергей Игоревич**, профессор кафедры информационных систем и технологий Белгородского университета кооперации, экономики и права;

доктор технических наук, профессор **Минаков Владимир Федорович**, профессор кафедры информатики Санкт-Петербургского государственного экономического университета;

доктор технических наук, профессор **Рыбаков Анатолий Валерьевич**, начальник научно-исследовательского центра Академии гражданской защиты МЧС России;

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

кандидат физико-математических наук, доцент **Сатыбалдина Дина Жагыпаровна**, заведующий кафедрой «Информационная безопасность» Евразийского национального университета им. Л.Г. Гумилева;

доктор технических наук, профессор **Дворников Сергей Викторович**, профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного;

кандидат технических наук **Израилов Константин Евгеньевич**, доцент кафедры защищенных систем связи Санкт-Петербургского университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, старший научный сотрудник лаборатории проблем компьютерной безопасности Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук;

кандидат технических наук, PhD **Тиамийу Осулале Абдулрахамон**, заведующий кафедрой «Телекоммуникационная наука» Государственного университета г. Илорина (Нигерия);

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 технических наук, профессор **Барбин Николай Михайлович**, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отделения учебно-научного комплекса пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Уральского института ГПС МЧС России;

доктор психологических наук, профессор **Джигя Надежда Дмитриевна**, профессор кафедры психологии и физического воспитания Барановичского государственного университета (Белоруссия);

доктор психологических наук, доцент **Бобрищев Алексей Александрович**, профессор кафедры физической подготовки 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 химических наук, профессор **Богданова Валентина Владимировна**, профессор кафедры процессов горения и взрыва Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь;

Секретарь совета:

доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, академик Международной академии холода (Санкт-Петербургское региональное отделение) **Медведева Людмила Владимировна**, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.



Редакционная коллегия

Председатель – доктор технических наук, доцент **Зыбина Ольга Александровна**, заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России по научной работе;

Заместитель председателя – кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Онов Виталий Александрович**, начальник центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Члены редакционной коллегии:

кандидат технических наук, доцент подполковник внутренней службы **Турснев Сергей Александрович**, начальник отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности 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 педагогических наук, профессор **Лобжа Михаил Тимофеевич**, профессор кафедры «Физическая культура» Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I;

доктор медицинских наук, профессор **Евдокимов Владимир Иванович**, главный научный сотрудник Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России;

доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор **Ложкина Ольга Владимировна**, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Секретарь коллегии:

кандидат технических наук, доцент **Максимов Александр Викторович**, заместитель начальника кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.



СОДЕРЖАНИЕ 2–2022

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

Рева Ю.В. Расчет винтоканавочного ротора электрических машин открытого исполнения для судов ледового класса. 1

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Калач А.В., Шимон Н.С., Арифиллин Е.З. Современные проблемы повышения безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений (на примере Воронежской области). 9

Чжан Сяофань, Васильев М.А., Зыбина О.А. Перспективы применения миниатюрных беспилотных летательных аппаратов в роботизированных системах обнаружения и тушения пожара. 17

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Савельев Д.И., Балабанов И.Д., Минкин Д.Ю. Исследование эффективности работы автоматических установок сдерживания пожара. 25

Воронцова А.А., Принцева М.Ю., Скодтаев С.В. О необходимости повышения предела огнестойкости заполнения иллюминаторов и удаления продуктов горения из пассажирского салона воздушного судна при пожаре. 33

Клочихин И.О., Васильев М.А. Сравнение показаний приборов контроля свойств воздушной среды при образовании дыма от различных источников. 45

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

Медведева Л.В., Романов Н.Н. Контекстное моделирование в процессе обучения общетехнических дисциплин в вузе МЧС России. 54

Лабинский А.Ю., Бородушко И.В. Оптимизация управления ресурсами подразделений Государственной противопожарной службы МЧС России. 66

Калач А.В., Трофимец В.Я., Куватов В.И., Бокадаров С.А. Организация управления спасательными формированиями в условиях неопределенности. 74

Дворников С.В., Марков Е.В. Практика применения широкополосных сигналов с вариативной базой. 86

Терехин С.Н., Вострых А.В. Модель описания интерфейсов информационных систем МЧС России. 96

Газдиев А.М., Кузьмин А.А., Романов Н.Н. Автоматизация определения предела огнестойкости металлических конструкций по потере несущей способности. 106

Куватов В.И., Горбунов А.А., Колеров Д.А. Метод интеллектуальной поддержки управленческих решений с помощью ассоциативных связей при прогнозировании чрезвычайных ситуаций. 116

Вострых А.В., Бородушко И.В., Терехин С.Н. Моделирование доставки сил и средств подразделений МЧС России с целью повышения пожарной безопасности территориальных образований. 125

Буйневич М.В., Ефимов В.В. Поддержка принятия управленческих решений службой эксплуатации глобально-распределенных информационных систем на основе интеграционной модели данных состояния. 134

ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Лукин В.Н., Папырина Е.В., Когут В.Г. Управление проектной деятельностью в цифровой образовательной среде университета. 144

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Задурова А.А. Моделирование эвакуации при пожаре в ночном клубе на основе байесовской сети. 154

Заводсков Г.Н. Методика поддержки принятия решений должностных лиц по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта на основе реализации автоматизированных процедур воздействия. 163

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

УДК 62–133.241

РАСЧЕТ ВИНТОКАНАВОЧНОГО РОТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ОТКРЫТОГО ИСПОЛНЕНИЯ ДЛЯ СУДОВ ЛЕДОВОГО КЛАССА

Юрий Викторович Рева✉.

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

✉spi78@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению вопросов, связанных с конструкцией и применением погружных электрических машин в морской среде для судов ледового класса, на буровых установках и платформах, расчету винтоканавочного ротора, практике эксплуатации винтоканавочных насосов, где важное значение имеет соотношение длины ротора к его диаметру, от которого зависят гидравлические потери вследствие трения с морской водой. В статье изложен приближенный расчет винтоканавочного ротора для асинхронного электрического двигателя погружных электрических машин. Приведен математический аппарат расчета винтоканавочного ротора в зависимости от его геометрических размеров, таких как диаметра, ширины канавки, числа захода. Также рассмотрены некоторые характерные особенности расчета асинхронных электрических машин открытого исполнения с винтоканавочным ротором, и показаны расчеты теоретической и фактической производительности.

Ключевые слова: диаметр расточки статора, погружные электрические машины, погружные электрические двигатели, гильзы ротора, двухслойные роторы и статоры двигателей, полезная мощность, частота скольжения ротора

Для цитирования: Рева Ю.В. Расчет винтоканавочного ротора электрических машин открытого исполнения для судов ледового класса // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 1–8.

CALCULATION OF THE SCREW-GROOVE ROTOR OF OPEN-TYPE ELECTRIC MACHINES FOR ICE-CLASS VESSELS

Yuri V. Reva✉.

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

✉spi78@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the consideration of issues related to the design and application of submersible electric machines in the marine environment for ice-class vessels, on drilling rigs and platforms, the calculation of a screw-groove rotor, the practice of operating screw-groove pumps, where the ratio of the rotor length to its diameter is important, on which hydraulic losses due to friction with seawater depend. The article presents an approximate

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

calculation of a screw-groove rotor for asynchronous electric motor of submersible electric machines. The mathematical apparatus for calculating a screw-groove rotor depending on its geometric dimensions, such as diameter, groove width, number of approaches, is given. Some characteristic features of the calculation of asynchronous electric machines of open design with a screw-groove rotor are also considered and calculations of theoretical and actual performance are shown.

Keywords: stator bore diameter, submersible electric machines, submersible electric motors, rotor sleeves, double-layer rotors and motor stators, useful power, rotor sliding frequency

For citation: Reva Yu.V. Calculation of the screw-groove rotor of open-type electric machines for ice-class vessels // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 1–8.

Введение

Как известно электрические машины судов Ледового класса эксплуатируются в крайне неблагоприятных условия агрессивной внешней среды Арктики и Антарктики.

При длительных стоянках механизмов с электродвигателями открытого исполнения происходит накопление на гильзе ротора и расточке статора ила, песка, биоорганизмов и других инородных частиц, находящихся в коллоидном состоянии в морской воде. Для удаления этих частиц из машины с помощью направленного движения забортной морской воды разработан ротор с винтоканавочной нарезкой на его поверхности с определенным шагом, конфигурацией канавок и числом заходов, выполняющих функции винтоканавочного насоса, который прокачивает поступающую забортную морскую воду по немагнитному зазору двигателя.

Однако расчета и выбора конструкции, шага, числа заходов винтоканавочной нарезки непосредственно на роторе электрических машин (ЭМ) на данном этапе нет, что представляет определенные трудности, связанные со сложными гидравлическими и гидродинамическими процессами, происходящими в винтовых каналах. Изучение литературы по данной тематике показало, что нет четкой и последовательной методики расчета винтоканавочной нарезки непосредственно на поверхности ротора ЭМ [1].

Методы исследования

В основу исследования положен экспертный метод специалистов по вопросам приближенного расчета винтоканавочного ротора для асинхронного электродвигателя, работающего в жидкой среде.

Этот приближенный расчет выполняется при следующих допущениях:

1. Предполагается, что поверхность статора является идеально гладкой.
2. На поверхности ротора имеется многозаходная винтоканавочная нарезка, остальная часть поверхности идеально гладкая.
3. Зазор между ротором и статором значительно меньше глубины винтовой канавки, следовательно, в расчете им можно пренебречь.
4. Морская вода по винтовым каналам движется поступательно и ламинарно.
5. Предполагается, что весь объем машины заполнен морской водой, поэтому отсутствует перемешивание жидкости с воздухом.
6. Морская вода считается практически несжимаемой средой [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Конфигурацию канавки, число заходов необходимо выбрать такими, чтобы нарушение поверхности ротора рифлением не превышало бы 4 %, то есть отношение поверхности канавок S_k к поверхности ротора S_p или приближенное отношение суммарной

длины дуг канавок к длине окружности ротора по сечению ротора должно быть меньше 4 %. Тогда влияние этих канавок на увеличение толщины эквивалентного немагнитного зазора δ_3 будет минимальным, ведь δ_3 влечет к увеличению тока холостого хода.

Имеем:

$$\frac{S_k}{S_p} * 100 \% \approx \frac{\sum b_k}{C_p} * 100 \% = \frac{b_k * Z}{\pi * D_p} * 100 \% \leq 4 \%,$$

где C_p – длина окружности ротора, см; D_p – диаметр ротора, см; b_k – ширина канавки, см; Z – число заходов [3].

Эксплуатационная практика винтоканавочного насоса показала, что наиболее эффективной конфигурацией канавки является полусферическая или треугольная резьба с четным числом заходов $Z=6-12$ с шириной и глубиной $b_k=3-5$ мм. При проектировании ротора выбирают одну из этих резьб, в зависимости от диаметра ротора, при малых диаметрах – треугольная, при больших – полусферическая. Выбрав конфигурацию канавки, определяют ее площадь поперечного сечения.

Для треугольной канавки:

$$F_{\text{тр}} = \frac{1}{2} * h * b_k, \quad (1)$$

где h – высота канавки, см; b_k – ширина канавки, см.

Для полусферической канавки:

$$F_{\text{сф}} = \frac{\pi * b_k^2}{8} = \frac{1}{2} * \frac{\pi * d^2}{4},$$

где $b_k=d$ – диаметр окружности канавки, см [4].

Теоретически подача винтоканавочного ротора определяется размерами винтовой канавки, шагом канавки и частотой вращения ротора. При вращении винтоканавочного ротора жидкость, заполняющая впадины канавок, перемещается поступательно на величину одного шага за один оборот по аналогии с винтом, когда за один оборот винта гайка навинчивается на винт на один виток, то есть поступательно на один шаг резьбы. В соответствии с этим производительность или подача винтоканавочного ротора равна произведению площади сечения каналов на величину результирующего шага:

$$q_i = F * t,$$

где t – результирующий шаг нарезки, см; $F = F_{\text{тр}} * Z$ – площадь поперечного сечения ротора под винтовые канавки, см²; $F_{\text{тр}}$ – площадь поперечного сечения одной треугольной канавки, определяемая по формуле (1), см²; Z – число заходов винта.

Шагом любой винтовочной резьбы является расстояние между вершинами двух соседних ниток в осевом направлении. Так как в данном случае резьба многозаходная, то она характеризуется результирующим шагом t , который меньше шага однозаходного винта в Z раз:

$$t = \frac{T}{Z}, \quad (2)$$

где T – шаг однозаходного винта, см.

Из физических соображений для реверсивных погружных электродвигателей (ПЭД) винтоканавочную нарезку производят симметрично относительно центра ротора с шагом при однозаходном винте, равном длине ротора при его длине меньше двух диаметров, и шагом, равным половине длины ротора при его длине больше двух диаметров [5].

Результирующий шаг по формульному выражению (2) будет выглядеть следующим образом:

$$t_1 = \frac{L_p}{Z} \text{ при } L_p \leq D_p;$$

$$t_1 = \frac{L_p}{2*Z} \text{ при } L_p \geq D_p;$$

где L_p – длина ротора, см; D_p – диаметр ротора, см.

Полная теоретическая подача винтоканавочного ротора, в зависимости от частоты вращения, равна:

$$Q_T = q_t * n = F * t * n, \text{ см}^3/\text{с},$$

где n – частота вращения ротора, об/с.

Теоретическая осевая скорость жидкости в рабочем зазоре, в зависимости от площади сечения канавок равняется:

$$u_T = \frac{Q_T}{F} = \frac{F * t * n}{F} = t * n, \text{ см/с}. \quad (3)$$

Теоретическую осевую скорость жидкости можно также определить через окружную линейную скорость ротора:

$$u_T = u_{\text{окр}} * \tan \beta; \quad (4)$$

$$\beta = \cot \frac{L^I}{C_p}, \quad (5)$$

где β – угол подъема винтовой канавки; $L^I = T$ – длина нарезки, равная шагу однозаходного винта одной канавки, см; C_p – длина окружности ротора, ($C_p = \pi * D_p$), см.

$$u_{\text{окр}} = \omega * R = R * 2\pi * n = \pi * n * D_p, \text{ см/с},$$

где R – радиус ротора, см; ω – угловая скорость вращения ротора, 1/с; n – число оборотов вращения ротора, об/с.

Если в выражение (4) подставить $\tan \beta$ по формуле (5) с учетом размера ротора, то получим значение осевой скорости, соответствующей выражению (3). Отсюда следует, что винтоканавочную нарезку необходимо применять с длинными роторами и большой линейной скоростью [6].

Практика эксплуатации винтоканавочных насосов показала, что рекомендуемый при проектировании угол подъема винтовой канавки однозаходного винта должен равняться 10–14°. Кроме того, необходимо учитывать соотношение длины ротора к его диаметру, от которого зависят гидравлические потери на трение всей поверхности ротора о морскую воду.

Теоретическое время, за которое винтоканавочный ротор перекачает первоначальный объем морской воды из внутренних полостей двигателя, равно:

$$\tau = \frac{V}{Q_T}, \text{ с},$$

где V – внутренний объем полостей двигателя, который имеет существенное физическое значение при герметичном использовании двигателя, когда винтоканавочный ротор используется для перемешивания и циркуляции диэлектрической жидкости для выравнивания температур активных частей внутри машины. При открытом исполнении машин, как в данном случае, эта характеристика существенного значения не имеет [7].

Однако фактическая подача Q_{ϕ} , необходимая для определения потерь мощности при работе электродвигателя, будет отличаться от теоретической на величину коэффициента расхода, который зависит от геометрических размеров каналов и свойств жидкости (морской воды). Таким образом, можно определить коэффициент расхода следующим образом:

Массовая плотность любой жидкости равна:

$$\rho = \frac{\gamma}{q},$$

где γ – плотность жидкости, кг/м³; для пресной воды – 1000 кг/м³; для морской воды – 1035 кг/м³; $q=9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

Перепад давления ΔP в гидравлическом канале равен:

$$\Delta P = p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho * u_T^2, \text{ кгс/м}^2. \quad (6)$$

Безразмерное число Рейнольдса, характеризующее режим течения жидкости, можно определить двумя способами:

1. Для каналов круглого сечения:

$$R_e = \frac{d * u_T}{\vartheta},$$

где d – диаметр канала канавки, м; ϑ – кинетический коэффициент вязкости, см²/с.

2. Для каналов некруглого сечения:

$$R_e = \frac{4 * r * u_T}{\vartheta},$$

где $r = F/\chi$ – гидравлический радиус сечения потока, м; χ – смачиваемый периметр канала, м.

Течение будет ламинарным, если $R_e \leq 2200$, если же будет $R_e > 2200$, то изменяют размеры и конфигурацию канавки [8].

Потеря напора (давления) ΔP в каналах при ламинарном течении, в зависимости от геометрических размеров каналов и свойств жидкости, равна:

$$\Delta P = \chi * \frac{L}{d} * \frac{\gamma}{2q} * \frac{Q_T^2}{F^2}, \quad (7)$$

где $\chi = 64/R_e$ – гидравлический коэффициент трения.

Из формулы (7) теоретическая подача винтоканавочного ротора при ламинарном осевом течении равна:

$$Q_T = F * \sqrt{\frac{\Delta p * 2q * d}{\chi * L * \gamma}}. \quad (8)$$

С другой стороны, из выражения (6) потеря напора равна:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho * u_T^2 = \frac{1}{2} * \frac{\gamma}{q} * \frac{Q_T^2}{F^2},$$

из которого теоретическая подача определяется следующим образом:

$$Q_T = F * \sqrt{\frac{\Delta p * 2q}{\gamma}}.$$

Фактическая подача равна произведению коэффициента расхода на величину теоретической подачи, из последнего выражения имеем:

$$Q_\phi = \mu * F * \sqrt{\frac{\Delta p * 2q}{\gamma}}. \quad (9)$$

Разделив выражение (9) на выражение (8), получим коэффициент расхода:

$$\mu = \sqrt{\frac{d}{L \cdot \chi}} = \sqrt{\frac{4r}{L \cdot \chi}},$$

где L – длина ротора, см; r , d – радиус и диаметр канала канавки, см.

С учетом коэффициента расхода определяется фактическая подача и фактическая линейная осевая скорость движения жидкости по рабочему зазору, то есть:

$$Q_{\phi} = \mu \cdot Q_T.$$

Объемный КПД:

$$\eta_{об} = \frac{Q_{\phi}}{Q_T} = \mu.$$

Фактическая осевая скорость течения жидкости будет иметь вид:

$$u_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{F}.$$

Фактическое время, за которое весь объем воды из полости двигателя будет перекачан винтоканавочным ротором, равно:

$$\tau_{\phi} = \frac{V}{Q_{\phi}}, \text{ с.}$$

Теоретическая мощность, которая необходима для обеспечения теоретической производительности (подач), равна:

$$N_T = \Delta p \cdot Q_T, \text{ кгс/с,}$$

$$N_T = \frac{\Delta p \cdot Q_T}{75 \cdot 1,36}, \text{ кВт.}$$

Соответственно, фактическая мощность будет равняться:

$$P_{\phi} = \frac{Q_{\phi} \cdot \Delta p}{102}, \text{ кВт.}$$

Эта мощность затрачивается на дополнительные потери к потребляемой мощности из сети. Практически она составляет небольшой процент от общих потерь, и ее учет можно отнести за счет добавочных потерь в 0,005 % от P_1 .

Например, для погружных электрических машин мощностью 5 кВт с ротором длиной 200 мм, диаметром 112 мм, частотой вращения 500 об/мин, полусферической нарезкой диаметром 3 мм, числом заходов, равным 6, фактическая мощность потерь на гидравлику насоса равнялась 25 Вт [9].

Заключение

Таким образом, на основании вышеизложенных обоснований в расчете винтоканавочного ротора ЭМ открытого исполнения для судов ледового класса можно сделать вывод, что главная задача винтоканавочного ротора состоит в том, чтобы обеспечить ламинарное (поступательное) движение воды внутри двигателя при вращении ротора, тем самым исключить турбулентность, уменьшить шумы и вибрацию машины, то есть качественно улучшить виброакустические характеристики. Вторая не менее важная задача заключается в удалении различных инородных частиц из полостей погружных электрических машин, поступающих внутрь вместе с забортной морской водой, которые могут повредить обмотку и тормозят ротор во время работы. В целом эти технические решения повышают надежность и срок службы машины [10].

Список источников

1. Рева Ю.В. Технология изготовления и способ сборки электрических машин открытого исполнения на средствах водного транспорта // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 2 (54). С. 36–40.
2. Рева Ю.В. Применение опорно-упорных подшипников скольжения электрических машин открытого исполнения в морской воде арктической зоны // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 1 (53). С. 27–30.
3. Вешняков А.С. Опыт ОАО «Удмуртнефть» по внедрению штанговых насосов двойного действия // Нефтегазовая вертикаль – Технологии: спец. прил. 2014.
4. Францев А.В., Юшкин А.Ю., Якимов С.Б. Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». 2013. № 6. С. 62–66.
5. Рева Ю.В. Технические средства добычи минеральных ресурсов и полезных ископаемых из глубин Мирового океана // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 16–19.
6. Погружные электродвигатели с повышенным напряжением – двойной эффект без инвестиций / С.Б. Якимов [и др.] // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». Приложение. 2014. № 3.
7. Шафиков И.Н. Пути повышения энергоэффективности электроприводов скважинных центробежных насосных установок // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий: сб. науч. трудов III Междунар. (VI Всерос.) науч.-техн. конф. / отв. ред. В.А. Шабанов. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. С. 156–160.
8. Шафиков И.Н. Регулируемый привод скважинного электроцентробежного насоса на основе высоковольтного многоуровневого преобразователя частоты // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2019. Т. 15. № 3. С. 53–60.
9. Бардулин Е.Н., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Подходы к созданию современных приборов приемно-контрольных пожарных // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (46). С. 105–109.
10. Марек Е. Обмотки электрических машин постоянного и переменного тока. 2014.

References

1. Reva Yu.V. Tekhnologiya izgotovleniya i sposob sborki elektricheskikh mashin otkrytogo ispolneniya na sredstvakh vodnogo transporta // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 2 (54). S. 36–40.
2. Reva Yu.V. Primenenie oporno-upornyh podshipnikov skol'zheniya elektricheskikh mashin otkrytogo ispolneniya v morskoy vode arkticheskoy zony // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 1 (53). S. 27–30.
3. Veshnyakov A.S. Opyt OAO «Udmurtneft'» po vnedreniyu shtangovykh nasosov dvojnogo dejstviya // Neftegazovaya vertikal' – Tekhnologii: spec. pril. 2014.
4. Francev A.V., Yushkin A.Yu., Yakimov S.B. Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa // Nauchno-tekhnicheskij vestnik OAO «NK «ROSNEFT'». 2013. № 6. S. 62–66.
5. Reva Yu.V. Tekhnicheskie sredstva dobychi mineral'nykh resursov i poleznykh iskopaemykh iz glubin Mirovogo okeana // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 16–19.
6. Pogruzhnye elektrodvigateli s povyshennym napryazheniem – dvoynoj effekt bez investicij / S.B. Yakimov [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskij vestnik OAO «NK «ROSNEFT'». Prilozhenie. 2014. № 3.
7. Shafikov I.N. Puti povysheniya energoeffektivnosti elektroprivodov skvazhinnykh centrobeznykh nasosnykh ustanovok // Elektroprivod, elektrotekhnologii i elektrooborudovanie predpriyatij: sb. nauch. trudov III Mezhdunar. (VI Vseros.) nauch.-tekhn. konf. / отв. red. V.A. Shabanov. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2017. S. 156–160.

8. Shafikov I.N. Reguliruemyy privod skvazhinnogo elektrocentrobezhnogo nasosa na osnove vysokovol'tnogo mnogourovnevnogo preobrazovatelya chastoty // Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. 2019. T. 15. № 3. S. 53–60.

9. Bardulin E.N., Skripnik I.L., Voronin S.V. Podhody k sozdaniyu sovremennyh priborov priemno-kontrol'nyh pozharnyh // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 2 (46). S. 105–109.

10. Marek E. Obmotki elektricheskikh mashin postoyannogo i peremennogo toka. 2014.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 04.04.2022; одобрена после рецензирования: 23.05.2022;
принята к публикации: 24.05.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 04.04.2022; approved after review: 23.05.2022;
accepted for publication: 24.05.2022

Информация об авторах:

Юрий Викторович Рева, доцент кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, доцент, e-mail: yreva@list.ru

Information about the authors:

Yuri V. Reva, associate professor of the department of security service of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave, 149), candidate of military sciences, associate professor, e-mail: yreva@list.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.627

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ)

Андрей Владимирович Калач✉.

Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж, Россия;

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

Николай Степанович Шимон;

Арифиллин Евгений Заудятрович.

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

✉ a_kalach@mail.ru

Аннотация. Представлен обзор гидросферы искусственных водных объектов, потенциально несущих в себе гидрологические риски на территории Воронежской обл. На основании статистических наблюдений за последние 10 лет морфологии потенциальной опасности при неблагоприятном развитии паводковой ситуации, с учетом величины прогнозной вероятности наводнения, в зону которого попадают объекты гражданского строительства, окружающей среды, социальной инфраструктуры, разработаны два типовых сценария развития паводковой ситуации, корректируемые в зависимости от складывающейся паводковой обстановки.

Взаимосвязь опасных факторов чрезвычайных ситуаций гидрологического характера, определение предпосылок развития опасных дестабилизирующих факторов гидрологического характера, выбор мероприятий по предупреждению и ликвидации аварий, связанных с разрушением водных объектов, представлены с позиции теории графов. Показано, что при развитии чрезвычайных ситуаций гидрологического характера наблюдается формирование дестабилизирующих факторов, которые воздействуют на население, объекты экономики и природную среду в целом.

Ключевые слова: авария, безопасность, гидротехнические сооружения, чрезвычайная ситуация, половодье, паводки, затопление, дестабилизирующие факторы, гидрологическая обстановка

Для цитирования: Калач А.В., Шимон Н.С., Арифиллин Е.З. Современные проблемы повышения безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений (на примере Воронежской области) // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 9–16.

MODERN PROBLEMS OF IMPROVING THE SAFETY OF OPERATION OF HYDRAULIC STRUCTURES (ON THE EXAMPLE OF THE VORONEZH REGION)

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.

Nikolai S. Shimon;

Evgeny Z. Arifullin.

Voronezh state technical university, Voronezh, Russia

✉ a_kalach@mail.ru

Abstract. An overview of the hydrosphere of artificial water bodies potentially carrying hydrological risks on the territory of the Voronezh region presented. Based on statistical observations over the past 10 years the morphology of the potential danger in the unfavorable development of the flood situation, taking into account the magnitude of the forecasted probability of flooding in the zone of which civil engineering, environmental, social infrastructure objects fall, two typical scenarios for the development of the flood situation have been developed, adjusted depending on the developing flood situation.

The interrelation of dangerous factors of hydrological emergencies, the determination of prerequisites for the development of dangerous destabilizing factors of a hydrological nature, the choice of measures to prevent and eliminate accidents associated with the destruction of water bodies presented from the perspective of graph theory. It shown that in the development of hydrological emergencies, the formation of destabilizing factors that affect the population, economic objects and the natural environment as a whole observed.

Keywords: accident, safety, hydraulic structures, emergency, high water, floods, flooding, destabilizing factors, hydrological situation

For citation: Kalach A.V., Shimon N.S., Arifullin E.Z. Modern problems of improving the safety of operation of hydraulic structures (on the example of the Voronezh region) // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 9–16.

Введение

В настоящее время значительное количество гидротехнических сооружений (ГТС) на территории Воронежской обл. эксплуатируются на границе либо за границей гарантийного эксплуатационного срока [1–3]. Таких объектов по учётным данным Верхне-Донского управления Ростехнадзора числилось в 2021 г. – 1 160 (подтверждены департаментом природных ресурсов и экологии Воронежской обл.), а согласно их же сведений, опубликованных за 2020 г. в Годовом докладе об охране окружающей среды в регионе, на территории области числится 2 408 прудов [4–6]. Но основная часть прудов, водохранилищ, озёр образована посредством строительства ГТС. С такими случаями можно сталкиваться часто в регионе – сведения, официально учитываемые федеральным центром, часто отличаются от сведений, подготовленных научным сообществом и порой оказывающихся на официальных порталах региональных ведомств.

Актуальность исследования выражается, прежде всего, в росте количества чрезвычайных ситуаций (ЧС) гидрологического характера, возникающих на водных объектах, прудах водохранилищах, реках, с угрозой потенциальной опасности для объектов гражданского, техногенного строительства, со значительным числом поражающих факторов уровня подъема и глубин затопления водами до критического состояния поверхности, изменением морфологии скоростного напора, длительности затопления, числом жертв, пострадавших и материальным ущербом для объектов окружающей среды и сельского хозяйства.

Аналитическая часть

В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [7] за безопасность ГТС отвечает собственник сооружения или эксплуатирующая организация. Но многие ГТС на территории региона в настоящее время не имеют собственника. В соответствии с данными Департамента природных ресурсов и экологии Воронежской обл. по состоянию на начало 2022 г. на территории Воронежской обл. числится 49 бесхозных ГТС. Такие ГТС могут нести угрозу возникновения ЧС в случае аварии, связанной с разрушением плотины и образованием волны прорыва и катастрофического затопления, так как на большинстве таких ГТС отсутствует квалифицированный персонал, документация по эксплуатации ГТС и действиям в случае аварий, страхование гражданской ответственности и т.д. ГТС в подавляющем большинстве перегорожены постоянные и временные водотоки в Воронежской обл. Водосборная площадь многих искусственных водоемов является довольно значительной, что часто приводит к переполнению водоемов и, как следствие, может повлечь разрушение плотины.

В рамках проведенного технического обследования в 2018 г. на каскаде прудов на берегу реки Игорец в Панинском муниципальном районе Воронежской обл. едва не случилась ЧС. Плотина пруда Большой Маяковский была аварийно разрушена паводковыми водами, и поток хлынул в средний пруд, который был опустошен для ремонта задвижки. Водоизмещения пруда хватило вобрать в себя воду разрушенного пруда и паводковых вод, остановить каскадную аварию. Так как ниже находился пруд Кировский с аварийным ГТС, у которого основная водосбросная задвижка не работала, устроить обводной канал было невозможно по причине того, что по гребню плотины проходила «областная» дорога, а в нижнем бьефе было расположено фермерское хозяйство по разведению рыбы.

Все три ГТС в рассмотренном каскаде на момент аварии являлись бесхозными (с неустановленной формой собственности).

В рамках подготовки мероприятий органами управления территориальной подсистемы Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ТП РСЧС) к паводкоопасному периоду 2021 г. на территории Воронежской обл. межведомственной комиссией по предупреждению и ликвидации ЧС были обследованы 15 ГТС, несущих угрозу возникновения ЧС, и девять каскадов, состоящих из 29 ГТС.

В результате обследования на каждое ГТС были составлены технические описания с рекомендациями собственникам, балансодержателям или ответственным за сооружения и общий акт.

Было выявлено семь ГТС и шесть сооружений, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии, при разрушении плотин которых произойдут ЧС, обусловленные нарушением условий жизнедеятельности.

Для предупреждения гидродинамических аварий, связанных с разрушением плотин, рекомендуется рассмотреть следующие основные мероприятия:

– Организация до наступления стабильных заморозков сброса воды из водохранилищ (прудов) до отметок, обеспечивающих безаварийный пропуск паводковых вод через водосбросные (водозаборные) сооружения. При подготовке графиков сброса воды из водных объектов, с целью уменьшения возможных последствий от затопления территории, учитывается возможность выхода сбросных вод в одну балку (водоток), а также состояние подстилающей поверхности (промерзание почвы и наличие снежного покрова). Необходим контроль случаев форсированного (аварийного) сброса воды из водохранилищ (прудов), находящихся в каскаде, и проведение оповещения Единой дежурной диспетчерской службы районного звена ТП РСЧС хозяйствующих субъектов в нижнем и верхнем бьефе.

– Проведение очистки входных оголовков водосбросных (водозаборных) сооружений от мусора, а также расчистка водоотводных каналов от древесно-кустарниковой растительности.

– Проведение расчистки водопропускных и водоотводящих инженерных сооружений в населенных пунктах, расположенных в нижних бьефах ГТС, а также в створах расположения различных объектов экономики и прохождения дорог.

– Оборудование колодцев донных водоспусков люками для недопущения их разморозки в зимний период.

– Организация возможности обустройства обводного канала на случай аварийной ситуации и невозможности сброса воды через донный водоспуск.

– Организация возможности установки водосброса сифонного типа для быстрого сброса воды через гребень плотины.

Основными факторами, обеспечивающими безаварийный пропуск паводковых вод по гидрологической сети на территории области, являются:

– организация мониторинга за состоянием водных объектов;

– разработка плана действий по безаварийному пропуску паводка;

– готовность мостовых (дорожных) переходов через гидрологическую сеть (реки, временные водотоки) – их расчистка, исправность. На низководных мостах необходимо перед половодьем убирать ограждения, чтобы не создавать подпоры для реки в результате застревания карчей и мусора;

– создание резерва материальных ресурсов;

– поддержание в готовности сил и средств, предназначенных для задействования при устранении аварийных паводковых ситуаций, в том числе землеройной техники;

– очистка в населённых пунктах стоковых канав и водоприёмников систем водоотведения и ливневой канализации;

– недопущение размещения на пойменных землях свалок, отходов животноводства и других экологически опасных веществ и материалов;

– исключение попадания паводковых вод в водозаборы питьевой воды, создание запасов дезинфицирующих средств;

– обеспечение сброса вод из прудов и водохранилищ в случае подъёма уровней воды выше нормального подпорного уровня.

– согласование сбросов воды из водохранилищ с уполномоченными органами смежных областей, на территории которых могут влиять сбросные воды.

Обсуждение и выводы

Проводя анализ прохождения половодья на территории Воронежской обл. в 2021 г., можно сделать следующие заключения.

Погодные условия, сложившиеся в осенне-зимний период на территории Воронежской обл. не способствовали развитию паводкоопасных ситуаций. На реках области повышение уровня воды началось со второй декады февраля. Водность половодья была в пределах минимальных значений. Паводкоопасный период на территории Воронежской обл. начался с марта, прогнозное вскрытие рек проходило в среднемноголетние периоды.

На основании статистических наблюдений за последние 10 лет Главным управлением МЧС России по Воронежской обл. совместно с Казенным учреждением Воронежской обл. «Гражданская оборона, защита населения и пожарная безопасность Воронежской области» были разработаны два сценария развития паводковой ситуации:

1. При крайне неблагоприятном развитии паводковой ситуации на территории области от всех рисков весеннего половодья (в том числе и стокового) прогнозировалось попадание в зону затопления 25 населенных пунктов, расположенных в 14 муниципальных образованиях (до 5 636 приусадебных участков, до 5 035 жилых домов с населением 13 415 чел.), 19 низководных мостов.

2. При неблагоприятном развитии ситуации прогнозировалось попадание в зону затопления шести населенных пунктов, расположенных в пяти муниципальных образованиях (до 142 жилых домов с населением 385 чел.), 14 низководных мостов.

Данные сценарии своевременно корректировались в зависимости от складывающейся паводковой обстановки.

На всех реках области ЧС, связанных с весенним половодьем за 2021 г., не произошло затопления участков дорог, приусадебных участков не зарегистрировано.

Но, несмотря на благоприятную паводковую ситуацию, оказались затопленными шесть низководных (проектно затапливаемых) мостов в шести муниципальных образованиях.

Жизнеобеспечение населения нарушено не было. В населенные пункты имелись объездные пути. Были своевременно развернуты пожарный и медицинский посты, созданы запасы продуктов питания на предприятиях торговли. Действия сил и средств Воронежской ТП РСЧС в условия развития ЧС гидрологического характера на водных объектах оказались эффективными и достаточными.

При развитии ЧС гидрологического характера наблюдается формирование дестабилизирующих факторов, которые воздействуют на население, объекты экономики и природную среду в целом. Следовательно, оценка материального ущерба будет выражаться через произошедшие последствия от данных ЧС.

Все ЧС гидрологического характера, такие как паводки, подтопления, зажоры, заторы, являются многообразными и имеют неповторимый процесс возникновения и развития по типовым стадиям:

– на первоначальной стадии возникновения аварийных ЧС C^0 образуются предпосылки отклонения системы, объектов от нормального процесса и допустимых параметров, приводящих к изменению состояния эколого-техногенного бедствия;

– на первой стадии (C^1) происходит распознавание вида ЧС гидрологического характера, их процесса развития, времени воздействия на техносферу и общество и заканчивающиеся резким ухудшением состояния последствий;

– на второй стадии (C^2) происходит ликвидация последствий ЧС гидрологического характера конкретного вида;

– на третьей стадии (C^3) осуществляется процесс ликвидации долговременных последствий, установленного вида ЧС гидрологического характера.

Как показывает статистика возникновения ЧС гидрологического характера, стадии всегда связаны с воздействием неблагоприятных факторов (НФ), имеющих внешнюю и внутреннюю угрозы происхождения: отказы оборудования; поломки; разрушения гидрологических объектов; ошибочные действия персонала; износ и старение; террористические акты, военные боевые действия и т.д.

Следовательно, существует взаимосвязь опасных факторов ЧС гидрологического характера, которая может быть представлена в виде графа (рис.).

Основными исходами развития НФ для водных объектов полагали:

M_1 – предупреждение возникновения условий НФ для предпосылок гидрологического характера на водных объектах;

M_2 – предупреждение непосредственного проявления НФ в конкретных условиях ЧС гидрологического характера с воздействием на водные объекты;

M_3 – обнаружение НФ ЧС гидрологического характера на водных объектах;

M_4 – предотвращение воздействия НФ развития ЧС гидрологического характера на водных объектах;

M_5 – обнаружение воздействия НФ развития ЧС гидрологического характера на водных объектах;

M_6 – недопущение распространения НФ развития ЧС гидрологического характера на водных объектах;

M_7 – своевременная ликвидация возможных последствий НФ развития ЧС гидрологического характера на водных объектах.

Индексом «а» обозначены следующие функции – M_{4a} , M_{6a} и M_{7a} , определяющие случаи возможного обнаружения НФ. Индексом «б» – те же представленные функции – $M_{4б}$, $M_{6б}$ и $M_{7б}$ для прогнозного случая ЧС гидрологического характера на водных объектах.

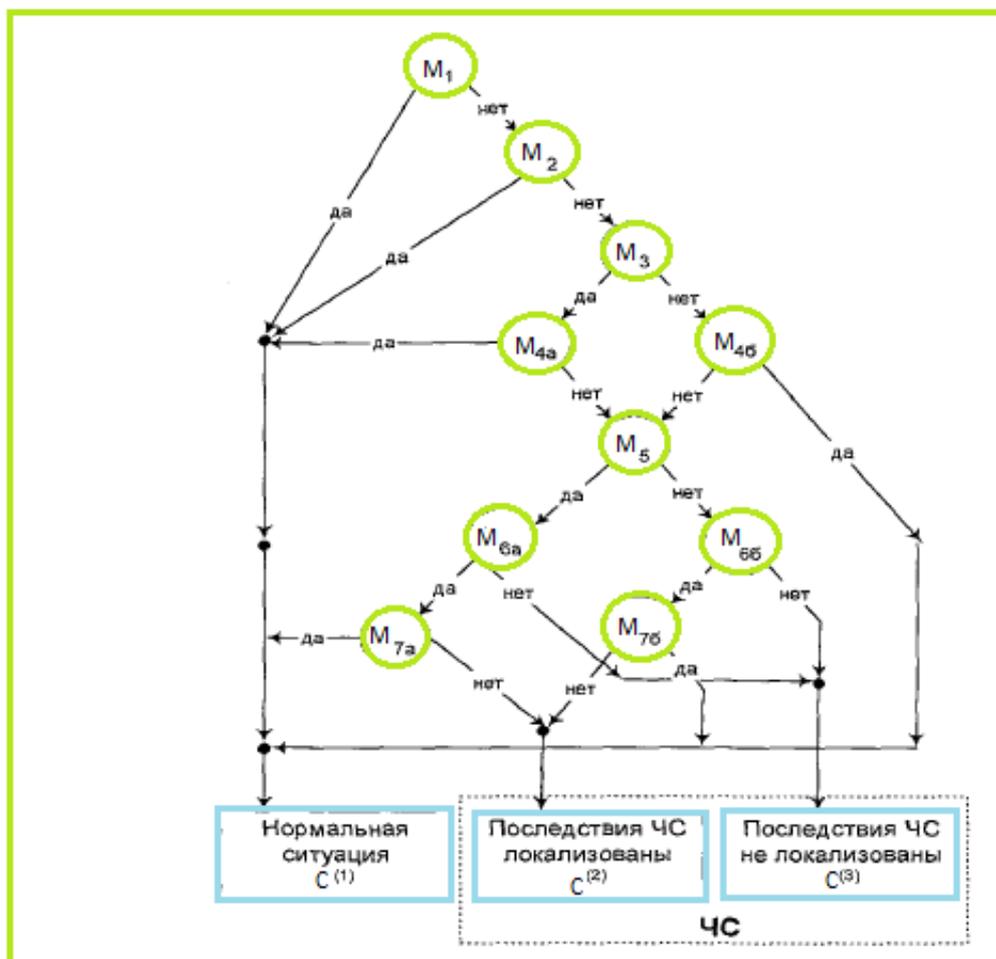


Рис. Граф прогнозных исходов развития ЧС гидрологического характера на водных объектах

Полагали, что каждая функция M_{ij} , может иметь как положительное обоснование, так и отрицательное значение в зависимости от величины прогнозной вероятности $P_i^{(\Phi)}$ или $(1 - P_i^{(\Phi)})$ наступления каждого из прогнозных событий, которые представлены на графе C^1 , C^2 , C^3 (рис.).

Тогда для события C^1 не потребуется проведения подсчетов вероятности, что является нормальной ситуацией, а вот для событий C^2 , C^3 выражение примет следующий вид:

$$P\{C^{(2)}\} = (1 - P_1^{(нФ)})(1 - P_2^{(нФ)}) \left[P_3^{(нФ)}(1 - P_{4a}^{(нФ)}) + (1 - P_3^{(нФ)})(1 - P_{4б}^{(нФ)}) \right] \times \left[P_5^{(нФ)} P_{6нф}^{(нФ)}(1 - P_{7a}^{(нФ)}) + (1 - P_5^{(нФ)})(1 - P_{7б}^{(нФ)}) \right];$$

$$P\{C^{(3)}\} = (1 - P_1^{(нФ)})(1 - P_2^{(нФ)}) \left[P_3^{(нФ)}(1 - P_{4a}^{(нФ)}) + (1 - P_3^{(нФ)})(1 - P_{4б}^{(нФ)}) \right] \times \left[P_5^{(нФ)}(1 - P_{6a}^{(нФ)}) + (1 - P_5^{(нФ)})(1 - P_{6б}^{(нФ)}) \right].$$

Заключение

Таким образом, установлено, что эффективность системы управления в условиях развития ЧС гидрологического характера на водных объектах будет тем выше, чем больше вероятность правильного осуществления функций $P_i^{(\Phi)}$, $pi=(1, 2, \dots, 7)$ [3, 8–10].

Список источников

1. Система управления спасательными формированиями при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций гидрологического характера: монография / А.В. Калач [и др.]. Воронеж: Воронежский ин-т ФСИН России; СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2018. 163 с.
2. Арифиллин Е.З., Калач А.В., Калач Е.В. Оценка эффективности действий при ликвидации чрезвычайной ситуации с использованием Марковского процесса // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2019. № 3. С. 24–28.
3. Смородинова Т.М. Управление в чрезвычайных ситуациях на основе нечетких когнитивных технологий: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2005. 164 с.
4. Доклад о государственном надзоре и контроле за использованием природных ресурсов и состоянием окружающей среды Воронежской области в 2005 году / В.И. Ступин [и др.]. Воронеж, 2006. 112 с.
5. Доклад о природоохранной деятельности городского округа, город Воронеж, в 2020 году / Г.Л. Воробьева [и др.]. Воронеж, 2021. 52 с.
6. Доклад о природоохранной деятельности городского округа, город Воронеж, в 2020 году / Н.В. Ветер [и др.]. Воронеж, 2020. 53 с.
7. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ (в ред. от 29 июля 2018 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Hoeg K. Performance evaluation, safety assessment and risk analysis for dams // The Int. J. of Hydropower and Dams. 1996. Issue 6. P. 8.
9. Adaptive Random Fuzzy Cognitive Maps / J. Aguilar [et al.] // IBERAMIA 2002: Lecture Notes in Artificial Intelligence 2527. Berlin, Heidelberg, 2002. P. 402–410.
10. Margaritis M., Stylios Ch., Groumpos P.P. FSM Analyst A Fuzzy Cognitive Map Development and Simulation Tool // Workshop on Computer Science and Information Technoloies (CSIT'2002). Patras, Greece, 2002. P. 156–162.

References

1. Sistema upravleniya spasatel'nymi formirovaniyami pri ugroze vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij gidrologicheskogo haraktera: monografiya / A.V. Kalach [i dr.]. Voronezh: Voronezhskij in-t FSIN Rossii; SPb.: S.-Peterb.un-t GPS MCHS Rossii, 2018. 163 s.
2. Arifullin E.Z., Kalach A.V., Kalach E.V. Ocenka effektivnosti dejstvij pri likvidacii chrezvychajnoj situacii s ispol'zovaniem Markovskogo processa // Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii. 2019. № 3. S. 24–28.
3. Smorodinova T.M. Upravlenie v chrezvychajnyh situacijah na osnove nechetkih kognitivnyh tekhnologij: dis. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 2005. 164 s.
4. Doklad o gosudarstvennom nadzore i kontrole za ispol'zovaniem prirodnyh resursov i sostoyaniem okruzhayushchej sredy Voronezhskoj oblasti v 2005 godu / V.I. Stupin [i dr.]. Voronezh, 2006. 112 s.
5. Doklad o prirodohrannoj deyatelnosti gorodskogo okruga, gorod Voronezh, v 2020 godu / G.L. Vorob'eva [i dr.]. Voronezh, 2021. 52 s.
6. Doklad o prirodohrannoj deyatelnosti gorodskogo okruga, gorod Voronezh, v 2020 godu / N.V. Veter [i dr.]. Voronezh, 2020. 53 s.

7. О promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov: Feder. zakon ot 21 iyulya 1997 g. № 116-FZ (v red. ot 29 iyulya 2018 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

8. Hoeg K. Performance evaluation, safety assessment and risk analysis for dams // The Int. J. of Hydropower and Dams. 1996. Issue 6. P. 8.

9. Adaptive Random Fuzzy Cognitive Maps / J. Aguilar [et al.] // IBERAMIA 2002: Lecture Notes in Artificial Intelligence 2527. Berlin, Heidelberg, 2002. P. 402–410.

10. Margaritis M., Stylios Ch., Groumos P.P. FSM Analyst A Fuzzy Cognitive Map Development and Simulation Tool // Workshop on Computer Science and Information Technoloies (CSIT'2002). Patras, Greece, 2002. P. 156–162.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.03.2022; одобрена после рецензирования: 29.03.2022; принята к публикации: 04.04.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 17.03.2022; approved after review: 29.03.2022; accepted for publication: 04.04.2022

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 Степанович Шимон, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84), кандидат технических наук, e-mail: nikolay_voroneg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5915-7270>

Евгений Заудятович Арифуллин, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84), кандидат технических наук, e-mail: arif-vrn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7310-0753>

Information about authors:

Andrey V. Kalach, head of the department of information security and protection of information constituting state secrets, 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>

Nikolai S. Shimon, associate professor of the department of technosphere and fire safety, Voronezh state technical university (394006, Voronezh, 20th anniversary of October st., 84), candidate of technical sciences, e-mail: nikolay_voroneg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5915-7270>

Evgeny Z. Arifullin, associate professor of the department of technosphere and fire safety, Voronezh state technical university (394006, Voronezh, 20th anniversary of October st., 84), candidate of technical sciences, e-mail: arif-vrn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7310-0753>

УДК 654.924.56

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИНИАТЮРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

Чжан Сяофань[✉];**Михаил Александрович Васильев.****Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,****Санкт-Петербург, Россия****Ольга Александровна Зыбина.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**[✉]zzzxxf@yandex.ru

Аннотация. Поскольку пожары на складах часто приводят к большим экономическим потерям, большинство складов оборудованы автоматическими спринклерными системами или роботизированными комплексами пожаротушения. В существующих системах обнаружения пожаров используются стационарные системы, не всегда способные определить точные координаты очага пожара на ранней стадии тления с большим количеством дыма. Это затрудняет подавление очага на ранней стадии. Благодаря гибкости беспилотных летательных аппаратов и способности нести различные аксессуары, их включение в системы передач координат пожара системы в качестве летающего пожарного извещателя открывает новые возможности. Были проведены эксперименты для определения мест установки различных типов детекторов в беспилотные летательные аппараты, чтобы установить влияние воздушного потока, создаваемого во время работы беспилотных летательных аппаратов, на материал, подлежащий мониторингу. В результате получается летающий пожарный извещатель с прикрепленными к нему различными датчиками и видеокамерами.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, спринклерные системы пожаротушения, роботизированные установки пожаротушения, летающий пожарный извещатель

Для цитирования: Чжан Сяофань, Васильев М.А., Зыбина О.А. Перспективы применения миниатюрных беспилотных летательных аппаратов в роботизированных системах обнаружения и тушения пожара // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 17–24.

PROSPECTS FOR MINIATURE DRONES IN ROBOTIC FIRE DETECTION AND EXTINGUISHING SYSTEMS

Zhang Xiaofan[✉];**Mikhail A. Vasiliev.****Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia****Olga A. Zybina.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**[✉]zzzxxf@yandex.ru

Abstract. Since fires in warehouses often lead to large economic losses, most warehouses are equipped with automatic sprinkler systems or robotic fire extinguishing systems. Existing fire detection systems use stationary systems that are not always able to determine the exact coordinates

of the fire source at an early stage of smoldering with a large amount of smoke. This makes it difficult to suppress the focus at an early stage. Due to the flexibility of unmanned aerial vehicles and the ability to carry various accessories, their inclusion in the fire coordinate transmission systems of the system as a flying fire detector opens up new possibilities. Experiments were carried out to determine the installation locations of various types of detectors in unmanned aerial vehicles in order to determine the effect of the airflow generated during the operation of unmanned aerial vehicles on the material to be monitored. The result is a flying fire detector with various sensors and video cameras attached to it.

Keywords: unmanned aerial vehicles, fire sprinkler systems robotic, fire extinguishing systems, flying fire detector

For citation: Zhang Xiaofan, Vasiliev M.A., Zyбина O.A. Prospects for miniature drones in robotic fire detection and extinguishing systems // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 17–24.

Введение

В последние годы постоянно развивается наука и техника. При стремительном развитии экономики и использовании все более и более опасных материалов возрастает опасность и число пожаров, а также имущественный ущерб и потери, вызванные опасными факторами пожара. В России ежегодно увеличивается количество пожаров и сумма причинённого ущерба. По данным МЧС России [1], в 2021 г. в России произошло 4 987 пожаров, в том числе 30 пожаров возникли в складских зданиях, причинив экономический ущерб в размере 88 305 тыс. руб., что значительно превышает ущерб от других пожаров.

Большинство материальных складов [2] расположено в отдалённых районах, и пожарные-спасатели не могут вовремя добраться до них. В то же время склады большие, в них хранится большое количество легковоспламеняющихся предметов, а в некоторых – даже опасные химикаты.

При возникновении пожара в складских помещениях наблюдается быстрое распространение пламени с резким увеличением температуры и задымлением. Работа по тушению в данном случае связана с риском обрушения стеллажей хранения и самих конструкций здания. В ряде случаев эффективную защиту обеспечивают спринклерные системы пожаротушения. Для складов с большой высотой складирования (более 5,5 м) спринклерные системы становятся менее эффективны [3]. Дренчерные системы требуют значительных запасов воды и прокладки большого количества труб. Высокую эффективность для защиты помещений большой площади показали роботизированные установки пожаротушения на базе управляемых лафетных стволов [4].

Ещё одним направлением, обеспечивающим оперативность обнаружения пожара, гибкость управления подачи огнетушащего вещества, программируемость, функционирование в автоматическом, ручном и дистанционном режиме, является развитие спринклерных систем с принудительным пуском [5].

К недостаткам этих систем можно отнести невозможность локализации очага пожара с активным дымовыделением на этапе тления [6]. Данные очаги выявляются современными дымовыми пожарными извещателями на ранней стадии, но, учитывая переменное направление воздушных потоков, по точке фиксации дыма на потолке невозможно определить координаты очага пожара. Этот недостаток может быть компенсирован путём применения новых технологий, в частности современных аэромобильных роботизированных установок на базе миниатюрных беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА) [7]. Благодаря своей гибкости и способности нести несколько наборов датчиков дрона могут

использоваться в качестве летающих пожарных извещателей и объективно необходимы для сложных пожарных сред [8].

Когда беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находится в работе [9], лопасти ротора вращаются, и газ, находящийся сверху, увлекается вниз под воздействием комбинированного эффекта направленной вниз силы лопастей и центробежной силы, закручиваясь и вращаясь, а затем выбрасывается вниз, образуя воронкообразную область непосредственно под БПЛА. Чтобы учесть влияние воздушного потока, создаваемого ротором, на чувствительность датчиков и позволить БПЛА лучше следить за пожарами, необходимо определить местоположение различных датчиков [10].

Методы исследования

Чтобы подтвердить потенциал дронов в качестве летающих пожарных детекторов, необходимо проверить следующие аспекты их функциональности:

- способность беспилотников самостоятельно проводить мониторинг пожаров;
- способность беспилотников определять координаты пожара.

Поэтому были спланированы следующие эксперименты, и построены различные экспериментальные платформы:

1. Эксперименты с датчиками угарного газа.

В качестве материала для горения были выбраны фитили из хлопка. Их горение сопровождается выделением дыма и окиси углерода. Фитиль из хлопка имеет длину 10 см и весит 0,34 г.

Структура и размеры экспериментальной платформы показаны на рис. 1.

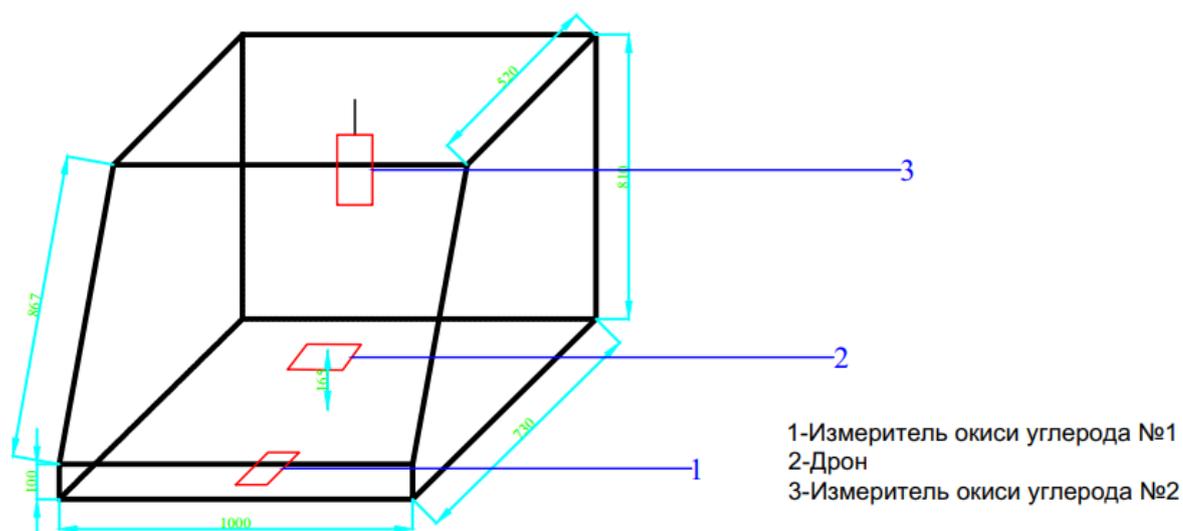


Рис. 1. Структура экспериментальной платформы

2. Эксперименты с датчиками дыма (рис. 2, 3).

Пожары часто сопровождаются большим количеством дыма, поэтому датчики дыма также необходимы на БПЛА. Чтобы определить, где разместить дымовые извещатели, были проведены следующие эксперименты.

Для эксперимента контрольные детекторы дыма были размещены над дроном и один под ним.



Рис. 2. Дрон и детекторы дыма

Для получения дыма, заполнившего комнату, использовался стационарный генератор искусственного дыма.



Рис. 3. Стационарный генератор искусственного дыма

Наблюдение за показаниями контрольных извещателей дыма обеспечивалось радиоканальным программно-аппаратным комплексом.

Для проведения эксперимента на потолке на расстоянии от стены 2,5 м был размещён контрольный индикатор оптической плотности дыма (контрольный извещатель) № 1. Квадрокоптер на телескопической штанге с размещённым под ним контрольным извещателем № 2 располагался непосредственно под контрольным извещателем № 1. Расстояние от контрольного извещателя № 1 до винтов квадрокоптера (по вертикали) составляло 0,2 м. Расстояние от винтов квадрокоптера до контрольного извещателя № 2 составляло 0,2 м. Комната заполнялась дымом, формируемым генератором дыма «Кипарис-Ст.»

3. Эксперименты с детекторами изображений.

Инфракрасные камеры очень хорошо фиксируют очаг пламени. Обычная камера и камера, покрытая кремниевым оптическим фильтром, используются для фиксации изображения и наглядного сравнения.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведённых экспериментов были получены следующие результаты:

1. Эксперименты с датчиками угарного газа (табл.).

Таблица. Концентрация угарного газа в верхней и нижней частях испытательной камеры

Стадия исследования	№ 1 ppm	№ 3 ppm
После сгорания фитиля	69	64
После включения БПЛА	75	65
После выключения БПЛА	65	60

Согласно экспериментальным данным, концентрация угарного газа выше под БПЛА и изменяется более значительно после его работы, поэтому целесообразнее размещать детектор угарного газа именно под ним.

2. Эксперименты с датчиками дыма.

При проведении испытаний зависимости оптической плотности дыма при включении винтов квадрокоптера были получены следующие результаты.

При выключенных винтах квадрокоптера в установившемся режиме контрольный извещатель № 1 фиксировал оптическую плотность дыма 0,16 дБ/м, контрольный извещатель № 2 фиксировал оптическую плотность 0,06 дБ/м. При включённых винтах квадрокоптера контрольный извещатель № 1 фиксировал оптическую плотность дыма 0,1 дБ/м, контрольный извещатель № 2 фиксировал оптическую плотность 0,14 дБ/м.

Таким образом, при работающих винтах квадрокоптера показания контрольного извещателя, расположенного над ним, уменьшаются, а под ним – увеличиваются. Из экспериментальных данных видно, что концентрация дыма немного больше под дроном и больше изменяется при его включении, поэтому детектор дыма лучше разместить под ним.

3. Эксперименты с детекторами изображений (рис. 4).

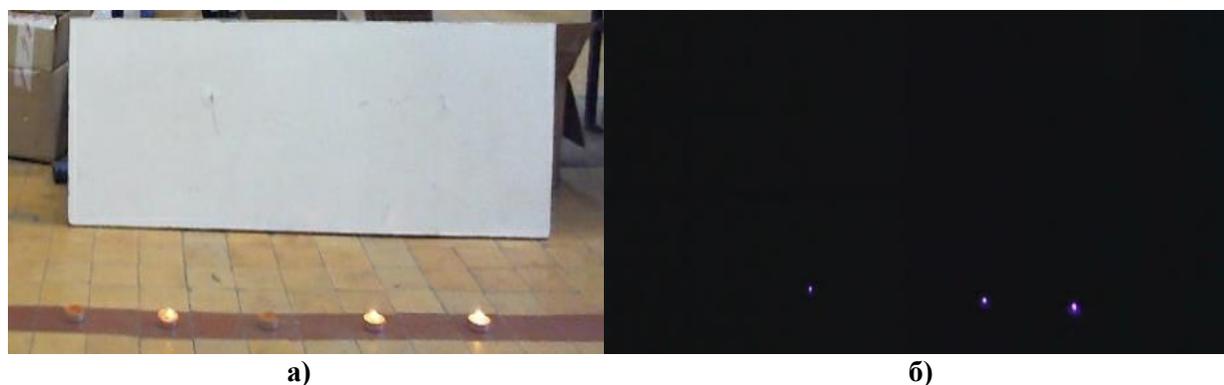


Рис. 4. Съемка с камеры:
а) без фильтра; б) с фильтром Si

На изображении обычной камеры (рис. 4 а) видны три из пяти зажженных свечей, а на изображении камеры, покрытой кремниевым фильтром (рис. 4 б), видны три ярких пятна в форме пламени.

На основании результатов экспериментов можно сделать вывод, что инфракрасная камера может очень хорошо наблюдать за пламенем в условиях естественного освещения, а обычная камера помогает визуализировать место наблюдения.

Заключение

С помощью серии экспериментов была продемонстрирована возможность применения БПЛА к существующим роботизированным комплексам пожаротушения в закрытых помещениях (складах, различных комплексах и т.д.). Для этого необходим МБПЛА с системой определения координат с помощью лидара (лазерная система определения координат) и надёжной радиоканальной системой управления. МБПЛА оснащается многоспектральными видеокамерами, детекторами пламени, угарного газа и дыма.

Помимо основной функции – обнаружения места пожара, БПЛА могут выполнять множество дополнительных функций:

- наблюдение за объектом после проведения сварочных работ для подтверждения того, что со сваркой все в порядке;
- разъяснение персоналу правил пожарной безопасности;
- сопровождение персонала к так называемым очагам возгорания и направление на эвакуацию с места пожара.

В ходе дальнейших исследований возможны другие сферы применения летающего пожарного извещателя.

Список источников

1. Статистические сведения по пожарам и их последствиям, зарегистрированным за январь–декабрь 2021 г. в сравнении с аналогичным периодом прошлого года. Главное управление МЧС России по Курганской области. URL: <https://45.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/statisticheskie-dannye/statisticheskie-svedeniya-o-chrezvychaynyh-situaciyah-pozharah-i-ih-posledstviyah-v-kurganskoy-oblasti/statisticheskie-svedeniya-po-pozharam-i-ih-posledstviyam/2021/statisticheskie-svedeniya-po-pozharam-i-ih-posledstviyam-zaregistrirovannym-za-yanvar-dekabr-2021-goda-v-sravnenui-s-analogichnym-periodom-proshlogo-goda> (дата обращения: 17.05.2022).
2. Особенности тушения пожаров на складах / О.В. Двоенко [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: Наука и Просвещение, 2022. С. 20–24.
3. Белова В.А., Щербакова К.Г., Матва А.А. Система спринклерного орошения и особенности ее применения // Проблемы эффективного использования научного потенциала общества: сб. статей по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак: ООО «Агентство международных исследований», 2019. С. 97–99.
4. Цариченко С., Синельникова Е. Стационарные роботизированные комплексы пожаротушения как составная часть автоматических установок пожаротушения // Алгоритм безопасности. 2007. № 5. С. 56–58.
5. Белоусов Л., Дауэнгауэр С. Спринклерные системы водяного пожаротушения с принудительным пуском // Алгоритм безопасности. 2009. № 6. С. 24–27.
6. Серебренников Д.С., Литвинцев К.Ю. Обзор моделей распространения дыма и определения дальности видимости. Технологии техносферной безопасности. 2011. № 1 (35). С. 6.

7. Баранов О.В. О задаче выбора параметров ПИД-регулятора квадрокоптера (БПЛА) // Устойчивость и колебания нелинейных систем управления (конференция Пятницкого): материалы XIII Междунар. конф. М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2016. С. 45–48.
8. Pfister G. Multisensor / multicriteria fire detection: a new trend rapidly becomes state of the art // Fire Technology. 1997. № 33 (2). P. 115–139.
9. The role of propeller aerodynamics in the model of a quadrotor UAV[C] / P.J. Bristeau [et al.] // 2009 European control conference (ECC). IEEE, 2009. P. 683–688.
10. Xie K., Wang K. Measurement of wind speed and direction with ultrasonic sensor using FPGA[J] // Energy Procedia. 2011. № 12. P. 837–843.

References

1. Statisticheskie svedeniya po pozharam i ih posledstviyam, zaregistririvannym za yanvar'-dekabr' 2021 g. v sravnenii s analogichnym periodom proshlogo goda. Glavnoe upravlenie MCHS Rossii po Kurganskoj oblasti. URL: <https://45.mchs.gov.ru/deyatelnost/profilakticheskaya-rabota-i-nadzornaya-deyatelnost/statisticheskie-dannye/statisticheskie-svedeniya-o-chrezvychaynyh-situaciyah-pozharah-i-ih-posledstviyah-v-kurganskoy-oblasti/statisticheskie-svedeniya-po-pozharam-i-ih-posledstviyam/2021/statisticheskie-svedeniya-po-pozharam-i-ih-posledstviyam-zaregistririvannym-za-yanvar'-dekabr-2021-goda-v-sravnenii-s-analogichnym-periodom-proshlogo-goda> (data obrashcheniya: 17.05.2022).
2. Osobennosti tusheniya pozharov na skladah / O.V. Dvoenko [i dr.] // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego: sb. statej Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Penza: Nauka i Prosveshchenie, 2022. S. 20–24.
3. Belova V.A., Shcherbakova K.G., Matva A.A. Sistema sprinklernogo orosheniya i osobennosti ee primeneniya // Problemy effektivnogo ispol'zovaniya nauchnogo potentsiala obshchestva: sb. statej po itogam Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Sterlitamak: OOO «Agentstvo mezhdunarodnyh issledovanij», 2019. S. 97–99.
4. Carichenko S., Sinel'nikova E. Stacionarnye robotizirovannye komplekсы pozharotusheniya kak sostavnaya chast' avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya // Algoritm bezopasnosti. 2007. № 5. S. 56–58.
5. Belousov L., Dauengauer S. Sprinklernye sistemy vodyanogo pozharotusheniya s prinuditel'nym puskom // Algoritm bezopasnosti. 2009. № 6. S. 24–27.
6. Serebrennikov D.S., Litvincev K.Yu. Obzor modelej rasprostraneniya dyma i opredeleniya dal'nosti vidimosti. Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2011. № 1 (35). S. 6.
7. Baranov O.V. O zadache vybora parametrov PID-regulyatora kvadrokoptera (BPLA) // Ustojchivost' i kolebaniya nelinejnyh sistem upravleniya (konferenciya Pyatnickogo): materialy XIII Mezhdunar. konf. M.: In-t problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2016. S. 45–48.
8. Pfister G. Multisensor / multicriteria fire detection: a new trend rapidly becomes state of the art // Fire Technology. 1997. № 33 (2). P. 115–139.
9. The role of propeller aerodynamics in the model of a quadrotor UAV[C] / P.J. Bristeau [et al.] // 2009 European control conference (ECC). IEEE, 2009. P. 683–688.
10. Xie K., Wang K. Measurement of wind speed and direction with ultrasonic sensor using FPGA[J] // Energy Procedia. 2011. № 12. P. 837–843.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 21.06.2022; одобрена после рецензирования: 22.06.2022;
принята к публикации: 22.06.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 21.06.2022; approved after review: 22.06.2022;
accepted for publication: 22.06.2022

Информация об авторах:

Чжан Сяофань, магистр Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: zzzxxf@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7681-1219>

Михаил Александрович Васильев, доцент Высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), кандидат технических наук, e-mail: mavas01@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8329-059X>

Ольга Александровна Зыбина, заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России по научной работе (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, доцент, e-mail: o.zybina@igps.ru

Information about the authors:

Zhang Xiaofan, master of Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politechnicheskaya str., 29), e-mail: zzzxxf@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7681-1219>

Mikhail A. Vasiliev, associate professor of Higher school of technosphere security of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politechnicheskaya str., 29), candidate of technical sciences, e-mail: mavas01@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8329-059X>

Olga A. Zybina, deputy head of Saint-Petersburg university of EMERCOM of Russia for scientific work (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: o.zybina@igps.ru

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

УДК 699.816.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СДЕРЖИВАНИЯ ПОЖАРА

Дан Игоревич Савельев✉;

Иван Дмитриевич Балабанов;

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия.

Денис Юрьевич Минкин.

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

✉savelev.dan@yandex.ru

Аннотация. В целях снижения вреда, наносимого огнетушащим веществом, водой, предлагается для локализации возгорания вместо автоматических установок пожаротушения применять установки сдерживания пожара, чей принцип основан на снижении интенсивности орошения пожарной нагрузки. В отсутствие достаточного числа экспериментальных данных в ходе работы были проведены компьютерное моделирование и натурные испытания. На их основе получены численные параметры сдерживания пожара, которые в дальнейшем могут использоваться при проектировании систем защиты, а также дано обоснование необходимости использования технологии принудительного пуска в автоматических установках сдерживания пожара.

Ключевые слова: пожарная безопасность, водяное пожаротушение, автоматические установки сдерживания пожара, компьютерное моделирование, Fire Dynamics Simulator

Для цитирования: Савельев Д.И., Балабанов И.Д., Минкин Д.Ю. Исследование эффективности работы автоматических установок сдерживания пожара // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 25–32.

RESEARCH OF EFFICIENCY OF FIRE CONTAINMENT INSTALLATIONS

Dan I. Savelev✉;

Ivan I.D. Balabanov;

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia.

Denis Yu. Minkin.

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

✉savelev.dan@yandex.ru

Abstract. To reduce the harm caused by a fire extinguishing agent, water, it is proposed to use fire containment installations instead of automatic fire extinguishing installations, whose principle is based on reducing the intensity of irrigation of the fire load. In the absence of a sufficient number of experimental data, computer modeling and field tests were carried out in the course of the work, based on which numerical parameters of fire containment were obtained, which can later be used in the design of protection systems. The rationale for the use of electrical activation technology in automatic fire containment installations is also given.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

Keywords: fire safety, water firefighting, automatic fire containment installations, computer simulation, Fire Dynamics Simulator

For citation: Savelev D.I., Balabanov I.D., Minkin D.Yu. Research of efficiency of fire containment installations // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 25–32.

Введение

Анализ статистики МЧС России за 2017–2020 гг. в России показывает ежегодное увеличение количества пожаров [1]. Одна из причин может быть связана с постоянным увеличением числа вводимых площадей жилого, коммерческого, складского и производственного назначений, даже несмотря на экономический кризис, связанный с пандемией [2].

При этом параметры эффективности работы установок пожаротушения из года в год практически не меняются, что видно из таблицы [1]. Таким образом, можно сделать вывод, что значительного качественного изменения систем безопасности не происходит.

Таблица. Эффективность работы установок и модулей пожаротушения в 2017–2020 гг.

Год	Всего	Сработала, задачу выполнила		Сработала, задачу не выполнила		Не сработала		Не включена	
		шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
2017	69	32	46 %	23	33 %	7	10 %	7	10 %
2018	82	43	53 %	25	31 %	10	12 %	4	5 %
2019	94	50	54 %	34	37 %	6	6 %	4	4 %
2020	100	52	52 %	31	31 %	10	10 %	7	7 %

Одним из самых распространённых способов борьбы с пожарами является применение водяных установок пожаротушения. Вода как огнетушащее вещество (ОТВ) имеет ряд преимуществ: доступность, дешевизна, безопасность для человека и т.д.

Но было замечено, что лишь в 16 % случаев огонь является причиной имущественных потерь, тогда как вода наносит значительный вред в 42 % [3]. В силу того, что водяные установки могут применяться для защиты особенно ценных помещений, появляется цель минимизировать воздействие огнетушащего вещества на имущество.

Одним из предлагаемых методов воздействия ОТВ на объект является уменьшение интенсивности орошения – количества воды, попадающего на единицу площади поверхности объекта за единицу времени.

На данный момент подобная технология используется в установках подавления («suppression») пожара, которые применяются для стеллажного складирования. Также разрабатывается возможность уменьшения интенсивности орошения и для иных объектов, что будет реализовано в автоматических установках сдерживания пожара (АУСП). Так, в ст. 117 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» прописаны требования к подобным системам, и на стадии разработки находится ГОСТ «Установки сдерживания пожара водяные автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний».

Основным предназначением подобных установок является не тушение пожара, а его локализация до приезда пожарных подразделений. Подбор интенсивности орошения в таком случае является нетривиальной задачей.

Не стоит полагать, что применение АУСП предусматривается вместо доказавших свою работоспособность установок пожаротушения. Предлагается использовать сдерживание лишь на тех объектах, которые согласно действующим требованиям не подлежат защите установками пожаротушения, тем самым дополнительно повышая

безопасность объекта защиты. Например, при реконструкции или изменении функционального назначения помещения может остаться оборудование от ранее действующей АУПТ, но согласно текущему состоянию объекта на нём больше не требуются подобные системы, тогда при малейших финансовых и трудовых затратах тушение можно заменить на сдерживание, гарантируя при этом меньший ущерб имуществу, но большую степень защищённости от воздействия огня.

Методы исследования

Основным инструментом изучения сдерживания пожара был выбран программный продукт Fire Dynamics Simulator (FDS), работающий с вычислительной гидродинамикой, решающий уравнения Навье-Стокса, разрабатываемый National Institute of Standards and Technology (NIST) [4].

Но большинство работ, изучающих возможности FDS, представляют собой моделирование какого-либо уникального объекта и сравнение имитации с натурными испытаниями [5–9]. Ответов на поставленные в данной работе задачи в этих источниках нет.

Для целей исследования была построена модель, представляющая собой прямоугольное помещение размерами 7,5x7,5x3 м, с расположенным по центру пола штабелем, состоящим из деревянных брусков, удельная величина пожарной нагрузки которых не превышает 180 МДж/м², что соответствует 1 группе помещений по степени опасности развития пожара. Очаг возгорания находится в центре верхней поверхности пожарной нагрузки и распространяется радиально со скоростью 1 м/мин (рис. 1).

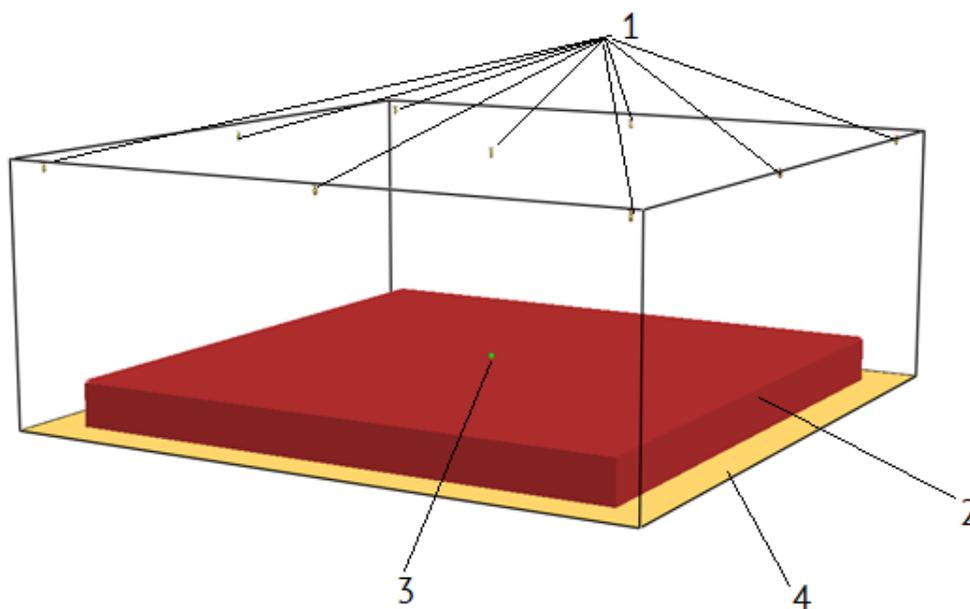


Рис. 1. Визуализация модели, пожарная нагрузка и оросители
(1 – оросители; 2 – пожарная нагрузка; 3 – очаг; 4 – пол)

Под поверхностью потолка были расположены оросители с шагом 3,5 м, которые включаются после минуты свободного горения (рис. 2).

При этом оценивалась скорость распространения пламени по поверхности пожарной нагрузки в зависимости от различных значений интенсивности орошения, что отражено на рис. 3.

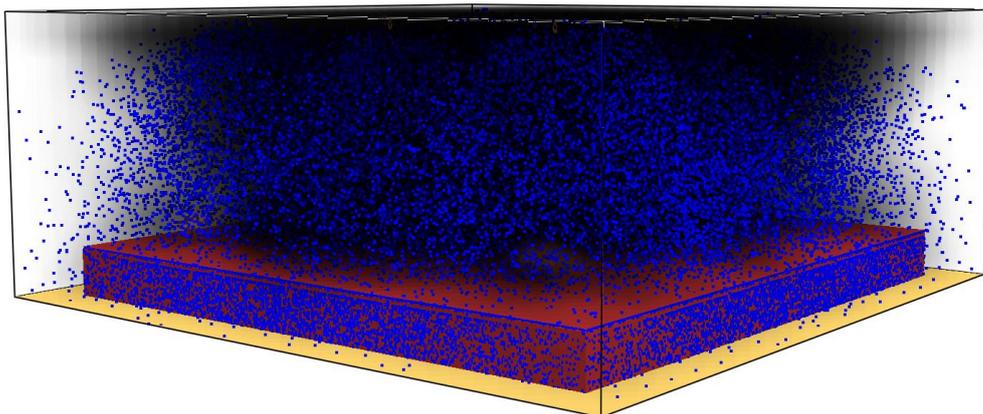


Рис. 2. Орошение с интенсивностью $0,08 \text{ л/(с*м}^2\text{)}$ на 90 сек.

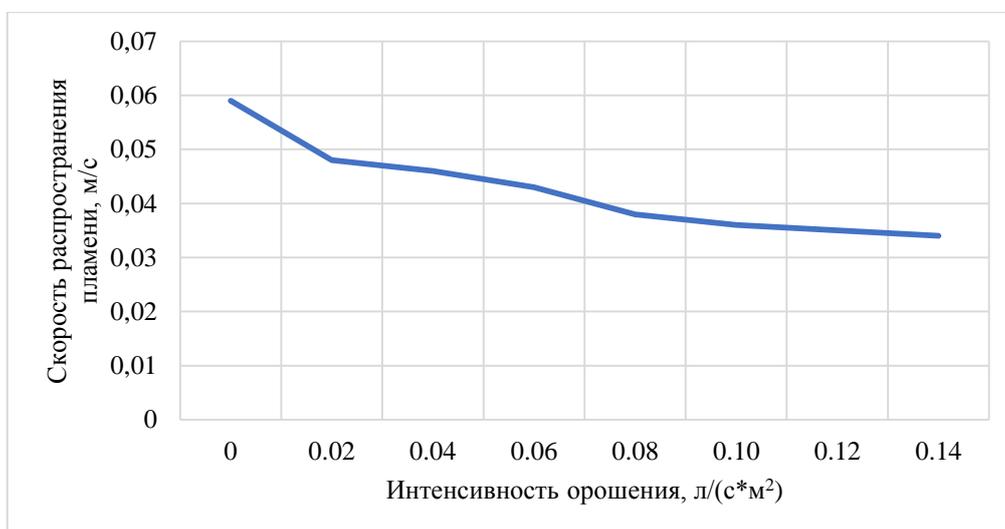


Рис. 3. График зависимости линейной скорости распространения пламени от интенсивности орошения

В качестве верификации результатов моделирования были проведены натурные испытания на тестовом очаге на территории испытательного полигона ООО «ФНПП «Гефест», расположенного в Ленинградской обл., Тосненском р-не, пгт Форносово.

Здание полигона представляет собой прямоугольное помещение размерами около $8 \times 8 \times 5 \text{ м}$, с расположенной под перекрытием на высоте порядка 3 м распределительной сетью трубопроводов, питающей оросители, и кессоном для сбора воды.

Для измерений, проводимых в эксперименте, использовалось следующее оборудование:

- весы платформенные электронные ВПА-10-1;
- влагомер Condrol Hydro-Тес 3-14-020.

В качестве оросителя был использован дренчер ДУ00-РН0 0,42-Р1/2.В2-«Аква-Гефест» производства ООО «ФНПП «Гефест».

Тестовый очаг устанавливается на поверхности пола с исследуемой интенсивностью орошения в следующем порядке снизу вверх:

1. Весы ВПА-10-1 с вынесенным пультом управления и индикации.
2. Металлический противень размером $(500 \pm 1) \times (500 \pm 1) \text{ мм}$ с бортиком $(50 \pm 1) \text{ мм}$.

3. Банка размерами $(250\pm 1)\times(250\pm 1)$ мм и высотой 200 мм, заполненная водой и гептаном в соотношении 2:1:($1\pm 0,1$) л и ($0,5\pm 0,1$) л соответственно.

4. Тестовый очаг, состоящий из 15 деревянных брусков в пять слоёв по три штуки сечением (40 ± 1) мм и длиной (300 ± 10) мм, в форме колодца.

Полученное сооружение представлено на рис. 4.

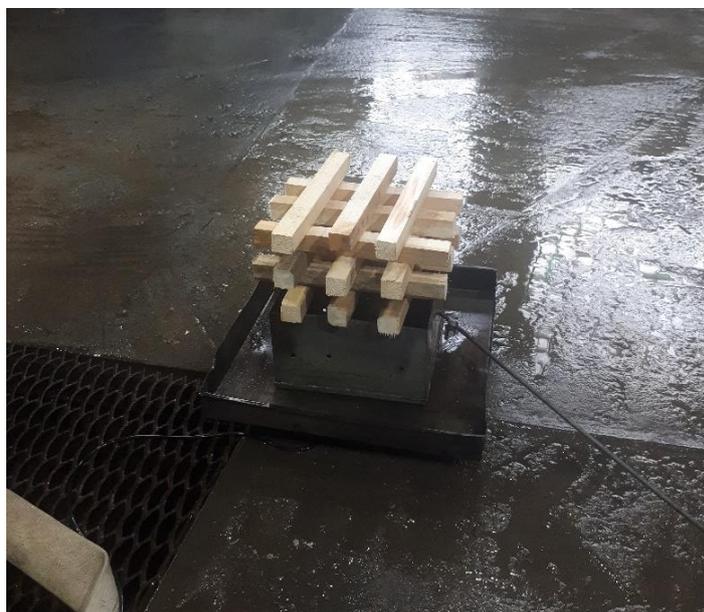


Рис. 4. Тестовый очаг

В качестве пожарной нагрузки используются бруски хвойных пород не ниже третьего сорта по ГОСТ 8486–86 [10] сечением (40 ± 1) мм и соответствующей длиной. Влажность пиломатериала должна составлять от 10 до 20 % по ГОСТ 16588-91 (ИСО 4470-81) [11].

Непосредственно огневое испытание начинается с поджигания ветоши, смоченной в водо-гептанной смеси, на длинной палке и трёхминутного свободного горения очага. По прошествии 3 мин включается орошение.

Производится регистрация показаний весов, которые показывают уменьшение общей массы пожарной нагрузки вследствие выгорания оной, что представлено на рис. 5.

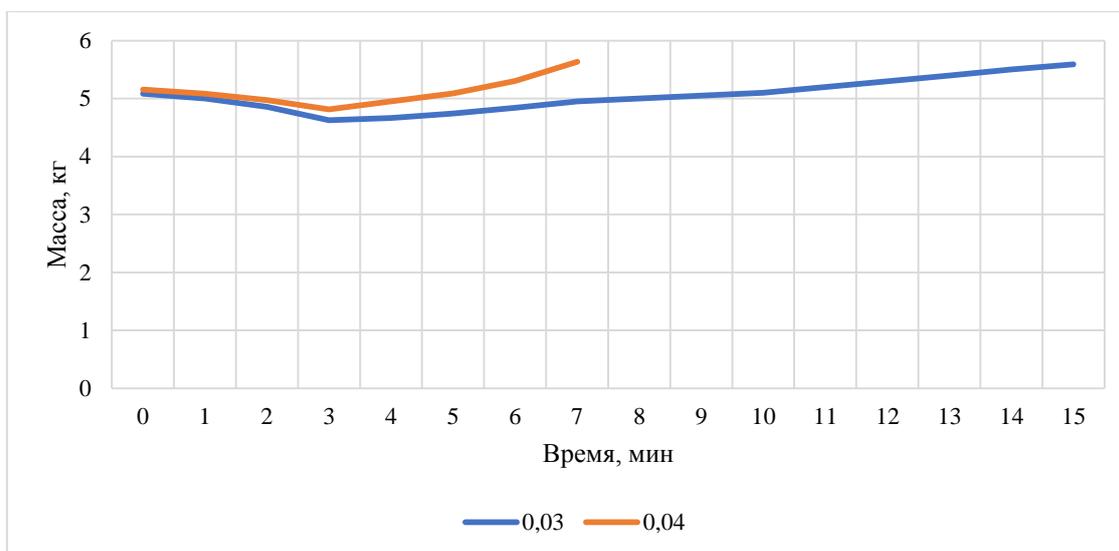


Рис. 5. График зависимости массы тестового очага от времени и интенсивности орошения

Испытание заканчивается в случае потухания огня или по истечении 15 мин. В случае если пожарная нагрузка продолжает гореть после 15 мин, производится тушение водой из шланга.

Результат эксперимента оценивается по степени разрушения конструкции тестового очага и оставшейся массы древесины, для чего по окончании испытания производится её замер на весах.

Условием успешного результата является то, что конструкция после огневого воздействия не разрушилась, продолжает стоять, отсутствуют полностью прогоревшие, разрушенные бруски.

Результаты исследования и их обсуждение

Решение о сдерживании пожара при той или иной интенсивности орошения предлагается производить по комплексной оценке результатов как компьютерного моделирования, так и натуральных испытаний, исходя из графика, представленного на рис. 3, и сравнении его с исходами натуральных испытаний, которые показали при интенсивности 0,04 л/(с*м²) тушение на 7:10 мин, а при 0,03 л/(с*м²) – лишь некое сдерживание.

Исходя из анализа полученных данных, можно заключить, что требуемый результат обеспечивается при увеличении линейной скорости распространения пламени относительно скорости при тушащей интенсивности орошения не более чем на 25 %, а также при скорости нарастания массы пожарной нагрузки не менее 2–4 %/мин.

Итоговая оценка свидетельствует о том, что уменьшение интенсивности орошения с тушащей 0,08 л/(м²/с) до 0,04 л/(м²/с) позволяет сдерживать пожар в течение 15 мин, необходимых для обнаружения возгорания и приезда пожарного подразделения.

Но располагать оросители АУСП таким же образом, как в случае с установкой пожаротушения не является рациональным, так как, несмотря на то, что при равномерном покрытии автоматической установкой всей площади объекта имущество будет повреждено значительно меньше, затем оно подвергнется воздействию водяной струи из пожарного рукава, что значительно пагубнее скажется на его состоянии.

Поэтому предлагается размещать оросители сдерживания пожара по периметру защищаемой зоны, тем самым локализуя возгорание внутри неё. Таким образом, воздействие огня и ОТВ на защищаемое имущество будет минимальным.

Но для таких целей не подходят обычные спринклерные оросители, потому что они не могут гарантировать замкнутость линии орошения, поэтому предлагается использовать оросители с принудительным групповым пуском по сигналу от пожарного извещателя.

Технология принудительного пуска не является совершенно новой разработкой, она уже достаточно известна и проработана. Значительное развитие технология принудительного пуска получила благодаря разработкам группы компаний «Гефест» (Санкт-Петербург). Благодаря чему принудительный пуск входит в нормативные документы не только России, но и всего мира. Таким образом, не должно возникать проблем при его интеграции в новый тип установок, а именно в АУСП. Но её применение позволит при оправданных трудовых и финансовых затратах достичь положительных эффектов по обеспечению пожарной безопасности и сохранности имущества при пожарах.

Заключение

Использование компьютерного моделирования позволит подобрать необходимые параметры и для иных видов пожарной нагрузки или групп помещений, таким образом, включить в нормативы наиболее точные характеристики, что, в конечном счёте, скажется на уменьшении ущерба от пожаров, и при этом не придётся проводить сложных и затратных натуральных испытаний. А применение принудительного пуска спринклерных оросителей позволяет более точно регулировать защищаемые зоны, тем самым менее губительно воздействовать на имущество, составляющее пожарную нагрузку.

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: Статистический сборник / П.В. Полехин [и др.] / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.
2. Мониторинг объемов жилищного строительства. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/zhilishnaya-politika/8/> (дата обращения: 20.04.2022).
3. WATER DAMAGE // FM Global. URL: <https://www.fmglobal.com/research-and-resources/tools-and-resources/water-damage-resource> (дата обращения: 20.04.2022).
4. Специальное издание НИСТ 1019-5. Руководство пользователя программы FDS (Версия 5) / К. McGrattan [и др.]. США: Национальный институт стандартов и технологии, 2007. 201 с.
5. McKinnon M.B., Weinschenk C. Validation of CFD fire model pressure predictions for modern residential style structures // Fire Safety Journal. 2021. Т. 126. Р. 103466.
6. Janardhan R.K., Hostikka S. When is the fire spreading and when it travels? – Numerical simulations of compartments with wood crib fire loads // Fire Safety Journal. 2021. Vol. 126. Р. 103485.
7. Kim S.C., Ryou H.S. An experimental and numerical study on fire suppression using a water mist in an enclosure // Building and Environment. 2003. Vol. 38. № 11. Р. 1309–1316.
8. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities / Markus E. [et al.] // Journal of Physics: Conference Series – IOP Publishing. 2018. Vol. 1107. № 4. Р. 042012.
9. Ingason H. In-rack fire plumes // Fire Safety Science. 1997. Vol. 5. Р. 333–344.
10. ГОСТ 8486–86. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия (с изм. № 1–3, с поправкой) от 30 сент. 1986 г., с изм. и доп. в ред. от 1 дек. 2013 г. М.: Стандартинформ, 2007.
11. ГОСТ 16588–91 (ИСО 4470–81). Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности от 28 дек. 1991 г. с изм. и доп., в ред. от 1 сент. 2009 г. М.: Стандартинформ, 2009.

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: Statischeeskij sbornik / P.V. Polekhin [i dr.] / pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIPO, 2021. 112 s.
2. Monitoring ob"emov zhilishchnogo stroitel'stva. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/trades/zhilishnaya-politika/8/> (data obrashcheniya: 20.04.2022).
3. WATER DAMAGE // FM Global. URL: <https://www.fmglobal.com/research-and-resources/tools-and-resources/water-damage-resource> (data obrashcheniya: 20.04.2022).
4. Special'noe izdanie NIST 1019-5. Rukovodstvo pol'zovatelya programmy FDS (Versiya 5) / K. MsGrattan [i dr.]. SSHA: Nacional'nyj institut standartov i tekhnologii, 2007. 201 s.
5. McKinnon M.B., Weinschenk C. Validation of CFD fire model pressure predictions for modern residential style structures // Fire Safety Journal. 2021. Т. 126. Р. 103466.
6. Janardhan R.K., Hostikka S. When is the fire spreading and when it travels? – Numerical simulations of compartments with wood crib fire loads // Fire Safety Journal. 2021. Vol. 126. Р. 103485.
7. Kim S.C., Ryou H.S. An experimental and numerical study on fire suppression using a water mist in an enclosure // Building and Environment. 2003. Vol. 38. № 11. Р. 1309–1316.
8. Application of a simplified pyrolysis model to predict fire development in rack storage facilities / Markus E. [et al.] // Journal of Physics: Conference Series – IOP Publishing. 2018. Vol. 1107. № 4. Р. 042012.
9. Ingason H. In-rack fire plumes // Fire Safety Science. 1997. Vol. 5. Р. 333–344.
10. GOST 8486–86. Pilomaterialy hvojnnyh porod. Tekhnicheskie usloviya (s izm. № 1–3, s popravkoj) ot 30 sent. 1986 g., s izm. i dop. v red. ot 1 dek. 2013 g. M.: Standartinform, 2007.
11. GOST 16588–91 (ISO 4470–81). Piloprodukciya i derevyannye detali. Metody opredeleniya vlazhnosti ot 28 dek. 1991 g. s izm. i dop., v red. ot 1 sent. 2009 g. M.: Standartinform, 2009.

Информация о статье:

статья поступила в редакцию: 26.05.2022; одобрена после рецензирования: 30.05.2022;
принята к публикации: 01.06.2022

The information article info: the article was received by the editorial office: 26.05.2022;
approved after review: 30.05.2022; accepted for publication: 01.06.2022

Информация об авторах:

Дан Игоревич Савельев, студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: savelev.dan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5046-5290>

Иван Дмитриевич Балабанов, аспирант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: balabanov2.id@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1616-3504>

Денис Юрьевич Минкин, 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, профессор, e-mail: minkin@igps.ru

Information about the author:

Dan I. Savelev, student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (1952514, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya str., 29), e-mail: savelev.dan@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5046-5290>

Ivan D. Balabanov, post-graduate student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnicheskaya str., 29), e-mail: balabanov2.id@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1616-3504>

Denis Yu. Minkin, 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, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: minkin@igps.ru

УДК 614.841.2

О НЕОБХОДИМОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ ИЛЛЮМИНАТОРОВ И УДАЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ИЗ ПАССАЖИРСКОГО САЛОНА ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ПОЖАРЕ

Анна Анатольевна Воронцова[✉];

Мария Юрьевна Принцева;

Сослан Владиславович Скодтаев.

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

[✉]annavorontsova@msn.com

Аннотация. Рассматриваются вопросы пожарной безопасности на самолетах транспортной направленности в случае авиaproисшествий, связанных с разгерметизацией топливной системы, с последующим возгоранием авиационного топлива. Приведены результаты численного моделирования тепловых потоков, воздействующих на фюзеляж воздушного судна при горении авиационного топлива, методами инфракрасной спектроскопии и термического анализа; исследован светопрозрачный материал заполнения иллюминаторов. Сформулированы рекомендации по ужесточению норм и правил по пожарной безопасности на авиационном пассажирском транспорте.

Ключевые слова: огнестойкость, авиaproисшествия, численное моделирование, критический тепловой поток, пожарная безопасность

Для цитирования: Воронцова А.А., Принцева М.Ю., Скодтаев С.В. О необходимости повышения предела огнестойкости заполнения иллюминаторов и удаления продуктов горения из пассажирского салона воздушного судна при пожаре // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 33–44.

ABOUT THE NEED TO INCREASE THE FIRE RESISTANCE LIMIT OF FILLING PORTHOLES AND REMOVING GORENJE PRODUCTS FROM THE PASSENGER CABIN OF THE AIRCRAFT IN CASE OF FIRE

Anna A. Vorontsova[✉];

Maria Yu. Printseva;

Soslan V. Skodtaev.

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

[✉]annavorontsova@msn.com

Abstract. The article deals with the issues of fire safety on aircraft of the transport category, in case of aircraft post-crash fires, followed by the ignition of aviation fuel. The results of numerical simulation of heat flows acting on the fuselage of an aircraft during the combustion of aviation fuel are carried out the translucent material of filling the windows is studied by the methods of infrared spectroscopy and thermal analysis.

Keywords: fire resistance, air accidents, numerical simulation, critical heat flow, fire safety

For citation: Vorontsova A.A., Printseva M.Yu., Skodtaev S.V. About the need to increase the fire resistance limit of filling portholes and removing gorenje products from the passenger cabin of the aircraft in case of fire // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 33–44.

Введение

В современном мире транспортная система пассажироперевозок определяет экономическое развитие государства и является одним из важнейших аспектов социального развития общества.

Безопасность перевозки пассажиров должна соответствовать высочайшим стандартам и определяться безусловной гарантией сохранности жизни и здоровья пассажиров. Развитие пожарной безопасности пассажирского транспорта – одно из главных направлений развития безопасности на транспорте в целом.

Авторами статьи проведен анализ статистических данных авиационных происшествий, связанных с возгоранием авиалайнеров при аварийной посадке, по данным межгосударственного авиационного комитета за 2004–2020 гг. [1]. Анализ статистических данных показал, что особенно опасны пожары, возникающие в случае разгерметизации топливной системы авиалайнера с последующим возгоранием разлитого топлива и проникновением открытого пламени в салон транспортного средства, который сам по себе является средоточием пожарной нагрузки (пассажирские кресла, пластиковая отделка салона, ручная кладь, одежда пассажиров и т.д.).

5 мая 2019 г. в аэропорту Шереметьево вследствие аварийной посадки произошло возгорание воздушного судна «Sukhoi Superjet 1000-95В», эксплуатируемого ПАО «Аэрофлот». В результате происшествия погиб 41 чел. (рис. 1). Более 90 % пассажиров погибли от ожогов дыхательных путей.



Рис. 1. Открытое горение воздушного судна «Sukhoi Superjet 1000-95В»

В результате горения разлитого топлива открытое пламя проникло внутрь фюзеляжа воздушного судна, что привело к быстрому распространению пламени внутри воздушного судна (время эвакуации пассажиров составило менее 2 мин), огнем была уничтожена хвостовая часть авиалайнера и пассажирский отсек (рис. 2). Несмотря на это, багажное отделение и его содержимое оказались полностью не подвержены горению (рис. 3) [2].

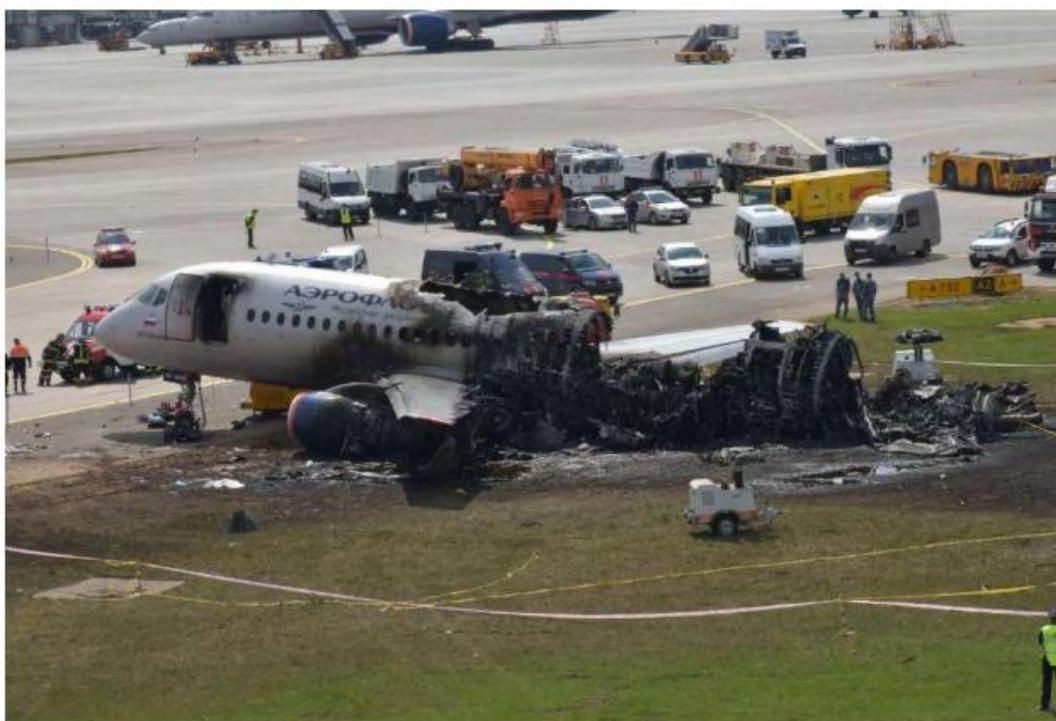


Рис. 2. Воздушное судно «Sukhoi Superjet 100-95B» после авиационного происшествия [2]



Рис. 3. Внешний вид багажного отделения и вид багажа пассажиров из багажного отделения после авиационного происшествия [2]

С целью изучения путей распространения пламени на воздушном судне авторами был проведен ряд исследований. По результатам проведенных исследований предложены рекомендации по внесению изменений в нормы пожарной безопасности конструирования пассажирских авиалайнеров для минимизации летальных последствий при авиационных происшествиях, связанных с возгоранием авиационного топлива вследствие аварийной посадки.

Методы исследования

Для установления возможных путей распространения горения по фюзеляжу воздушного судна, были использованы следующие методы исследования: численное полевое моделирование [3–5], метод инфракрасной (ИК) спектроскопии и метод термического анализа материала [6–8].

Для расчета критического теплового потока (q_d), воздействующего на светопрозрачный материал заполнения иллюминаторов и распределение температур в припотолочном слое внутри пассажирского отсека воздушного судна при возгорании разлитого при аварийной посадке топлива, было выполнено два численных эксперимента методом полевого моделирования [3–5].

Безопасность величины теплового потока для материала устанавливается сравнением расчетной величины интенсивности облучения – q_p , при данных условиях пожара с критической интенсивностью облучения – q_{kp} для заданного материала, превышение которой может вызвать воспламенение конструкций из сгораемых материалов [9].

Условие безопасности определяется формулой:

$$q_p < q_{kp},$$

где q_d – расчетная величина интенсивности облучения, Вт/м²; q_{kp} – критическая величина интенсивности облучения, Вт/м².

Также при помощи численного моделирования было проанализировано распределение температур при горении пожарной нагрузки внутри воздушного судна.

По данным производителя иллюминаторов «Saint Gobain Sully», материал, из которого выполнено заполнение иллюминаторов воздушного судна «Sukhoi Superjet 1000-95B», полиметилметакрилат или органическое стекло. С целью уточнения состава светопрозрачного материала заполнения иллюминаторов, изъятых с места происшествия, был снят его ИК-спектр на ИК-Фурье спектрометре ФСМ 1201. ИК-спектр был получен с использованием метода таблетирования с бромидом калия (KBr). Образец в количестве около 2 мг растирали с KBr (~ 300 мг) в яшмовой ступке, затем прессовали в таблетку в специальной пресс-форме под давлением более 200 бар с непрерывной откачкой воздуха до 15 кПа.

Термический анализ осуществляли на приборе синхронного термического анализа термогравиметрии / дифференциальной сканирующей калориметрии (ТГ/ДСК) «NETZSCH STA 449 F3 Jupiter» при следующих условиях: начальная температура – 30 °С, конечная температура – 600 °С, скорость нагрева – 20 °С/мин, материал тиглей – корунд, масса образцов около 3 мг. Анализ проводился в атмосфере воздуха с расходом 100 мл/мин.

Результаты исследования и их обсуждение

На ИК-спектре исследуемого образца наблюдаются полосы поглощения 2996, 2950, 2845, 1728, 1484, 1450, 1387, 1270, 1242, 1194, 1149, 1064, 990, 968, 913, 840, 809 и 752 см⁻¹ (рис. 4).

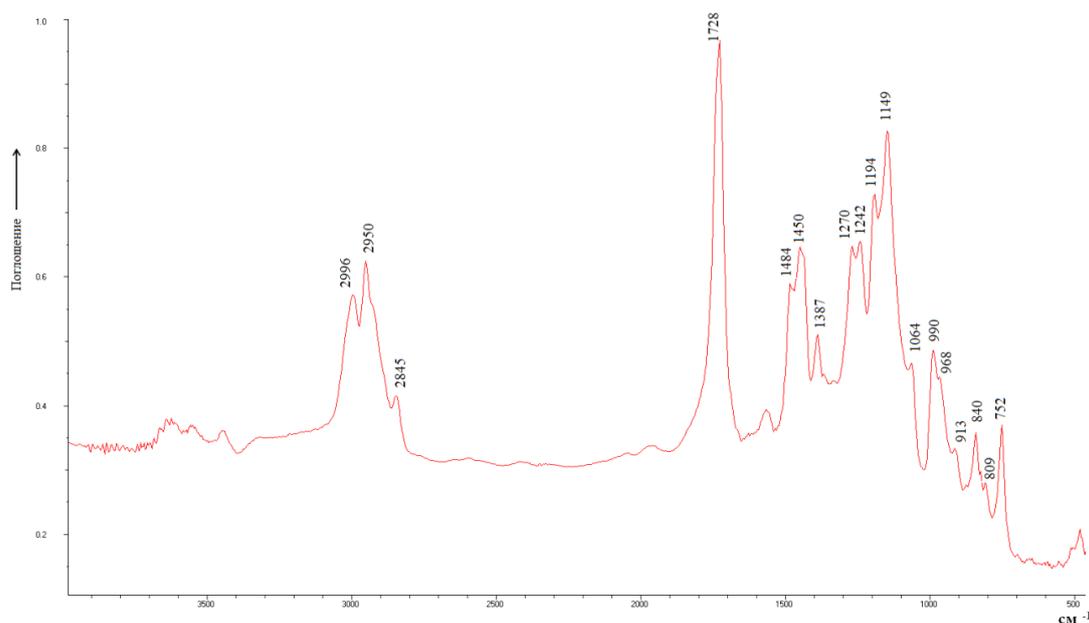


Рис. 4. ИК-спектр исследуемого образца

Наличие полос поглощения 2996, 2950 и 2845 см^{-1} указывает на присутствие в исследуемом образце валентных колебаний связей С-Н метильных и метиленовых групп, а наличие полос 1450, 1387 см^{-1} на присутствие деформационных колебаний связей С-Н метильных и метиленовых групп. Полоса 752 см^{-1} относится к колебанию скелета.

Присутствие интенсивной полосы поглощения 1728 см^{-1} можно отнести к валентным колебаниям С=О в сложноэфирной группе, полосы поглощения: 1270, 1242, 1194, 1149 см^{-1} – к валентным колебаниям С-О в сложноэфирной группе. Таким образом, в состав исследуемого образца входят связи С-Н метильных и метиленовых групп, а также сложноэфирная группа С-О, С=О. При сравнении ИК-спектра полиметилметакрилата (ПММА) (ПО «Оргстекло», г. Дзержинск.) из литературного источника [10] с ИК-спектром исследуемого образца по положению полос они оказались практически идентичны.

Кроме того, при поиске схожего ИК-спектра в информационно-поисковой системе ZaIR на основе базы данных, содержащей более 70 000 полных ИК-спектров различных химических соединений обнаружено сходство с ИК-спектром ПММА crofon 004 optical fiber (рис. 5). Таким образом, методом ИК-спектроскопии было установлено, что исследуемый образец, вероятнее всего, является полиметилметакрилатом.

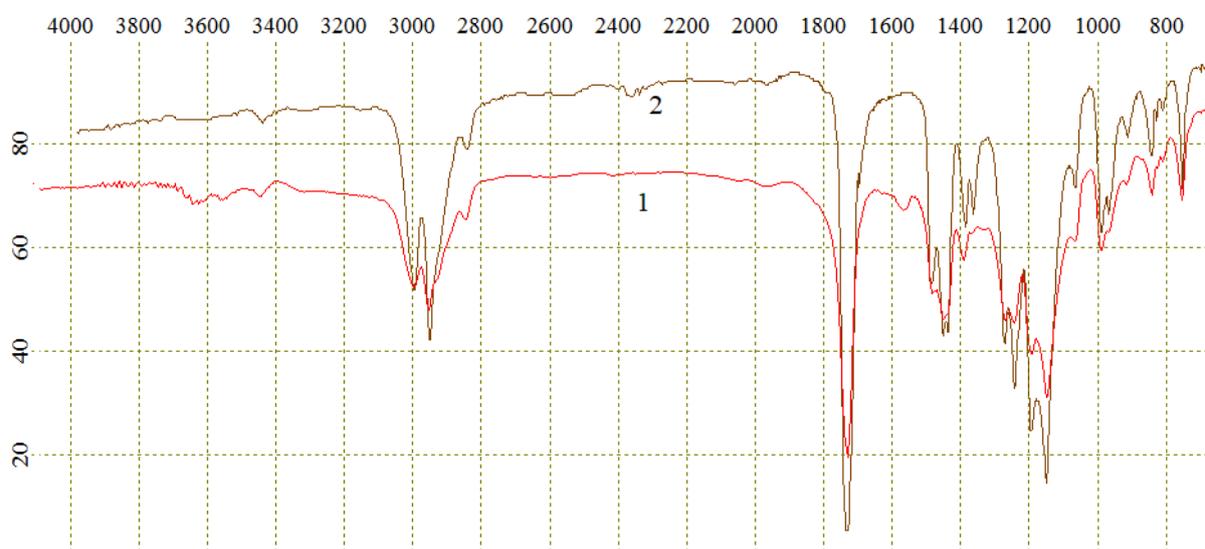


Рис. 5. ИК-спектры исследуемого образца (кривая 1) и ПММА crofon 004 optical fiber (кривая 2)

На рис. 6 приведена термограмма исследуемого образца.

Термическое разложение (термоокислительная деструкция) образца начинается при температуре около 250 °С. Термоокислительная деструкция протекает в интервале температур от 250 °С до 350 °С и сопровождается большой потерей массы (до температуры 350 °С она составляет 99,5 %). Термическое разложение образца имеет одноступенчатый характер, что приводит к появлению на кривой деривативной термографии (ДТГ) одного экстремума при температуре 270 °С. Скорость разложения образца при данной температуре составляет 14,9 %/мин. Его наличие свидетельствует о протекании в диапазоне температур от 250 °С до 350 °С термоокислительной деструкции с образованием и сгоранием газообразных продуктов деструкции (так называемых «горючих летучих»), сопровождающихся изменением энтальпии системы, что отражается на кривой дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) появлением экзотермических пиков при температуре 269 °С и 310 °С. В условиях пожара в данном температурном диапазоне можно предполагать возникновение пламенного горения вещества или материала [6–8].

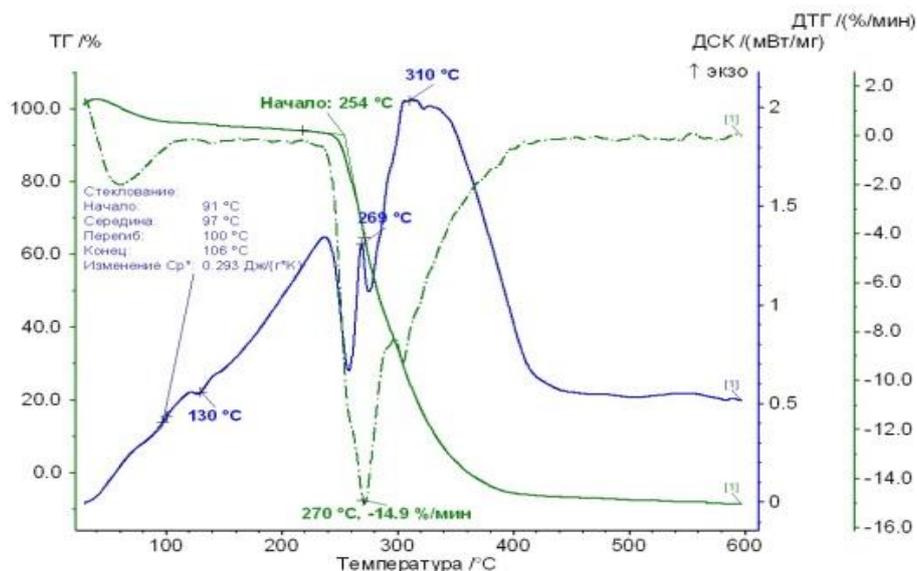


Рис. 6. Кривые ДСК, ДТГ и ТГ исследуемого образца

Моделирование процесса возгорания пожарной нагрузки за объемом фюзеляжа проводилось методом полевого моделирования. С этой целью была построена 3D модель фрагмента авиалайнера и разлитого под ним топлива (рис. 7).

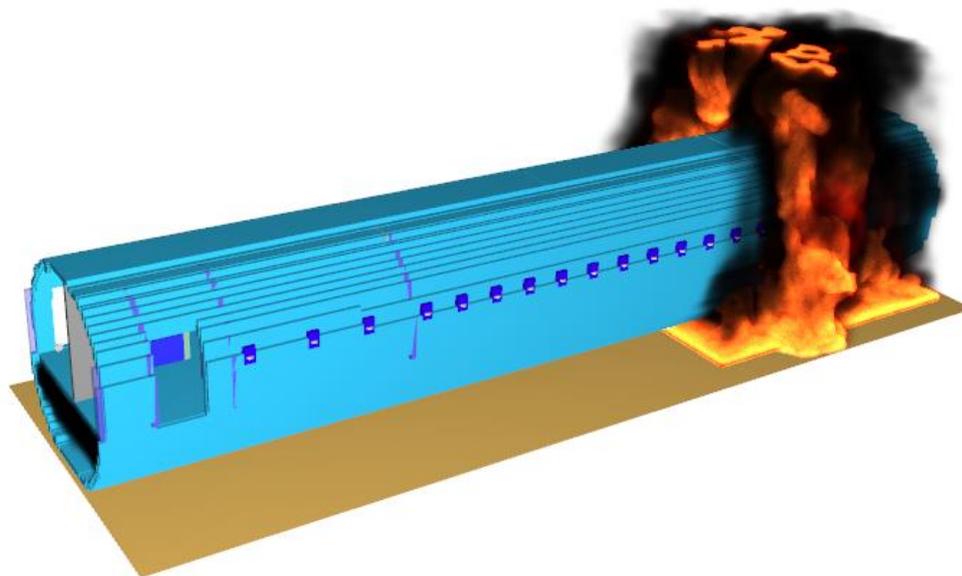


Рис. 7. 3D-модель фрагмента фюзеляжа самолета «RRJ-95B RA-89098»

Расчет проводился в течение 600 сек. Пожарная нагрузка, применяемая при моделировании, – авиационное топливо. Реакция горения авиационного топлива взята из работы [5].

В результате расчета получено среднее значение теплового потока, падающего на иллюминаторы воздушного судна. Значение среднего теплового потока равно $50,1 \text{ кВт/м}^2$. Критическая величина $q_{кр}$ для полиметилметакрилата равна 10 кВт/м^2 [11]. Расчетное значение теплового потока, превышающее значение критического теплового потока для полиметилметакрилата, достигается на первых 10 сек. моделирования при условии горения по всей площади пятна разлива (рис. 8).



Рис. 8. Зависимость теплового потока, падающего на центральную часть фрагмента фюзеляжа воздушного судна (ВС)

Для расчета температуры в припотолочном слое салона воздушного судна применялся полевой метод моделирования пожара. Расчет проводился в течении 90 сек. – данное время расчета специалистом выбрано с тем условием, что эвакуация пассажиров из горящего самолета проходила не более 2 мин. Пожарная нагрузка воздушного судна, учитываемая при моделировании, – поливинилхлорид. Реакция горения поливинилхлорида взята из работы [5]. Схема расположения расчетных точек (РТ) приведена на рис. 9.

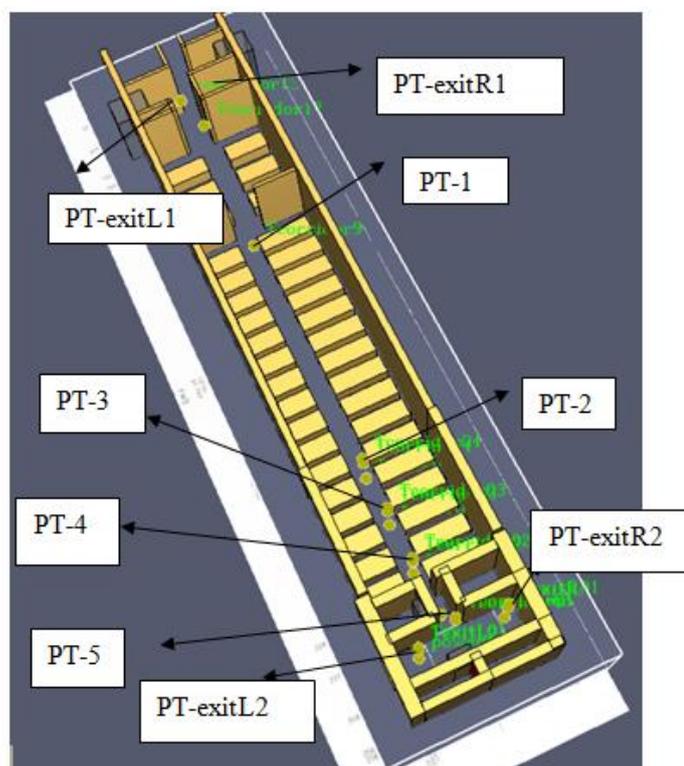


Рис. 9. Расположение расчетных точек (РТ) с температурными датчиками

Проведенное авторами исследование показало динамику нарастания температуры внутри воздушного судна после распространения горения внутрь салона. На графиках представлены зависимости температуры в расчетных точках от времени моделирования.

Из графиков зависимости температуры от времени моделирования в расчетных точках РТ2, РТ3 и РТ4, расположенных на высоте 1,7 м, в зоне очага пожара температура поднялась выше 600 °С (рис. 10, 11) уже на первых секундах при моделировании горения на боковых панелях в зоне наибольших повреждений воздушного судна. Такая температура является достаточным и необходимым условием возникновения явления «общей вспышки». Данное явление возникает при открытом горении пожарной нагрузки в помещении небольшого объема с плохой вентиляцией в режиме ограниченного доступа воздуха: под потолком помещения пожара скапливаются горячие газообразные продукты сгорания пожарной нагрузки и лучистый тепловой поток, направленный вниз от этого раскаленного облака, прогревает расположенную внизу пожарную нагрузку, что приводит к одновременному воспламенению пожарной нагрузки в общем объеме, тем самым одномоментно увеличивается площадь пожара [12, 13–15].

Температура фронта турбулентного пламени при горении авиационного топлива более 1000 °С [13, 16], можно предположить, что температура в зоне расположения иллюминаторов превышала температуру 269 °С, при которой, по данным термического анализа, начинается пламенное горение полиметилметакрилата. Также необходимо учесть данные численного моделирования величины теплового потока, падающего на фюзеляж самолета в области расположения иллюминаторов, от горящего авиационного топлива (50,1 кВт/м²) выше значения критического теплового потока (10 кВт/м²) для полиметилметакрилата.



Рис. 10. Графики зависимости температуры пожара в РТ от времени моделирования

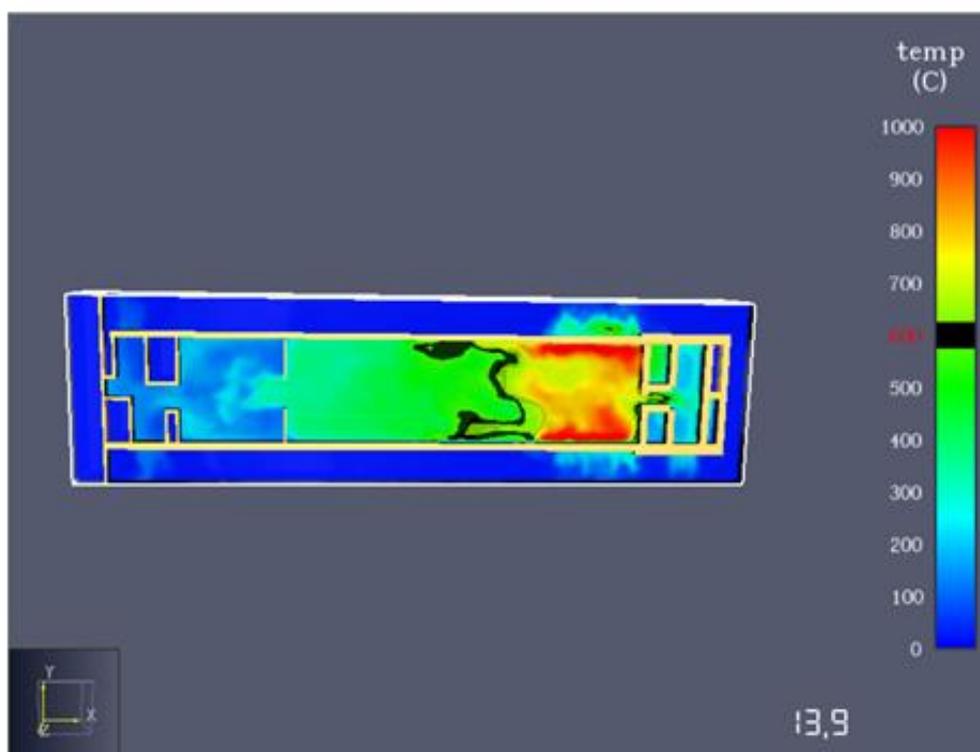


Рис. 11. Расчетное поле температуры на высоте 1,7 м

Заключение

В результате проведенного исследования, установлены пути распространения горения в салон воздушного судна. Вследствие аварийной посадки произошла разгерметизация топливного бака с последующим возгоранием разлитого топлива. Тепловой поток от горящего топлива привел к возгоранию полиметилметакрилата – материала заполнения иллюминаторов. Далее произошло возгорание горючих материалов в салоне воздушного судна. При условии ограниченной вентиляции в салоне воздушного судна произошла «общая вспышка», в результате увеличилась площадь пожара в пассажирском отсеке. Необходимо отметить, что горение не распространилось на багаж, расположенный в багажном отсеке, так как он был отделен от пассажирского салона материалом повышенной огнестойкости.

Учитывая опасность открытого горения в салоне воздушного судна, представляется необходимым рассмотреть применение огнестойких материалов при конструировании иллюминаторов, с огнестойкостью не ниже огнестойкости материала, из которого изготавливается фюзеляж. Очевидно, что требования, которые предъявляются к материалам заполнения иллюминаторов, согласно параграфу 25.853 25 главы Авиационных правил норм летной годности самолетов транспортной категории [17], недостаточны при авиационных происшествиях, связанных с последующим возгоранием разлитого топлива. Как вариант, можно рассмотреть возможность заполнения пространства между органическими стеклами гелями, повышающими огнестойкость прозрачных сред, или применять иные средства, препятствующие проникновению огня в салон воздушного судна через прогоревшие иллюминаторы, например, противопожарные шторы. Также можно рассмотреть возможность конструирования систем, удаляющих продукты горения из пассажирских отсеков, чтобы не допустить образования явления «общей вспышки».

Учитывая статистику авиационных происшествий [1], необходимо ужесточить требования по пожарной безопасности на пассажирском авиационном транспорте и внести изменения в соответствующие нормативные документы.

Список источников

1. Анализ статистических данных происшествий, связанных с возгоранием воздушного судна от разлитого топлива в результате аварийной посадки по данным межгосударственного авиационного комитета за 2004–2020 гг. / А.А. Воронцова [и др.] // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2021. № 4. С. 41–47.
2. База по расследованиям авиационных происшествий. URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya> (дата обращения: 15.06.2022).
3. Снегирев А.Ю. Моделирование тепломассообмена и горения при пожаре: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: С.-Петерб. гос. политех. ун-т, 2004. 270 с.
4. Снегирев А.Ю., Талалов В.А. Теоретические основы пожаро- и взрывобезопасности. Горение перемешанных реагентов. СПб.: С.-Петерб. гос. политех. ун-т, 2008. С. 211.
5. National Institute of Standards and Technology. URL: <http://www.nist.gov> (дата обращения: 13.06.2022).
6. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров: метод. Рекомендации / Е.Д. Андреева [и др.]. М.: ВНИИПО, 2013. 59 с.
7. Термический анализ при исследовании объектов судебной пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / М.Ю. Принцева [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2018. 128 с.
8. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Лобатова О.В. Инструментальные методы в современной пожарно-технической экспертизе. 3. Термический анализ // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2020. № 4. С. 29–41.
9. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М., 2001. 272 с.
10. Крицкая Д.А., Курмаз С.В., Кочнева И.С. Температура стеклования и архитектура разветвленных полиметилметакрилатов // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. 2007. Т. 49. № 10. С. 1817–1827.
11. SFPE handbook of fire protection engineering, fifth edition. 2016. 3493 p.
12. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров: пер. с англ. К.Г. Бомштейна / под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. М.: Стройиздат, 1990. 424 с.
13. Wang Z., Galea E.R., Jia F. A computational study of the characteristics of aircraft post-crash fires. Presented at the International Fire & Cabin Safety Research Conference. Atlantic City, 2007.
14. Малыгин И.Г., Скодтаев С.В. Методика проверки обеспечения безопасной эвакуации пассажиров воздушного судна при пожаре // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 4. С. 27–36.
15. Малыгин И.Г., Скодтаев С.В. Обоснование технических решений, направленных на снижение динамики распространения опасных факторов пожара на воздушном судне // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 4 (60). С. 67–74.
16. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. М.: Химия, 1981.
17. Авиационные правила. Ч. 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории (утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства от 11 дек. 2008 г.). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

References

1. Analiz statisticheskikh dannyh proisshestvij, svyazannyh s vozgoraniem vozdushnogo sudna ot razlitogo topliva v rezul'tate avarijnoj posadki po dannym mezhgosudarstvennogo aviacionnogo komiteta za 2004–2020 gg. / A.A. Voroncova [i dr.] // Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti. 2021. № 4. S. 41–47.
2. Baza po rassledovaniyam aviacionnyh proisshestvij. URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya> (data obrashcheniya: 15.06.2022).
3. Snegirev A.Yu. Modelirovanie teplomassoobmena i gorenija pri pozhare: dis. ... d-ra tekhn. nauk. SPb.: S.-Peterb. gos. politekh. un-t, 2004. 270 s.

4. Snegirev A.Yu., Talalov V.A. Teoreticheskie osnovy pozharo- i vzryvobezопасnosti. Gorenje neperemeshannyh reagentov. SPb.: S.-Peterb. gos. politekh. un-t, 2008. S. 211.
5. National Institute of Standards and Technology. URL: www.nist.gov (data obrashcheniya: 13.06.2022).
6. Primenenie termicheskogo analiza pri issledovanii i ekspertize pozharov: metod. rekomendacii / E.D. Andreeva [i dr.]. M.: VNIPO, 2013. 59 s.
7. Termicheskij analiz pri issledovanii ob"ektov sudebnoj pozharo-tekhnicheskoy ekspertize: ucheb. posobie / M.Yu. Princeva [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. 128 s.
8. Cheshko I.D., Princeva M.Yu., Lobatova O.V. Instrumental'nye metody v sovremennoj pozharo-tekhnicheskoy ekspertize. 3. Termicheskij analiz // Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezопасnosti. 2020. № 4. S. 29–41.
9. Rojzman V.M. Inzhenernye resheniya po ocenke ognestojkosti proektiruemyh i rekonstruiruemyh zdaniy. M., 2001. 272 s.
10. Krickaya D.A., Kurmaz S.V., Kochneva I.S. Temperatura steklovaniya i arhitektura razvetvlyennyh polimetilmetakrilatov // Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. A. 2007. T. 49. № 10. S. 1817–1827.
11. SFPE handbook of fire protection engineering, fifth edition. 2016. 3493 p.
12. Drajzdejl D. Vvedenie v dinamiku pozharov: per. s angl. K.G. Bomshtejna / pod red. Yu.A. Koshmarova, V.E. Makarova. M.: Strojizdat, 1990. 424 s.
13. Wang Z., Galea E.R., Jia F. A computational study of the characteristics of aircraft post-crash fires. Presented at the International Fire & Cabin Safety Research Conference. Atlantic City, 2007.
14. Malygin I.G., Skodtaev S.V. Metodika proverki obespecheniya bezопасnoj evakuacii passazhirov vozdushnogo sudna pri pozhare // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 4. S. 27–36.
15. Malygin I.G., Skodtaev S.V. Obosnovanie tekhnicheskikh reshenij, napravlennyh na snizhenie dinamiki rasprostraneniya opasnyh faktorov pozhara na vozdushnom sudne // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 4 (60). S. 67–74.
16. Demidov P.G., Shandyba V.A., Shcheglov P.P. Gorenje i svoystva goryuchih veshchestv. M.: Himiya, 1981.
17. Aviacionnye pravila. Ch. 25. Normy letnoj godnosti samoletov transportnoj kategorii (utv. Postanovleniem 28 sessii Soveta po aviacii i ispol'zovaniyu vozdushnogo prostranstva ot 11 dek. 2008 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

Информация о статье:

статья поступила в редакцию: 23.06.2022; одобрена после рецензирования: 24.06.2022;
принята к публикации: 30.06.2022

The information article info: the article was received by the editorial office: 23.06.2022;
approved after review: 24.06.2022; accepted for publication: 30.06.2022

Информация об авторах:

Анна Анатольевна Воронцова, ведущий научный сотрудник отдела пожарной безопасности транспорта Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат физико-математических наук, e-mail: annavorontsova@msn.com, <https://orcid.org/0000-0001-5997-8423>

Мария Юрьевна Принцева, заместитель начальника отдела инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: printseva75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1925-2334>

Сослан Владиславович Скодтаев, старший научный сотрудник отдела экспертизы пожаров и организации подготовки экспертов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ugps.ssv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7920-1603>

Information about the authors:

Anna A. Vorontsova, leading researcher of the department of fire safety of transport of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of physical and mathematical sciences, e-mail: annavorontsova@msn.com, <https://orcid.org/0000-0001-5997-8423>

Maria Yu. Printseva, deputy head of the department of instrumental methods and technical means of fire examination of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: printseva75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1925-2334>

Soslan V. Skodtaev, senior researcher of the department of fire expertise and organization of training of experts of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ugps.ssv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7920-1603>

УДК 654.924.56

СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ДЫМА ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Илья Олегович Клочихин✉;

Михаил Александрович Васильев.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Инженерно-строительный институт, Высшая школа техносферной безопасности,

Санкт-Петербург, Россия

✉klochihin.io@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты анализа проблемы контроля свойств воздушной среды во время огневых испытаний извещателей пожарных дымовых оптико-электронных точечных с помощью контрольной ионизационной камеры; алгоритмы определения свойств воздушной среды с помощью модернизированного стенда «Дымовой канал», дополненного контрольными извещателями пожарными дымовыми ионизационным и оптико-электронным точечным, а также счетчиком частиц СЕМ DT-9880M и дозатором при тлении со свечением хлопка, тлении древесины, распылении тестовых аэрозолей и испарении смеси пропиленгликоля и глицерина. Представлены в виде таблиц показания счетчика взвешенных частиц, измерителя оптической плотности дыма, контрольных извещателей пожарных дымовых ионизационного и оптико-электронного точечного в разные моменты времени при образовании дыма от различных источников, сравнения соотношений средних величин количеств частиц и показаний остальных приборов.

Ключевые слова: источник дыма, количество частиц, счетчик частиц, пожарный извещатель, методы испытаний, контрольная ионизационная камера, характеристики воздушной среды

Для цитирования: Клочихин И.О., Васильев М.А. Сравнение показаний приборов контроля свойств воздушной среды при образовании дыма от различных источников // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 45–53.

COMPARISON OF READINGS OF AIR PROPERTIES MONITORING DEVICES DURING THE FORMATION OF SMOKE FROM VARIOUS SOURCES

Ilya O. Klochihin✉;

Mikhail A. Vasiliev.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, institute of Civil Engineering,

Higher school of technosphere safety, Saint-Petersburg, Russia

✉klochihin.io@gmail.com

Abstract. The article presents the results of the analysis of the problem of controlling the properties of the air environment during fire tests of optoelectronic point fire smoke detectors using a measuring ionization chamber. Algorithms for determining the properties of the air environment using the modernized stand «Smoke Channel», supplemented by control fire smoke ionization and optoelectronic point detectors, as well as a CEM DT-9880M particle counter and a dispenser during glowing smouldering cotton fire, smouldering wood fire, spraying test smoke

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

aerosols and evaporation of a mixture of propylene glycol and glycerin. The readings of a particulate counter, a smoke optical density meter, ionization and control fire smoke ionization and optoelectronic point detectors at different times during the formation of smoke from various sources, a comparison of the ratios of the average values of the number of particles and the readings of other devices are presented.

Keywords: source of smoke, particle quantity, particle counter, fire detector, test methods, control ionization chamber, characteristics of the air environment

For citation: Klochikhin I.O., Vasiliev M.A. Comparison of readings of devices for monitoring the properties of the air environment during the formation of smoke from various sources // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 45–53.

Введение

Извещатель пожарный дымовой оптико-электронный точечный (ИПДОТ) является незаменимым средством обнаружения изменения оптической плотности среды при задымлении [1–5]. Обязательные требования к этим приборам устанавливаются ГОСТ Р 53325–2012 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний» [6], который основан на положениях стандартов серии EN 54 «Системы обнаружения пожара и пожарной сигнализации» (EN 54 «Fire detection and fire alarm systems», NEQ) [7]. 1 июля 2023 г. для проведения подтверждения соответствия продукции (пожарных извещателей) требованиям ТР ЕАЭС 043/2017 будет применяться новый стандарт – ГОСТ 34698–2020 «Техника пожарная. Извещатели пожарные. Общие технические требования и методы испытаний» [8].

На настоящий момент для того, чтобы испытания извещателей проходили в стандартных условиях, необходимо контролировать параметры среды с помощью специального оборудования, в том числе контрольной ионизационной камеры, которая может косвенно указывать на изменения массовой концентрации продуктов горения. Гипотетически более информативным способом описания свойств среды, источника дыма и протекающих при горении процессов являются измерение и оценка счетных концентраций взвешенных частиц либо учет показаний, которые регистрируются приборами с принципами действия, подобными ИПДОТ [9–13]. Данное исследование направлено на определение справедливости данной гипотезы, а также на сравнение свойств воздушной среды при образовании дыма от различных источников.

Методы исследования

Экспериментальные исследования были проведены в стенде «Дымовой канал». Стандартная установка описана в ГОСТ Р 53325–2012. В качестве устройства для измерения удельной оптической плотности использовался измеритель оптической плотности ИОПД-2. Для оценки чувствительности типового ИПДОТ был использован контрольный ИПДОТ (КИПДОТ) – конструктивно измененным извещателем пожарным ИП-212-ЗСУ, имеющим аналоговый выход и новую плату, способную передавать сигнал об относительном изменении оптической плотности воздушной среды по принципу рассеяния света. Для оценки изменений свойств среды в качестве аналога контрольной ионизационной камеры был использован контрольный извещатель пожарный дымовой ионизационный (КИПДИ) – ионизационный извещатель РИД-6М с аналоговым выходом и принудительной аспирацией. Для определения концентраций взвешенных частиц во время образования дыма использовался счетчик частиц СЕМ DT-9880М, работающий в шести каналах по размерам частиц: 0,3; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10 мкм.

Таким образом, измерительное оборудование включало в себя приборы КИПДОТ, КИПДИ, ИОПД-2 и счетчик взвешенных частиц, как показано на рис. 1.

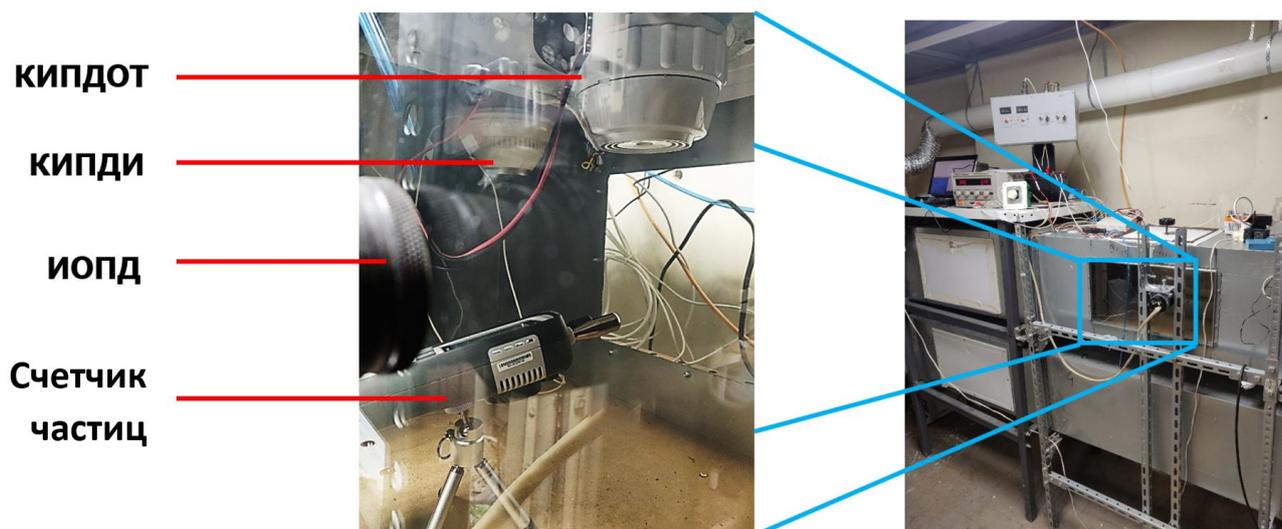


Рис. 1. Модернизированный стенд «Дымовой канал»

Стандартный отсек нагревателя укомплектован электрической плитой, используемой для нагрева брусков древесины. Нагревание происходило постепенно до 350 °С. Контроль за температурой осуществлялся с помощью пирометра.

Для того чтобы автоматизировано эмитировать смесь пропиленгликоля и глицерина, был создан дозатор, представленный на рис. 2.



Рис. 2. Дозатор

Перед началом каждого опыта стенд «Дымовой канал» проветривался до достижения концентрации частиц, соответствующей незадымленной среде вне аэродинамической трубы, но не менее 10 мин. После этого инициировалась подготовка к эксперименту.

С началом отсчета времени начинался процесс эмиссии дыма. При этом на автоматизированное рабочее место поступала и регистрировалась информация о замерах

со всех приборов, кроме счетчика частиц. Это связано с тем, что прибор СЕМ DT-9880M регистрирует результаты замеров параметров воздушной среды на внутреннюю память.

Первая часть экспериментов (не считая предварительных, которые проводились на протяжении всего времени проведения опытов) была посвящена изучению оптических и физических параметров воздушной среды при тлении со свечением хлопка. Эксперимент длился 8–10 мин вне зависимости от того, в какой момент тление хлопка остановилось.

Следующая часть экспериментов проводилась с тестовыми аэрозолями. В соответствии с инструкцией по применению в каждом из экспериментов выполнялось распыление тестового аэрозоля в течение 0,5–1 сек. каждые 10 сек. Спустя 30 сек. после начала каждого опыта аэрозоль эмитировался описанным образом. На 180 сек. эмиссия прекращалась, чтобы оценить, как долго частицы аэрозоля будут находиться во взвешенном состоянии в аэродинамической трубе канала и как быстро осядут.

Далее, были проведены эксперименты, при которых в качестве дымообразующего материала использовалась древесина хвойных пород. Бруски имели размер – 20×30×50 мм. Эксперименты длились по 8–10 мин. По окончании опыта фиксировались состояния брусков и температура нагреваемой поверхности (рис. 2.1).

Несмотря на то, что старт программы на установке и, соответственно, действие электропривода происходили с одновременным началом временного отсчета и контроля параметров среды, фактическое выделение вещества происходило спустя некоторое время и скачкообразно. Установка является экспериментальной, поэтому было проведено три эксперимента с разными настройками эмиссии.

Результаты исследования и их обсуждение

Далее, представлены показания счетчика взвешенных частиц, ИОПД-2, КИПДОТ и КИПДИ в разные моменты времени при образовании дыма от различных источников.

В табл. 1 представлены сравнения средних величин количеств частиц на м³ во время экспериментов с образованием дыма во время тления со свечением хлопка, тления древесины хвойных пород, а также эмиссий тестового аэрозоля и испарения смеси пропиленгликоля и глицерина.

Таблица 1. Сравнения средних величин количеств частиц на м³

Сред. диаметр частиц, мкм	Дымообразующий материал				
	нет	хлопок	сосна	тестовый аэрозоль	PG+VG
0,3	25564	1037594	992351	367110	589528
0,5	7187	937210	858255	372347	522213
1	1078	497113	387429	326552	292452
2,5	110	226655	149842	308137	151435
5	13	14712	6763	19153	16459
10	2	2618	1746	9487	6113

В табл. 2 показаны соотношения количеств частиц разных размеров относительно общего числа частиц, образовавшихся от соответствующего источника дыма, приведены средние значения за время проведения экспериментов.

Таблица 2. Сравнения соотношений средних величин количеств частиц на м³

Сред. диаметр частиц, мкм	Дымообразующий материал				
	нет	хлопок	сосна	тестовый аэрозоль	PG+VG
0,3	75 %	38 %	41 %	26 %	37 %
0,5	21 %	35 %	36 %	27 %	33 %

Сред. диаметр частиц, мкм	Дымообразующий материал				
	нет	хлопок	сосна	тестовый аэрозоль	PG+VG
1	3 %	18 %	16 %	23 %	19 %
2,5	<1 %	8 %	6 %	22 %	10 %
5	<1 %	1 %	<1 %	1 %	1 %
10	<1 %	<1 %	<1 %	1 %	<1 %

Для того чтобы сравнить показания количества частиц во время максимально интенсивной эмиссии частиц дыма, были отобраны показания измерителя концентрации взвешенных частиц: во время экспериментов с тлением со свечением хлопка на 155 сек.; во время экспериментов с тлением древесины хвойных пород на 249 сек.; во время проведения опытов с тестовыми аэрозолями на 71 сек.; во время проведения экспериментов со смесью пропиленгликоля и глицерина на 336 сек. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3. Сравнения максимальных количеств частиц на м³

Средний диаметр частиц, мкм	Дымообразующий материал			
	хлопок	сосна	тестовый аэрозоль	PG+VG
0,3	1720265	1644178	382591	958010
0,5	1546998	1443553	351498	865313
1	664537	580222	245596	464642
2,5	153039	121977	175719	200852
5	31544	12547	47355	41498
10	5511	2585	21009	14582

В табл. 4 представлены сравнения соотношений пиковых значений концентраций во время максимально интенсивной эмиссии дыма от соответствующих источников для оценки составов аэрозолей по количественному соотношению частиц разных размеров.

Таблица 4. Сравнения соотношений максимальных количеств частиц на м³

Средний диаметр частиц, мкм	Дымообразующий материал			
	хлопок	сосна	тестовый аэрозоль	PG+VG
0,3	42 %	43 %	31 %	38 %
0,5	38 %	38 %	29 %	34 %
1	16 %	15 %	20 %	18 %
2,5	4 %	3 %	14 %	8 %
5	1 %	<1 %	4 %	2 %
10	<1 %	<1 %	2 %	1 %

Также, для того чтобы оценить действие процессов, протекающих в дымах, и изменения, ими претерпеваемые, были проведены сравнения концентраций частиц в конце экспериментов, результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5. Сравнения количеств частиц на м³ в конце экспериментов

Средний диаметр частиц, мкм	Дымообразующий материал			
	хлопок	сосна	тестовый аэрозоль	PG+VG
0,3	737187	866242	422605	659392
0,5	731407	816263	442471	641769

Средний диаметр частиц, мкм	Дымообразующий материал			
	хлопок	сосна	тестовый аэрозоль	PG+VG
1	522132	490980	400312	460607
2,5	359759	308755	375801	334540
5	9210	9331	27108	18595
10	1717	4768	11733	8800

В табл. 6 представлены сравнения процентных соотношений конечных значений концентраций частиц.

Таблица 6. Сравнения соотношений количеств частиц на м³ в конце экспериментов

Средний диаметр частиц, мкм	Дымообразующий материал			
	хлопок	сосна	тестовый аэрозоль	PG+VG
0,3	31 %	35 %	25 %	31 %
0,5	31 %	33 %	26 %	30 %
1	22 %	20 %	24 %	22 %
2,5	15 %	12 %	22 %	16 %
5	<1 %	<1 %	2 %	1 %
10	<1 %	<1 %	1 %	<1 %

Помимо данных измерителя счетных концентраций взвешенных частиц для комплексной оценки показаний приборов были проведены сравнения значений, получаемых автоматизированным рабочим местом от измерителя оптической плотности, КИПДОТ и КИПДИ.

В табл. 7 приведены значения показаний в момент наиболее выраженных пиков значений концентраций частиц. При проведении экспериментов с хлопковыми фитилями значения определялись для 155 сек., с древесиной хвойных пород – для 249 сек., с тестовыми аэрозолями – для 187 сек., со смесью пропиленгликоля и глицерина – для 320 сек.

Таблица 7. Сравнения показаний приборов в момент наиболее выраженных пиков значений концентраций частиц

Измерительный прибор	Дымообразующий материал			
	хлопок	сосна	тест. аэрозоль	PG+VG
ИОПД-2 (дБ/м)	0,04	0,087	0,134	0,058
КИПДИ (В)	2,928021	3,430321	1,933321	1,873321
КИПДОТ (Impulse)	9493	7997	14069	5256

Также, аналогичные значения были обработаны для момента окончания экспериментов, результаты представлены в табл. 8.

Таблица 8. Сравнения показаний приборов в момент окончания экспериментов

Измерительный прибор	Дымообразующий материал			
	хлопок	сосна	тест. аэрозоль	PG+VG
ИОПД-2 (дБ/м)	0,255	0,648	0,049	0,183
КИПДИ (В)	4,433121	4,290821	1,719221	1,981321
КИПДОТ (Impulse)	29193	24977	7651	5407

Заключение

При отсутствии задымления в относительно чистой воздушной среде 75 % частиц имеют средний размер 0,3 мкм, 21 % частиц имеют средний размер 0,5 мкм, частиц со средним размером 1 мкм и более – около 4 %. Данные соотношения сильно меняются при появлении дыма от различных источников и с течением времени.

Распределения средних значений количеств частиц при образованиях дыма от тлеющих хлопковых фитилей и древесины хвойных пород различаются незначительно, в рамках 3 %. Аналогичные показания соотношений пиковых значений концентраций во время максимально интенсивной эмиссии дыма для этих материалов. В целом частиц при тлении со свечением хлопка чуть больше, чем при тлении древесины. Под конец экспериментов самых крупных частиц с размером 10 мкм и более оказалось значительно больше при тлении древесины. В испаряющихся смесях пропиленгликоля и глицерина фиксировалось большое количество частиц со средним размером 2,5 мкм. Соотношения и счетные концентрации частиц тестовых аэрозолей значительно отличались от остальных экспериментов. Относительно остальных результатов, усредненные количества частиц со средними размерами 0,3 мкм, 0,5 мкм, 1 мкм и 2,5 мкм различались не более, чем на 6 %, а к концу экспериментов это различие составило всего 4 %, хотя во время пиковых значений концентраций больше всего было частиц с размером менее 0,5 мкм, как и в остальных случаях.

Значительно разнятся показания приборов ИОПД-2, КИПДИ и КИПДОТ. Наибольшая удельная оптическая плотность среды фиксировалась при тлении древесины, что может быть обосновано большим количеством сажи. В этих экспериментах показания ИОПД-2 приняли вид степенной функции. При тлении со свечением хлопка на конец эксперимента показания ИОПД-2 оказались в два–три раза меньше и возрастали линейно. Это может говорить о том, что дым при тлении древесины является более заметным для оптических систем, и его частицы со временем коагулируют сильнее, чем при тлении хлопка. Стоит отметить, что удельная оптическая плотность среды относительно слабо увеличивалась при испарении смеси пропиленгликоля и глицерина, а при эмиссиях тестовых аэрозолей, наоборот, увеличивалась практически мгновенно.

КИПДИ относительно слабо реагировал на изменения свойств среды при испарении смеси пропиленгликоля и глицерина, что может быть связано с особенностями работы дозатора, и при эмиссиях тестовых аэрозолей, хотя при этом эксперименте скачки показаний регистрировались почти сразу после выбросов содержимого баллончиков. Лучше всего прибор фиксировал тление древесины хвойных пород.

Система КИПДОТ лучше всего реагировала на дым при тлении хлопка и древесины. Примечательно, что, в отличие от ИОПД-2, КИПДОТ лучше фиксировал эмиссии тестовых аэрозолей.

Список источников

1. Dynamic fire and smoke detection and classification for flashover prediction / A. Huyen [et al.] // Pattern Recognition and Tracking XXXII. International Society for Optics and Photonics, 2021. Т. 11735. С. 1173502.
2. Influence of high altitude on the burning behaviour of typical combustibles and the related responses of smoke detectors in compartments / R. Tu [et al.] // Royal Society open science. 2018. Т. 5. № 4. С. 180188.
3. Performance of a fire detector based on a compact laser spectroscopic carbon monoxide sensor / A. Hangauer [et al.] // Optics express. 2014. Т. 22. № 11. С. 13680–13690.
4. Nesse R.M. The smoke detector principle: Natural selection and the regulation of defensive responses // Annals of the New York Academy of Sciences. 2001. Т. 935. № 1. С. 75–85.

5. Неплохов И.Г. Пожарные извещатели. Термины, определения, принцип действия // ОПС. Охранная и охранно-пожарная сигнализация. Периметральные системы. 2013. С. 26–29.
6. ГОСТ Р 53325–2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний (утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 нояб. 2012 г. № 1028-ст; дата введения: 01.01.2014). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (дата обращения: 10.12.2021).
7. EN 54-7:2018. Fire detection and fire alarm systems – Part 7: Smoke detectors – Point smoke detectors that operate using scattered light, transmitted light or ionization // Information system. Institute for testing and certification. URL: <https://www.nlfnorm.cz/en/ehn/6143> (дата обращения: 13.01.2022).
8. О внесении изменений в Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 19 нояб. 2019 г. № 200: Решение Коллегии ЕЭК от 29 нояб. 2021 г. № 163. URL: <https://www.alta.ru/tamdoc/21kr0163> (дата обращения: 10.12.2021).
9. Григорьев В.С., Григорьев И.В. Аэрозоли и связь их физических параметров с пожароопасной ситуацией // Алгоритм безопасности. 2017. № 1. С. 60–63.
10. О физической модели образования аэрозольных частиц при термоокислительной деструкции полимерных материалов / В.А. Алексеев [и др.] // Методы и приборы биоинформации и контроля окружающей среды: межвуз. сб. Л.: ЛИАП, 1981. № 150.
11. Зайцев А. Размеры частиц дыма и корректность проведения огневых испытаний пожарных извещателей // Алгоритм безопасности. 2014. № 3. С. 50–54.
12. Xie Q., Zhang H., Zhang Y., Qiao L. (2009). Experimental Studies on Effects of Non-sphersity of Smoke Particles on the Light Scattering Characteristics. Fire Safety Science. 9. 1069–1076. 10.3801/IAFSS.FSS.9-1069.
13. Wildfire Smoke Particle Properties and Evolution, From Space-Based Multi-Angle Imaging II: The Williams Flats Fire during the FIREX-AQ Campaign / K.T. Junghenn Noyes [et al] // Remote Sensing. 2020. Т. 12. №. 22. С. 3823.

References

1. Dynamic fire and smoke detection and classification for flashover prediction / A. Huyen [et al.] // Pattern Recognition and Tracking XXXII. International Society for Optics and Photonics, 2021. Т. 11735. S. 1173502.
2. Influence of high altitude on the burning behaviour of typical combustibles and the related responses of smoke detectors in compartments / R. Tu [et al.] // Royal Society open science. 2018. Т. 5. № 4. S. 180188.
3. Performance of a fire detector based on a compact laser spectroscopic carbon monoxide sensor / A. Hangauer [et al.] // Optics express. 2014. Т. 22. № 11. S. 13680–13690.
4. Nesse R.M. The smoke detector principle: Natural selection and the regulation of defensive responses // Annals of the New York Academy of Sciences. 2001. Т. 935. № 1. S. 75–85.
5. Neplohov I.G. Pozharnye izveshchateli. Terminy, opredeleniya, princip dejstviya // OPS. Ohrannaya i ohranno-pozharnaya signalizaciya. Perimetral'nye sistemy. 2013. S. 26–29.
6. GOST R 53325–2012. Tekhnika pozharnaya. Tekhnicheskie sredstva pozharnoj avtomatiki. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy (utv. i vveden v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 22 noyab. 2012 g. № 1028-st; data vvedeniya: 01.01.2014). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102066> (data obrashcheniya: 10.12.2021).
7. EN 54-7:2018. Fire detection and fire alarm systems – Part 7: Smoke detectors – Point smoke detectors that operate using scattered light, transmitted light or ionization // Information system. Institute for testing and certification. URL: <https://www.nlfnorm.cz/en/ehn/6143> (data obrashcheniya: 13.01.2022).

8. O vnesenii izmenenij v Reshenie Kollegii Evrazijskoj ekonomicheskoy komissii ot 19 noyab. 2019 g. № 200: Reshenie Kollegii EEK ot 29 noyab. 2021 g. № 163. URL: <https://www.alta.ru/tamdoc/21kr0163> (data obrashcheniya: 10.12.2021).

9. Grigor'ev V.S., Grigor'ev I.V. Aerzoli i svyaz' ih fizicheskikh parametrov s pozharoопасnoy situaciej // *Algoritm bezopasnosti*. 2017. № 1. S. 60–63.

10. O fizicheskoy modeli obrazovaniya aerzol'nyh chastic pri termookislitel'noj destrukcii polimernyh materialov / V.A. Alekseev [i dr.] // *Metody i pribory bioinformacii i kontrolya okruzhayushchej sredy: mezhvuz. sb. L.: LIAP, 1981. № 150.*

11. Zajcev A. Razmery chastic dyma i korrektnost' provedeniya ognevyyh ispytaniy pozharnyh izveshchatelej // *Algoritm bezopasnosti*. 2014. № 3. S. 50–54.

12. Xie Q., Zhang H., Zhang Y., Qiao L. (2009). Experimental Studies on Effects of Non-sphersity of Smoke Particles on the Light Scattering Characteristics. *Fire Safety Science*. 9. 1069–1076. 10.3801/IAFSS.FSS.9-1069.

13. Wildfire Smoke Particle Properties and Evolution, From Space-Based Multi-Angle Imaging II: The Williams Flats Fire during the FIREX-AQ Campaign / K.T. Junghenn Noyes [et al] // *Remote Sensing*. 2020. T. 12. № 22. S. 3823.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 06.06.2022; одобрена после рецензирования: 25.06.2022; принята к публикации: 30.06.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 06.06.2022; approved after review: 25.06.2022; accepted for publication: 30.06.2022

Информация об авторах:

Клочихин Илья Олегович – магистр Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: klochihin.io@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6529-1871>

Васильев Михаил Александрович – доцент Высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), кандидат технических наук, e-mail: mavas01@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8329-059X>

Information about the authors:

Ilya O. Klochihin – headman of the group № 3142001/00801 of masters of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya, 29), e-mail: klochihin.io@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6529-1871>

Mikhail A. Vasiliev – associate professor of the Higher school of technosphere safety, Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya, 29), candidate of technical sciences, e-mail: mavas01@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8329-059X>

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 378.016:62

КОНТЕКСТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЕ В ВУЗЕ МЧС РОССИИ

Людмила Владимировна Медведева[✉];

Николай Николаевич Романов.

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

[✉]lavlmed@mail.ru

Аннотация. Сформулированы актуальные задачи изучения общетехнической дисциплины и противоречия, которые до настоящего времени препятствуют достижению педагогического результата образовательной модели общетехнической дисциплины в вузе инженерно-технического профиля.

Обоснована необходимость организации в образовательном процессе общетехнической дисциплины контекстного обучения, в ходе которого моделируются профессионально-подобные ситуации для личностного перехода обучающихся от учебной к самостоятельной квазипрофессиональной деятельности.

Приведено описание опыта организации и методического обеспечения контекстного обучения контекстуального моделирования в процессе обучения общетехнической дисциплины «Теплотехника», включенной в образовательные программы подготовки бакалавров и специалистов пожарно-технических профилей в вузе МЧС России.

В качестве методического обеспечения в процессе контекстного обучения используется программный комплекс, который реализуется в Microsoft Office и является единой информационной системой учебно-методических материалов, включающей в себя учебную и нормативную литературу, авторские программные продукты, моделирующие теплофизические процессы, разработки вариантов заданий практико-ориентированных задач и методические рекомендации к их самостоятельному выполнению.

В каждой теме общетехнической дисциплины «Теплотехника» выделено теоретическое ядро профессионального знания, поставлены задачи, сформулированы цели и требуемые результаты вариативных профессиональных контекстов квазипрофессиональной деятельности, которые сгруппированы в тематические пакеты практико-ориентированных заданий учебного курса.

Подчеркнуто, что успешная реализация обучающимся вариативных позиций субъекта профессиональной деятельности в условиях различных профессионально-подобных ситуаций не только убеждает субъекта учения в практической значимости учебного материала дисциплины для избранной специальности, но и способствует формированию доминанты профессионального самоопределения личности будущего специалиста.

Ключевые слова: образовательная модель общетехнической дисциплины, предмет учебной деятельности, предмет профессиональной деятельности, квазипрофессиональная деятельность, контекстное обучение, контекстуальное моделирование, профессиональный контекст деятельности

Для цитирования: Медведева Л.В., Романов Н.Н. Контекстуальное моделирование в процессе обучения общетехнической дисциплине в вузе МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 2. С. 54–65.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

CONTEXTUAL MODELING IN THE PROCESS OF TEACHING A GENERAL TECHNICAL DISCIPLINE AT THE UNIVERSITY OF THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS OF RUSSIA

Ludmila V. Medvedeva✉;

Nikolay N. Romanov.

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

✉lavlmed@mail.ru

Abstract. The article formulates the actual tasks of studying the general technical discipline and the contradictions that have so far prevented the achievement of the pedagogical result of the educational model of the general technical discipline in the university of engineering and technical profile.

The necessity of organizing contextual learning in the educational process of the general technical discipline is substantiated, during which professional-like situations are modeled for the personal transition of students from academic to independent quasi-professional activity.

The article describes the experience of organizing and methodological support for contextual training of contextual modeling in the process of teaching the general technical discipline «Heat Engineering», included in the educational programs for training bachelors and specialists in fire-technical profiles at the university of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

As a methodological support in the process of contextual learning, a software package is used, which is implemented in Microsoft Office and is a unified information system of educational and methodological materials, including educational and normative literature, author's software products modeling thermophysical processes, developing options for practice-oriented tasks and methodological recommendations for their independent implementation.

In each topic of the general technical discipline «Heat Engineering», the theoretical core of professional knowledge is highlighted, tasks are set, goals and required results of variable professional contexts of quasi-professional activity are formulated, which are grouped into thematic packages of practice-oriented tasks of the training course.

It is emphasized that the successful implementation by students of the variable positions of the subject of professional activity in the conditions of various professional-like situations not only convinces the subject of the teaching of the practical significance of the educational material of the discipline for the chosen specialty, but also contributes to the formation of the dominant professional self-determination of the personality of the future specialist.

Keywords: educational model of general technical discipline, subject of educational activity, subject of professional activity, quasi-professional activity, contextual learning, contextual modeling, professional context of activity

For citation: Medvedeva L.V., Romanov N.N. Contextual modeling in the process of teaching a general technical discipline at the university of the ministry of emergency situations of Russia // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ty of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 54–65.

Введение

Разработка и включение общетехнических дисциплин в образовательные программы подготовки инженерно-технических кадров, в том числе и пожарно-технических профилей, осуществляется с целью подготовки к изучению специальных технических дисциплин по направлениям подготовки вуза.

В интегративных учебных предметах общетехнических дисциплин отражаются возможности технического и технологического приложения естественных и математических наук, раскрываются связи науки, техники, технологии и значение этих связей для инновационных решений актуальных задач создания техносферы и обеспечения ее безопасности [1].

В содержание образования общетехнической дисциплины для приближения образовательной модели к действительной модели интеграции науки, техники и технологии традиционно включают в качестве подсистем некоторые разделы науки, технические устройства, виды технологий, неразрывно связанные с природной, технико-технологической и социально-культурной средой.

Таким образом, чрезвычайно важными задачами изучения общетехнической дисциплины являются [2–4]:

- освоение и интериоризация основных элементов технологической культуры;
- формирование технологического мировоззрения в неразрывной связи с мировоззренческими аспектами развития личности (познавательным, ценностно-нормативным, эмоционально-волевым и действенно-практическим).

Однако при всей очевидности и обоснованности традиционных задач образовательной модели общетехнической дисциплины их решение до настоящего времени затрудняется противоречиями [5, 6]:

- между существующим содержанием общетехнического и специального образования в инженерных вузах различных профилей и новыми практическими требованиями к профессиональной мобильности выпускников, обусловленных появлением новых наукоемких отраслей промышленности, а следовательно, новых наукоемких средств обеспечения техносферной безопасности;

- между доминирующим репродуктивным типом деятельности выпускников инженерно-технического профиля и объективной потребностью в специалистах, способных к инновационным решениям профессиональных проблем;

- между традиционной структурой учебной деятельности, в которой знания, умения и навыки выступают в качестве предмета деятельности и активности обучающегося, и структурой профессиональной деятельности, в которой предметом профессиональной деятельности являются объекты материального производства, а знания, умения, навыки специалиста становятся средствами решения профессиональных задач.

По мнению исследователей, именно существенными различиями между предметами профессиональной и учебной деятельности обусловлена длительность адаптационного периода выпускника вуза, в ходе которого осуществляется личный переход от учебной деятельности к самостоятельной профессиональной деятельности, а субъект учения становится субъектом профессиональной деятельности [7, 8].

В 1981 г. профессор Московского университета А.А. Вербицкий разработал контекстный подход в профессиональной подготовке с целью наполнения учебной деятельности обучающегося в высшей школе «смыслом профессиональной деятельности».

Обучение в контексте профессиональной деятельности А.А. Вербицкий назвал контекстным обучением, основы («источки») которого заложены в трудах Л.С. Выготского, С.Л. Рубинштейна, А.Н. Леонтьева, П.Я. Гальперина, В.В. Давыдова и др. [9, 10].

В процессе контекстного обучения осуществляется моделирование личностного вхождения обучающегося вуза в содержание предмета его будущей профессиональной деятельности как при изучении общетехнических, так и специальных дисциплин. Для решения этой задачи разрабатываются образовательные модели, которые задают профессиональные контексты деятельности.

Если задавать вариативные контексты в проблемном поле будущей профессиональной деятельности, то можно направлять деятельность субъектов учения на освоение опыта использования знаний, умений и навыков в качестве средств решения практических задач по направлениям профессиональной подготовки вуза. Вербицкий А.А. назвал этот процесс контекстуальным моделированием [11–14].

Цель статьи – представить достигнутые результаты контекстуального моделирования в процессе обучения общетехнической дисциплины «Теплотехника», включенной в образовательные программы подготовки бакалавров и специалистов пожарно-технических профилей в вузе МЧС России.

Методы исследования

Регулятивными нормами контекстуального моделирования в процессе обучения общетехнической дисциплины «Теплотехника» являются базовые требования контекстного обучения [15–17]:

1) каждая учебная тема учебного курса дисциплины должна быть детерминирована будущим (раскрыта и реализована практическая связь с предметом будущей профессиональной деятельности);

2) создание профессионально-подобных ситуаций для отработки субъектами учения социального и практического опыта решения задач в проблемном поле будущей профессиональной деятельности (теоретические знания становятся средствами решения практических задач с вариативными профессиональными контекстами деятельности);

3) предоставление каждому обучающемуся (будущему специалисту) комфортных условий для интеллектуального труда (грамотное использование информационных ресурсов в процессе моделируемой квазипрофессиональной деятельности);

4) планирование и организация квазипрофессиональной деятельности обучающихся с учетом их возрастных и психологических особенностей.

«Клеточкой» квазипрофессиональной деятельности обучающихся в теории контекстного обучения является профессионально-подобная ситуация, которая специально моделируется в ходе решения практико-ориентированного задания. Вариативные контексты профессиональной деятельности задаются в тематических пакетах профессионально-ориентированных заданий.

Методологическими принципами разработки тематических пакетов профессионально-ориентированных заданий являются:

– принцип неопределенности (неопределенность выбора варианта решения практико-ориентированного задания);

– принцип дополнительности (знание как ориентировочная основа и средство практических действий, знание как предмет учения);

– принцип системности (взаимосвязь элементов системы теоретических и практических знаний в каждой теме учебного курса дисциплины);

– принцип единства базового и вариативного компонентов содержания моделируемой профессиональной деятельности (воспитание технологической культуры в вариативных контекстах профессиональной деятельности).

Для выполнения контекстного профессионально-ориентированного задания в условиях неопределенности выбора варианта решения объективной необходимостью становится обеспечение комфортных условий квазипрофессиональной деятельности, продуктивность которой зависит от возможности «активного регулирования и уточнения совершаемых действий» (М.Н. Скаткин) с помощью обратной связи (обратной афферентации).

Скаткин М.Н. считал, что именно обеспечение обратной связи является «первоочередной задачей при обучении практическим навыкам и умениям» и «непременным условием успеха в труде» [18, 19].

Оперативная обратная связь может быть обеспечена с помощью информационных ресурсов, которые в процессе выполнения практико-ориентированного задания избавляют обучающегося от рутинных вычислений, автоматизируют ввод значительных объемов справочных данных и обеспечивают эффективную работу акцептора действий.

Следует отметить, что устойчивость обратной связи позволяет обучающемуся преодолеть сложившийся стереотип тождественности учебной информации и знания. По мнению А.А. Вербицкого, только «примеренная» к практическому самостоятельному действию учебная информация может трансформироваться в личное знание и стать ориентировочной основой для компетентных предметных действий будущего субъекта профессиональной деятельности.

В статье приводится описание опыта организации и методического обеспечения контекстного обучения в учебном процессе общетехнической дисциплины «Теплотехника».

В тематические пакеты профессионально-ориентированных заданий для учебного курса дисциплины «Теплотехника» включают контекстные практические задачи, для решения которых аналитические методы решения дополняются элементами численного моделирования изучаемых теплофизических процессов, что позволяет обеспечить оперативную обратную связь, адаптивность методик практических расчетов и автоматизировать ввод справочных данных [20, 21].

Результаты исследований и их обсуждение

Основными темами учебного курса общетехнической дисциплины «Теплотехника» являются:

- «Основные понятия и определения теории теплообмена. Стационарная теплопроводность».
- «Теплопроводность при нестационарном режиме».
- «Конвективный теплообмен».
- «Излучение».
- «Теплопередача. Интенсификации теплопередачи».

В каждом тематическом пакете профессионально ориентированных заданий рассмотрим постановку задач и требуемые результаты самостоятельной контекстной деятельности обучающихся.

Теоретическим ядром системы учебных теоретических вопросов темы «Основные понятия и определения теории теплообмена. Стационарная теплопроводность» являются знания:

- понятийного аппарата теории теплообмена, физической природы видов переноса теплоты (теплопроводность, конвекция и излучение), уравнения теплопроводности; алгоритмов решения уравнения теплопроводности при граничных условиях первого рода и постоянном коэффициенте теплопроводности для стенок (однослойной, многослойной, плоской, цилиндрической и сферической).

Тематический пакет практико-ориентированных заданий для моделирования профессиональных контекстов деятельности включает в себя два вариативных сценария квазипрофессиональной деятельности специалиста федеральной противопожарной службы (ФПС).

1. Выбор материала и толщины огнезащитного покрытия противопожарной преграды в условиях длительного пожара.

Постановка задачи. В результате продолжительного высокотемпературного воздействия на пожаре происходит прогревание ограждающей стены известной толщины (δ). В условиях постоянного теплового потока q , проходящего через стену, на обогреваемой поверхности стены устанавливается температура t_{w1} .

Результатами самостоятельной контекстной деятельности обучающихся являются расчеты:

- температуры на необогреваемой поверхности стены t_{w3} (рис. 1 а), выполненной из следующих материалов: бетон (песчаный), силикатный кирпич, красный кирпич.
- необходимой толщины огнезащитного покрытия (ОГП) δ_n для обеспечения безопасной в противопожарном отношении температуры t_{w6} на необогреваемой поверхности стены, выполненной из соответствующего материала (рис. 1 б).

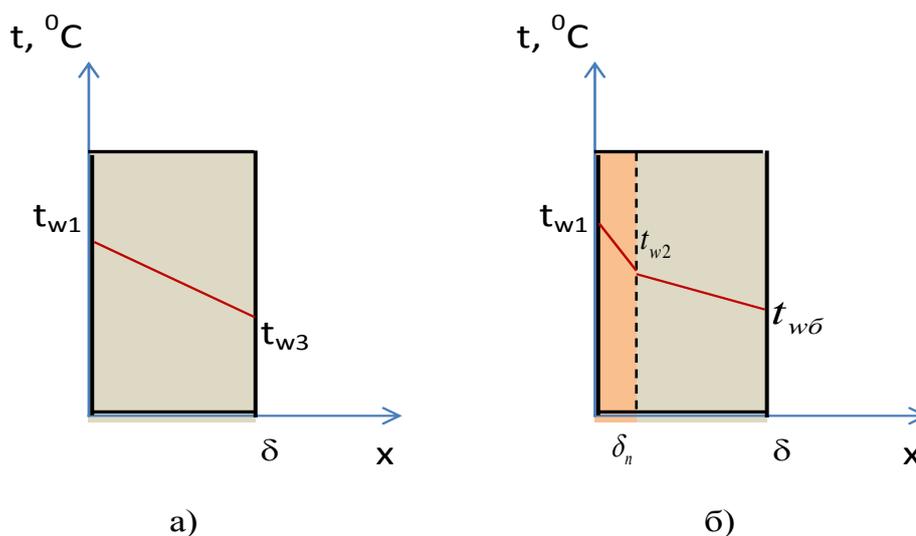


Рис. 1. Расчет температуры на необогреваемой поверхности стены (а) и толщины огнезащитного покрытия (б)

2. Реконструкция топочной камеры парового котла.

Постановка задачи. Стенка топочной камеры парового котла выполнена из слоя пеношамота толщиной δ_n и слоя некоего строительного материала толщиной δ_c . Слои плотно прилегают друг к другу. Температура на внутренней поверхности топочной камеры t_1 , а тепловые потери через 1 м^2 равны q .

Для совершенствования конструкции необходимо уменьшить толщину слоя из строительного материала в стенке топочной камеры в N раз, а между слоями поместить слой засыпки из диатомитовой крошки δ_d .

Результатом самостоятельной контекстной деятельности обучающихся является расчет:

– толщины засыпки в новой конструкции стенки, при которой не изменяются потери тепла и температуры внутренней и внешней поверхностей стенки топочной камеры (рис. 2).

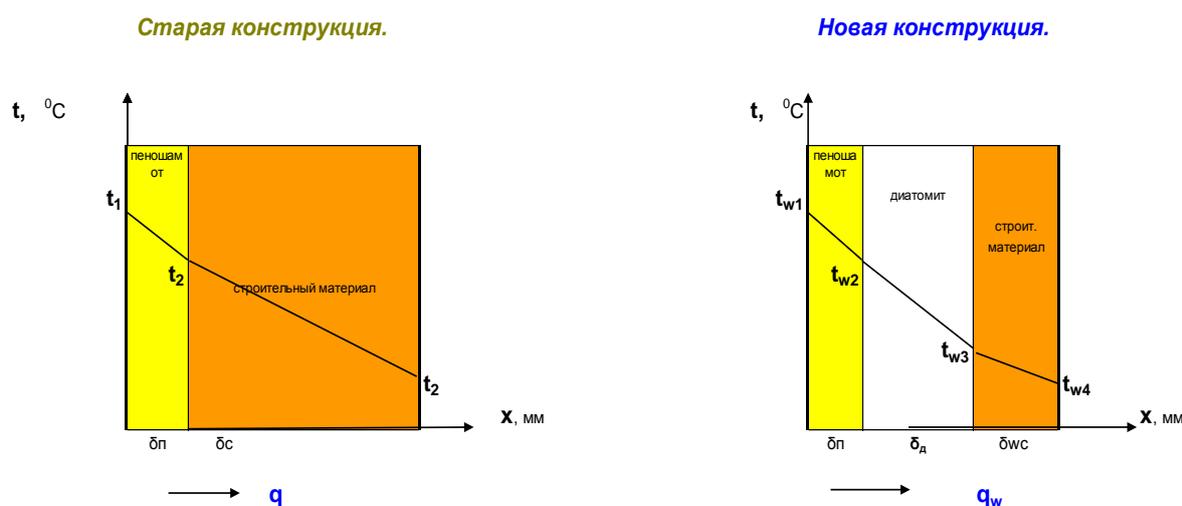


Рис. 2. «Новая» и «старая» конструкции стенки топочной камеры

Теоретическим ядром системы учебных теоретических вопросов темы «Теплопроводность при нестационарном режиме» являются знания: процессов охлаждения

(нагревания) неограниченной пластины, цилиндра и шара при граничных условиях первого, второго, третьего рода; нестационарного процесса теплопроводности в телах конечных размеров; регулярные режимы.

Тематический пакет практико-ориентированных заданий для моделирования профессиональных контекстов деятельности включает в себя три вариативных сценария квазипрофессиональной деятельности специалиста ФПС.

1. Определение толщины защитного слоя рабочей арматуры железобетонной колонны.

Постановка задачи. В результате пожара в производственном помещении одна из железобетонных колонн цилиндрической формы радиусом R оказалась в среде (продукты сгорания), температура которой мгновенно повышается до температура t_f и остается постоянной. Начальная температура колонны t_0 .

Результатами самостоятельной контекстной деятельности обучающихся является: расчет толщины защитного слоя (бетон) рабочей арматуры δ , при которой через τ часа прогрева температура на поверхности рабочей арматуры не превышала бы критической температуры $t_{кр}$.

2. Определение толщины защитного слоя рабочей арматуры железобетонной стены.

Постановка задачи. В результате предполагаемой аварии технологической установки, ограждающая железобетонная стена толщиной δ подвергнется одностороннему нагреву в условиях длительного пожара. При этом ожидается, что температура поверхности стены со стороны пожара повысится с t_0 до t_w и далее останется постоянной.

Результатами самостоятельной контекстной деятельности обучающихся является расчет:

- значений температур по толщине ограждающей стены в точках $x_1=0,33 \delta$, $x_2=0,66 \delta$ и $x=\delta$ в моменты времени τ_1 , τ_2 , τ_3 ;
- толщины защитного слоя рабочей арматуры δ_z , при которой температура на поверхности арматуры не превысит критическую температуру ($t_{кр}$).

3. Определение температурного поля перекрытия при пожаре в помещении.

Постановка задачи. Производство, связанное с обращением горючих жидкостей, размещено в помещении с известными геометрическими размерами. При аварии технологических аппаратов возможен разлив горючей жидкости известной площади разлива (f , m^2). Механическая вентиляция при возникновении пожара выключается. За счет естественного газообмена в помещение поступает в среднем V_A , m^3 воздуха на 1 кг горящей жидкости.

Перекрытие представляет собой сплошную железобетонную плиту толщиной δ . Толщина слоя бетона λ . Начальная температура перекрытия t_0 , такую же температуру имеет воздух над перекрытием.

Результатами самостоятельной контекстной деятельности обучающихся является:

- расчет среднеобъемной температуры среды в помещении при возникновении пожара через τ его развития;
- построение графика изменения среднеобъемной температуры среды в помещении при пожаре во времени.
- расчет температурного поля по толщине перекрытия через τ после начала пожара и представление графического распределения температуры по толщине в зависимости от времени.

Теоретическим ядром системы учебных теоретических вопросов темы «Конвективный теплообмен» являются знания: понятийного аппарата конвективного теплообмена, теории пограничного слоя, теории подобия; уравнение Ньютона-Рихмана; дифференциальные уравнения конвективного теплообмена; математические начала теории подобия; основы теплообмена при свободной конвекции в замкнутых объемах; расчеты теплоотдачи при свободном и вынужденном движениях жидкости.

В настоящее время тематический пакет практико-ориентированных заданий для моделирования профессиональных контекстов деятельности включает в себя один отработанный сценарий квазипрофессиональной деятельности специалиста ФПС.

Определение максимально-допустимого значения электрического тока

Постановка задачи. Горизонтально расположенный неизолированный электропровод диаметром d и длиной L охлаждается воздухом, температура которого равна t_f . Температура провода по условиям пожарной безопасности не должна превышать t_w .

Результатами самостоятельной контекстной деятельности обучающихся является расчет значения допустимой силы тока в электропроводе, в случае когда:

- воздух неподвижен;
- поток воздуха обдувает провод со скоростью w , а угол атаки потока составляет ψ .

Теоретическим ядром системы учебных теоретических вопросов темы «Излучение» являются знания понятийного аппарата лучистого теплообмена; теплообмен излучением; основы и математические начала теплообмена излучением в поглощающей и излучающей среде; радиационно-конвективный и радиационно-кондуктивный теплообмен при большой оптической толщине среды; критерии радиационного подобия; теплообмен ограждающих конструкций при пожаре в помещении.

Тематический пакет практико-ориентированных заданий для моделирования профессиональных контекстов деятельности включает в себя два вариативных сценария квазипрофессиональной деятельности специалиста ФПС.

1. Определение безопасных расстояний при разливе и возгорании жидких углеводородов.

Постановка задачи. В результате аварии на железной дороге жидкое топливо массой M разлилось слоем толщиной δ с последующим возгоранием при температуре воздуха t_f и скорости ветра w .

Результатами самостоятельной контекстной деятельности обучающихся является:

- расчет предельного размера безопасной зоны для работы личного состава;
- оценка возможности возгорания материалов, хранящихся на открытом пространстве, на предполагаемом удалении L от центра пролива топлива;
- построение графика зависимости интенсивности теплового излучения от удаленности от центра пролива.

2. Определение безопасных расстояний.

Постановка задачи. Горит штабель древесины, поверхность факела имеет форму прямоугольника размером $A \times B$, средняя температура факела t_f , степень черноты факела ϵ_f , степень черноты поверхности древесины ϵ_d .

Результатами самостоятельной контекстной деятельности обучающихся является расчет:

- безопасного расстояния от горящего штабеля до соседнего штабеля;
- предельного размера безопасной зоны для работы личного состава без отражательных костюмов и в отражательных костюмах со степенью черноты ϵ_3 .

Теоретическим ядром системы учебных теоретических вопросов темы «Теплопередача. Интенсификации теплопередачи» являются знания: принципов работы и классификации теплообменных аппаратов; основных положений теплового расчета теплообменных аппаратов.

Тематический пакет практико-ориентированных заданий для моделирования профессиональных контекстов деятельности включает в себя два вариативных сценария квазипрофессиональной деятельности специалиста ФПС.

1. Тепловой расчет конструктивных элементов огнезащитной шторы в условиях длительного пожара.

Постановка задачи. Снижение пожарной опасности в условиях высокотемпературного огневого воздействия на примере огнезащитной шторы для проемов высотой L . В основе конструкции шторы для обеспечения теплоизолирующей способности используется два слоя из текстильного полотна, каждый толщиной δ и с одинаковой степенью черноты ϵ_1 , на поверхностях которых расположены металлические экраны из алюминиевой фольги степень черноты которой равно ϵ_3 .

Результатами самостоятельной контекстной деятельности обучающихся является расчет: необходимого числа экранов для обеспечения в стационарном режиме допустимого значения температуры на необогреваемой стороне шторы. Процесс теплопередачи через огнезащитную штору представлен на рис. 3.

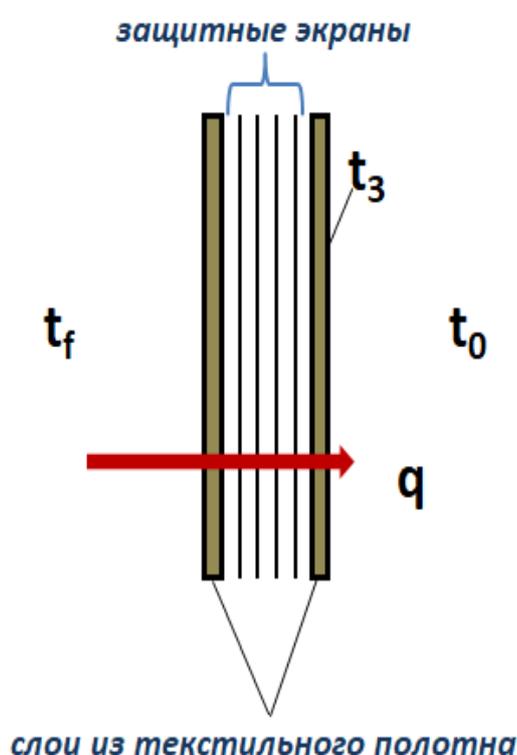


Рис. 3. Теплопередача через огнезащитную штору

2. Конструктивный расчет теплообменного аппарата.

Постановка задачи. Теплообменный аппарат типа «труба в трубе» (рис. 4), предназначен для охлаждения жидкости (горячего теплоносителя) с массовым расходом G_T от температуры насыщения t_S ($t_{f_{x1}} = t_S$) до заданной температуры $t_{f_{x2}}$.

Охлаждаемая жидкость (горячий теплоноситель) подается на вход теплообменного аппарата из конденсатора и имеет температуру насыщения t_S при давлении P . Температура охлаждающей воды на входе в теплообменный аппарат $t_{f_{x1}}$, на выходе из него – $t_{f_{x2}}$.

Вода движется по внутренним трубам с диаметром d , а горячий теплоноситель в межтрубном пространстве. Диаметр наружной трубы D .

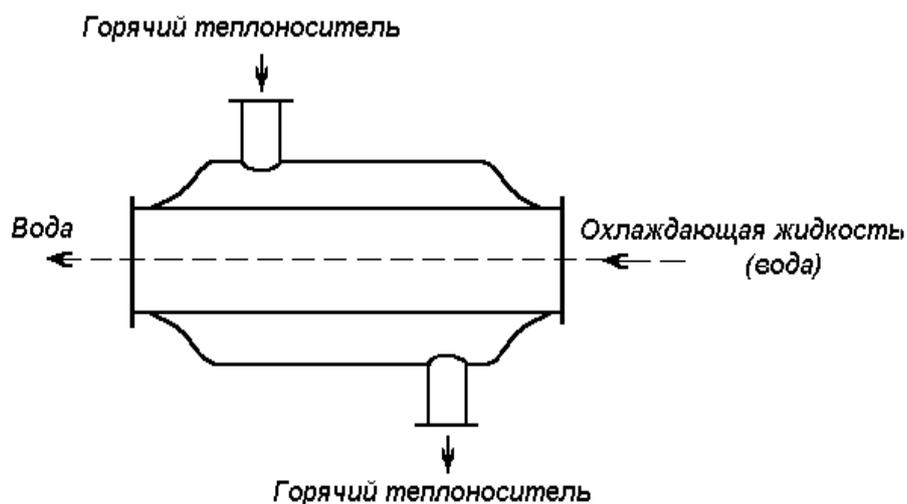


Рис. 4. Схема элемента двухтрубного противоточного теплообменного аппарата

Результатами самостоятельной контекстной деятельности обучающихся является расчет поверхности теплообменника F и общей длины труб L .

Расчет осуществить для чистой поверхности и при наличии загрязнений в виде слоя толщиной δ_z с теплопроводностью λ_z .

Следует отметить, что в ходе индивидуального выполнения контекстных практико-ориентированных заданий в процессе изучения общетехнической дисциплины «Теплотехника» отрабатываются базовые технологические умения инженера:

- умение планировать свою деятельность, прогнозировать и предвидеть ее результаты;
- сознательно выбирать оптимальные способы преобразовательной деятельности с учетом последствий для природы и общества;
- быстро осваивать технологические операции и технологии; выявлять потребности в информационном обеспечении деятельности; выполнять и анализировать графические интерпретации практических знаний.

Заключение

Контекстуальное моделирование в процессе обучения общетехнической дисциплине «Теплотехника» позволяет реализовывать вариативные позиции субъекта профессиональной деятельности в условиях различных профессионально-подобных ситуаций.

Успешное выполнение профессионально-ориентированных заданий убеждает обучающегося не только в практической значимости учебного материала дисциплины для избранной специальности, но и в личной способности найти самостоятельное решение профессиональной проблемы.

Личный успех самостоятельной квазипрофессиональной деятельности субъекта учения стимулирует его внутренние мотивы познания, развивает интерес к предмету, что в итоге способствует формированию доминанты («опорного пункта») профессионального самоопределения личности будущего специалиста.

Список источников

1. Бабина С.Н. Интеграция технологического и физического образования учащихся школ: монография. М.: Изд-во «Прометей» МПГУ, 2002. 320 с.
2. Митчем К. Что такое философия техники?: пер. с англ. / под ред. В.Г. Горохова. М.: Аспект Пресс, 1995. 149 с.

3. Ленк Х. Размышления о современной технике: пер. с немец. / под ред. В.С. Степина. М.: Аспект Пресс, 1996. 183 с.
4. Бабина С.Н. Общетеchnические дисциплины как образовательная модель интеграции технологического и естественнонаучного содержания образования // Вестник ЮУрГУ. 2012. № 4. С. 74–77.
5. Перре-Клермон А.-Н., Мюллер Н., Марро П. Чему мы можем научить? И что нам это дает? // Психологическая наука и образование. 2002. № 4. С. 9–15.
6. Роджерс К., Фрайберг Д. Свобода учиться: пер. с англ. М.: Смысл, 2002. 527 с.
7. Вербицкий А.А. Психология и педагогика высшей школы: проблемы, результаты, перспективы. Круглый стол // Вопросы психологии. 1981. № 3. С. 18–21.
8. Бакшаева Н.А., Вербицкий А.А. Психология мотивации студентов. М.: Логос, 2006. 184 с.
9. Вербицкий А.А., Калашников В.Г. Категория «контекст» в психологии и педагогике: монография. М.: Логос, 2010. 298 с.
10. Вербицкий А.А., Калашников В.Г. Контекстный подход в психологии // Психологический журнал. 2015. Т. 36. № 3. С. 5–14.
11. Калашников В.Г. Контекстный подход как методология психологического исследования: монография. СПб.: Нестор-История, 2019. 384 с.
12. Калашников В.Г. Понятие «контекст» и контекстный подход в образовании // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 20: Педагогическое образование. 2019. № 4. С. 40–51.
13. Вербицкий А.А. Теория и технологии контекстного образования: учеб. пособие. М.: МПГУ, 2017. 268 с.
14. Jonson E.B. Contextual Teaching and Learning. Corwin Press, INC. A Sage Publications Company. Thousand Oaks, California. 2002. 196 p.
15. Lipman M. The reflective model of educational practice // Thinking in Education. 2-nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. Pp. 9–27.
16. Психология и педагогика контекстного образования: Коллективная монография / под науч. ред. А.А. Вербицкого. М.; СПб.: Нестор-История, 2018. 416 с.
17. Кулюткин Ю.Н. Психология обучения взрослых. М.: Просвещение, 1985. 305 с.
18. Вербицкий А.А., Дубовицкая Т.Д. Контексты содержания образования: монография. М.: МГОПУ им. М.А. Шолохова, 2003. 80 с.
19. Калашников В.Г. Образовательная среда контекстного типа // Высшее образование в России. 2012. № 4. С. 92–97.
20. Полат Е.С. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования. М.: АCADEMA, 2001. 272 с.
21. Кузьмин А.А., Пермяков А.А., Романов Н.Н. Специальные главы теплотехники: Электронный учебно-методический комплекс: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021668267, 11.11.2021. Заявка № 2021666605 от 20.10.2021.

References

1. Babina S.N. Integraciya tekhnologicheskogo i fizicheskogo obrazovaniya uchashchihsya shkol: monografiya. M.: Izd-vo «Prometej» MPGU, 2002. 320 s.
2. Mitchem K. Chto takoe filosofiya tekhniki?: per. s angl. / pod red. V.G. Gorohova. M.: Aspekt Press, 1995. 149 s.
3. Lenk H. Razmyshleniya o sovremennoj tekhnike: per. s nemeck. / pod red. V.S. Stepina. M.: Aspekt Press, 1996. 183 s.
4. Babina S.N. Obshchetekhnicheskie discipliny kak obrazovatel'naya model' integracii tekhnologicheskogo i estestvennonauchnogo soderzhaniya obrazovaniya // Vestnik YUUrGU. 2012. № 4. S. 74–77.
5. Perre-Klermon A.-N., Myuller N., Marro P. Chemu my mozhem nauchit'? I chto nam eto daet? // Psihologicheskaya nauka i obrazovanie. 2002. № 4. S. 9–15.
6. Rodzhers K., Frajberg D. Svoboda uchit'sya: per. s angl. M.: Smysl, 2002. 527 s.

7. Verbickij A.A. Psihologiya i pedagogika vysshej shkoly: problemy, rezul'taty, perspektivy. Kruglyj stol // Voprosy psihologii. 1981. № 3. S. 18–21.
8. Bakshaeva N.A., Verbickij A.A. Psihologiya motivacii studentov. M.: Logos, 2006. 184 s.
9. Verbickij A.A., Kalashnikov V.G. Kategoriya «kontekst» v psihologii i pedagogike: monografiya. M.: Logos, 2010. 298 s.
10. Verbickij A.A., Kalashnikov V.G. Kontekstnyj podhod v psihologii // Psihologicheskij zhurnal. 2015. T. 36. № 3. S. 5–14.
11. Kalashnikov V.G. Kontekstnyj podhod kak metodologiya psihologicheskogo issledovaniya: monografiya. SPb.: Nestor-Istoriya, 2019. 384 s.
12. Kalashnikov V.G. Ponyatie «kontekst» i kontekstnyj podhod v obrazovanii // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 20: Pedagogicheskoe obrazovanie. 2019. № 4. S. 40–51.
13. Verbickij A.A. Teoriya i tekhnologii kontekstnogo obrazovaniya: ucheb. posobie. M.: MPGU, 2017. 268 s.
14. Jonson E.B. Contextual Teaching and Learning. Corwin Press, INC. A Sage Publications Company. Thousand Oaks, California. 2002. 196 p.
15. Lipman M. The reflective model of educational practice // Lipman M. Thinking in Education. 2-nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. Pp. 9–27.
16. Psihologiya i pedagogika kontekstnogo obrazovaniya: Kollektivnaya monografiya / pod nauch. red. A.A. Verbickogo. M.; SPb.: Nestor-Istoriya, 2018. 416 s.
17. Kulyutkin Yu.N. Psihologiya obucheniya vzroslyh. M.: Prosveshchenie, 1985. 305 s.
18. Verbickij A.A., Dubovickaya T.D. Konteksty sodержaniya obrazovaniya: monografiya. M.: MGOPU im. M.A. Sholohova, 2003. 80 s.
19. Kalashnikov V.G. Obrazovatel'naya sreda kontekstnogo tipa // Vysshee obrazovanie v Rossii. 2012. № 4. S. 92–97.
20. Polat E.S. Novye pedagogicheskie i informacionnye tekhnologii v sisteme obrazovanii. M.: ACADEMA, 2001. 272 s.
21. Kuz'min A.A., Permyakov A.A., Romanov N.N. Special'nye glavy teplotekhniki: Elektronnyj uchebno-metodicheskij kompleks: Svidetel'stvo o registracii programmy dlya EVM RU 2021668267, 11.11.2021. Zayavka № 2021666605 ot 20.10.2021.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 30.03.2022; одобрена после рецензирования: 28.04.2022; принята к публикации: 29.04.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 30.03.2022; approved after review: 28.04.2022; accepted for publication: 29.04.2022

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), доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: luvlmed@mail.ru

Николай Николаевич Романов, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент

Information about the authors:

Lyudmila V. Medvedeva, head of the department of physical and technical fundamentals of fire safety Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: luvlmed@mail.ru, doctor of pedagogical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation

Nikolay N. Romanov, associate professor of the department of physical and technical fundamentals of fire safety Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor

УДК 004.45

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МЧС РОССИИ

Александр Юрьевич Лабинский[✉];**Ирина Васильевна Бородушко.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.**[✉]Labinsciy@yandex.ru

Аннотация. Эффективность деятельности подразделений Государственной противопожарной службы МЧС России определяется результатами управления их ресурсами. Для совершенствования процессов управления ресурсами целесообразно осуществлять автоматизацию процессов планирования и управления.

В основе теории принятия решений находятся методы оптимизации, позволяющие находить оптимальное решение и оценивать его эффективность. В статье обосновано, что для решения задач оптимального распределения ресурсов с учетом имеющихся ограничений целесообразно использовать методы линейного программирования. Представлено использование авторских компьютерных моделей для расчета специальных задач линейного программирования – транспортной задачи и задачи выбора (задачи о назначениях) в интересах оптимального планирования распределения сил и средств подразделений МЧС России и оптимального планирования перевозок.

Ключевые слова: эффективность деятельности, управление ресурсами, автоматизация процессов, процессы планирования, процессы управления, методы оптимизации, линейное программирование, транспортная задача, компьютерная модель, программа для ЭВМ

Для цитирования: Лабинский А.Ю., Бородушко И.В. Оптимизация управления ресурсами подразделений Государственной противопожарной службы МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 2. С. 66–73.

OPTIMIZATION OF CONTROL THE RESOURCES OF SUBDIVISIONS OF STATE FIRE SERVICE OF EMERCOM OF RUSSIA

Alexander Yu. Labinsciy[✉];**Irina V. Borodushko.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.**[✉]Labinsciy@yandex.ru

Abstract. The effectiveness of the activities of the units of the State fire service of EMERCOM of Russia is determined by the results of managing their resources. To improve resource management processes, it is advisable to automate planning and management processes.

Decision-making theory is based on optimization methods that allow finding the optimal solution and evaluating its effectiveness. The article substantiates that it is expedient to use linear programming methods to solve problems of optimal resource allocation, taking into account the existing constraints. The article presents the use of author's computer models for the calculation of special problems of linear programming – a transport problem and a choice problem (assignment problem) in the interests of optimal planning of the distribution of forces and means of units of EMERCOM of Russia and optimal planning of transportation.

Keywords: efficiency of activity, management of resources, automation of processes, planning processes, management processes, methods of optimization, linear programming, transport problem, computing model, computing program

For citation: Labinskiy A.Yu.; Borodushko I.V. Optimization of control the resources of subdivisions of state fire service of EMERCOM of Russia // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 66–73.

Введение

Эффективность деятельности подразделений Государственной противопожарной службы (ГПС) МЧС России определяется эффективностью реализации потенциальных оперативно-тактических возможностей, которая определяется результатами управления ресурсами [1–3].

Совершенствование процессов управления ресурсами ГПС МЧС России может осуществляться путем автоматизации процессов планирования и управления использованием ресурсов подразделений ГПС МЧС России.

Важнейшей составляющей теории принятия решений являются методы оптимизации, которые позволяют производить поиск оптимального решения и оценивать его эффективность [4].

Методы исследования

Линейное программирование применяется для решения задач, в которых нужно оптимальным образом распределить какие-либо ресурсы с учетом имеющихся ограничений. Таким образом, линейное программирование может быть использовано для решения двух основных задач:

– задач оптимального планирования распределения сил и средств подразделений ГПС МЧС России;

– задач оптимального планирования перевозок.

В самом общем виде задача линейного программирования может быть сформулирована так: имеется некоторая величина (стоимость, время и т.п.), являющаяся линейной функцией нескольких переменных [5]. Эти переменные должны удовлетворять ограничениям в виде равенств или неравенств. Нужно отыскать такие значения переменных, которые удовлетворяют заданным ограничениям и при которых величина, являющаяся их функцией, принимала бы максимальное или минимальное значение.

Таким образом, ставится задача автоматизации процессов планирования и управления использованием ресурсов подразделений ГПС МЧС. Практическая значимость решения данной задачи состоит в том, что автоматизация указанных процессов повышает эффективность деятельности подразделений ГПС МЧС России.

Транспортная задача

Методам исследования операций и оптимизации посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов [5–13]. Одной из типичных задач линейного программирования является так называемая транспортная задача, которая возникает при планировании наиболее рациональных перевозок. Транспортная задача – специальная задача линейного программирования (задача планирования наиболее рациональных перевозок грузов). В одних случаях это означает определение такого плана перевозок, при котором стоимость перевозок была бы минимальной. В других случаях более важным является выигрыш во времени.

Рассмотрим случай закрытой транспортной задачи, когда сумма возможных поставок равна сумме потребностей. Для решения транспортной задачи используется алгоритм последовательного улучшения плана.

Задача: минимизировать функцию $C_{11} \cdot X_{11} + \dots + C_{mn} \cdot X_{mn} = Z$,
при ограничениях: $X_{ij} \geq 0$;

$$X_{11} + \dots + X_{1n} = A_1; \dots; X_{n1} + \dots + X_{nn} = A_n;$$

$$X_{11} + \dots + X_{m1} = B_1; \dots; X_{1m} + \dots + X_{mn} = B_n,$$

где $X_{[I,J]}$ – количество единиц изделия, транспортируемых из пункта-поставщика (склада, хранилища) I в пункт потребления J .

Исходные данные:

- число объектов-поставщиков M ;
- число объектов-потребителей N ;
- стоимость $C_{[I,J]}$ транспортировки изделия из пункта-поставщика I ($I=1..M$) в пункт потребления J ($J=1..N$);
- объемы поставок $A[I]$;
- объемы потребления $B[J]$.

Интерфейс программы, реализующей решение транспортной задачи (задачи планирования перевозок), представлен на рис. 1.

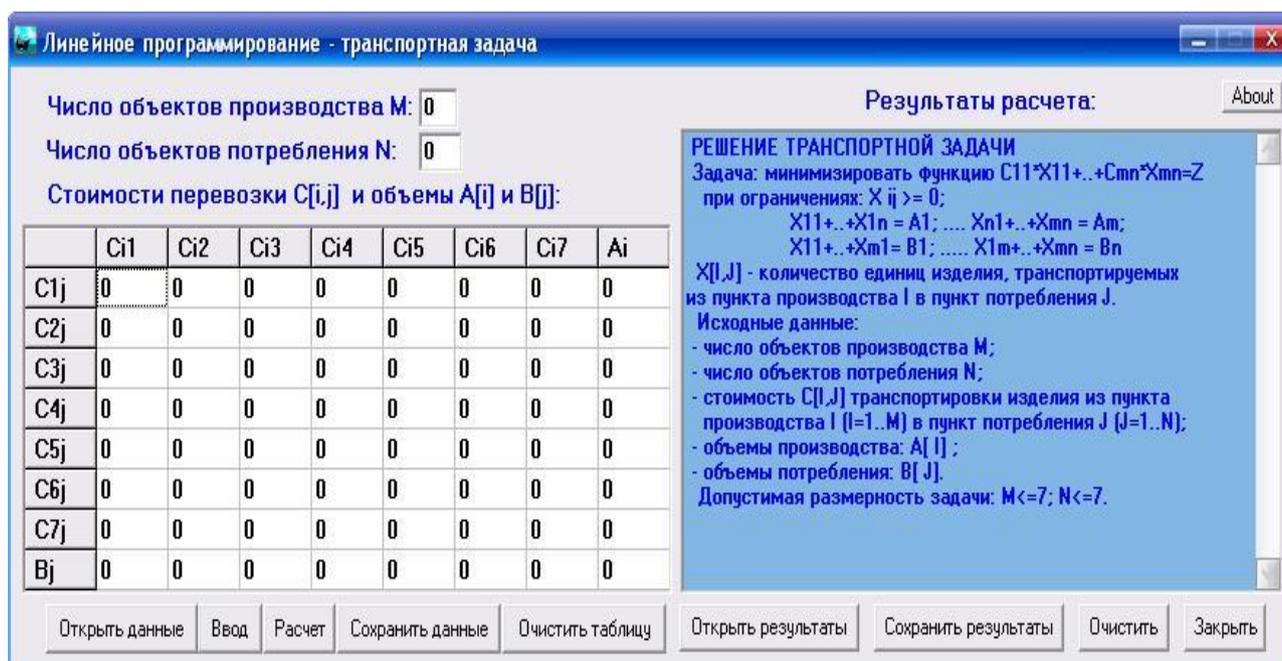


Рис. 1. Интерфейс программы решения транспортной задачи

Блок-схема программы решения транспортной задачи представлена на рис. 2.

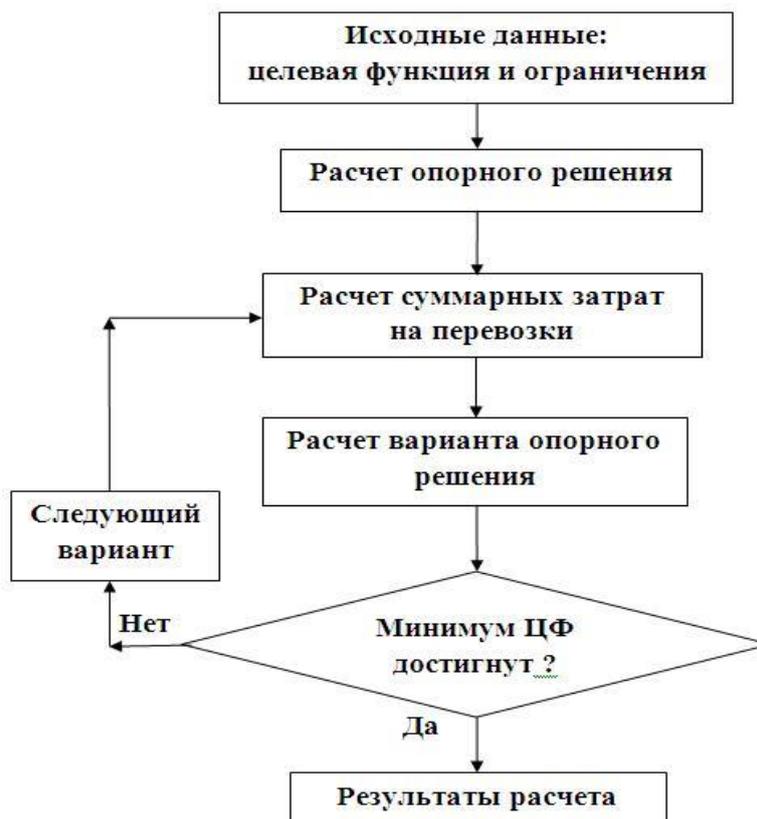


Рис. 2. Блок-схема программы решения транспортной задачи (ЦФ – целевая функция)

Тестовая задача

Число объектов поставок (складов) и объектов потребления: $M=3$; $N=5$.

Целевая функция: $Z=1 \cdot X_{11}+0 \cdot X_{12}+3 \cdot X_{13}+4 \cdot X_{14}+2 \cdot X_{15}+5 \cdot X_{21}+1 \cdot X_{22}+2 \cdot X_{23}+3 \cdot X_{24}+3 \cdot X_{25}+4 \cdot X_{31}+8 \cdot X_{32}+1 \cdot X_{33}+4 \cdot X_{34}+3 \cdot X_{35}$.

Объемы поставок: $A[i]=15; 25; 20$; Объемы потребления: $B[j]=20; 12; 5; 8; 15$.

Результаты расчета

Частные решения: общие стоимости перевозки равны 162 у.е. и 126 у.е.

Окончательное решение – количество транспортируемых единиц:

$X[1,1]=15$; $C[1,1]=1$; Стоимость перевозки =15.

$X[2,2]=12$; $C[2,2]=1$; Стоимость перевозки =12.

$X[2,4]=8$; $C[2,4]=3$; Стоимость перевозки =24.

$X[2,5]=5$; $C[2,5]=3$; Стоимость перевозки =15.

$X[3,1]=5$; $C[3,1]=4$; Стоимость перевозки =20.

$X[3,3]=5$; $C[3,3]=1$; Стоимость перевозки =5.

$X[3,5]=10$; $C[3,5]=3$; Стоимость перевозки =30.

Общая минимальная стоимость перевозки равна 121 у.е.

Пример постановки транспортной задачи

В двух пунктах отправления А и В есть 150 и 90 т горючего. В пункты 1, 2 и 3 требуется доставить 60, 70 и 110 т горючего. Стоимости перевозки тонны горючего из пункта А в пункты 1, 2 и 3 составляют 6, 10 и 4 денежные единицы, а из пункта В – 12, 2 и 8 денежных единиц.

Нужно составить оптимальный план перевозок горючего так, чтобы общая сумма транспортных расходов была наименьшей. Результатом постановки задачи является таблица данных.

Таблица

Показатели	Пункт 1	Пункт 2	Пункт 3
Объемы горючего, т	60	70	110
Хранилище А, 150 т	$X_{11}=60$ (6 д. ед.)	$X_{12}=70$ (10 д. ед.)	$X_{13}=20$ (4 д. ед.)
Хранилище В, 90 т	(12 д. ед.)	(2 д. ед.)	$X_{23}=90$ (8 д. ед.)

Задача выбора (задача о назначениях)

Другой типичной задачей линейного программирования является так называемая задача выбора. Задача выбора – специальная задача линейного программирования (задача о назначениях). Необходимо отыскать такой план распределения сил или средств, при котором общий результат действий будет наилучшим (эффективность максимальной или стоимость минимальной).

Задача: найти максимум (минимум) функции $T_{11} \cdot X_{11} + \dots + T_{nn} \cdot X_{nn} = TS$ при ограничениях: $X_{ij} = 0$ или 1; $X_{11} + \dots + X_{1n} = 1$; ... $X_{n1} + \dots + X_{nn} = 1$.

Здесь величины $X_{[I,J]}$ – степень участия I-го человека, подразделения (механизма) в выполнении J-го задания (работы), $T_{[I,J]}$ – производительность I-го механизма на J работе. Суммы степеней участия по строкам и столбцам равны единице, так как каждый человек, подразделение (механизм) должен быть полностью задействован, и каждое задание (работа) должно быть полностью выполнено.

Интерфейс программы, реализующей решение специальной задачи линейного программирования (задача о назначениях или задачи выбора), представлен на рис. 3.



Рис. 3. Интерфейс программы решения задачи выбора

Блок-схема программы решения задачи выбора представлена на рис. 4.

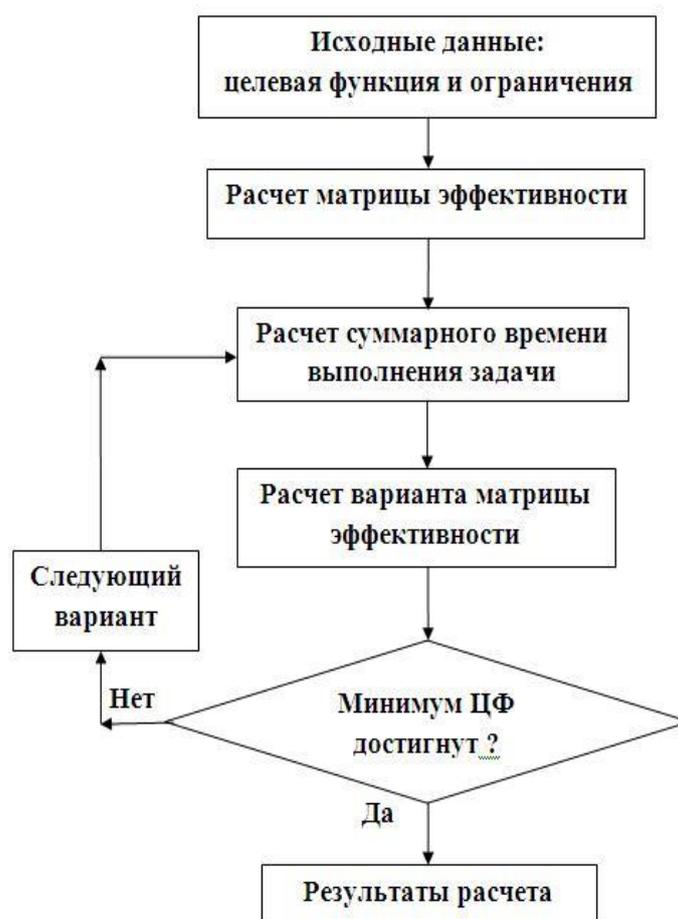


Рис. 4. Блок-схема программы решения задачи выбора

Исходные данные задачи выбора (задачи о назначениях):

- размерность матрицы эффективности $T[I,J]$: N ;
- время выполнения J -го задания I объектом – матрица эффективности $T[I,J]$.

Это задача линейного программирования транспортного типа (с булевыми переменными: $X_{ij}=0$ или 1). Так как все суммы по строкам и столбцам матрицы $X[I,J]$ равны единице, задача вырожденная. Поэтому алгоритм решения транспортной задачи применим, но неэффективен. В оптимальном целочисленном решении задачи N величин $X[I,J]$ будут равны 1 , а остальные – нулю. Для матрицы $T[I,J]$ задача состоит в выборе N элементов, по одному в каждой строке и по одному в каждом столбце, таких, что их сумма, в зависимости от условия задачи, минимальна или максимальна.

Метод решения задачи основан на том факте, что оптимальный выбор сохраняется при вычитании или добавлении к каждому элементу некоторой строки или столбца матрицы $T[I,J]$ одного и того же значения. В каждой строке матрицы находится минимальный (максимальный) элемент. Затем, одно и то же значение вычитается или добавляется ко всем элементам строки или столбца с целью распределения этих элементов строк по столбцам. Тогда найденные элементы (базис) образуют оптимальный выбор.

Тестовая задача

Пять человек (подразделений) способны выполнить пять заданий с различной эффективностью (разное время выполнения). Размерность задачи $N=5$. Матрица эффективности имеет следующие значения (по строкам) в часах: $T[1,j]=10; 5; 9; 18; 11$; $T[2,j]=13; 19; 6; 12; 14$; $T[3,j]=3; 2; 4; 4; 5$; $T[4,j]=18; 9; 12; 17; 15$; $T[5,j]=11; 6; 14; 19; 10$.

Как распределить людей (подразделения) по заданиям, чтобы минимизировать время выполнения?

Результаты расчета

$$T_{\min}=T[1,1]*1+T[2,3]*1+T[3,4]*1+T[4,2]*1+T[5,5]*1=39 \text{ чел./ч.}$$

$$\text{(Для справки: } T_{\max}=T[1,4]*1+T[2,2]*1+T[3,5]*1+T[4,1]*1+T[5,3]*1=74 \text{ чел./ч.)}$$

Заключение

Таким образом, в статье представлены результаты компьютерного моделирования расчетов в рамках решения специальных задач линейного программирования – транспортной задачи и задачи выбора (задачи о назначениях), в целях деятельности подразделений ГПС МЧС России. Компьютерные модели транспортной задачи и задачи выбора реализованы в виде двух авторских программ для ЭВМ.

Практическая значимость результатов состоит в том, что автоматизация указанных процессов может привести к повышению оперативности решений поставленных управленческих задач, а значит и к повышению эффективности деятельности подразделений ГПС МЧС России.

Список источников

1. Лабинский А.Ю., Черных А.К., Тиамийу О.А. Принятие решений при ликвидации последствий стихийных бедствий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 1. С. 109–116.
2. Водахова В.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Комплексная математическая модель процесса управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 2 (34). С. 85–96.
3. Крупкин А.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Методика оценки эффективности управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 4. С. 30–34.
4. Системный анализ и принятие решений: учеб. / В.С. Артамонов [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2017.
5. Астафьева Л.К. Исследование операций. Казань: КГУ, 2012.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций. 12-е изд. М.: КноРус, 2015.
7. Волков И.К., Загоруйко Е.А. Исследование операций. М.: МГТУ, 2018.
8. Чернолуцкий И.Г. Методы оптимизации и принятие решений: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2013.
9. Taha H. Operation research: an introduction. 3rd edition. New Jersey, Prentice Hall, 2012.
10. Nahmias S. Production and operations analysis. 6rd edition. N.,Y., The McGraw-Hill Inc., 2015.
11. Dilworth J.B. Production and operations management. 9th edition. N.,Y., The McGraw-Hill Inc., 2017.
12. Ritzman L.P., Krajewski L.J. Foundations of operations management. New Jersey, Prentice Hall, 2013.
13. Ehrgott M. Multicriteria Optimization. Munchen, Springer, 2016.

References

1. Labinskij A.Yu., Chernyh A.K., Tiamiju O.A. Prinyatie reshenij pri likvidacii posledstvij stihijnyh bedstvij // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 1. S. 109–116.
2. Vodahova V.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Kompleksnaya matematicheskaya model' processa upravleniya silami i sredstvami garnizona pozharnoj ohrany // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2015. № 2 (34). S. 85–96.
3. Krupkin A.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Metodika ocenki effektivnosti upravleniya silami i sredstvami garnizona pozharnoj ohrany // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 4. S. 30–34.
4. Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij: ucheb. / V.S. Artamonov [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017.
5. Astaf'eva L.K. Issledovanie operacij. Kazan': KGU, 2012.
6. Ventcel' E.S. Issledovanie operacij. 12-e izd. M.: KnoRus, 2015.
7. Volkov I.K., Zagorujko E.A. Issledovanie operacij. M.: MGTU, 2018.
8. Chernoruckij I.G. Metody optimizacii i prinyatie reshenij: ucheb. posobie. SPb.: Lan', 2013.
9. Taha H. Operation research: an introduction. 3rd edition. New Jersey, Prentice Hall, 2012.
10. Nahmias S. Production and operations analysis. 6rd edition. N.,Y., The McGraw-Hill Inc., 2015.
11. Dilworth J.B. Production and operations management. 9th edition. N.,Y., The McGraw-Hill Inc., 2017.
12. Ritzman L.P., Krajewski L.J. Foundations of operations management. New Jersey, Prentice Hall, 2013.
13. Ehrgott M. Multicriteria Optimization. Munchen, Springer, 2016.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 06.04.2022; одобрена после рецензирования: 20.05.2022; принята к публикации: 23.05.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 06.04.2022; approved after review: 20.05.2022; accepted for publication: 23.05.2022

Информация об авторах:

Александр Юрьевич Лабинский, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: Labinsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>

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, <https://orcid.org/0000-0001-9213-4126>

Information about the authors:

Alexander Yu. Labinsciy, docent department of applied mathematics and information technology of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: Labinsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>

Irina V. Borodushko, professor department of applied mathematics and information technology of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of economic sciences, e-mail: bi08@me.com, <https://orcid.org/0000-0001-9213-4126>

УДК 614.8:355.588

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СПАСАТЕЛЬНЫМИ ФОРМИРОВАНИЯМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Андрей Владимирович Калач✉.**Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж, Россия;****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.****Валерий Ярославович Трофимец;****Валерий Ильич Куватов.****Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия.****Станислав Александрович Бокадаров.****Воронежский институт ФСИН России, г. Воронеж, Россия**✉ a_kalach@mail.ru

Аннотация. Масштабы современных чрезвычайных ситуаций различного характера формируют необходимость постоянной готовности сил и средств спасательных формирований к действиям в мирное время в кризисных условиях. Спасательные формирования как наиболее подготовленный и мобильный комплекс сил гражданской обороны, имеющие единую организационно-штатную структуру для выполнения функциональных задач по обеспечению ввода сил в очаги поражения, проведения в них аварийно-спасательных и других неотложных работ. В статье рассмотрен вопрос повышения эффективности управления деятельностью спасательных формирований Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий при взаимодействии с другими формированиями в условиях неполноты информации. Описано функциональное управление силами и средствами ведомственных подразделений.

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

Для цитирования: Калач А.В., Трофимец В.Я., Куватов В.И., Бокадаров С.А. Организация управления спасательными формированиями в условиях неопределенности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 74–85.

ORGANIZATION OF MANAGEMENT OF RESCUE FORMATIONS IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

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.****Valery Ya. Trofimets;****Valery I. Kuvatov.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.****Stanislav A. Bokadarov.****Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia**

Abstract. The scale of emergency situations of various nature in recent decades has created the need for the constant readiness of the forces and means of rescue formations to act in peacetime in crisis conditions. Rescue formations, as the most prepared and mobile complex of the civil defense forces, having a single organizational and staff structure, for the performance of functional tasks to ensure the entry of forces into the centers of destruction, emergency rescue and other urgent work in them. The article considers the issue of improving the efficiency of managing the activities of rescue units of the EMERCOM of Russia when interacting with other units in conditions of incomplete information. Functional management of forces and means of departmental units is described.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

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

For citation: Kalach A.V., Trofimets V.Ya., Kuvatov V.I., Bokadarov S.A. Organization of rescue formations management in conditions of uncertainty // Nauch.-analit. jour. «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 74–85.

Введение

Обеспечение защиты населения и территорий в мирное и военное время, динамическая трансформация управленческих подходов к действиям спасательных формирований Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) в условиях неопределенности является актуальной задачей. Повышение эффективности функционирования сил и средств за счет оптимизации системы принятия управленческих решений является перспективным направлением в решении вопроса организации управления деятельностью.

Аналитическая часть

В качестве организации управления деятельностью спасательных формирований следует понимать совокупность действий органов управления по подготовке и непосредственной реализации поставленных задач в условиях неопределенности [1–4]. Процедура принятия управленческого решения состоит из определённых этапов: постановка задачи для реализации имеющейся проблемы, подготовка, формирование и реализация решения (рис. 1) [5–8].

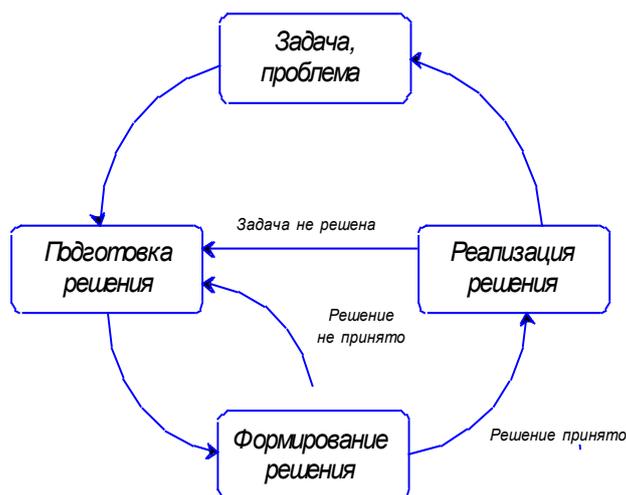


Рис. 1. Этапы принятия управленческого решения

В рамках проведения анализа процесса выработки управленческих решений при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) различного характера в условиях неопределённости целесообразно рассмотреть работы современных ученых в исследуемой области [9–14].

Авторами Н.И. Юсуповой и К.Р. Еникеевой в процессе разработки системы поддержки принятия решений (СППР) стратегического управления деятельностью аварийно-спасательных формирований (АСФ) была использована функциональная модель, с помощью которой описана организация процесса управления формированиями (рис. 2, 3) [15].

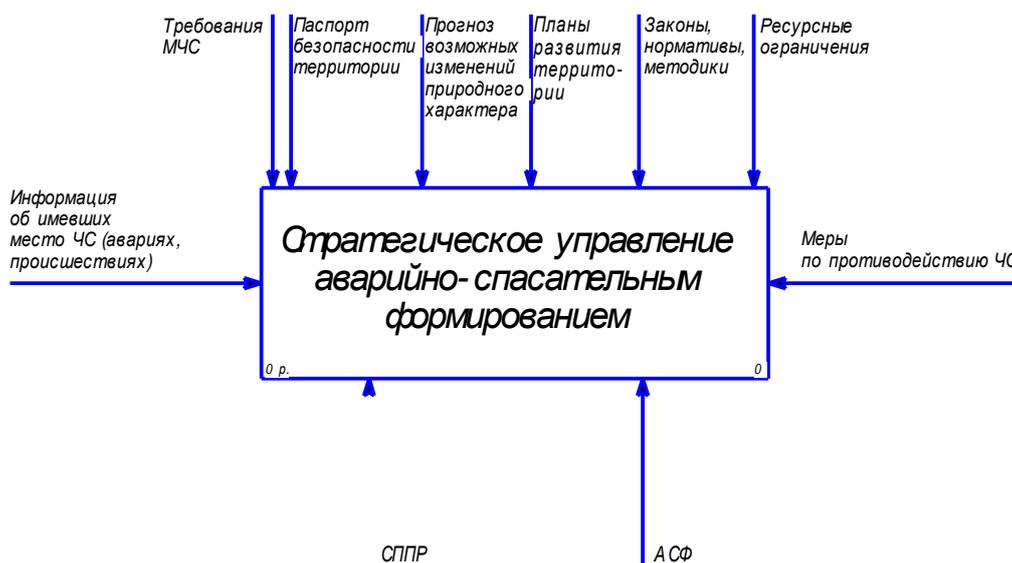


Рис. 2. Диаграмма стратегического управления аварийно-спасательными формированиями

Процесс разработки СППР в рамках руководства действиями подразделений в условиях неполноты информации включал комплексное изучение проблемы, разработку подхода повышения эффективности функционирования формирований при использовании технологий экспертных и геоинформационных систем (ГИС) [16]. При решении предложенной функциональной модели выполнялся отбор элементов модульной системы, позволяющей осуществлять контроль реализации этапов управленческих решений, что, в свою очередь, позволило повысить качественную составляющую деятельности АСФ.

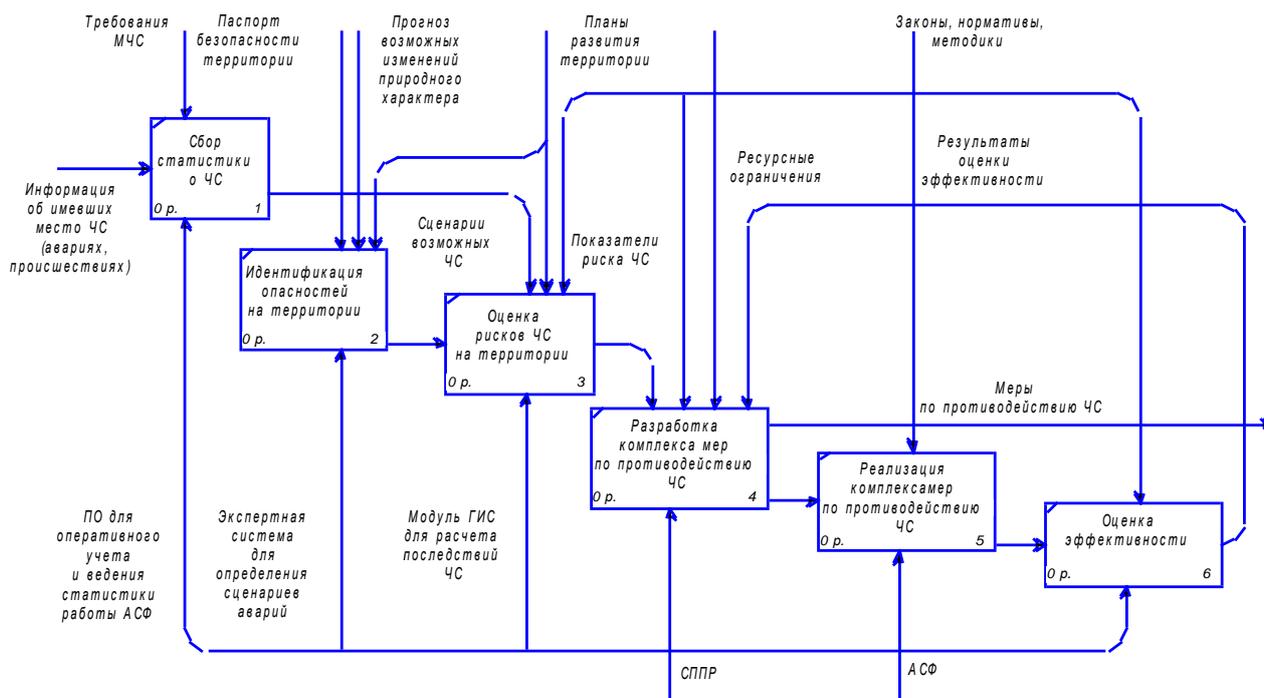


Рис. 3. Декомпозиция процесса стратегического управления АСФ

Автором [17] с целью постановки и формализации задачи определения мероприятий по ликвидации последствий ЧС гидрологического характера описана модель поддержки принятия решений в условиях неопределенности.

Процедура анализа и выбора оптимальной последовательности действий при ликвидации ЧС представлена в виде следующего алгоритма (рис. 4) [18].

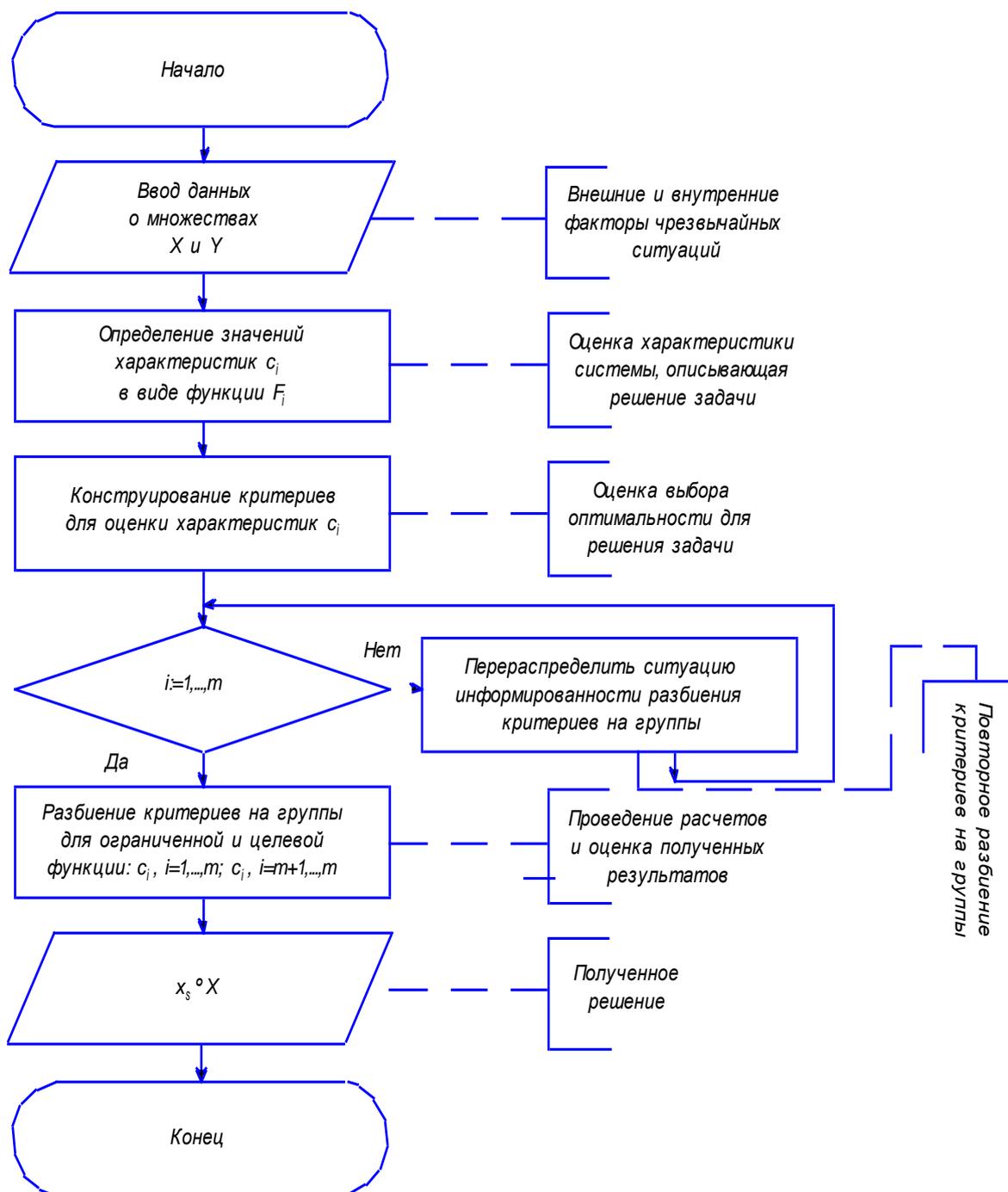


Рис. 4. Алгоритм выбора действий при ликвидации ЧС гидрологического характера в условиях неопределённости

При формировании критериев оптимальности применялись следующие принципы: принцип идеальной точки, принцип максимина, принцип абсолютной уступки, принцип относительной уступки, принцип антиидеальной точки. В результате их комбинирования по группам предложены критерии:

– целевая функция и постановка задач выбора разных ограничений на основе принципа идеальной точки:

$$f(x) = \min_{x_s \in x_j} F(x_s) = \min_{x_s \in x_j} \sum_{i=1}^m \gamma_i^p (c_i^j - c_i(x_s))^p, p = 1, 2, \dots;$$

– целевая функция и постановка задач выбора при разных ограничениях на основе принципа максимина:

$$F(x) = \max_{x_s \in x_j} F(x_s) = \max_{x_s \in x_j} \min_{i \in \{1, \dots, m\}} (\gamma_i c_i(x_s));$$

– целевая функция и постановка задач выбора при разных ограничениях на основе принципа относительной уступки:

$$F(x^*) = \max_{x_s \in x_j} F(x_s) = \max_{x_s \in x_j} \prod_{i=1}^m [c_i(x_s)]^{\gamma_i}.$$

При постановке задачи автором были использованы принципы абсолютной уступки и идеальной точки:

$$F(x) = \max_{x_s \in X} F(x) = \max_{x_s \in X} \left(\sum_{i=1}^m (\gamma_k c_i)^p + \sum_{i=m+1}^m \gamma_i^p (c_i^1 - c_i(x_s))^p \right), p = 1, 2 \dots .$$

В качестве меры оценки неопределенности выступала энтропия:

$$H_s = - \sum_{j=1}^m p_j \ln p_j, x_s \in X.$$

Конечное решение определяется из условия минимума по энтропии математического ожидания функции полезности вида:

$$H_i(p, x_s) \text{ при } \tilde{f}_i(x_s, y_j) > 0:$$

$$c_i(p, x) = \min_{x_s \in X_1} H_i(p, x_s) = \min_{x_s \in X_1} \left(- \sum_{j=1}^d \frac{p_j \tilde{f}_i(x_s, y_j)}{\sum_{j=1}^d p_j \tilde{f}_i(x_s, y_j)} \ln \frac{p_j \tilde{f}_i(x_s, y_j)}{\sum_{j=1}^d p_j \tilde{f}_i(x_s, y_j)} \right).$$

В процессе определения порядка действий при ликвидации ЧС гидрологического характера в условиях неопределенности были проанализированы критерии выбора альтернативных вариантов решения.

В работе [19] предложен алгоритм оперативного принятия управленческого решения исходя из структурно-функциональных особенностей организации управления пожарно-спасательными формированиями при ликвидации пожара, а также учитывая тактические особенности действий подразделений (рис. 5).

Целевая функция предлагаемого алгоритма выработки управленческого решения заключается в том, что при поэтапном информировании о выполнении задач по ликвидации ЧС ($AR_i \in B_i(\phi_i), i = \overline{1, I}$) лица, принимающего решение, и влиянии внешних факторов ($\phi_0 \in C_0$) осуществляется процесс формирования оптимальной последовательности использования сил и средств (YR^0) и инициируется процедура анализа и регулирования действий спасательных формирований [20].

Реализацию управленческих задач пожарно-спасательными подразделениями при ликвидации пожара, основываясь на формулировке предложенной модели, целесообразно осуществлять поэтапно. Сначала осуществляется управление действиями начальника участка тушения руководителем тушения пожара (РТП) в соответствии с принципом координации взаимодействия по преобразованию локальной целевой функции $F_i(AR_i, YR_i, \phi_i), i = \overline{1, I}$, с учетом полученных результатов минимизации основной целевой функции $F_{ц} = F_i\{AR[\phi(r(i))], \phi\}$, принимая во внимание изменение оперативной обстановки, используя коэффициенты $\phi = \phi(r_i), r = \overline{1, 5}, i = \overline{1, I}$ [21].

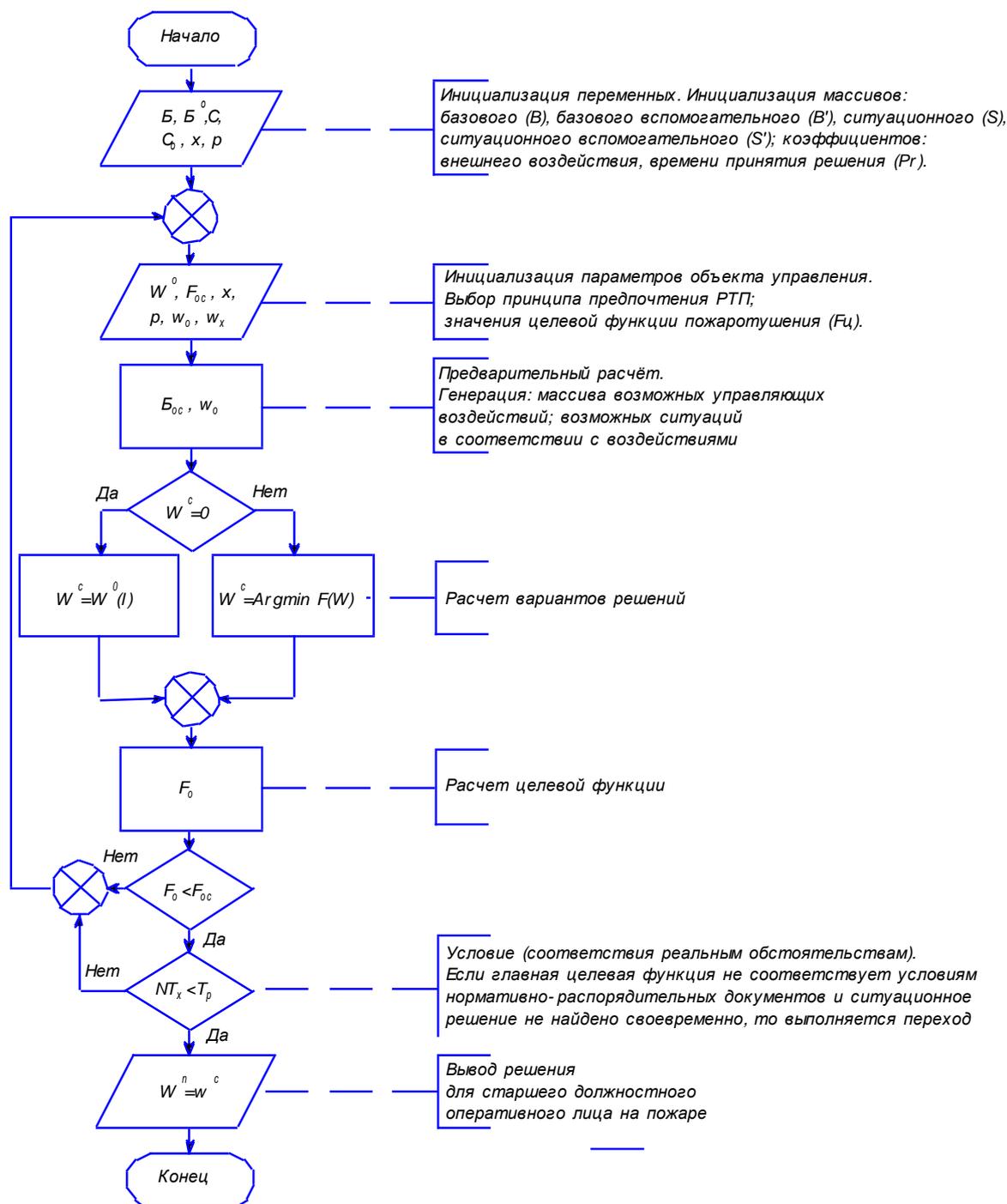


Рис. 5. Алгоритм принятия решений при управлении пожарно-спасательными подразделениями на пожаре

На следующем этапе осуществляется руководство действиями личного состава начальником участка тушения пожара, с учетом влияния внешних факторов YR^0 , в конкретном случае координации деятельности старшим оперативным лицом.

Таким образом, осуществляется конструктивное разделение последовательности выполнения мероприятий по ликвидации пожара с учетом принципа иерархичности системы управления и складывающейся оперативной обстановки.

Авторами [22] осуществлялось моделирование процесса управления пожарно-спасательными подразделениями в условиях тушения пожаров на неподвижном железнодорожном составе, целью которого был поиск комплексного решения в системе выбора альтернатив оперативного управления в условиях ликвидации ЧС.

При описании отдельных стадий организации деятельности пожарно-спасательных формирований в процессе ликвидации кризисной ситуации, учитывая их взаимосвязь в условиях неопределенности, для выявления последовательных величин предложен метод «цепей Маркова».

Использование этого подхода осуществлялось в процессе поиска оптимального управленческого решения при реализации поставленных задач в условиях ликвидации пожара [23].

При постановке задачи вероятность основного события определенной стадии алгоритма действий при ликвидации пожара обозначили p , а вероятность реализации определенного этапа модели при ликвидации ЧС на i -ом этапе выразили полнотой учета факторов, характеризующих этап M_p , вероятность возникновения других обстоятельств обозначили как функционал, характеризующий взаимосвязь регулируемых и нерегулируемых параметров предлагаемой модели и составляющей среды элемента алгоритма W_p . При условии, если вероятность других исходов исключена, то $p + M_p + W_p = 1$.

На рис. 6 представлен алгоритм принятия управленческих решений с учетом альтернатив выбора.

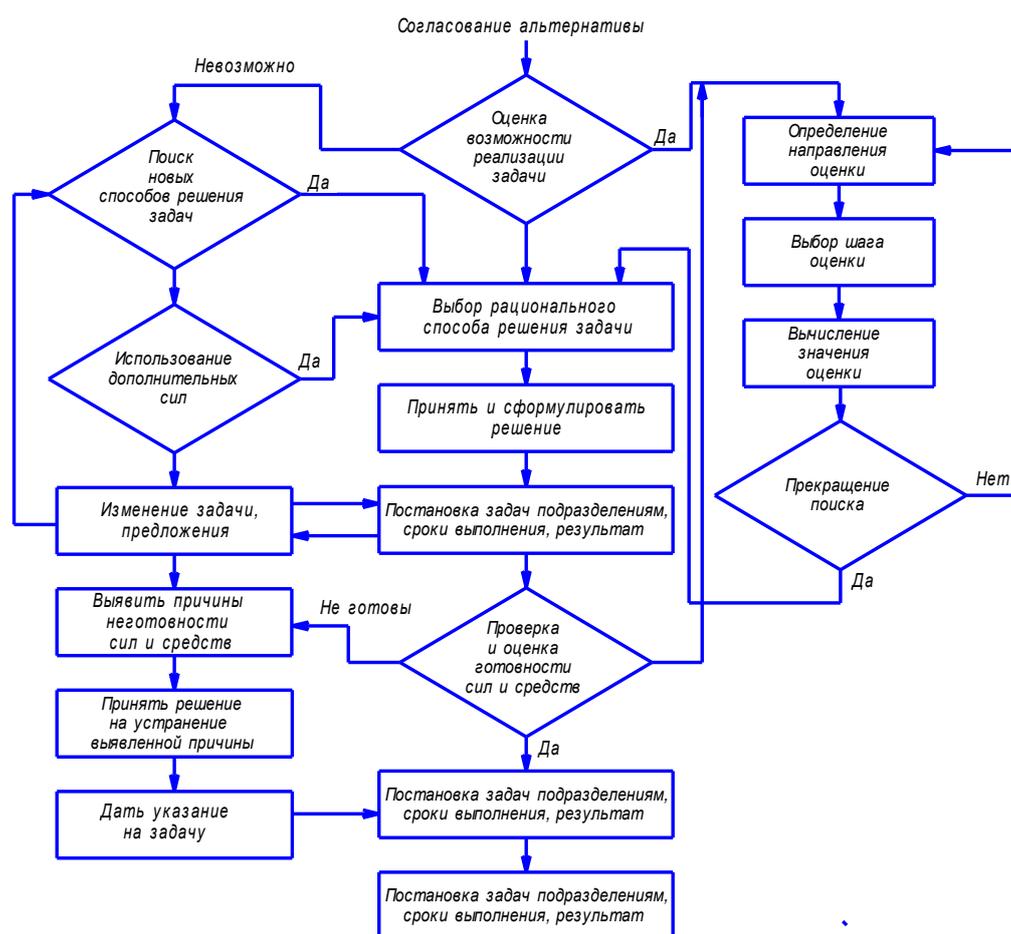


Рис. 6. Алгоритм прохождения альтернативы выбора

В условиях неполноты информации и динамично меняющейся обстановки при ликвидации ЧС природного и техногенного характера, процесс выработки оптимального управленческого решения лицом, принимающим его, напрямую зависит от качественных составляющих управленческого опыта и оперативной адаптации существующих моделей и алгоритмов к текущей обстановке.

Заключение

Для непрерывного функционирования системы управления за счёт установления прочных связей между субъектами управленческих отношений целесообразно осуществление координационной деятельности с помощью представленных механизмов реализации:

- неформальные непрограммируемые;
- программируемые безличные (формальные);
- программируемые индивидуальные и программируемые групповые (рис. 7) [24].

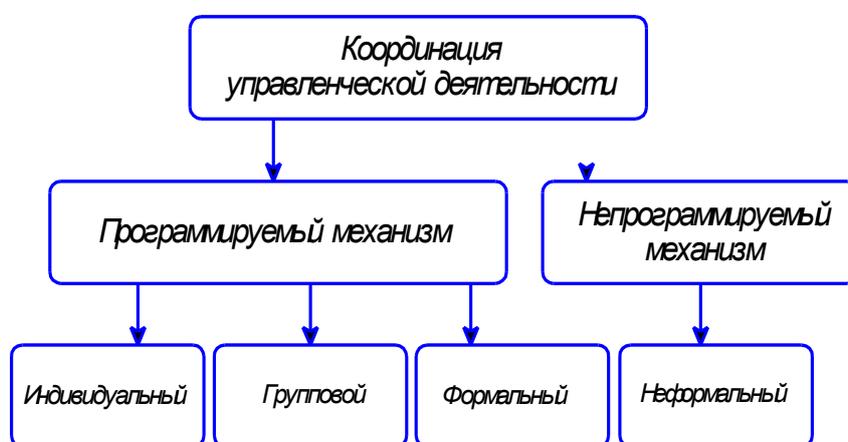


Рис. 7. Механизмы координации управленческой деятельности

С целью повышения эффективности деятельности спасательных формирований при осуществлении взаимодействия сил и средств в условиях неполноты информации необходимо комплексное использование существующих механизмов координации управленческой деятельности [25].

Список источников

1. Application of the information systems in decision-making at the different levels of an enterprise management / V.I. Sumin [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2021. P. 012090.
2. Mathematical simulation of countermeasures to attacks of «denial of service» type with the use of game theory approach / E.O. Bukharov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. P. 012076.
3. Mathematical simulation of dynamics for the temperature regime of the fire with the account of air flows motion according to free convection principle / A.P. Parshina [et al.] // Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations: IOP Conference Series. 2020. P. 62003. DOI: 10.1088/1755-1315/421/6/062003.
4. Калач А.В., Бокадаров С.А., Зенин А.Ю. Управление состоянием готовности аварийно-спасательных формирований МЧС России к действиям по предназначению в условиях неопределенности // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2019. № 2. С. 66–69.
5. Зыбин Д.Г., Калач А.В., Бокадаров С.А. Современные модели формирования интеллектуальных систем в процессе поддержки принятия управленческих решений // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2018. № 2. С. 70–76.
6. Disaster insurance decision support system / S.A. Bokadarov [et al.] // Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «EarthScience»: IOP Conference Series: 2020. С. 052060. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052060.

7. Kalach A.V., Akulov A.Y., Cherepanov E.A. Integrated Fire Risk Factors Analysis in the Residential Districts of Russian Federation Regions // *Earth and Environmental Science: IOP Conference Series*. 2020. P. 042045. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042045.
8. Analysis and optimization of decision-making in integrated security systems / D.G. Zybin [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. P. 012092.
9. Conceptual model in the system of decision-making support for the critical informational infrastructure of the departmental information network / V.A. Spirin [et al.] // *Earth and Environmental Science: IOP Conference Series*: 2020. P. 42004.
10. Research of the process of functioning of hierarchical multi-level complex organizational systems / V.I. Sumin [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. P. 012089.
11. Wang M. A Mobility Aware Clustering Scheme Based on Swarm Intelligence in FANETs // *IEEE/CIC International Conference on Communications in China. ICC3*, 2020. P. 747–752.
12. Assessment of the acceptable risk of injury in employees of the federal fire service of EMERCOM of Russia / A.A. Kondashov [et al.] // *Medico-Biological and Socio-Psychological Issues of Safety in Emergency Situations*. 2021. № 1. P. 40–49. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-1-40-49.
13. The concept of robotics complex for transporting special equipment to emergency zones and evacuating wounded people / M. Mamchenko [et al.] // *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2021. P. 211–223. DOI: 10.1007/978-981-15-5580-0_17.
14. Science-based solutions on the development of instructions for an emergency response plan for open-pit mines / S.S. Kobylkin [et al.] // *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020. № 6. P. 84–98. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-84-98.
15. Юсупова Н.И., Еникеева К.Р. Системный анализ и модели поддержки принятия решений при стратегическом управлении аварийно-спасательным формированием // *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. 2013. № 5 (58). С. 3–11.
16. Kirilov A., Chernyy K.A. On the issue of fire safety assessment of the workplaces for the personnel of the compressor shops at the gas transmission enterprises // *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*. 2020. № 8. С. 37–47. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-8-37-47.
17. Арифуллин Е.З. Моделирование процессов возникновения, развития и ликвидации чрезвычайных ситуаций на гидрологических объектах. Воронеж: Воронежский государственный технический университет. 2019. С. 16–18.
18. Transportation Management of Facilities for Rescue Operations Upon Disaster Mitigation / V.B. Vilkov [et al.] // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. № 9 (1). С. 676–687.
19. Денисов А.Н. Методы, модели и алгоритмы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2018. С. 43–47.
20. Goryunova V.V., Goryunova T.I. Implementation of Intelligent Models of Technical Manuals in Automated Control Systems for Forces and Means of Emercom // *Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA): III International Conference on Control Systems*. 2021. P. 757–762. DOI: 10.1109/53307.2021.9632139.
21. Tumanov A., Monashkov V., Tumanov V. Improving Training in the Field Safety Management and Protection in Emergency Situations // *Earth and Environmental Science: IOP Conference Series*. 2020. P. 032041. DOI: 10.1088/1755-1315/459/3/032041.
22. Модель и алгоритм управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров на металлургических предприятиях при разгрузке сырья из подвижного железнодорожного состава / А.Н. Денисов [et al.] // *Computational nanotechnology*. 2021. № 1. С. 59–67.

23. Experience of Interaction between the EMERCOM of Russia and Roshydromet to Provide the Safety of Population and Territories in the Russian Arctic / A.I. Danilov [et al.] // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2019. № 44 (4). P. 300–304. DOI: 10.3103/S1068373919040101.

24. Бокадаров С.А., Калач А.В., Мельник А.А. Особенности управления спасательными воинскими формированиями // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2020. № 4 (56). С. 100–105.

25. Калач А.В., Зыбин Д.Г., Бокадаров С.А. Принятие управленческих решений сотрудниками силовых ведомств в кризисных ситуациях // *Вестник Воронежского института ФСИН России*. 2018. № 4. С. 43–51.

References

1. Application of the information systems in decision-making at the different levels of an enterprise management / V.I. Sumin [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. P. 012090.

2. Mathematical simulation of countermeasures to attacks of «denial of service» type with the use of game theory approach / E.O. Bukharov [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. P. 012076.

3. Mathematical simulation of dynamics for the temperature regime of the fire with the account of air flows motion according to free convection principle / A.P. Parshina [et al.] // *Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations: IOP Conference Series*. 2020. P. 62003. DOI: 10.1088/1755-1315/421/6/062003.

4. Kalach A.V., Bokadarov S.A., Zenin A.YU. Upravlenie sostoyaniem gotovnosti avarijno-spasatel'nyh formirovanij MCHS Rossii k dejstviyam po prednaznacheniyu v usloviyah neopredelennosti // *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii*. 2019. № 2. S. 66–69.

5. Zybin D.G., Kalach A.V., Bokadarov S.A. Sovremennye modeli formirovaniya intellektual'nyh sistem v processe podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenij // *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii*. 2018. № 2. S. 70–76.

6. Disaster insurance decision support system / S.A. Bokadarov [et al.] // *Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference «EarthScience»: IOP Conference Series*: 2020. S. 052060. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052060.

7. Kalach A.V., Akulov A.Y., Cherepanov E.A. Integrated Fire Risk Factors Analysis in the Residential Districts of Russian Federation Regions // *Earth and Environmental Science: IOP Conference Series*. 2020. P. 042045. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042045.

8. Analysis and optimization of decision-making in integrated security systems / D.G. Zybin [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. P. 012092.

9. Conceptual model in the system of decision-making support for the critical informational infrastructure of the departmental information network / V.A. Spirin [et al.] // *Earth and Environmental Science: IOP Conference Series*: 2020. P. 42004.

10. Research of the process of functioning of hierarchical multi-level complex organizational systems / V.I. Sumin [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. P. 012089.

11. Wang M. A Mobility Aware Clustering Scheme Based on Swarm Intelligence in FANETs // *IEEE/CIC International Conference on Communications in China. ICCIC*, 2020. P. 747–752.

12. Assessment of the acceptable risk of injury in employees of the federal fire service of EMERCOM of Russia / A.A. Kondashov [et al.] // *Medico-Biological and Socio-Psychological Issues of Safety in Emergency Situations*. 2021. № 1. P. 40–49. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-1-40-49.

13. The concept of robotics complex for transporting special equipment to emergency zones and evacuating wounded people / M. Mamchenko [et al.] // *Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2021. P. 211–223. DOI: 10.1007/978-981-15-5580-0_17.

14. Science-based solutions on the development of instructions for an emergency response plan for open-pit mines / S.S. Kobylkin [et al.] // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2020. № 6. P. 84–98. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-84-98.

15. Yusupova N.I., Enikeeva K.R. Sistemnyj analiz i modeli podderzhki prinyatiya reshenij pri strategicheskom upravlenii avarijno-spasatel'nym formirovaniem // Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tekhnicheskogo universiteta. 2013. № 5 (58). S. 3–11.

16. Kirilov A., Chernyy K.A. On the issue of fire safety assessment of the workplaces for the personnel of the compressor shops at the gas transmission enterprises // Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti. 2020. № 8. S. 37–47. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-8-37-47.

17. Arifullin E.Z. Modelirovanie processov vozniknoveniya, razvitiya i likvidatsii chrezvychnykh situatsij na gidrologicheskikh ob"ektah. Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. 2019. S. 16–18.

18. Transportation Management of Facilities for Rescue Operations Upon Disaster Mitigation / V.B. Vilkov [et al.] // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. № 9 (1). S. 676–687.

19. Denisov A.N. Metody, modeli i algoritmy podderzhki upravleniya pozharno-spasatel'nymi podrazdeleniyami pri tushenii pozharov: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2018. S. 43–47.

20. Goryunova V.V., Goryunova T.I. Implementation of Intelligent Models of Technical Manuals in Automated Control Systems for Forces and Means of Emercom // Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA): III International Conference on Control Systems. 2021. P. 757–762. DOI: 10.1109/53307.2021.9632139.

21. Tumanov A., Monashkov V., Tumanov V. Improving Training in the Field Safety Management and Protection in Emergency Situations // Earth and Environmental Science: IOP Conference Series. 2020. P. 032041. DOI: 10.1088/1755-1315/459/3/032041.

22. Model' i algoritm upravleniya pozharno-spasatel'nymi podrazdeleniyami pri tushenii pozharov na metallurgicheskikh predpriyatiyah pri razgruzke syr'ya iz podvizhnogo zheleznodorozhnogo sostava / A.N. Denisov [et al.] // Computational nanotechnology. 2021. № 1. S. 59–67.

23. Experience of Interaction between the EMERCOM of Russia and Roshydromet to Provide the Safety of Population and Territories in the Russian Arctic / A.I. Danilov [et al.] // Russian Meteorology and Hydrology. 2019. № 44 (4). P. 300–304. DOI: 10.3103/S1068373919040101.

24. Bokadarov S.A., Kalach A.V., Mel'nik A.A. Osobennosti upravleniya spasatel'nymi voinskimi formirovaniyami // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 4 (56). S. 100–105.

25. Kalach A.V., Zybin D.G., Bokadarov S.A. Prinyatie upravlencheskih reshenij sotrudnikami silovyh ведомств v krizisnykh situatsiyah // Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii. 2018. № 4. S. 43–51.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 15.04.2022; одобрена после рецензирования: 28.04.2022;
принята к публикации: 29.04.2022

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 15.04.2022; approved after review: 28.04.2022;
accepted for publication: 29.04.2022

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>

Валерий Ярославович Трофимец, профессор кафедры информационных систем и вычислительной техники Санкт-Петербургского горного университета (199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2), доктор технических наук, профессор, e-mail: Trofimets_VYa@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6873-6642>

Валерий Ильич Куватов, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, заслуженный работник Высшей школы Российской Федерации, e-mail: kyb.valery@yandex.ru

Станислав Александрович Бокадаров, ученый секретарь ученого совета Воронежского института ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1-а), кандидат технических наук, e-mail: bokadarov.stas@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7479-4355>

Information about the authors:

Andrey V. Kalach, head of the department of information security and protection of information constituting a state secret, Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, Irkutsk str., 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>

Valery Ya. Trofimets, professor of the department of information systems and computer engineering of Saint-Petersburg mining university (199106, Saint-Petersburg, Vasilievsky island, 21 line, 2), doctor of technical sciences, professor, e-mail: Trofimets_VYa@pers.spmi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6873-6642>

Valery I. Kuvatov, professor of the department of system analysis and crisis management of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, honored worker of the Higher school of the Russian Federation, e-mail: kyb.valery@yandex.ru

Stanislav A. Bokadarov, scientific secretary of the academic council of the Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia (394072, Voronezh, Irkutsk str., 1-a), candidate of technical sciences, e-mail: bokadarov.stas@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7479-4355>

УДК 621.391

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ С ВАРИАТИВНОЙ БАЗОЙ

Сергей Викторович Дворников ✉.

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия;

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия.

Евгений Вячеславович Марков.

Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия

✉ practicdsv@yandex.ru

Аннотация. Представлены предложения по формированию модифицированных последовательностей Баркера, использующих импульсы со скважностью следования больше единицы. Разработан аналитический аппарат, раскрывающий особенности корреляционного приема широкополосных сигналов. Сформированы предложения по синтезу широкополосных сигналов с вариативно изменяющейся базой, в зависимости от уровня канальных шумов и помех. Демонстрируется иллюстрационный материал, поясняющий особенности реализации разработанного подхода. Представлены результаты моделирования и аналитических расчетов. Даны рекомендации по практике применения.

Ключевые слова: коды Баркера, формирование широкополосных сигналов, помехозащищенность линий радиосвязи, вариативная база сигналов

Для цитирования: Дворников С.В., Марков Е.В. Практика применения широкополосных сигналов с вариативной базой // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 2. С. 86–95.

PRACTICE OF APPLICATION OF WIDEBAND SIGNALS WITH VARIATIVE BASE

Sergey V. Dvornikov ✉.

Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia;

Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia.

Evgeniy V. Markov.

Military academy of communications named after Marshal of the Soviet union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia

✉ practicdsv@yandex.ru

Abstract. Proposals for the formation of modified Barker sequences using pulses with a repetition rate greater than one are presented. An analytical apparatus has been developed that reveals the features of the correlation reception of broadband signals. Proposals for the synthesis of broadband signals with a variably changing base, depending on the level of channel noise and interference, are formed. Illustrative material is shown explaining the features of the implementation of the developed approach. The results of modeling and analytical calculations are presented. Recommendations on the practice of application are given.

Keywords: Barker codes, broadband signal generation, noise immunity of radio communication lines, variable signal base

For citation: Dvornikov S.V., Markov E.V. Practice of application of wideband signals with variative base // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ty of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 86–95.

Введение

Специфика решения задач, возложенных на МЧС России, характеризуется достаточно сложными физико-географическими условиями, в которых приходится действовать подразделениям центров управления в кризисных ситуациях [1]. При этом не исключена их работа на местностях как с неразвитой телекоммуникационной структурой, например, при тушении лесных пожаров, так в условиях высокой урбанизированной застройки территорий при ликвидации последствий техногенных катастроф [2]. Однако в обеих рассмотренных ситуациях сложно надеяться на возможность эффективного использования местных инфокоммуникационных ресурсов. В первом случае – ввиду их отсутствия, а во втором – из-за их возможного разрушения. Указанные обстоятельства определяют необходимость развития и совершенствования штатных средств и комплексов радиосвязи для построения на их основе инфокоммуникационных сетей взаимодействия и оповещения [3, 4].

Сложность эффективного решения данной задачи усугубляется высокой концентрацией радиоприемных и радиопередающих средств локализованных на возможно ограниченных территориях. Именно поэтому к радиосредствам МЧС России изначально предъявляются достаточно жесткие требования по их помехозащищенности и обеспечению условий электромагнитной совместимости к сторонним средствам [5]. Это связано с тем, что в зонах и местах возникновения чрезвычайных ситуациях (ЧС) для ликвидации их последствий могут привлекаться различные структуры со своим инфокоммуникационным оборудованием, приводящим к возникновению непреднамеренных помех в виде локализованных по спектру радиоизлучений [6, 7], в пределах каналов рабочих частот стандартных (типовых) радиостанций.

Поэтому вопросы повышения помехозащищенности радиолиний в рассмотренных условиях [8] имеют приоритетное значение для систем и комплексов радиосвязи МЧС России [9]. С учетом данного обстоятельства в настоящей статье предложен обоснованный подход к решению отдельных вопросов затронутой проблематики с позиций практики применения широкополосных сигналов (ШПС) с вариативно изменяемой базой, в зависимости от качества радиоканала.

Анализ условия функционирования радиолиний в условиях помех

Система радиосвязи МЧС России имеет сложную иерархическую конфигурацию [10]. Это обусловлено спецификой задач, выполняемых ее структурных подразделений. Так, наряду с радиосетями УКВ диапазона, могут организовываться и декаметровые радиолинии для связи на большие расстояния посредством ионосферного канала [11]. Очевидно, что подходы к построению сетей ультракоротких волн (УКВ) и радионаправлений коротких волн (КВ) различны [12], поскольку будут определяться не только нагрузкой информационного трафика, но и условиями распространения радиоволн [13], а также сигнально-помеховой обстановкой в пределах обслуживаемой территории [14]. Как уже отмечалось, высокая локализация абонентов на ограниченной площади не исключает наличие локализованных по спектру помех непреднамеренного характера. А учитывая, что в организуемых сетях и направлениях связи МЧС России преимущественно передается голосовой трафик [15], то непреднамеренные помехи по своей структуре будут близки к полезным сигналам.

Поэтому для дальнейшего исследования будем полагать, что сигналы сторонних источников представляют собой помехи аддитивного характера, сосредоточенные в пределах полосы пропускания основного канала связи [16].

В работе [17] показано, что в таких условиях наиболее рациональным видится два подхода. Первый основан на повышении мощности источника полезного сигнала, что

не всегда возможно в силу различных обстоятельств, а второй связан с применением ШПС [18]. Именно поэтому он и был взят за основу обоснования заявляемого подхода.

Вопросы повышения помехозащищенности радиолиний за счет применения ШПС достаточно полно изложены в работе [19]. В общем случае эффект основан на том, что за счет расширения спектра, например посредством специальной кодовой последовательности, обеспечивается избыточность занимаемой полосы частот. То есть полоса частот ШПС ΔF_B значительно шире, по сравнению с необходимой полосой ΔF_S , определяемой содержанием информационного контента. Размах расширения полосы частот определяется базой сигнала $B = \Delta F \tau_0$, где ΔF – ширина спектра, занимаемая сигналом; τ_0 – длительность сигнала (длительность минимального сигнального символа). Следовательно, сигнальная энергия ШПС будет распределена во всей полосе ΔF_B . Вместе с тем на приеме путем корреляционной обработки ШПС в полосе ΔF_B он будет преобразован к исходному виду, со значимой полосой частот, равной ΔF_S . А поскольку рассматриваемые полосы частот связаны между собой соотношением $B = \Delta F_B / \Delta F_S$, то, соответственно спектральная плотность мощности ШПС после корреляционной обработки увеличится в B . Поэтому, если в полосе приема ШПС содержится помеха, с такой же значимой полосой частот и даже превосходящая его по амплитуде, то корреляционная обработка обеспечит правильность приема [20]. Рассмотренный принцип демонстрируется на рис. 1.

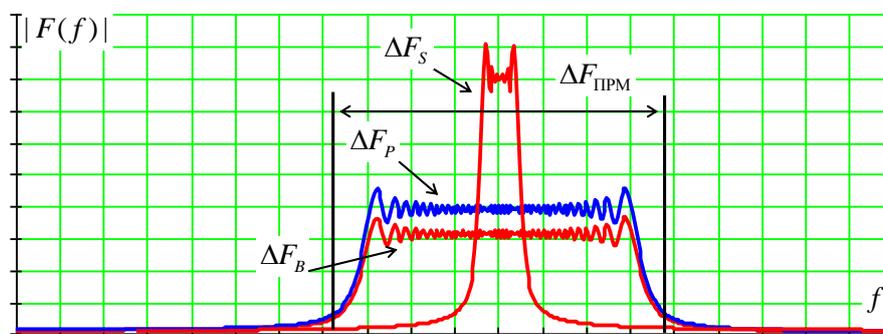


Рис. 1. Принцип корреляционного приема ШПС в условиях сосредоточенных по спектру помех

Так, на рис. 1 изображен спектр ШПС до ΔF_B и после ΔF_S его корреляционной обработки, а также спектр помехи ΔF_P в полосе приема $\Delta F_{ПРМ}$.

Особенности корреляционной обработки ШПС

Сущность корреляционного приема определяется структурными различиями между сигналами, определяющими информационные «0» и «1» [21]. Чем существенней указанные различия, тем выше результирующая помехозащищенность. Так, для двоичных сигналов $s_1(t)$ – соответствующего информационной «1» и $s_0(t)$ – информационному «0» условие безошибочного приема, при наличии шумов или помех, обозначенных как $N(t)$, определяется следующим условием [22]:

$$\int_0^T N(t) \times [s_1(t) - s_0(t)] dt \leq -0,5 \int_0^T [s_1(t) - s_0(t)]^2 dt. \quad (1)$$

Тогда, учитывая, что энергетический потенциал E_s (эквивалентная энергия), определяемый различиями $s_1(t)$ и $s_0(t)$, можно представить как:

$$E_s = \int_0^T s_{\Delta}^2(t) dt. \quad (2)$$

В формуле (2) $[s_1(t) - s_0(t)] = s_{\Delta}(t)$.

С учетом выражений (1) и (2) получаем критерий безошибочного приема:

$$\int_0^T N(t) \times s_{\Delta}(t) dt \leq -0,5E_3. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что помехозащищенность приема радиоприема при прочих равных условиях определится только величиной эквивалентной энергии, которая максимальна у противоположных сигналов [19, 22]. Следовательно, при обосновании подхода к расширению спектра при формировании ШПС необходимо ориентироваться на выбор для этой цели противоположных сигналов, определяемых соотношением $s_0(t) = -s_1(t)$, к которым относятся сигналы с двоичной фазовой манипуляцией.

Тогда условие нарушения приема, то есть подавлением радиоприема, с учетом выражений (2) и (3), запишем как:

$$N(t) \leq \left[-\frac{A}{2} s_{\Delta}(t) \right], \text{ где } A \geq 1. \quad (4)$$

С учетом энергетического равенства между собой сигналов $s_1(t)$ и $s_0(t)$, определяемого условием $s_0(t) = -s_1(t) = s(t)$, получаем жесткое равенство:

$$N(t) = As(t).$$

Анализ полученных результатов указывает на достаточно высокую помехозащищенность корреляционного приема. Отметим, что результаты соответствуют условию, когда помеха полностью попадает в тракт приема [23].

Другим интересным моментом является то, что результат (2), с учетом (4), фактически представляет собой автокорреляционную функцию (АКФ) значения $s_{\Delta}(t)$, которое, в свою очередь, зависит от величины запаздывания ν , то есть интеграл вида:

$$K(\nu)/A = \int_0^T s_{\Delta}(t + \nu) s_{\Delta}(t) dt$$

зависит от величины параметра ν , т.е. интервала корреляции. А поскольку обработка сигнала осуществляется в условиях помех, то можно заключить, что чем больше интервал, тем выше деструктивное влияние помехи и тем хуже помехозащищенность.

Таким образом, величина ν характеризует ошибку приема, вносимую помехой, которая описывается функцией ошибок [22]:

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt.$$

Общий вид функции $\text{erf}(x)$ показан на рис. 2.

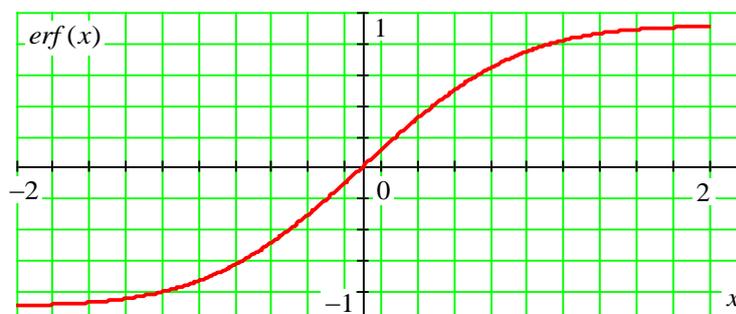


Рис. 2. Функция ошибок

Анализируя результаты аналитического исследования, можно констатировать следующее. Чем меньше величина ν , то есть круче спад результирующей АКФ, тем меньше ошибка, вносимая помехой. Следовательно, с одной стороны необходимо использовать расширяющие последовательности с минимально возможной длительностью сигнального элемента, а с другой – с наилучшим амплитудным соотношением между главным и боковыми лепестками формируемой АКФ.

Обоснование выбора расширяющей последовательности

На основании полученных результатов теоретической части исследования предлагается в качестве расширяющих определить последовательности на основе кодов Баркера, поскольку они обеспечивают наилучшие энергетические соотношения между основным и боковыми лепестками АКФ. Эта идея не нова и представлена в публикациях [19, 22, 24]. Однако анализ доступных источников показал, что физическая ограниченность номенклатуры набора кодов Баркера ограничивает и их практическое применение.

Вместе с тем следует отметить, что традиционно используемые для расширения последовательности Баркера представляют собой импульсы $u_0(t)$, скважность следования которых q равна единице. Однако это не единственно возможный вариант.

В частности, предлагается использовать последовательности с более высокими значениями скважности, например импульсы $u_1(t)$ со скважностью $q = 2$ и импульсы $u_2(t)$ со скважностью $q = 4$. На рис. 3 (здесь и далее на осях абсцисс время для наглядности представлено в дискретных отсчетах) показаны импульсы с нормированными значениями по показателю средней энергии.

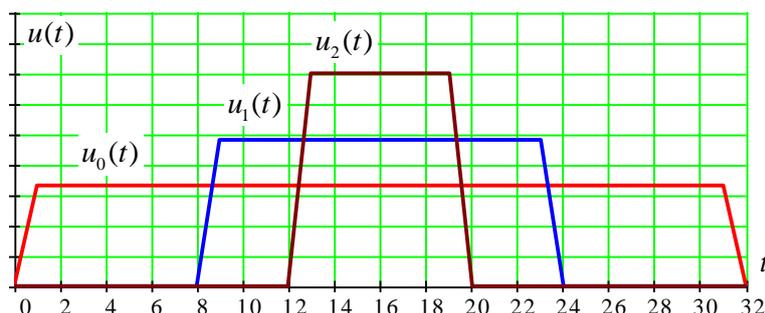
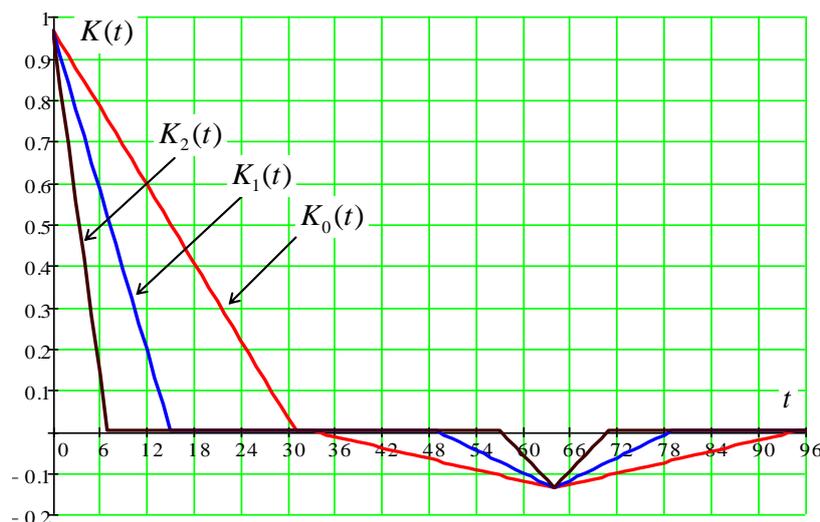


Рис. 3. Нормированные импульсы со скважностью $q=1, 2, 4$

Следует отметить, что если из таких импульсов строить коды Баркера, то получаемые модифицированные последовательности, сохраняя «родительское» свойство наилучшего энергетического соотношения между основным и боковыми лепестками АКФ, приобретают и новое свойство.

Новое свойство заключается в увеличении крутизны ската функции главного лепестка при уменьшении его длительности. Так, на рис. 4 представлены АКФ $K_0(t)$, $K_1(t)$, и $K_2(t)$, сформированные на базе модифицированных семи элементных кодов Баркера, в основе которых использованы импульсы вида $u_0(t)$, $u_1(t)$ и $u_2(t)$.

Отметим, что алгоритм процедуры расчета АКФ на основе последовательностей Баркера подробно рассмотрен в работе [24].

Рис. 4. АКФ модифицированных импульсов со скважностью $q=1, 2, 4$

В таблице представлены результаты расчета крутизны ската АКФ $K_0(t)$, $K_1(t)$ и $K_2(t)$ по показателю значения прилегающего угла.

Таблица. Оценка крутизны ската АКФ

Значение скважности	$q=1$	$q=2$	$q=4$
Величина угла	18 град	9 град	4,6 град

Изменение величины q определяет вариативность базы ШПС, формируемой на основе модифицированных последовательностей Баркера. В этом случае значение базы следует рассчитывать как:

$$B = \Delta F q N_B. \quad (5)$$

В формуле (5) N_B – разрядность используемого кода Баркера.

Помехозащищенность ШПС в условиях сосредоточенных по спектру помех известна [22], она определяется так называемым коэффициентом усиления ШПС:

$$K_{\text{ШПС}} = 2B.$$

Очевидно, что конкретный выбор разрядности будет определяться уровнем канальных шумов, допустимым размером частного канала и требуемой скорости передачи данных (речевого контента).

Заключение

Представленные результаты показывают обоснованную правомерность применения модифицированных последовательностей Баркера для формирования ШПС в интересах повышения помехозащищенности линий радиосвязи МЧС России. Пока предложенный подход затрагивает лишь физический уровень обработки сигналов. В интересах его практического применения необходимо разработать протокольную часть передач на основе ШПС и принципы кодирования.

Дальнейшее исследование авторы связывают с применением методов совместной частотно-временной обработки сигналов, в том числе ШПС, в соответствии с методологической основой, предложенной в работе [25].

Список источников

1. Степанов Р.А., Шелепенькин А.А., Белкин Д.С. Специфика подготовки кадров в системе Государственной противопожарной службы МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 1. С. 186–191.
2. Кузнецова Я.М., Фомин А.В. Актуальные вопросы расследования пожаров с гибелью людей // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2021. № 2. С. 5–9.
3. Зыков В.И., Маргарян С.А. Комплексная система радиосвязи МЧС России нового поколения с самонастраивающейся инфраструктурой радиосетей обмена данными по 1P-протоколу // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 2. С. 46–56.
4. Ксенофонтов Ю.Г. К вопросам о качестве функционирования сетей радиосвязи оперативно-тактического звена противопожарной службы МЧС России // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сб. науч. статей по итогам II Междунар. науч. конф. 2020. С. 111–113.
5. Состояния готовности РСЧС к ликвидации чрезвычайных ситуаций при радиационных авариях / В.А. Владимиров [и др.] // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2012. Т. 2. № 1 (2). С. 296–382.
6. Защита от структурных помех радиоканалов с частотной манипуляцией / С.В. Дворников [и др.] // Информационные технологии. 2017. Т. 23. № 3. С. 193–198.
7. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Русин А.А. Обобщенная функциональная модель радиолинии с управлением её частотным ресурсом // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2016. № 3. С. 49–56.
8. Оценка помехозащищенности линий радиосвязи в режиме с медленной программной перестройкой рабочей частоты / А.Ю. Гордейчук [и др.] // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 4. С. 36–42.
9. Панкова М.А. Преимущества организации радиосвязи в МЧС России на основе использования цифровых антенных решеток // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. Т. 1. № 1 (5). С. 394–397.
10. Сиников А.А., Асанин А.В. Эффективность функционирования систем радиосвязи МЧС России // Приоритетные направления развития инфокоммуникационных технологий, систем связи и оповещения РСЧС и ГО: сб. трудов XXXI Междунар. науч.-практ. конф. Химки, 2021. С. 52–56.
11. Каймонов О.С., Газизов Т.Т. Новый подход к обеспечению бесперебойной КВ-радиосвязи в системе МЧС России // Электронные средства и системы управления: материалы докладов Междунар. науч.-практ. конф. 2015. № 1-2. С. 30–34.
12. Автоматизированная система контроля интенсивности физических полей рассеивания сигналов / А.А. Алексеев [и др.] // Научное приборостроение. 2000. Т. 10. № 3. С. 77–87.
13. Дворников С.В. Упрощенное представление модели Nata для расчета затухания сигнала на открытых трассах // Информация и космос. 2017. № 3. С. 6–10.
14. Рекунов С., Львова Ю., Ульяновский А. Обеспечение связи в экстремальных условиях // Гражданская защита. 2020. № 2 (534). С. 35–37.
15. Макаров В.В., Блатова Т.А. Роль системы связи в выполнении основных задач МЧС России // Экономика и качество систем связи. 2022. № 1 (23). С. 3–13.
16. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Аванесов М.Ю. Модель деструктивного воздействия когнитивного характера // Информация и космос. 2018. № 2. С. 22–29.
17. Левченко А.С., Борисов Р.И. Актуальность проблемы выбора техники радиосвязи для узлов связи главных управлений МЧС России по субъектам РФ // Вестник научных конференций. 2015. № 1-1 (1). С. 95–97.
18. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации / В.Л. Афанасьев [и др.]. М.: Сов. радио, 1973. 424 с.

19. Помехоустойчивость систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / В.И. Борисов [и др.]. М.: Радио и связь, 2000. 384 с.
20. Дворников С.В., Марков Е.В. Моделирование операций корреляции сигналов при цифровой обработке // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 3. С. 50–56.
21. Миронов О.С., Сазонов Д.Д. Особенности корреляционного приема пачек сверхкоротких импульсов // Радиопромышленность. 2017. № 1. С. 31–36.
22. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. 2-е изд. перераб., доп. М.: Сов. радио, 1970. 728 с.
23. Дворников С.В., Марков Е.В., Маноши Э.А. Повышение помехозащищенности передач декаметровых радиоканалов в условиях непреднамеренных помех // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Т. 15. № 6. С. 4–9.
24. Дворников С.В., Дворников С.С., Марков Е.В. Модифицированные импульсные последовательности на основе кодов Баркера // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. № 1. С. 8–14.
25. Дворников С.В., Яхеев А.Ф. Метод измерения параметров кратковременных сигналов на основе распределения Алексева // Информация и космос. 2011. № 1. С. 66–74.

References

1. Stepanov R.A., Shelepen'kin A.A., Belkin D.S. Specifika podgotovki kadrov v sisteme Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 1. S. 186–191.
2. Kuznecova Ya.M., Fomin A.V. Aktual'nye voprosy rassledovaniya pozharov s gibel'yu lyudej // Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti. 2021. № 2. S. 5–9.
3. Zykov V.I., Margaryan S.A. Kompleksnaya sistema radiosvyazi MCHS Rossii novogo pokoleniya s samonastravayushchejsya infrastrukuroj radiosetej obmena dannymi po 1R-protokolu // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2010. № 2. S. 46–56.
4. Ksenofontov Yu.G. K voprosam o kachestve funkcionirovaniya setej radiosvyazi operativno-takticheskogo zvena protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii // Prioritetnye napravleniya innovacionnoj deyatel'nosti v promyshlennosti: sb. nauch. statej po itogam II Mezhdunar. nauch. konf. 2020. S. 111–113.
5. Sostoyaniya gotovnosti RSCHS k likvidacii chrezvychajnyh situacij pri radiacionnyh avariyah / V.A. Vladimirov [i dr.] // Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya. 2012. T. 2. № 1 (2). S. 296–382.
6. Zashchita ot strukturnyh pomekh radiokanalov s chastotnoj manipulyaciej / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informacionnye tekhnologii. 2017. T. 23. № 3. S. 193–198.
7. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V., Rusin A.A. Obobshchennaya funkcional'naya model' radiolinii s upravleniem eyo chastotnym resursom // Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika teledeniya. 2016. № 3. S. 49–56.
8. Ocenka pomekhozashchishchennosti linij radiosvyazi v rezhime s medlennoj programmnoj perestrojkoj rabochej chastoty / A.Yu. Gordejchuk [i dr.] // Trudy uchebnyh zavedenij svyazi. 2017. T. 3. № 4. S. 36–42.
9. Pankova M.A. Preimushchestva organizacii radiosvyazi v MCHS Rossii na osnove ispol'zovaniya cifrovyyh antennyh reshetok // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2014. T. 1. № 1 (5). S. 394–397.
10. Sinikov A.A., Asanin A.V. Effektivnost' funkcionirovaniya sistem radiosvyazi MCHS Rossii // Prioritetnye napravleniya razvitiya infokommunikacionnyh tekhnologij, sistem svyazi i opoveshcheniya RSCHS i GO: sb. trudov XXXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Himki, 2021. S. 52–56.

11. Kajmonov O.S., Gazizov T.T. Novyj podhod k obespecheniyu besperebojnoj KV-radiosvyazi v sisteme MCHS Rossii // Elektronnye sredstva i sistemy upravleniya: materialy dokladov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2015. № 1-2. S. 30–34.
12. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya intensivnosti fizicheskikh polej rasseivaniya signalov / A.A. Alekseev [i dr.] // Nauchnoe priborostroenie. 2000. T. 10. № 3. S. 77–87.
13. Dvornikov S.V. Uproshchennoe predstavlenie modeli Hata dlya rascheta zatuhaniya signala na otkrytykh trassah // Informaciya i kosmos. 2017. № 3. S. 6–10.
14. Rekunov S., L'vova Yu., Ul'yanovskij A. Obespechenie svyazi v ekstremal'nykh usloviyah // Grazhdanskaya zashchita. 2020. № 2 (534). S. 35–37.
15. Makarov V.V., Blatova T.A. Rol' sistemy svyazi v vypolnenii osnovnykh zadach MCHS Rossii // Ekonomika i kachestvo sistem svyazi. 2022. № 1 (23). S. 3–13.
16. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V., Avanesov M.Yu. Model' destruktivnogo vozdeystviya kognitivnogo haraktera // Informaciya i kosmos. 2018. № 2. S. 22–29.
17. Levchenko A.S., Borisov R.I. Aktual'nost' problemy vybora tekhniki radiosvyazi dlya uzlov svyazi glavnykh upravlenij MCHS Rossii po sub"ektam RF // Vestnik nauchnykh konferencij. 2015. № 1-1 (1). S. 95–97.
18. Shumopodobnye signaly v sistemah peredachi informacii / V.L. Afanas'ev [i dr.]. M.: Sov. radio, 1973. 424 s.
19. Pomekhoustojchivost' sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov metodom psevdosluchajnoj perestrojki rabochej chastoty / V.I. Borisov [i dr.]. M.: Radio i svyaz', 2000. 384 s.
20. Dvornikov S.V., Markov E.V. Modelirovanie operacij korrelyacii signalov pri cifrovoj obrabotke // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 3. S. 50–56.
21. Mironov O.S., Sazonov D.D. Osobennosti korrelyacionnogo priema pachek sverhkorotkih impul'sov // Radiopromyshlennost'. 2017. № 1. S. 31–36.
22. Fink L.M. Teoriya peredachi diskretnykh soobshchenij. 2-e izd. pererab., dop. M.: Sov. radio, 1970. 728 s.
23. Dvornikov S.V., Markov E.V., Manoshi E.A. Povyshenie pomekhozashchishchennosti peredach dekametrovykh radiokanalov v usloviyah neprednamerennykh pomekh // T-Comm: Telekommunikacii i transport. 2021. T. 15. № 6. S. 4–9.
24. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Markov E.V. Modificirovannye impul'snye posledovatel'nosti na osnove kodov Barkera // Trudy uchebnykh zavedenij svyazi. 2022. T. 8. № 1. S. 8–14.
25. Dvornikov S.V., Yaheev A.F. Metod izmereniya parametrov kratkovremennykh signalov na osnove raspredeleniya Alekseeva // Informaciya i kosmos. 2011. № 1. S. 66–74.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 24.04.2022; одобрена после рецензирования: 17.05.2022;
принята к публикации: 20.05.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 24.04.2022; approved after review: 17.05.2022;
accepted for publication: 20.05.2022

Информация об авторах:

Дворников Сергей Викторович, профессор кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов (кафедра 21) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), доктор технических наук, профессор, e-mail: practicdsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

Марков Евгений Вячеславович, адъюнкт Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), e-mail: markov1981@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0020-0526>

Information about authors:

Sergey V. Dvornikov, professor of the department of radio engineering and optoelectronic complexes (department 21) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67); professor of the department of radio communications of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky pr., 3), doctor of technical sciences, professor, e-mail: practicdsv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4889-0001>

Evgeny V. Markov, adjunct of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky pr., 3), e-mail: markov1981@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0020-0526>

УДК 004.055

МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МЧС РОССИИ

Сергей Николаевич Терёхин;**Алексей Владимирович Вострых[✉].****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**[✉]a.vostrykh@list.ru

Аннотация. В системе МЧС России используется широкий спектр информационных систем схожего назначения и функционала. С каждым годом количество внедряемого программного обеспечения увеличивается, повышая нагрузку на операторов МЧС России. Всё это приводит к необходимости осуществления обоснованного выбора наиболее эффективных информационных систем из множества альтернатив, который предлагается проводить путем оценки эффективности интерфейсов данных программных продуктов.

В статье разработана модель описания интерфейсов информационных систем МЧС России, которая является незаменимым элементом на пути проведения оценки эффективности интерфейсов. Также разработана система из 16 частных показателей эффективности, которая входит в состав модели и позволяет получить числовые значения отдельных характеристик.

Ключевые слова: графический пользовательский интерфейс, информационная система, программный продукт, пользователь, модель

Для цитирования: Терёхин С.Н., Вострых А.В. Модель описания интерфейсов информационных систем МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России» 2022. № 2. С. 96–105.

MODEL OF DESCRIPTION OF INTERFACES OF INFORMATION SYSTEMS OF EMERCOM OF RUSSIA

Sergey N. Terekhin;**Aleksei V. Vostrykh[✉].****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**[✉]a.vostrykh@list.ru

Abstract. The EMERCOM of Russia uses a wide range of information systems of similar purpose and functionality. Every year the number of software implemented in the work of specialists only increases, increasing the burden on the operators of the Ministry of Emergency Situations of Russia. All this leads to a reasonable question of the need to make an informed choice of the most effective information systems from a variety of alternatives, which is proposed to be carried out by evaluating the effectiveness of the interfaces of these software products.

The article develops a model for describing the interfaces of information systems of EMERCOM of Russia, which is an indispensable element in the way of evaluating the effectiveness of interfaces. A system of sixteen partial performance indicators has also been developed, which is part of the model and allows you to obtain numerical values of individual characteristics.

Keywords: graphical user interface, information system, software product, user, model

For citation: Terekhin S.N., Vostrykh A.V. Model of description of interfaces of information systems of EMERCOM of Russia // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ty of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 96–105.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

Введение

В настоящее время в системе МЧС России используется широкий спектр различных информационных систем (ИС), позволяющих решать ежедневные задачи специалистами разных направлений и специфики работы [1]. Так, например, сотрудники Центра управления кризисных ситуаций имеют в своём пользовании более 50 наименований различных программных продуктов. Проведенный анализ данных программ показал (табл. 1), что многие из них выполняют аналогичные функции [1], поэтому возникает вопрос актуальности их совместного использования и обоснованного выбора из них наиболее подходящих для работы определенных категорий операторов МЧС России. Этим будет достигнута экономия финансовых средств на целесообразность приобретения новых программных продуктов, а также повысятся оперативные показатели специалистов, такие как скорость работы [2–4].

Таблица 1. Информационные системы, используемые сотрудниками ЦУКС

ИС	ЧС на водных объектах	Радиоактивная опасность	ДТП	Лесные пожары	Паводок	Техногенные ЧС	Биолого-социальные ЧС
«Поиск-Море»	+	-	-	-	-	-	-
«СМС Виктория»	+	-	-	-	-	-	-
«КИИС МОРЕ»	+	-	-	-	-	-	-
«ЕСИМО»	+	-	-	-	-	-	-
«МКИ ОСМ»	+	-	-	-	-	-	-
«АИС ГМВО»	-	-	-	-	-	-	-
«ЕГАСМРО»	-	+	-	-	-	-	-
«АСКРО Росатом»	-	+	-	-	-	-	-
«ФБД СиС ВСМК»	+	+	+	-	-	-	-
«Лесохранитель»	-	-	-	+	-	-	-
«Лесной дозор»	-	-	-	+	-	-	-
«ИСДМ Рослесхоз»	-	-	-	+	-	-	-
«Каскад»	-	-	-	+	+	-	-
«Ясень»	-	-	-	+	-	-	-
«ИАС ДТП»	-	-	+	-	-	-	-
«САУР»	+	+	+	+	+	+	+
«ЕСВИТМ-Туристы	+	-	+	+	+	+	+
ПАК БРИЗ	+	-	+	+	+	+	+
«АСИО СМП ЧС»	-	-	-	-	-	+	+
«АСИ СМПЧС и НЦУКС»	-	-	-	-	-	+	-
«ОПЛП»	-	-	-	+	-	-	-
«Пожароопасность»	-	-	-	+	-	-	-
«Волна»	-	-	-	-	+	-	-
«Лесные пожары»	-	-	-	+	-	-	-
«Магистраль»	-	-	-	-	-	+	-
«СПО ЦМП СЗРЦ»	-	-	-	-	-	+	-
«Poison»	-	-	-	-	-	+	-
«АХОВ-пролив»	-	-	-	-	-	+	-
«Toxi»	-	-	-	-	-	+	-
«Факел»	-	-	-	-	-	+	-
«Blast»	-	-	-	-	-	+	-
«ChemiCrash»	-	-	-	-	-	+	-

Примечание: ДТП – дорожно-транспортное происшествие; ЧС – чрезвычайные ситуации

Эффективность ИС в большей степени определяется эффективностью их графических пользовательских интерфейсов (ГПИ), так как посредством этого звена ведется всё взаимодействие оператора с программной реализацией механизмов продуктов [5–7]. Таким образом, имея возможность оценить ГПИ аналогов программ, становится возможным делать обоснованный выбор определенной системы из множества альтернатив, поэтому в статье ставится вопрос о разработке научно-методических средств, позволяющих проводить оценку ГПИ.

Интерфейс является неким посредником между пользователями и программным представлением вычислительных систем, позволяя организовать диалог между абсолютно разными категориями: человек и программная реализация, кардинально отличающимися друг от друга (табл. 2).

Таблица 2. Различия между категориями пользователь и программная реализация

Признаки	Пользователь	Программа
Приспосабливаемость	Выполняет широкий набор задач	Узкоспециализирована
Точность	Точность ограничена	Зависит от требований
Способность к адаптации	Способен адаптироваться к внезапным изменениям ситуации	Низкая адаптация, возможен выход из строя
Обучение	Возможно	Ограниченно возможно
Быстродействие	Ограниченное количество каналов выдачи информации	Возможна любая скорость
Задания с неопределенностью	Выполнимо	Сложно выполнимо
Прогнозируемость	Частично возможна	Система прогнозируема
Моторика	Физическая работоспособность ограничена	Работоспособность практически не ограничена
Трудоемкость распознавания информации	Ограниченное количество каналов восприятия	Ограниченное количество каналов восприятия
Контроль	Не пригоден	Пригодна
Монотонность	Малоприспособлен	Пригодна
Обработка неполной информации	Возможна	Частичная возможность
Интуиция	Имеется	Отсутствует
Устойчивость к работе	Зависит от воздействия внешних факторов	Не зависит от воздействия внешних факторов
Возможности памяти	Ограниченная оперативная память, в долговременной памяти возможна потеря или модификация информации	Большой объем памяти. Отсутствие самопроизвольного изменения или удаления информации

Для смягчения представленных в табл. 2 различий проектируются ГПИ [2–5], которые по своей сути являются некоторыми трансляторами, переводящими человеческий язык в машинный и обратно. То, насколько эффективно спроектирован ГПИ будет зависеть качество человеко-машинного диалога [2–6]. Таким образом, в данной работе предлагается оценивать ИС посредством их ГПИ.

Методы исследования

Для оценки ГПИ авторами настоящей статьи разработан список из 16 частных показателей эффективности (ЧПЭ), основанный на отечественных и международных стандартах из области проектирования программного обеспечения и их интерфейсов (табл. 3).

Таблица 3. Список ЧПЭ ГПИ

№ п/п	Наименование стандарта	Наименование ЧПЭ	Описание ЧПЭ
1	ГОСТ Р ИСО/25010–2015	Избыточность функционала	Реализация в ГПИ только тех функций, которые необходимы для решения поставленных задач
2	ГОСТ Р ИСО 9241-129–2014	Наглядность	Степень усилий пользователей по поиску ИФЭ ГПИ
3	ГОСТ Р ИСО/9126–93	Понятность	Степень усилий пользователей по пониманию общей логической концепции ГПИ
4	ГОСТ Р ИСО 9241-129–2014	Единообразие	Свойство ГПИ, характеризующееся единством цветовой схемы, семейством шрифтов, однородностью компонентов интерфейса и принципов осуществления сходных функций
5	ГОСТ Р ИСО 9241-11–2010	Эстетичность	Свойство ГПИ, характеризующееся гармоничностью цветовой схемы
6	ГОСТ Р ИСО 9241-110–2016	Устойчивость к ошибкам	Частота появления ошибок различной природы
7	ГОСТ Р ИСО 9241-129–2014	Мобильность	Свойство ГПИ, выражающееся в возможности его адаптации для работы в различных окружениях
8	ГОСТ Р ИСО 9241-110–2016	Предсказуемость	Свойство ГПИ соответствовать ожиданиям пользователей
9	ГОСТ Р ИСО 9241-110–2016	Контролируемость	Свойство ГПИ, характеризующееся возможностью предоставления пользователям любых доступных устройств ввода и вывода информации
10	ГОСТ Р ИСО 14915-1–2016	Читабельность	Степень усилий пользователей по считывания текстовой информации
11	ГОСТ Р ИСО 9241-110–2016	Информативность	Структура и наполнение ГПИ должны способствовать минимизации информационной нагрузки на пользователей
12	ГОСТ Р ИСО 9241-129–2014	Привлекательность	Свойство ГПИ, характеризующееся визуальной простотой и современностью
13	ГОСТ Р ИСО 9241-110–2016	Управляемость	Наличие в ГПИ атрибутов, позволяющих сделать управление и контроль простыми
14	ГОСТ Р ИСО 9241-129–2014	Визуальная простота	Свойство ГПИ, характеризующееся сложностью взаимного расположения ИФЭ
15	ГОСТ Р ИСО 9241-129–2014	Обнаруживаемость	Свойство ГПИ, характеризующееся доступностью элементов интерфейсов
16	ГОСТ Р ИСО 9241-129–2014	Обучаемость	Частота обращений пользователей за справочной информацией

Примечание: ИФЭ – информационно-функциональные элементы

Представленный в табл. 3 список показателей способен покрыть все необходимые аспекты и составляющие ГПИ для его анализа, а также связать потребности пользователей с возможностями анализируемых систем.

Проанализировав структуру ГПИ, были сделаны выводы о том, что любой интерфейс можно представить в виде трёх компонентов [2, 8, 9]:

– визуальная составляющая (характеризуется параметрами цветовой схемы ГПИ; геометрической формой информационно-функциональных объектов (ИФО) интерфейсов; наличием, количеством и формой представления текстовой и графической информации);

– пространственная составляющая (характеризуется структурой расположения ИФО интерфейсов, их вложенностью, группировкой);

– логическая составляющая (характеризуется множеством функций ГПИ, множеством логических правил взаимодействия с ИФО интерфейса, множеством сценариев взаимодействия с ГПИ).

Данные компоненты предлагается связать со списком ЧПЭ ГПИ, представленным в табл. 3, что в совокупности позволит описать полноценную модель описания интерфейсов ИС МЧС России (рис.).

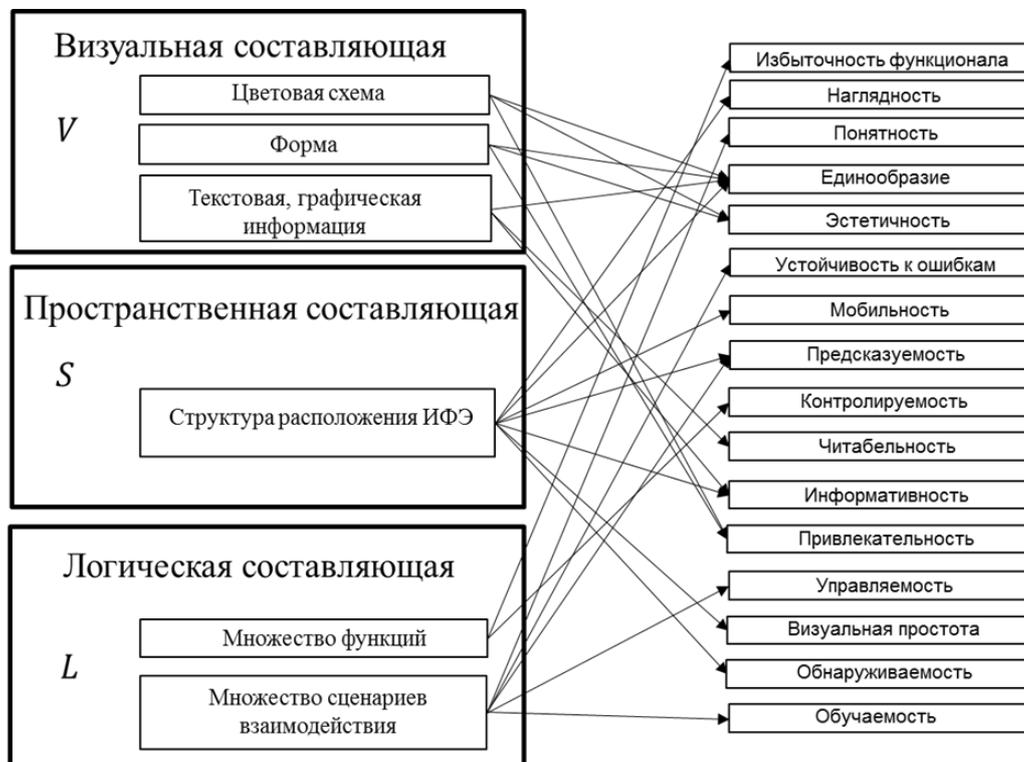


Рис. Модель описания ГПИ ИС

Математическую модель описания ГПИ ИС можно представить в следующем виде:

$$M_{gui} \equiv \langle V, S, L \rangle \equiv \left\{ \begin{array}{l} V \equiv \langle Csh, For, \{Tex\}, \{Grap\} \rangle \\ S \equiv \langle Loc, \{Gob\}, \{Nest\} \rangle \\ L \equiv \langle \{F\}, \{Lp\}, \{Sc\} \rangle \end{array} \right\}.$$

где V – визуальная составляющая ГПИ, в которую входят:

Csh – описание цветовой схемы ГПИ;

For – характеристика форм ИФО интерфейса;

$\{Tex\}$ – множество текстовой информации;

$\{Grap\}$ – множество графической информации.

S – пространственная составляющая ГПИ, в которую входят:

Loc – описание расположения ИФО интерфейсов;

$\{Gob\}$ – множество групп ИФО;

$\{Nest\}$ – множество уровней вложенности ИФО интерфейсов.

L – логическая составляющая ГПИ, в которую входят:

$\{F\}$ – множеством функций ГПИ;

$\{Lp\}$ – множество логических правил взаимодействия с ИФО интерфейса;

$\{Sc\}$ – множеством сценариев взаимодействия с ГПИ.

С целью вычисления ЧПЭ проанализированы существующие метрики оценки интерфейсов, и разработаны некоторые авторские математические выражения, позволяющие получить числовые значения ЧПЭ показателей [2–5, 10]:

«Избыточность функционала» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$ln = \frac{N_f}{N_t},$$

где N_f – количество функций; N_t – количество решаемых задач.

«Наглядность» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$T_s = \mu * t_f,$$

где t_f – длительность зрительной фиксации; μ – математическое ожидание числа зрительных фиксаций, необходимых для нахождения объекта с заданными признаками.

Величина μ вычисляется с помощью формулы:

$$\mu = (((N/A) + 1)/(M + 1)).$$

С её учётом получаем:

$$T_s = \mu * t_f = \left(\frac{N/A + 1}{M + 1}\right) * t_f,$$

где N – количество ИФЭ ГПИ; M – количество элементов, обладающих заданным для поиска признаком; A – объем визуальной информации ограничен объемом оперативной памяти от трех до четырех элементов и пространственными характеристиками зрения 4° – 10° [2–4].

«Информативность» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$I_l = -N_v \left[\frac{V}{W} \log_2 \frac{V}{W} + \left(1 - \frac{V}{W}\right) * \log_2 \left(1 - \frac{V}{W}\right) \right],$$

где N_v – среднее число шагов при поиске; V – количество элементов; W – общее количество информационно-функциональных элементов ГПИ.

«Визуальная простота» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$F_{sp} = \frac{1}{N * \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i},$$

где N – количество свойств ИФЭ ГПИ (ширина, высота, удалённость от верхней и боковой границы окна ГПИ); n_i – количество свойств ИФЭ ГПИ i -го класса; p_i – приоритет классов элементов ГПИ.

«Обучаемость» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$T_{is} = \sum_{i=1}^n (t_{gv} + t_{fi}),$$

где t_{gv} – время перемещения i -го взора; t_{fi} – время i -й фиксации взора; n – количество шагов поиска (количество фиксаций, затраченных на нахождения нужного объекта).

«Предсказуемость» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$T_p = -(\tau_{op} + \sum_{i=1}^n \tau_{mi}),$$

где τ_{mi} – время задержки информации в i -ом блоке системы; n – число блоков системы; τ_{op} – время, затраченное оператором на обработку информации, которое вычисляется по следующей формуле:

$$\tau_{op} = a + b * H,$$

где a – время простой реакции; b – время переработки единицы информации; H – количество информации, перерабатываемой оператором.

«Управляемость» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$M = \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_{fi}}{N_{ali}} * v_{ai} \right),$$

где N_f – количество ИФО в определённой группе или окне ГПИ; N_{ali} – количество альтернатив активации информационно-функциональных объектов ГПИ; v_a – скорость активации ИФО интерфейсов; n – общее количество ИФО ГПИ.

«Читабельность» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$F = \left(206,835 - 1,3 * \left(\frac{a}{b} \right) - 60,1 * \left(\frac{c}{a} \right) \right) * h,$$

где a – количество слов в документе; b – количество предложений в документе; c – количество слогов в документе; h – линейный размер знака, вычисляемый с помощью формулы:

$$h = 2 * l * tg \frac{\alpha}{2},$$

где α – угловой размер знака; l – расстояние от оператора до экрана дисплея.

«Единообразие» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$E = Cs * Fu * Ci * Fi,$$

где Cs – коэффициент единства цветовой схемы ГПИ; Fu – коэффициент единства семейств шрифтов; Ci – коэффициент однородности компонентов ГПИ; Fi – коэффициент единообразного выполнения сходных функций в ГПИ.

«Эстетичность» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$H_{s,w_n} = S_n * W_{st,b_n},$$

где S_n – площадь, занимаемая оттенком в ГПИ; W_{st,b_n} – коэффициента гармоничности.

«Устойчивость к ошибкам» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$\theta_{\{El_{er}\}}(K_{er}, El_i) \equiv \{ \{El_i\} \in \{tr_i\} \wedge \exists \{k_{er}\} : el_i \subset k_{er} > 2 | \forall i \in N^* \},$$

где K_{er} – показатель наличия ошибки; el_i – отдельное элементарное действие; tr_i – отдельная транзакция.

«Мобильность» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$K = \frac{H_p + H_c}{H_p} \propto \frac{W_p + W_c}{W_p},$$

где H_p – высота родительского элемента ГПИ; H_c – высота дочернего элемента ГПИ; W_p – ширина родительского элемента ГПИ; W_c – ширина дочернего элемента ГПИ; K – коэффициент гармоничности пропорций ГПИ.

«Контролируемость» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$\theta_{\{El_{cont}\}}(K_{cont}, El_i) \equiv \frac{\{ \{El_i\} \in \{tr_i\} \wedge \exists \{k_m\} : el_i \subset k_m > 1 | \forall i \in N^* \}}{\{ \{El_i\} \in \{tr_i\} \wedge \exists \{k_k\} : el_i \subset k_k > 1 | \forall i \in N^* \}},$$

где k_m – показатель использования манипулятора типа «мышь»; k_k – показатель использования клавиатуры; el_i – отдельное элементарное действие; tr_i – отдельная транзакция.

«Привлекательность» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$M_{all} = J * C ,$$

где C – значения воздействия «эффекта стереохроматизма» по всей области ГПИ;
 J – гармоничность цветовой схемы по всей площади ГПИ.

«Обнаруживаемость» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$\theta_{\{El_{inf}\}}(K_{inf}, El_i) \equiv \{ \{El_i\} \in \{tr_i\} \wedge \exists \{k_{inf}\}: el_i \subset k_{inf} > 0 | \forall i \in N^* \} ,$$

где k_{inf} – показатель частоты обращения пользователей к справочной информации.

«Понятность» вычисляется с помощью следующей формулы:

$$\theta_{\{El_{cl}\}}(K_{cl}, El_i) \equiv \{ \{El_i\} \in \frac{\{tr_i\} \wedge \{k_{cl}\}: el_i \subset k_{cl} > 1 | \forall i \in N^* \}}{t_{tr}} ,$$

где k_{cl} – показатель повторов действий пользователей за установленный промежуток времени; t_{tr} – время, затраченное пользователем на выполнение транзакции.

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, получен спектр формульных выражений, позволяющих вычислить ЧПЭ интерфейсов. Полученные числовые значения могут быть использованы для сравнения интерфейсов между собой по отдельным показателям.

Также после сопоставления полученных значений показателей становится возможным оценить эффективность интерфейсов в целом и делать предварительные выводы об успешности использования ИС в отдельных подразделениях МЧС России.

Заключение

Разработанная в настоящей статье модель описания интерфейсов ИС позволяет детально описать и анализировать интерфейсы, а также осуществлять их привязку к пользователям (моделям персонажей), что в совокупности позволит описать ИС в целом. Также становится возможна формализованная оценка эффективности ИС через их интерфейсы.

Список источников

1. Вострых А.В. Проведение оценки интерфейсов специализированных информационных систем МЧС России с помощью машинного обучения // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С. 381–386.
2. Головач В.В. Дизайн пользовательского интерфейса. Usethics, 2005–2008. 97 с.
3. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Основы проектирования взаимодействия. СПб.: Символ, 2010. 688 с.
4. Купер А. Психбольница в руках пациентов или почему высокие технологии сводят нас с ума, и как восстановить душевное равновесие: пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2004. 336 с.
5. Джеф Р. Интерфейс Новые направления в проектировании компьютерных систем. СПб.; М.: Символ, 2007. 257 с.
6. Уэйншенк С. 100 главных принципов дизайна. Как удержать внимание. СПб.: Изд-во «Питер», 2011. 272 с.
7. Булат Р.Е., Вострых А.В. К вопросу роста качества восприятия операторами информации в чрезвычайных ситуациях на основе совершенствования графических пользовательских интерфейсов // Психолого-педагогические аспекты подготовки кадров

к профессиональной деятельности в экстремальных условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2021. С. 45–56.

8. Вострых А.В. Варианты построения систем иммерсивных интерфейсов для специализированных информационных систем МЧС России // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Минск: УГЗ, 2021. С. 340–342.

9. Буйневич М.В., Максимов А.В., Вострых А.В. Анализ результатов аудита сетевых информационных ресурсов МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 101–110.

10. Емельянова Ю.Г., Фраленко В.П., Хачумов В.М. Методы комплексного оценивания когнитивных графических образов // Программные системы: Теория и приложения. 2018. № 3. С. 49–63.

References

1. Vostryh A.V. Provedenie ocenki interfejsov specializirovannyh informacionnyh sistem MCHS Rossii s pomoshch'yu mashinnogo obucheniya // Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i zashchity ot chrezvychajnyh situacij: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. ZHeleznogorsk: Sibirskaya pozharno-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2021. S. 381–386.

2. Golovach V.V. Dizajn pol'zovatel'skogo interfejsa. Usethics, 2005–2008. 97 s.

3. Kuper A., Rejman R., Kronin D. Osnovy proektirovaniya vzaimodejstviya. SPb.: Simvol, 2010. 688 s.

4. Kuper A. Psihbol'nica v rukah pacientov ili pochemu vysokie tekhnologii svodyat nas s uma, i kak vosstanovit' dushevnoe ravновесие: per. s angl. SPb.: Simvol-Plyus, 2004. 336 s.

5. Dzhef R. Interfejs Novye napravleniya v proektirovanii komp'yuternyh sistem. SPb.; M.: Simvol, 2007. 257 s.

6. Uejnshenk S. 100 glavnyh principov dizajna. Kak uderzhat' vnimanie. SPb.: Izd-vo «Piter», 2011. 272 s.

7. Bulat R.E., Vostryh A.V. K voprosu rosta kachestva vospriyatiya operatorami informacii v chrezvychajnyh situacijah na osnove sovershenstvovaniya graficheskikh pol'zovatel'skih interfejsov // Psihologo-pedagogicheskie aspekty podgotovki kadrov k professional'noj deyatel'nosti v ekstremal'nyh usloviyah: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2021. S. 45–56.

8. Vostryh A.V. Varianty postroeniya sistem immersivnyh interfejsov dlya specializirovannyh informacionnyh sistem MCHS Rossii // Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy: materialy XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh. Minsk: UGZ, 2021. S. 340–342.

9. Bujnevich M.V., Maksimov A.V., Vostryh A.V. Analiz rezul'tatov audita setevyh informacionnyh resursov MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 101–110.

10. Emel'yanova Yu.G., Fralenko V.P., Hachumov V.M. Metody kompleksnogo ocenivaniya kognitivnyh graficheskikh obrazov // Programmnye sistemy: Teoriya i prilozheniya. 2018. № 3. S. 49–63.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 28.04.2022; одобрена после рецензирования: 17.05.2022;
принята к публикации: 20.05.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 28.04.2022; approved after review: 17.05.2022;
accepted for publication: 20.05.2022

Информация об авторах:

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>

Алексей Владимирович Вострых, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>

Information about the authors:

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, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: expert_terehin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1478-8129>

Alexey V. Vostrykh, associate professor of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>

УДК 614.814.41:66.045.3

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ПОТЕРЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

Амирхан Мусаевич Газдиев.

Центр управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Республике Ингушетия, г. Магас, Россия.

Анатолий Алексеевич Кузьмин;

Николай Николаевич Романов✉.

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

✉nik57nik@mail.ru

Аннотация. Установлено, что модели расчета огнестойкости конструкций, основанные на упрощенных методах, рассматривают каждый структурный элемент изолированно от остальной части конструкции. Показано, что температурно-временная зависимость расчетного пожара в этом случае определяется с помощью эмпирического соотношения, при этом ограниченные возможности упрощенной модели в условиях стандартного температурного режима, базирующиеся на температурной номограмме Еврокода, зашитого в традиционные программные продукты, не позволяют в полной мере исследовать наблюдаемые температурные аномалии в металлической конструкции. Предложена модель расчета огнестойкости металлической конструкции, предполагающая в качестве неперменной компоненты нахождение температурного поля как функции времени и координат. Сформирован программный комплекс в среде Microsoft Office Excel с применением VBA для приближения расчетов к реальным условиям эксплуатации в вычислительном модуле на основе базы данных сортментов рассматриваемых профилей стальных элементов конструкций. Представлен пример визуализации результатов расчета двутавра при стандартном температурном режиме.

Ключевые слова: огнестойкость, предел огнестойкости, металлическая конструкция, несущая способность, стандартный пожар, упрощенная модель

Для цитирования: Газдиев А.М., Кузьмин А.А., Романов Н.Н. Автоматизация определения предела огнестойкости металлических конструкций по потере несущей способности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 106–115.

AUTOMATION OF DETERMINING THE FIRE RESISTANCE LIMIT OF METAL STRUCTURES FOR LOSS OF BEARING CAPACITY

Amirkhan M. Gazdiev.

Crisis management Center of the Main directorate of EMERCOM of Russia in the Republic of Ingushetia, Magas, Russia.

Anatoly A. Kuzmin;

Nikolai N. Romanov✉.

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

✉nik57nik@mail.ru

Abstract. It is established that models for calculating the fire resistance of structures based on simplified methods consider each structural element in isolation from the rest of the structure. It is shown that the temperature-time dependence of the calculated fire in this case is determined using an empirical relation, while the limited capabilities of the simplified model under standard temperature conditions based on the temperature nomogram of the Eurocode sewn into traditional software products do not allow to fully investigate the observed temperature anomalies in the metal structure. A model for calculating the fire resistance of a metal structure is proposed, assuming

as an indispensable component finding the temperature field as a function of time and coordinates. A software package has been formed in the Microsoft Office Excel environment using VBA to approximate calculations to real operating conditions in a computing module based on a database of grades of the profiles of steel structural elements under consideration. An example of visualization of the I-beam calculation results under standard temperature conditions is presented.

Keywords: fire resistance, fire resistance limit, metal structure, load bearing capacity, standard fire, simplified model

For citation: Gazdiev A.M., Kuzmin A.A., Romanov N.N. Automation of determining the fire resistance limit of metal structures for loss of bearing capacity // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 106–115

Введение

Одним из важных аспектов при анализе пожарной безопасности объектов является использование надежных методик расчета огнестойкости конструкций. Известно, что конструкция с фактическим пределом огнестойкости сохраняет свою несущую функцию в течение периода времени, необходимого для обеспечения безопасности:

$$R_f > R_{req},$$

где R_f – фактическое значение предела огнестойкости конструкции; R_{req} – требуемое значение предела огнестойкости конструкции.

Упрощенные модели расчета огнестойкости конструкций рассчитывают структурное поведение элементов индивидуально, рассматривая каждый структурный элемент изолированно от остальной части конструкции, и основаны на упрощенных методах. Некоторые из них включены в зонные или полевые модели пожара [1–3].

Существуют так же отечественные и зарубежные программные продукты, реализующие различные модели огнестойкости конструкций [4]. Их области применения представлены в табл. 1.

Предел огнестойкости стальных конструкций устанавливается по времени (в минутах) при стандартном температурном режиме пожара до потери несущей способности в нагретом состоянии. Расчет предела огнестойкости включает в себя решение двух задач: статической (прочностной) и теплотехнической [5].

Процесс расчета предела огнестойкости не только трудоемкий, но и имеет ряд особенностей, учет которых обязателен и вызывает определенные сложности:

– во-первых, сложность расчетов вызвана разнообразием металлических профилей современных строительных конструкций;

– во-вторых, в условиях воздействия высоких температур изменяются теплофизические свойства непосредственно самих несущих стальных элементов конструкций.

При решении статической задачи определяется критическая температура $t_{кр}$ для данной конструкции, при которой она теряет способность сопротивляться нагрузке, а при теплотехнической – время достижения прогрева металлической конструкции до заданной критической температуры.

Решение прочностной задачи осуществляется в зависимости от профиля металлического элемента, его геометрических размеров, формы, площади поперечного сечения, схемы и периметра обогрева сечения элемента, метода крепления, условий работы, величины нормативной нагрузки и марки стали.

Таблица 1. Программные комплексы на основе моделей огнестойкости конструкций

№	Название программы	Страна происхождения	Область применения
1	AFCB	Люксембург	Расчет огнестойкости композитных балок в соответствии с Еврокодом 4
2	AFCC		
3	CIRCON	Канада	Расчет огнестойкости железобетонных балок с круглым поперечным сечением
4	COFIL		Расчет огнестойкости пустотелых стальных профилей с заполнением неармированным бетоном
5	INSTAI		Расчет огнестойкости пустотелых стальных балок круглого поперечного сечения с теплоизоляционным покрытием
6	INSTCO	–	Расчет огнестойкости трубчатого стального профиля круглого поперечного сечения с бетонным заполнением
7	RCCON	–	Расчет огнестойкости железобетонных балок с прямоугольным поперечным сечением
8	RECTST	–	Расчет огнестойкости пустотелых стальных балок прямоугольного поперечного сечения с теплоизоляционным покрытием
9	SQCON	–	Расчет огнестойкости квадратных железобетонных балок
10	WSHAPS	–	Расчет огнестойкости защищенных стальных двутавров
11	Elefir	Бельгия	Расчет огнестойкости стальных конструкций в соответствии с Еврокодом 3
12	H-Fire	Германия	Расчет огнестойкости композитных элементов в условиях пожара с использованием моделей на основе Еврокода 4, часть 1–2
13	POTFIRE	Франция	Расчет огнестойкости пустотелых профилей с заполнением бетоном в соответствии с Еврокодом 4
14	Požární odolnost	Чехия	Расчет огнестойкости стальных элементов в условиях пожара на основе Еврокода 3, часть 1–2

Решение тепловой задачи предполагает получение показателей распределения усредненной температуры на основе температурной зависимости «стандартного» режима пожара, температура продуктов горения которого описывается в работах [6, 7] уравнением:

$$t(\tau) = 345 \cdot Lg(8 \cdot \tau + 1) + t_0,$$

где τ – время в мин; t_0 – начальная температура, °С.

Методы исследования

Исходными данными для решения прочностной задачи являются: геометрические размеры и профиль металлического элемента (двутавр, швеллер, уголок, труба); площадь поперечного сечения металлического элемента; схема и периметр обогрева сечения металлического элемента; вид нагружения металлического элемента конструкции (изгибаемые, центрально-сжатые, центрально-растянутые, внецентренно-сжатые, внецентренно-растянутые); вид опирания конструкции (шарнирное опирание по концам, защемление по концам, один конец защемлен, другой свободен, один конец защемлен,

другой шарнирно оперт); эксцентриситет приложения нормативной нагрузки; величина нормативной нагрузки (постоянной и временной длительной нагрузки); марка стали (нормативное сопротивление стали по пределу текучести при нормальной температуре, модуль упругости металла при нормальной температуре, теплотехнические характеристики).

Критическая температура $t_{кр}$ определяется согласно ГОСТ 30247.1–94 [7] в зависимости от коэффициентов γ_{tem} и γ_e , учитывающих изменения нормативного сопротивления и модуля упругости стали (табл. 2).

Таблица 2. Значения коэффициентов γ_{tem} и γ_e , учитывающих изменения нормативного сопротивления и модуля упругости стали в зависимости от температуры

$t_{кр}, ^\circ\text{C}$	γ_{tem}	γ_e
20	1,0	1,0
100	0,99	0,96
150	0,93	0,95
200	0,85	0,94
250	0,81	0,92
300	0,77	0,90
350	0,74	0,88
400	0,70	0,86
450	0,65	0,84
500	0,58	0,80
550	0,45	0,77
600	0,34	0,72
650	0,22	0,68
700	0,11	0,59

В зависимости от условий работы стальных конструкций, значения коэффициентов γ_{tem}, γ_e и, соответственно, критическая температура $t_{кр}$, определяются следующим образом:

а) для изгибаемых элементов конструкций:

$$t_{tem} = \frac{M_n}{W \cdot R_{yn} \cdot C},$$

где M_n – изгибающий момент от действия нормативной нагрузки в сечении конструкции (формула расчета выбирается в зависимости от схемы опирания и схемы приложения нагрузки), $H\text{см}$; R_{yn} – нормативное сопротивление стали по пределу текучести, Па ; C – коэффициент развития пластической деформации для: прямоугольных сечений – $C=1,5$; двутавров, швеллеров и уголков – $C=1,17$; труб – $C=1,25$.

Критическая температура $t_{кр}$ для изгибаемых элементов конструкции выбирается в зависимости от найденного значения γ_{tem} по табл. 2;

б) для центрально-сжатых элементов конструкций:

$$t_{tem} = \frac{N_n}{A \cdot R_{yn}}, \quad t_e = \frac{N_n \cdot \ell_0^2}{\pi^2 \cdot E_n \cdot J_{\min}},$$

где N_n – нормативная нагрузка (H); E_n – начальный модуль упругости металла (для сталей $E_n = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}$); J_{\min} – наименьший момент инерции сечения конструкции (см^4); ℓ_0 – расчетная длина элемента конструкции (см).

Расчетная длина определяется как:

$$\ell_0 = \mu \cdot \ell,$$

где ℓ – длина элемента, см; μ – зависит от схемы опирания:

- при шарнирном опирании по концам $\mu = 1$;
- при защемлении по концам $\mu = 0,5$;
- в случае когда один конец защемлен, а другой свободен $\mu = 2$;
- в случае когда один конец защемлен, а другой шарнирно оперт $\mu = 0,7$.

Критическая температура $t_{кр}$ для элементов этого типа конструкции выбирается как наименьшая величина из двух найденных по табл. 2 значений в зависимости от коэффициентов $\gamma_{тем}$ и γ_e ;

в) для центрально-растянутых элементов конструкций:

$$t_{тем} = \frac{N_n}{A \cdot R_{yn}}.$$

Критическая температура $t_{кр}$ выбирается в зависимости от найденного значения $\gamma_{тем}$ по табл. 2;

г) для внецентренно-сжатых элементов конструкций:

$$t_{тем} = \frac{N_n}{R_{yn}} \cdot \left(\frac{e}{W} + \frac{1}{A} \right), \quad t_e = \frac{N_n \cdot \ell_0^2}{\pi^2 \cdot E_n \cdot J_{\min}},$$

где e – эксцентриситет приложения нормативной нагрузки N_n , см.

Критическая температура $t_{кр}$ выбирается как наименьшая величина из двух найденных по табл. 2 значений в зависимости от коэффициентов $\gamma_{тем}$ и γ_e ;

д) для внецентренно-растянутых элементов конструкций:

$$t_{тем} = \frac{N_n}{R_{yn}} \cdot \left(\frac{e}{W} + \frac{1}{A} \right).$$

Критическая температура $t_{кр}$ выбирается в зависимости от найденного значения $\gamma_{тем}$ по табл. 2.

В качестве приведённой толщины металла δ_{np} , принимается величина, определяемая по формуле:

$$\delta_{np} = \frac{A}{U},$$

где A – площадь поперечного сечения; U – обогреваемая часть периметра сечения (учитываются только те поверхности конструкции, которые непосредственно контактируют с продуктами горения).

Если строительная конструкция представляет собой незащищенную металлическую конструкцию, то теплотехническая часть задачи по определению предела огнестойкости осуществляется при нахождении временной зависимости температуры прогрева металла $t(\tau)$ с помощью решения дифференциального уравнения, имеющего вид:

$$c(\bar{t}) \cdot \rho \cdot \delta_{np} \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha(\tau) \cdot [t_f(\tau) - t(\tau)] - q,$$

где $\alpha(\tau)$ – коэффициент теплообмена между конструкцией и продуктами горения, Вт/(м²·°С); $t_f(\tau)$ – среднеинтегральная температура греющей среды, °С; $t(\tau)$ – температура металлической конструкции в момент времени τ , °С; $c(t)$ – удельная теплоемкость материала металлической конструкции, Дж/(кг·°С); ρ – плотность материала конструкции, кг/м³, q – отвод теплоты от необогреваемой поверхности металлической конструкции, который численно определяется по соответствующим формулам в зависимости от условий эксплуатации.

Коэффициент теплообмена $\alpha(\tau)$ между поверхностью конструкции и продуктами горения согласно работе [8] рассчитывается по формуле:

$$\alpha(\tau) = 29 + 5,67 \cdot \varepsilon_{np} \cdot \frac{\left[\left(\frac{t_f(\tau) + 273}{100} \right)^4 - \left[\left(\frac{t(\tau) + 273}{100} \right)^4 \right] \right]}{t_f(\tau) - t(\tau)},$$

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1},$$

где ε_1 – степень черноты пламени ($\varepsilon_1 = 0,85$); ε_2 – степень черноты обогреваемой поверхности конструкции.

Результаты исследования и их обсуждение

В данной методике, реализованной в форме программного комплекса в среде Microsoft Office Excel с применением VBA, для приближения расчетов к реальным условиям эксплуатации в вычислительном модуле, используется база данных сортаментов рассматриваемых профилей стальных элементов конструкций [9]. Структура вычислительного модуля по выбору соответствующего элемента конструкции, описанная в работе [10], представлена на рис. 1.

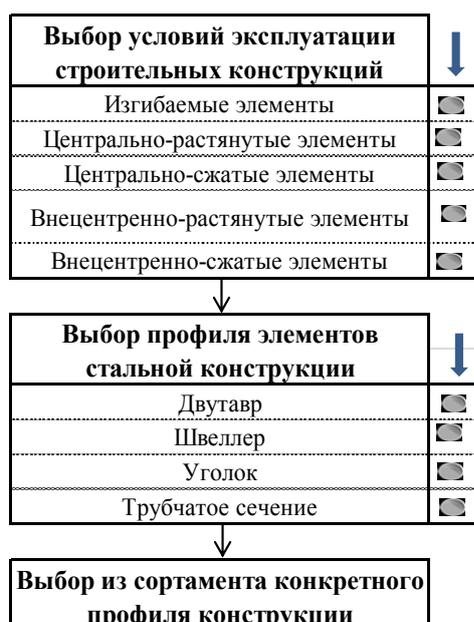


Рис. 1. Структура вычислительного модуля по выбору профиля конструкции

В окне «Выбор из сортамента конкретного профиля конструкции» (рис. 2) осуществляется фиксация конкретного элемента из выбранного профиля конструкции, марки стали, размера элемента, нормативной нагрузки, а также задание схемы опирания для расчета приведённой толщины металла δ_{np} и обогреваемой части периметра U .

Двутавр (балка)

Ввод № двутавра (по ГОСТу)		Выбор схемы опирания				
Номер двутавра	h, мм	b, мм	t, мм	s, мм	Схема опирания элемента	
40	400	155	13,0	8,3		
Марка стали	C245		Пролет балки, м		6	
Нормативная нагрузка, кг/м					3000	

Рис. 2. Выбор из сортамента конкретного профиля конструкции

В соответствии с выбранным конкретным элементом его характеристики автоматически загружаются из базы данных (рис. 3) в программу для дальнейших численных расчетов [11].

Балки двутавровые по ГОСТ 8239-89

Номер балки	Размеры, мм				Линейная плотность, кг/м	Площадь сечения А, см ²	Справочные данные			
	h	b	s	t			I, см ⁴	W, см ³	S, см ³	
10	100	55	4,5	7,2	9,48	12	198	39,7	23	
12	120	64	4,8	7,3	11,5	14,7	350	58,4	33,7	
14	140	73	4,9	7,5	13,7	17,4	572	61,7	46,8	
16	160	81	5	7,8	15,9	20,2	873	109	62,3	
18	180	90	5,1	8,1	18,4	23,4	1 290	143	81,4	
20	200	100	5,2	8,4	21	26,8	1 840	184	104	
24	240	115	5,6	9,5	27,3	34,8	3 460	289	163	
30	300	135	6,5	10,2	36,5	46,5	7 080	472	268	
36	360	145	7,5	12,3	48,6	61,9	13 380	743	423	
40	400	155	8,3	13	57	72,6	19 062	953	545	
45	450	160	9	14,2	66,5	84,7	27 696	1 231	708	
55	550	180	11	16,5	92,6	118	55 962	2 035	1 181	
60	600	190	12	17,8	108	138	78 806	2 560	1 491	

Рис. 3. Пример окна для выбора из сортамента заданного профиля элемента конструкции

После того, как будут выбраны все указанные параметры, осуществляется расчет значения критической температуры рассматриваемого элемента стальной конструкции в соответствующих эксплуатационных условиях применения, его прогрев и определение предела огнестойкости. На рис. 4 представлен пример визуализации результатов расчета.

Результаты расчета двутавровой балки

Номер двутавра	Площадь сечения, $см^2$	Периметр обогреваемой части элемента, $м$	Приведенная толщина, $мм$	Марка стали	Предел текучести и стали, $МПа$	Нормативная нагрузка, $кг/м$	Пролет балки, $м$	Температурный коэффициент снижения прочности стали	Критическая температура элемента конструкции, $°C$	Предел огнестойкости, $мин.$
40	72,6	1,25	5,8	C245	240	3000	6	0,50	529	10,3

Стандартный режим пожара

Время, $мин$	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
$t, °C$	20	302	587	727	791	830	860	885	906	925

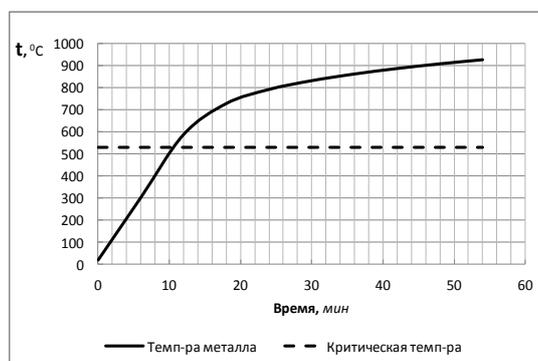


Рис. 4. Результаты расчета двутавра при стандартном температурном режиме

Заключение

Программная реализация методики расчета огнестойкости металлической конструкции на основе упрощенной модели, в которой в основу интерфейса были положены решения электронной таблицы Excel, а программный модуль выполнялся с использованием VBA, позволили сформировать программный продукт, практическое применение которого дало возможность:

- повысить практическую ценность полученных результатов на основе синтеза алгоритмов прочностной и теплотехнической задач;
- существенно уменьшить трудоемкость процедуры ввода исходных данных моделирования на основе обращения к базе данных параметров стандартных металлических профилей;
- облегчить процесс освоения пользователями программного комплекса на основе использования возможностей интерфейса такого распространенного продукта, как русифицированная версия MS Excel.

Список источников

1. CFAST, Fire Growth and Smoke Transport Modeling. URL: <https://pages.nist.gov/cfast/index.html> (дата обращения: 01.04.2022).
2. Fire Dynamics Simulator. Technical reference guide. Vol. 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition / K. McGrattan [et al.]. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2013. 149 p. DOI: 10.6028/nist.sp.1018.
3. PyroSim. URL: <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/> (дата обращения: 29.03.2022).
4. Еремина Т.Ю., Корольченко Д.А. Обзор программного обеспечения расчета огнестойкости строительных конструкций для различных моделей пожаров // Пожаровзрывобезопасность. 2020. Т. 29. № 3. С. 44–53.
5. Еврокод 4: Проектирование несущих конструкций из стали и бетона. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. Часть 1-2. Общие правила. Расчет параметров с учетом огнестойкости. (Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1:

General rules and rules for buildings (EN 1994-1-1). Part 1-2: General rules – Structural fire design (EN 1994-1-2).

6. Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости (Eurocode 3 (ENV 1993-1-2): Design of steel structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design).

7. ГОСТ 30247.1–94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 02.03.2022).

8. Расчет режимов прогрева несущих конструкций объектов нефтегазового комплекса в условиях внутреннего пожара с применением программного комплекса Elcut 6.2 / Д.Ю. Минкин [и др.] // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России (Современные проблемы гражданской защиты). 2017. № 4 (25). С. 136–146.

9. ГОСТ 8239–89. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 02.03.2022).

10. Автоматизация расчета предела огнестойкости элементов несущих стальных конструкций / Л.В. Медведева [и др.]: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022616472, 19.04.2022. Заявка № 2022615370 от 30.03.2022.

11. Методика расчета режимов прогрева строительных конструкций в условиях внутреннего пожара / Н.Н. Романов [и др.] // Вестник международной академии холода. 2021. № 1. С. 84–93.

References

1. CFAST, Fire Growth and Smoke Transport Modeling. URL: <https://pages.nist.gov/cfast/index.html> (data obrashcheniya: 01.04.2022).

2. Fire Dynamics Simulator. Technicalreference guide. Vol. 1: Mathematical Model. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition / K. McGrattan [et al.]. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2013. 149 p. DOI: 10.6028/nist.sp.1018.

3. PyroSim. URL: <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/> (data obrashcheniya: 29.03.2022).

4. Eremina T.Yu., Korol'chenko D.A. Obzor programmnoho obespecheniya rascheta ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij dlya razlichnyh modelej pozharov // Pozharovzryvobezopasnost'. 2020. T. 29. № 3. S. 44–53.

5. Еврокод 4: Проектирование несущих конструкций из стали и бетона. ЧАст' 1-1. Общечие правила и правила дльа зданий. ЧАст' 1-2. Общечие правила. Расчет параметров с учетом огнестойкости. (Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN 1994-1-1), Part 1-2: General rules – Structural fire design (EN 1994-1-2)).

6. Еврокод 3: Проектирование стал'ных конструкций. ЧАст' 1-2. Общечие правила определеньа огнестойкости (Eurocode 3 (ENV 1993-1-2): Design of steel structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design).

7. GOST 30247.1–94. Konstruktii stroitel'nye. Metody ispytanij na ognestojkost'. Nesushchie i ograzhdayushchie konstruktii // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 02.03.2022).

8. Raschet rezhimov progreva nesushchih konstrukcij ob"ektov neftegazovogo kompleksa v usloviyah vnutrennego pozhara s primeneniem programmnoho kompleksa Elcut 6.2 / D.Yu. Minkin [i dr.] // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii (Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity). 2017. № 4 (25). S. 136–146.

9. GOST 8239–89. Dvutavry stal'nye goryachekatanye. Sortament // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 02.03.2022).

10. Avtomatizaciya rascheta predela ognestojkosti elementov nesushchih stal'nyh konstrukcij / L.V. Medvedeva [i dr.]: svidetel'stvo o registracii programmy dlya EVM RU 2022616472, 19.04.2022. Zayavka № 2022615370 ot 30.03.2022.

11. Metodika rascheta rezhimov progreva stroitel'nyh konstrukcij v usloviyah vnutrennego pozhara / N.N. Romanov [i dr.] // Vestnik mezhdunarodnoj akademii holoda. 2021. № 1. S. 84–93.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.05.2022; одобрена после рецензирования: 18.05.2022; принята к публикации: 20.05.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.05.2022; approved after review: 18.05.2022; accepted for publication: 20.05.2022

Информация об авторах:

Амирхан Мусаевич Газдиев, заместитель начальника отдела мониторинга, моделирования и организации превентивных мероприятий Центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по Республике Ингушетия (386001, Республика Ингушетия, г. Магас, ул. Мальсагова, д. 34), e-mail: gazdiev.amirkhan@yandex.ru

Анатолий Алексеевич Кузьмин, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196015, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат педагогических наук, доцент, e-mail: kaa47@mail.ru, ORSID 0000-0002-0297-2984

Николай Николаевич Романов, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196015, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: nik57nik@mail.ru, ORSID 0000-0001-8254-9424

Information about authors:

Amirkhan M. Gazdiev, deputy head of the department of monitoring, modeling and organization of preventive measures of the crisis management Center of the Main directorate of EMERCOM of Russia for the Republic of Ingushetia (386001, Republic of Ingushetia, Magas, st. Malsagova, 34), e-mail: gazdiev.amirkhan@yandex.ru

Anatoly A. Kuzmin, associate professor of the department of physical and technical fundamentals of fire safety, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196015, Saint-Petersburg, Moskovsky ave, 149), candidate of pedagogical sciences, associate professor, e-mail: kaa47@mail.ru, ORSID 0000-0002-0297-2984

Nikolai N. Romanov, associate professor of the department of physical and technical fundamentals of fire safety, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196015, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: nik57nik@mail.ru, ORSID 0000-0001-8254-9424

УДК 614.849

МЕТОД ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ АССОЦИАТИВНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Валерий Ильич Куватов;**Алексей Александрович Горбунов;****Дмитрий Алексеевич Колеров** ✉.**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**✉ dima11rus@inbox.ru

Аннотация. Возникновению чрезвычайных ситуаций часто предшествуют разнообразные явления природно-климатического характера. Учет этих явлений позволяет разработать более точный прогноз возникновения и развития чрезвычайной ситуации, а на этой основе – своевременно разработать управленческие решения, в результате реализации которых будет значительно снижен ущерб от чрезвычайных ситуаций, включая снижение количества травмированного и погибшего населения.

Анализ, выполненный при работе над статьей, показал, что для определения зависимости возникновения и развития чрезвычайных ситуаций от различных явлений целесообразно использовать один из разделов интеллектуального анализа – ассоциативный анализ данных. Поэтому задача интеллектуальной поддержки управленческих решений при прогнозировании чрезвычайных ситуаций с помощью ассоциативного анализа является исключительно актуальной.

В статье рассмотрен научно-методический аппарат ассоциативного анализа связей между различными природно-климатическими явлениями и чрезвычайными ситуациями. Для иллюстрации использования аппарата была создана база данных транзакций. Применение к этой базе ассоциативного анализа позволило смоделировать различные сценарии развития событий, ведущие к возникновению чрезвычайных ситуаций.

В результате ассоциативного анализа выявлены зависимости между началом ливневых дождей, наводнений и возникновением оползней, а также некоторые другие зависимости.

В статье показано, что для решения даже простого примера поиска ассоциативных связей необходимо выполнить большое количество вычислений. Поэтому в деятельности должностных лиц МЧС России, при большом потоке данных о ЧС целесообразно использовать аналитические платформы типа Deductor или Loginom отечественной компании BaseGroup Labs.

Ключевые слова: интеллектуальная поддержка управленческих решений, прогнозирование чрезвычайных ситуаций, ассоциативный анализ, интеллектуальный анализ данных

Для цитирования: Куватов В.И., Горбунов А.А., Колеров Д.А. Метод интеллектуальной поддержки управленческих решений с помощью ассоциативных связей при прогнозировании чрезвычайных ситуаций // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 116–124.

THE METHOD OF INTELLECTUAL SUPPORT FOR MANAGEMENT DECISIONS USING ASSOCIATIVE LINKS IN PREDICTING EMERGENCY SITUATIONS

Valery I. Kuvatov;
Alexey A. Gorbunov;
Dmitriy A. Kolerov✉.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉dima11rus@inbox.ru

Abstract. The occurrence of emergency situations is often preceded by a variety of natural and climatic phenomena. Accounting for these phenomena makes it possible to develop a more accurate forecast for the occurrence and development of emergencies, and on this basis, to develop timely management decisions, as a result of which the damage from emergencies will be significantly reduced, including a decrease in the number of injured and dead people.

The analysis performed while working on the article showed that in order to determine the dependence of the occurrence and development of emergencies on various phenomena, it is advisable to use one of the sections of intellectual analysis - associative data analysis. Therefore, the task of intellectual support for management decisions in predicting emergencies using associative analysis is extremely relevant.

The article considers the scientific and methodological apparatus of the associative analysis of relationships between various natural and climatic phenomena and emergency situations. A transaction database has been created to illustrate the use of the machine. The application of associative analysis to this database made it possible to model various scenarios for the development of events leading to the occurrence of emergencies.

As a result of the associative analysis, dependencies between the onset of heavy rains, floods and the occurrence of landslides, as well as some other dependencies, were revealed.

The article shows that to solve even a simple example of the search for associative links, it is necessary to perform a large number of calculations. Therefore, in the activities of officials of the Ministry of Emergency Situations of Russia, with a large flow of data on emergencies, it is advisable to use analytical platforms such as Deductor or Loginom of the domestic company BaseGroup Labs.

Keywords: intelligent support for management decisions, emergency forecasting, associative analysis, data mining

For citation: Kuvatov V.I., Gorbunov A.A., Kolerov D.A. The method of intellectual support for management decisions using associative links in predicting emergency situations // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ty of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 116–124.

Введение

При решении задач МЧС России часто возникает необходимость поиска связей между различными событиями. Знание таких связей позволяет решать задачи прогноза возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), их хода и исхода. Один из эффективных методов поиска связей – метод ассоциативного анализа.

Ассоциативный анализ, как и многие другие методы интеллектуального анализа данных, состоит из двух этапов: разработка ассоциативных правил на основе обучающей выборки и анализ ЧС с использованием ассоциативных правил.

На этапе разработки ассоциативных правил специалисты формируют транзакционную базу данных, включающую все характеристики ЧС, имевших место в прошлом. Затем, анализируя эту базу данных, получают ассоциативные правила и формируют профили ЧС.

На этапе анализа конкретной ЧС, по ее характеристикам, находят профиль, к которому относится данная ЧС, и определяют недостающие характеристики. Если недостающие характеристики должны стать известны позже, например конечная величина ущерба от ЧС, количество травмированных и погибших, то их величины можно прогнозировать по известным характеристикам.

Общие сведения об ассоциативном анализе

Впервые задача ассоциативного анализа была сформулирована Френсисом Гальтоном и Вилгельмом Вундтом в 80-х гг. XX в. [1–3]. Начиная с 1993 г., эта задача получила широкое распространение для нахождения типичных шаблонов покупок, совершаемых в магазинах. Было обнаружено, что если товары, входящие в такой шаблон, выложить на полках магазина рядом, то люди чаще покупают оба этих товара, чем если бы каждый из них лежал отдельно. В результате объемы покупок и прибыль магазинов увеличивается. Вскоре область применения ассоциативного анализа значительно расширилась. В настоящее время он применяется при интеллектуальном анализе данных во многих областях, в том числе в задачах предупреждения и ликвидации ЧС, задачах ликвидации последствий ЧС. Приведем терминологию, применяемую в ассоциативном анализе, с учетом специфики МЧС России [4].

Транзакция – запись о множестве событий, которые произошли и которые характеризуют отдельно взятую конкретную ЧС или несколько ЧС. Каждая транзакция состоит из уникального номера транзакции (TID) и перечня характеристик ЧС, соответствующей этому номеру. Ряд характеристик транзакции является устойчивым для данной ЧС. При возникновении аналогичной ЧС они вновь будут иметь место. А ряд характеристик являются случайными.

Регистрируя все ЧС с течением времени, можно накопить огромную транзакционную базу данных, содержащую десятки и сотни тысяч записей. Пример фрагмента транзакционной базы данных приведен в табл. 1.

Таблица 1. Фрагмент транзакционной базы данных о чрезвычайных ситуациях

№ транзакции	Перечень природных ЧС
1	Оползень, ливневые дожди, наводнение, землетрясение
2	Смерч
3	Нагонный ветер, бурное таяние снегов, наводнение
4	Оползень, бурное таяние снегов, наводнение, сель, землетрясение
5	Оползень, цунами, землетрясение
6	Нагонный ветер, оползень, ливневые дожди, наводнение
7	Бурное таяние снегов, сель
8	Оползень, бурное таяние снегов, ливневые дожди, наводнение

В этом фрагменте представлены восемь записей с девятью ЧС и событиями, связанными с этими ЧС. Первая колонка (TID) определяет номер транзакции, во второй колонке таблицы приведены ЧС и события, имевшие место в прошлом и описанные в соответствующей транзакции.

Анализируя транзакционную базу данных, можно найти связи между ЧС, получить шаблоны, каждый из которых включает перечень и значения характеристик сходных ЧС, подсчитать число и процент транзакций, относящихся к одному шаблону. Это позволит выявлять особенности ЧС, разрабатывать прогнозы их развития и меры по снижению ущерба.

Показатели значимости ассоциативных правил

При анализе конкретного набора ситуаций применяются утверждения типа «Если для конкретной ЧС имеет место набор событий А, то для нее также имеет место и набор событий В». Эти утверждения, если они являются справедливыми, называются ассоциативными правилами. Справедливость ассоциативных правил оценивается с помощью двух объективных показателей: поддержка и достоверность и трех субъективных: лифт, левередж и улучшение [5].

Поддержка правила или покрытие (англ. support или coverage). Правило «Если для конкретной ситуации имеет место набор ЧС А, то для нее также имеет место и набор ЧС В» имеет поддержку S, если S % транзакций из базы данных содержат одновременно наборы А и В. Так в восьми транзакциях табл. 1 набор «ливневые дожди+наводнение» встречается три раза. Значит, правило имеет поддержку 37,5 %. Таким образом, поддержка – это количество или процент транзакций, которые содержат определенный набор ЧС.

Если определенный набор ЧС имеет поддержку не ниже определенного пользователем минимального набора, то такой набор называется часто встречающимся.

Достоверность или точность правила есть вероятность того, что из события А следует событие В. Формально это можно записать так: $C(A \rightarrow B) = P(A \cap B)/P(A) = (\text{количество транзакций, содержащих А и В}) / (\text{количество транзакций, содержащих только А})$ [6].

В табл. 1 число транзакций, содержащих набор «ливневые дожди + наводнение», равно трем, число транзакций, содержащих только «ливневые дожди», также равно трем, значит достоверность правила «если ливневые дожди, то наводнение» равна $100 \% (3/3) * 100 \% = 100 \%$.

Используя транзакционную базу данных, можно найти все правила вида «Из А следует В» с различными значениями поддержки и достоверности. Однако в большинстве случаев количество правил необходимо ограничивать заранее установленными минимальными и максимальными значениями этих показателей.

Если поддержка чрезмерно велика, то мы найдем правила, которые известны до анализа. Если поддержка чрезмерно мала, мы найдем много правил, значительное количество которых будут необоснованным. Поэтому необходимо найти такой интервал значений поддержки, который с одной стороны, обеспечит нахождение неочевидных правил, а с другой – их обоснованность. Аналогично, если уровень достоверности слишком мал, то ценность правила вызывает серьезные сомнения, например, правило с достоверностью 2 % вряд ли является настоящим правилом.

Пример. Пусть в транзакционной базе данных характеристика А встречается в 5 % транзакций, то есть вероятность $P(A) = 0,05$, а характеристика В – в 2 %, $P(B) = 0,02$. Если характеристики А и В взаимно независимы, вероятность того, что они встретятся в одной транзакции равна $P(A \cap B) = 0,05 * 0,02 = 0,001$. Следовательно, в базе данных, состоящей из тысячи записей, мы должны встретить такую комбинацию один, максимум два раза. Если в ходе анализа этой базы данных мы встретили сочетание характеристик А и В 20 раз, то с высокой вероятностью характеристики А и В зависимы.

Очевидно, что зависимые характеристики имеют более высокую поддержку и достоверность. Следовательно, нужно выбрать такие значения поддержки и достоверности, которые, с одной стороны, позволят найти обоснованные ассоциации, а с другой – не учитывать ассоциации не обоснованные. Задача выбора таких значений выходит за рамки ассоциативного анализа и решается с помощью экспертов или руководящих документов.

Рассмотрим субъективные показатели значимости ассоциативных правил.

Лифт (lift) – это отношение частоты появления условия в транзакциях, которые также содержат и следствие, к частоте появления следствия в целом:

$$L(A \rightarrow B) = C(A \rightarrow B)/S(B).$$

Лифт является обобщенной мерой связи двух предметных наборов: при значениях лифта >1 связь положительная, при 1 она отсутствует, а при значениях <1 – отрицательная. Значения лифта большие, чем единица показывают, что условие чаще появляется в транзакциях, содержащих следствие, чем в остальных [7].

Леввередж (leverage) – это разность между наблюдаемой частотой, с которой условие и следствие появляются совместно (то есть поддержкой ассоциации), и произведением частот появления (поддержек) условия и следствия по отдельности:

$$T(A \rightarrow B) = S(A \rightarrow B) - S(A) * S(B).$$

Если Леввередж ≈ 0 , то правило не значимо.

Улучшение правила является отношением числа транзакций, содержащих наборы X и Y , к произведению количества транзакций, содержащих набор X , и количества транзакций, содержащих набор Y . Улучшение (improvement) показывает полезнее ли правило случайного угадывания. Если $I(X \rightarrow Y) > 1$, это значит, что предсказать Y по X вероятнее, чем угадать случайно [8].

Задача поиска ассоциативных правил осложняется высокой вычислительной сложностью. Так, если база данных состоит из 20 000 000 записей, то число возможных вычислительных операций может достигать до 10^{16} . Потому использовать ассоциативные правила без компьютерных программ на практике невозможно.

Для поиска ассоциативных связей в данных разработано несколько алгоритмов: наивный или брутфорс-алгоритм, Apriori алгоритм, ECLAT алгоритм, FP-growth алгоритм и т.п. Рассмотрим один из наиболее известных алгоритмов – алгоритм Apriori.

Алгоритм Apriori поиска ассоциативных правил

В алгоритме Apriori при поиске частых наборов используется свойство антимонотонности, которое означает, что если набор Z не является частым, то добавление некоторого нового предмета A к набору Z не делает его частым. Другими словами, если Z не является частым набором, то и набор $Z+A$ также не будет частым. Это свойство значительно уменьшает пространство поиска ассоциативных правил [9].

Работа алгоритма состоит из нескольких этапов. Каждый этап состоит из шага «формирование кандидатов» и шага «подсчет кандидатов».

На этапе формирования кандидатов (candidate generation) алгоритм, сканируя базу данных, создает множество i -элементных кандидатов, где i – номер этапа. На этом этапе поддержка кандидатов не рассчитывается.

На этапе подсчета (candidate counting) вычисляется поддержка каждого i -элементного кандидата. Здесь же выполняется отсеечение кандидатов, поддержка которых меньше минимума, установленного пользователем (min_sup). Оставшиеся i -элементные наборы называют часто встречающимися.

Рассмотрим работу алгоритма на примере базы транзакций, представленных в табл. 1. В качестве минимального уровня поддержки примем значение равное трем.

На первом этапе сформируем множество одноэлементных кандидатов. Это будет множество всех элементов, встречающихся в табл. 1. На втором этапе подсчитаем поддержку одноэлементных наборов и для дальнейшего рассмотрения оставим те из них, которые имеют поддержку больше или равную трем. Назовем эти элементы часто встречающимися.

Из множества одноэлементных часто встречающихся наборов сформируем множество двухэлементных кандидатов, подсчитаем их поддержку и отсекаем наборы с уровнем поддержки меньшим, чем три. Оставшиеся наборы из двух элементов назовем часто встречающимися.

Действуя аналогичным образом, сформируем множество часто встречающихся трехэлементных наборов. Процесс будет продолжаться до тех пор, пока не останется ни одного часто встречающегося набора. Затем найдем достоверность часто встречающихся

наборов, лифт, леввередж и улучшение. На основании этих показателей найдем ассоциативные правила [10, 11].

Пример ассоциативного анализа связей между ЧС

Применим ассоциативный анализ к базе транзакций, отображенной в табл. 1. Преобразуем эту таблицу к нормализованному виду (табл. 2).

Таблица 2. База транзакций в нормализованном виде

№ транзакции	Нагонный ветер	Оползень	Смерч	Бурное таяние снегов	Цунами	Ливневые дожди	Наводнение	Сель	Землетрясение
1	0	1	0	0	0	1	1	0	1
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	0	0	1	0	0
4	0	1	0	1	0	0	1	1	1
5	0	1	0	0	1	0	0	0	1
6	1	1	0	0	0	1	1	0	0
7	0		0	1	0	0	0	1	0
8	0	1	0	1	0	1	1	0	0
частота	2	5	1	4	1	3	5	2	3
Поддержка	0,25	0,625	0,125	0,5	0,125	0,375	0,625	0,25	0,375

Будем считать частыми (популярными) те ЧС, которые имеют поддержку $S \geq 30\%$ (встречающиеся в соответствующем столбце нормализованной таблицы не менее трех раз). Тогда множество однопредметных частых наборов ЧС – это оползни, бурное таяние снегов, ливневые дожди, наводнения и землетрясения.

Найдем частые двухпредметные наборы ЧС, используя операцию связывания частых однопредметных наборов ЧС. Результаты связывания отображены в табл. 3.

Таблица 3. Двухпредметные ЧС

Набор ЧС	Количество	Поддержка
оползень + ливневые дожди	3	37,5 %
оползень + наводнение	3	37,5 %
оползень + землетрясение	2	25 %
оползень + бурное таяние снегов	1	12,5 %
бурное таяние снегов + наводнение	3	37,5 %
бурное таяние снегов + ливневые дожди	1	12,5 %
бурное таяние снегов + землетрясение	1	12,5 %
ливневые дожди + наводнение	3	37,5 %
ливневые дожди + землетрясение	1	12,5 %
наводнение + землетрясение	2	25 %

Получили четыре частых двухпредметных набора ЧС: оползень + ливневые дожди, оползень + наводнение, бурное таяние снегов + наводнение, ливневые дожди + наводнение. Найдем трехпредметные наборы ЧС, используя операцию связывания частых двухпредметных наборов (табл. 4).

Анализ табл. 4 показывает, что существует всего один частый трехпредметный набор ЧС. Это набор (оползень) + (ливневые дожди) + (наводнение). Частых четырехпредметных наборов ЧС в нашей исходной таблице нет.

Таблица 4. Трехпредметные наборы ЧС

Набор ЧС	Количество	Поддержка
(оползень) + (ливневые дожди) + (наводнение)	3	37,5 %
(оползень) + (ливневые дожди) + (землетрясение)	1	12,5 %
(оползень) + (бурное таяние снегов) + (ливневые дожди)	1	12,5 %
(оползень) + (бурное таяние снегов) + (наводнение)	1	12,5 %
(бурное таяние снегов) + (наводнение) + (землетрясение)	1	12,5 %
(бурное таяние снегов) + (ливневые дожди) + (наводнение)	1	12,5 %
(ливневые дожди) + (наводнение) + (землетрясение)	1	12,5 %

Приступаем к задаче поиска и анализа ассоциативных правил. Составим табл. 5.

Рассмотрим первое правило:

1) поддержка $S=37,5\%$ означает, что ожидаемая вероятность набора из трех событий равна $0,375$;

2) достоверность $C=100\%$ означает, что если произойдут оползни и ливневые дожди, то с вероятностью 100% произойдет и наводнение;

3) лифт $L=0,6$ означает, что наводнение будет происходить в $0,6$ раз реже, чем оползни и ливневые дожди вместе взятые;

4) левередж $T \approx 0,14 \neq 0$ означает, что данное правило значимо;

5) улучшение $I=1,6 > 1$ означает, что предсказать наводнение, если имеют место оползни и ливневые дожди, вероятнее, чем угадать случайно.

Выводы 2 и 3 противоречат друг другу. Скорее всего, это связано с недостаточным количеством статистической информации. Выбор правильного вывода зависит от мнения лица, принимающего решения. На практике предпочтение обычно отдается объективным показателям.

Аналогично можно рассмотреть и остальные пять правил. Отметим, что из всех правил малозначимым является второе, так как у него $C=75\%$, $L=1$ и незначимо шестое, так как у него $C=60\%$ и $L=1$.

Таблица 5. Ассоциативные правила

№	Правило	Поддержка	Достоверность	Лифт	Левередж	Улучшение
1	Если оползень и ливневые дожди, то наводнение	$3/8=0,375$	$100\% \cdot 3/3=100\%$	$3/5=0,6$	$3/8 - (3/8) \cdot (5/8) \approx 0,14$	$0,375 / (0,375 \cdot 0,625) = 1,6$
2	Если оползень и наводнение, то ливневые дожди	$3/8=0,375$	$100\% \cdot 3/4=75\%$	$3/3=1$	$3/8 - (4/8) \cdot (3/8) \approx 0,19$	$0,375 / (0,5 \cdot 0,375) = 2$
3	Если ливневые дожди и наводнение, то оползень	$3/8=0,375$	$100\% \cdot 3/3=100\%$	$3/5=0,6$	$3/8 - (3/8) \cdot (5/8) \approx 0,14$	$0,375 / (0,375 \cdot 0,625) = 1,6$
4	Если оползень, то ливневые дожди и наводнение	$3/8=0,5$	$100\% \cdot 3/5=100\%$	$3/3=1$	$3/8 - (5/8) \cdot (3/8) \approx 0,14$	$0,375 / (0,375 \cdot 0,625) = 1,6$
5	Если ливневые дожди, то оползень и наводнение	$3/8=0,375$	$100\% \cdot 3/3=100\%$	$3/4=0,75$	$3/8 - (3/8) \cdot (4/8) \approx 0,19$	$0,375 / (0,375 \cdot 0,5) = 2$
6	Если наводнение, то ливневые дожди и оползень	$3/8=0,375$	$100\% \cdot 3/5=60\%$	$3/3=1$	$3/8 - (5/8) \cdot (3/8) \approx 0,14$	$0,375 / (0,375 \cdot 0,625) = 1,6$

Заключение

Анализ даже столь простого примера показывает, что его решение вручную требует большого объема вычислительной работы. Находить же ассоциативные правила в реальных ассоциативных базах с десятками и сотнями тысяч строк, с десятками и сотнями столбцов, вручную невозможно. Поэтому для поиска ассоциативных правил разработано большое количество компьютерных программ. Отметим среди таких программ уже упоминавшиеся выше аналитические платформы Deductor и Loginom отечественной компании BaseGroup Labs.

Список источников

1. Agrawal R., Imielinski T., Swami A. Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases. In Proc. of the 1993 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. Washington DC, USA, 1993. P. 207–216.
2. Shaheen M., Shahbaz M., Guergachi A. Context Based Positive and Negative Spatio Temporal Association Rule Mining. Elsevier Knowledge-Based Systems. 2013. P. 261–273.
3. Nancy P., Ramani G.R., Jacob S. Mining of Association Patterns in Social Network Data (Face Book 100 Universities) through Data Mining Techniques and Methods. In Advances in Computing and Information Technology, Springer: Germany, 2013. P. 178:107–117.
4. Антюхов В.И. Системный анализ и принятие решений. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 352 с.
5. Макрусев В.В. Основы системного анализа: учеб. 2-е изд. СПб.: Троицкий мост, 2022. 250 с.
6. Орлов А.И. Искусственный интеллект: статистические методы анализа данных: учеб. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. 843 с. ISBN 978-5-4497-1470-1.
7. Метод ассоциативных правил при анализе дорожно-транспортных происшествий / Г.А. Якупова [и др.] // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2020. № 11. С. 40–44. DOI: 10.36535/0236-1914-2020-11-7. EDN WSEISV.
8. Зайко Т.А., Олейник А.А., Субботин С.А. Анализ методов построения ассоциативных правил в интеллектуальных системах // Компьютерно-интегрированные технологии: освіта, наука, виробництво. 2012. № 9. С. 34–43. EDN RSHTPN.
9. Шаден Н.Е. Система анализа результатов опросов на основе поиска ассоциативных правил // Студенческий вестник. 2021. № 15-5 (160). С. 71–74. EDN WRFHPI.
10. Kim J.C., Chung K. Emerging risk forecast system using associative index mining analysis // Cluster Computing. 2017. Т. 20. № 1. С. 547–558.
11. Soni S., Vyas O.P. Using associative classifiers for predictive analysis in health care data mining // International Journal of Computer Applications. 2010. Т. 4. № 5. С. 33–37.

References

1. Agrawal R., Imielinski T., Swami A. Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases. In Proc. of the 1993 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. Washington DC, USA, 1993. P. 207–216.
2. Shaheen M., Shahbaz M., Guergachi A. Context Based Positive and Negative Spatio Temporal Association Rule Mining. Elsevier Knowledge-Based Systems. 2013. P. 261–273.
3. Nancy P., Ramani G.R., Jacob S. Mining of Association Patterns in Social Network Data (Face Book 100 Universities) through Data Mining Techniques and Methods. In Advances in Computing and Information Technology, Springer: Germany, 2013. P. 178:107–117.
4. Antyuhov V.I. Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017. 352 s.
5. Makrusev V.V. Osnovy sistemnogo analiza: ucheb. 2-e izd. SPb.: Troickij most, 2022. 250 s.
6. Orlov A.I. Iskusstvennyj intellekt: ctatisticheskie metody analiza dannyh: ucheb. M.: Aj Pi Ar Media, 2022. 843 s. ISBN 978-5-4497-1470-1.

7. Metod asociativnyh pravil pri analize dorozhno-transportnyh proisshestvij / G.A. Yakupova [i dr.] // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik. 2020. № 11. S. 40–44. DOI: 10.36535/0236-1914-2020-11-7. EDN WSEISV.
8. Zajko T.A., Olejnik A.A., Subbotin S.A. Analiz metodov postroeniya asociativnyh pravil v intellektual'nyh sistemah // Komp'yuterno-integrovani tekhnologii: osvita, nauka, virobništvo. 2012. № 9. S. 34–43. EDN RSHTPN.
9. Shaden N.E. Sistema analiza rezul'tatov oprosov na osnove poiska asociativnyh pravil // Studencheskij vestnik. 2021. № 15-5 (160). S. 71–74. EDN WRFHPI.
10. Kim J.C., Chung K. Emerging risk forecast system using associative index mining analysis // Cluster Computing. 2017. T. 20. № 1. S. 547–558.
11. Soni S., Vyas O.P. Using associative classifiers for predictive analysis in health care data mining // International Journal of Computer Applications. 2010. T. 4. № 5. S. 33–37.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 26.05.2022; одобрена после рецензирования: 31.05.2022; принята к публикации: 01.06.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 26.05.2022; approved after review: 31.05.2022; accepted for publication: 01.06.2022

Информация об авторах:

Валерий Ильич Куватов, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, заслуженный работник Высшей школы Российской Федерации, e-mail: kyb.valery@yandex.ru

Алексей Александрович Горбунов, заместитель начальника Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России по учебной работе (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, доцент, e-mail: algor.78@yandex.ru

Дмитрий Алексеевич Колеров, начальник кабинета кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: dimal1rus@inbox.ru

Information about the authors:

Valery I. Kuvatov, professor of the department of system analysis and crisis management of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, honored worker of the Higher school of the Russian Federation, e-mail: kyb.valery@yandex.ru

Alexey A. Gorbunov, deputy chief of educational work of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of military sciences, associate professor, e-mail: algor.78@yandex.ru

Dmitriy A. Kolerov, head of the office of the department of system analysis and crisis management of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: dimal1rus@inbox.ru

УДК 614.849

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОСТАВКИ СИЛ И СРЕДСТВ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС РОССИИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Алексей Владимирович Вострых[✉];**Ирина Васильевна Бородушко;****Сергей Николаевич Терёхин.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**[✉]a.vostrykh@list.ru

Аннотация. Разработана модель доставки сил и средств подразделений МЧС России с целью повышения пожарной безопасности территориальных образований, в основе которой лежит двухуровневая система вычислений, позволяющая предоставлять лицам, принимающим решение, спектр важной информации, которую можно использовать для повышения оперативных показателей реагирования спасателей на происшествия различного характера. Результатом вычислений являются предложения по отправке тех или иных сил и средств определённой пожарно-спасательной части или нескольких подразделений с учетом всех воздействующих факторов.

Настоящая модель при расчётах учитывает такие данные, как: расстояние до места вызова; количество пожарно-спасательных частей в территориальном образовании; состав сил и средств подразделений; их занятость в режиме реального времени, а также возможность определенного подразделения успешно решить задачи на объектах защиты того или иного типа.

В ближайшем будущем планируется на основе разработанной модели реализовать программное приложение с возможностью интеграции в различные геоинформационные системы, что расширит функционал программных продуктов, а также сделает работу специалистов более удобной.

Ключевые слова: геоинформационная система, происшествие, прогнозирование, объект защиты, модель

Для цитирования: Вострых А.В., Бородушко И.В., Терехин С.Н. Моделирование доставки сил и средств подразделений МЧС России с целью повышения пожарной безопасности территориальных образований // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 125–133.

MODELING THE DELIVERY OF FORCES AND EQUIPMENT OF UNITS OF THE EMERCOM OF RUSSIA TO INCREASE FIRE SAFETY OF TERRITORIAL FORMATIONS

Aleksei V. Vostrykh[✉];**Irina V. Borodushko;****Sergey N. Terekhin.****Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia**[✉]a.vostrykh@list.ru

Abstract. The article develops a model for the delivery of forces and means of units of EMERCOM of Russia in order to improve the fire safety of territorial entities, which is based on a two-level computing system that allows decision-makers to provide a range of important information that can be used to improve the operational response of rescuers to incidents of various nature. The result of the calculations are proposals for the dispatch of certain forces and means of a certain fire and rescue unit or several units, taking into account all the influencing factors.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

The present model takes into account data such as: the distance to the place of the call; the number of fire and rescue units in the territorial entity; the composition of the forces and means of the units; their employment in real time, as well as the ability of a certain unit to successfully solve problems at protection facilities of one type or another.

In the near future, it is planned to implement a software application based on the developed model with the possibility of integration into various geoinformation systems, which will expand the functionality of software products, as well as make the work of specialists more convenient.

Keywords: geoinformation system, incident, forecasting, protection object, model

For citation: Vostrykh A.V., Borodushko I.V., Terekhin S.N. Modeling the delivery of forces and equipment of units of the emercom of russia to increase fire safety of territorial formations // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ty of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 125–133.

Введение

Сегодня одной из приоритетных стратегических задач России является обеспечение пожарной безопасности (ПБ) объектов национальной экономики [1–3]. Это подтверждается динамикой пожаров, количеством погибших на них людей и размерами экономических потерь, которые остаются на достаточно высоком уровне [4]. Обеспечение ПБ является одним из элементов, составляющих национальную безопасность России, где особое внимание уделяется объектам защиты (ОЗ), создающим условия поддержания высокого уровня социально-экономического развития страны [1–4].

Согласно статистике за 2020 г. в Российской Федерации произошло 439 394 пожара, на которых погибло 8 310 чел., получило травмы 8 419 чел., общий ущерб составил 20 876 301 тыс. руб. [1–4]. Высокие показатели и тяжесть последствий происшествий заставляют рассматривать их как серьёзную угрозу личности, обществу и государству в целом. Проведённый сравнительный анализ статистики происшествий за последние пять лет показал плавную положительную тенденцию снижения основных показателей, которые всё же остаются на достаточно высоком уровне как по числу жертв, так и по количеству материального ущерба [1–4].

Возникающие происшествия приводят к снижению экономического и финансового потенциала затронутых бедствиями территорий. Недостаточная скорость реагирования, несвоевременное принятие управленческих решений, ошибки в расчётах рисков и слабый контроль лиц, принимающих решение (ЛПР), приводят к возрастанию размеров ущерба от количества и масштабов происшествий [1, 2].

На территории Российской Федерации располагается огромное количество опасных, технологически сложных и уникальных сооружений промышленности, энергетики, инфраструктуры и жизнедеятельности населения, число которых постоянно растёт [1–4]. Такие объекты необходимо всесторонне контролировать и обрабатывать информацию об их эксплуатации. Данные задачи выполняет Департамент надзорной деятельности и профилактической работы (ДНД ПР), который является структурным подразделением центрального аппарата МЧС России.

Для эффективного функционирования ДНД ПР и подчинённых подразделений необходим комплекс мер по эффективному сбору, обработке и оперативному извлечению необходимой информации об объектах, требующих контроля [5–9]. В свою очередь регулярные изменения в нормативной базе, изменение требований к статистической и аналитической отчетности органов государственного пожарного надзора увеличивают нагрузку на ЛПР, которым помимо основной деятельности требуется оперативно передавать данные по всей иерархии органов МЧС России, а также анализировать поступающую информацию и вести статистику.

Последние новаторские разработки в области цифровых технологий для деятельности МЧС России в виде специализированных геоинформационных систем (ГИС) позволили

упростить и автоматизировать процесс сбора и обработки информации, снизив нагрузку на ЛПР [7–9].

На данный момент относительно успешно функционирует ряд ресурсов, способных предоставить необходимую информацию об ОЗ. Их преимуществами, помимо автоматизации ранее ручных процессов, являются: функции фильтрации данных по заданным критериям; сравнение и анализ статистических данных по географическим и административным принадлежностям с привязкой к временным интервалам и многое другое [10–16].

Несмотря на все достоинства применения новых цифровых технологий, существующие программные продукты (ПП) имеют ряд недостатков, связанных как с их интерфейсами [2], так и программной реализацией [8], что влечет за собой снижение оперативных показателей работы ЛПР.

Так, Р.И. Песковым [8] при анализе используемых в министерстве информационных систем (ИС) выявлены следующие особенности:

- некоторые из ИС доступны только с определённых рабочих мест в оперативно-дежурных сменах, что сильно ограничивает их применение;
- в ИС недостаточно актуальных данных по конкретной предметной области, что происходит по причине отсутствия информационного обмена между ПП;
- большинство специализированных ИС не решают в полной мере всех возложенных на них по предназначению задач, например, в ИС «лесопожарной обстановки» данные спутникового мониторинга доступны в трёх разных системах, актуальная информация по метеобстановке – в четвертой, а расчётный модуль по моделированию распространения лесного пожара – в пятой, отдельной ИС;
- отсутствие интеграции в единое информационное пространство отдельно установленных ИС на автоматизированных рабочих местах.

Помимо указанных выше проблем программной реализации, также остро стоит вопрос по применяемому математическому аппарату, возможности и точность которого ограничены и нуждаются в актуализации и расширении.

Методы исследования

В настоящей статье предлагается новая двухуровневая модель, позволяющая вычислять не только расстояние от потенциальной точки происшествия до близлежащих пожарно-спасательных частей (ПСЧ), но также и осуществлять проверку достаточности сил и средств, а также их возможность применения на определённых ОЗ. Так, в более ранних работах А.В. Вострых уже упоминались похожие разработки в виде: специальной информационной технологии построения оптимальных маршрутов [5]; кластеризации субоптимальных зон прикрытия г. Костроме подразделениями МЧС России при возникновении происшествий [6]; решения задачи выбора оптимального маршрута следования сил и средств подразделений МЧС России к месту возникновения происшествий с помощью алгоритма Дейкстры [7, 16–18]. Данные результаты исследования легли в основу первого уровня модели, позволяя рассчитать расстояние до места вызова от всех близлежащих ПСЧ и выбрать ту пожарную часть, которая находится ближе по расстоянию с учетом дорожно-транспортной обстановки на текущий момент времени (рис. 1, таб.)

Также первый уровень позволяет на основе машинного обучения (сбора данных по выездам подразделений, выполнения нормативного времени доставки сил и средств, статистики дорожно-транспортной обстановки) формировать зоны выездов подразделений (рис. 2).



Рис. 1. Выбор оптимального маршрута следования

Таблица. Вычисление оптимального пути следования подразделений

Итерация	Метка	Вершины											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	L	0	∞										
	Q												
1	L	0	300	170	100	∞							
	Q		0	0	0								
2	L	0	300	170	100	∞	350	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	Q		0	0	0		3						
3	L	0	300	170	100	∞	350	430	∞	∞	∞	∞	∞
	Q		0	0	0		3	2					
4	L	0	300	170	100	450	350	430	∞	∞	∞	∞	∞
	Q		0	0	0	1	3	2					
5	L	0	300	170	100	450	350	430	∞	420	∞	∞	∞
	Q		0	0	0	1	3	2		5			
6	L	0	300	170	100	450	350	430	∞	420	1120	∞	∞
	Q		0	0	0	1	3	2		5	8		
7	L	0	300	170	100	450	350	430	780	420	1120	∞	∞
	Q		0	0	0	1	3	2	6	5	8		
8	L	0	300	170	100	450	350	430	620	420	1120	∞	∞
	Q		0	0	0	1	3	2	4	5	8		
9	L	0	300	170	100	450	350	430	620	420	1120	1220	∞
	Q		0	0	0	1	3	2	4	5	8	7	
10	L	0	300	170	100	450	350	430	620	420	1120	1220	∞
	Q		0	0	0	1	3	2	4	5	8	7	

В свою очередь, второй уровень корректирует результаты расчётов первого с учетом имеющихся сил и средств в подразделениях. Например, если произошёл пожар в высотном доме, и у ближайшей ПСЧ отсутствует пожарный подъёмно-спасательный автомобиль, то необходимо проанализировать остальные близлежащие подразделения на наличие необходимой техники. Также, если в зоне выезда находится достаточное количество таких ОЗ, то встает вопрос о перевооружении подразделения или перераспределения зоны ответственности в соответствии с нормативным временем доставки сил и средств.

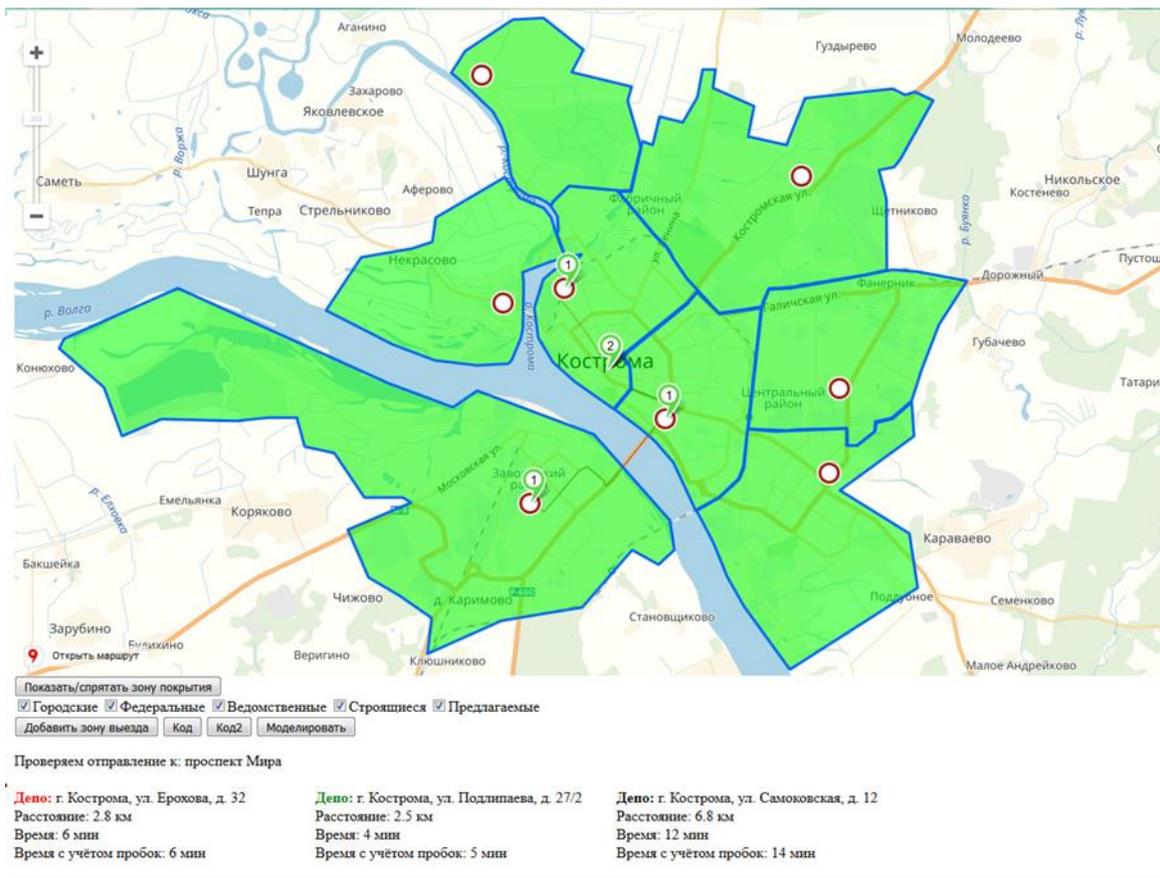


Рис. 2. Формирование зон ответственности подразделений

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, модель на вход получает следующую информацию: место происшествия (расстояние до всех ПСЧ), характеристики ОЗ (этажность, тип постройки, назначение и т.д.), имеющиеся силы и средства всех ПСЧ, наличие вызовов в текущий момент времени, их характер и местоположение. По полученным данным двухуровневая модель предоставляет оператору широкий спектр необходимой информации. Первый уровень производит базовые расчёты различных направлений, а на втором уровне происходит обобщение, моделирование и вывод результатов (рис. 3).

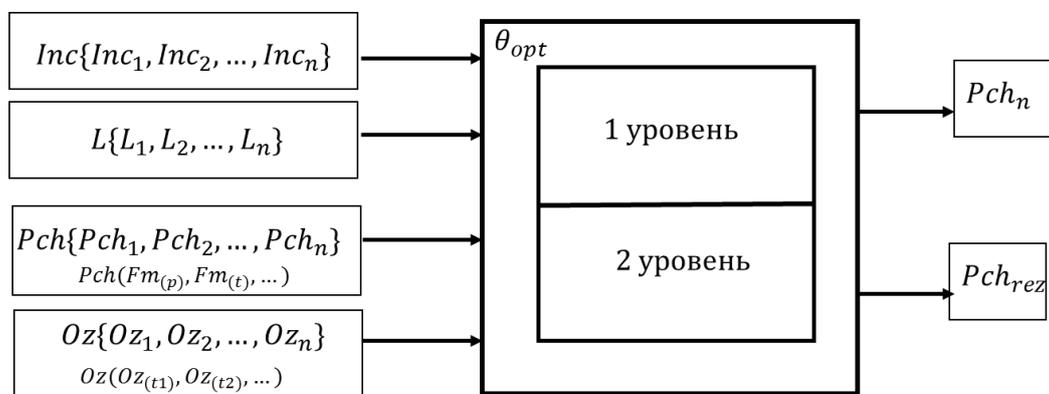


Рис. 3. Модель доставки сил и средств ПСЧ

На (рис. 3) $Inc\{Inc_1, Inc_2, \dots, Inc_n\}$ – множество происшествий в анализируемом территориальном образовании в настоящий момент времени; $L\{L_1, L_2, \dots, L_n\}$ – множество расстояний (оптимизированных с учетом дорожно-транспортной ситуации на настоящий момент времени) до места происшествий; $Pch\{Pch_1, Pch_2, \dots, Pch_n\}$ – множеств ПСЧ в анализируемом территориальном образовании; $Pch(Fm_{(p)}, Fm_{(t)}, \dots)$ – состав сил и средств, анализируемых ПСЧ, где $Fm_{(p)}$ – количество личного состава, $Fm_{(t)}$ – количество техники определённого вида; $Oz\{Oz_1, Oz_2, \dots, Oz_n\}$ – множество ОЗ на территории анализируемого территориального образования; $Oz(Oz_{(t1)}, Oz_{(t2)}, \dots)$ – список типов и характеристик ОЗ.

Гипотетически разработанную модель можно реализовать в форме программного приложения для ГИС в виде отдельного окна, где будет возможен:

– анализ прикрытия территории выбранного ЛПР подразделения в соответствии с нормативным временем прибытия, дорожной обстановкой, возможностями технического снаряжения подразделения. Интерфейс приложения будет иметь вид отдельного окна, открывающегося в новой вкладке, где зелеными сегментами будут выделены зоны, в которых ПСЧ сможет беспрепятственно выполнить боевую задачу, красным – сил и средств недостаточно. При переключении между анализируемыми ПСЧ можно будет увидеть, есть ли возможность без нарушений нормативов прибытия к месту вызова выехать на происшествия в соседний район для ликвидации происшествий при невозможности выезда ответственного подразделения;

– анализ возможности выезда выбранного ЛПР подразделения (определенная часть сил и средств, которого уже находится на другом выезде) в случае возникновения ещё одного или нескольких происшествий в зоне выезда этого подразделения. Интерфейс данной функции будет представлен отдельной вкладкой, где демонстрируются оставшиеся силы и средства, не задействованные на вызове. Также одновременно с этим динамически будет меняться карта, демонстрируя на какие территории смогут выехать оставшиеся силы и средства с учетом их технических и людских ресурсов.

– информация о задействованных ПСЧ (в пределах анализируемого территориального образования) на вызовах и их имеющиеся занятые и свободные ресурсы в режиме реального времени. Интерфейс данной функции будет представлен отдельной вкладкой, где демонстрируются оставшиеся силы и средства по всем ПСЧ, что позволит при получении других вызовов планировать распределение ресурсов.

Заключение

Таким образом, в статье разработана модель доставки сил и средств подразделений МЧС России с целью повышения ПБ территориальных образований, основанная на системе двухуровневого вычисления, позволяющей предоставлять ЛПР спектр важной информации, которую можно использовать для повышения оперативных показателей реагирования на происшествия различного характера. Настоящая модель при расчётах учитывает такие данные, как расстояние до места вызова, количество ПСЧ в территориальном образовании, состав сил и средств подразделений, их занятость в режиме реального времени, а также возможность определенной ПСЧ успешно решить задачи на ОЗ того или иного типа. Результатом вычислений является предложение по отправке тех или иных сил и средств определенной ПСЧ или нескольких подразделений с учетом всех воздействующих факторов.

Гипотетически разработанную модель можно реализовать в виде программного приложения с возможностью интеграции в различные ГИС, что расширит функционал ПП, а также сделает работу ЛПР более удобной.

Список источников

1. Калининко Н.Л. Экономические аспекты обеспечения пожарной безопасности и техногенных катастроф в России // Московский экономический журнал. 2021. № 4. С. 238–242.
2. Николаев Д.В., Скуртул И.В., Вострых А.В. Экономические обоснования перехода на новые подходы в проектировании интерфейсов программных продуктов МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 1. С. 85–89.
3. Матвеев А.В., Максимов А.В. Ресурсный потенциал и его использование в системе государственной противопожарной службы МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России. 2015. № 1. С. 62–68.
4. Гордиенко Д.М. Статистика пожаров за 2020 год // Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: стат. сборник: М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.
5. Вострых А.В., Шуракова Д.Г. Компоненты специальной информационной технологии построения оптимальных маршрутов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО-2018): сб. науч. статей VII Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. 2018. Т. 2. С. 213–218.
6. Буйневич М.В., Вострых А.В., Шуракова Д.Г. Двухуровневая кластеризация субоптимальных зон прикрития города Кострома подразделениями МЧС России при возникновении происшествий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 2. С. 121–127.
7. Решение задачи выбора оптимального маршрута следования сил и средств подразделений МЧС России к месту возникновения происшествий с помощью алгоритма Дейкстры / А.Д. Анашечкин [и др.] // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 3 (47). С. 68–79.
8. Песков Р.И. Основные используемые в МЧС России информационные системы // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2017. № 2 (72). С. 265–274.
9. Буйневич М.В., Максимов А.В., Пелех М.Т. Принципы информационной поддержки системного проектирования развития сети пожарных депо на территории мегаполиса // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 3. С. 129–135.
10. Богданова Е.М., Максимов А.В., Матвеев А.В. Информационная система прогнозирования чрезвычайных ситуаций при использовании адаптивных моделей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2019. № 2. С. 65–70.
11. Крупкин А.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Методика оценки эффективности управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 4. С. 30–34.
12. Юсупова Л.Д. Возможности геоинформационной системы mapinfo professional // Вестник современных исследований. 2017. № 11-1 (14). С. 73–74.
13. Турсынбаев С.М., Радкевич В.Г. Использование возможностей геоинформационных систем для поддержки принятия решений командным составом // Геоинформационные системы военного назначения: теория и практика применения: тезисы докладов V Респуб. науч.-практ. конф. / отв. ред. О.В. Сивец; под общ. ред. О.В. Руденкова. Минск: Белорусский гос. ун-т, 2018. С. 11–12.
14. MapInfo Professional 6.0. Руководство пользователя. М.: ООО «ЭСТИ-МАП», 2000. 136 с.
15. Раклов В.П. Географические информационные системы (ГИС) в тематической картографии. М.: ГУЗ, 2006. 167 с.
16. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: ФиС, 1998. 368 с.
17. Левитин А.В. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ. М.: Вильямс, 2006. 576 с.
18. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. 270 с.

References

1. Kalinenko N.L. Ekonomicheskie aspekty obespecheniya pozharnoj bezopasnosti i tekhnogennyh katastrof v Rossii // *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal*. 2021. № 4. S. 238–242.
2. Nikolaev D.V., Skurtul I.V., Vostryh A.V. Ekonomicheskie obosnovaniya perekhoda na novye podhody v proektirovanii interfejsov programmnyh produktov MCHS Rossii // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2020. № 1. S. 85–89.
3. Matveev A.V., Maksimov A.V. Resursnyj potencial i ego ispol'zovanie v sisteme gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii*. 2015. № 1. S. 62–68.
4. Gordienko D.M. Statistika pozharov za 2020 god // *Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2020 godu: stat. sbornik*: M.: VNIPO, 2021. 112 s.
5. Vostryh A.V., Shurakova D.G. Komponenty special'noj informacionnoj tekhnologii postroeniya optimal'nyh marshrutov // *Aktual'nye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii (APINO-2018): sb. nauch. statej VII Mezhdunar. nauch.-tekhn. i nauch.-metod. konf.* 2018. T. 2. S. 213–218.
6. Bujnevich M.V., Vostryh A.V., Shurakova D.G. Dvuhurovnevaya klasterizaciya suboptimal'nyh zon prikrytiya goroda Kostroma podrazdeleniyami MCHS Rossii pri vozniknovenii proisshestvij // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2018. № 2. S. 121–127.
7. Reshenie zadachi vybora optimal'nogo marshruta sledovaniya sil i sredstv podrazdelenij MCHS Rossii k mestu vozniknoveniya proisshestvij s pomoshch'yu algoritma Dejkstry / A.D. Anashechkin [i dr.] // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2018. № 3 (47). S. 68–79.
8. Peskov R.I. Osnovnye ispol'zuemye v MCHS Rossii informacionnye sistemy // *Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti»*. 2017. № 2 (72). S. 265–274.
9. Bujnevich M.V., Maksimov A.V., Pelekh M.T. Principy informacionnoj podderzhki sistemnogo proektirovaniya razvitiya seti pozharnyh depo na territorii megapolisa // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2017. № 3. S. 129–135.
10. Bogdanova E.M., Maksimov A.V., Matveev A.V. Informacionnaya sistema prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij pri ispol'zovanii adaptivnyh modelej // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2019. № 2. S. 65–70.
11. Krupkin A.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Metodika ocenki effektivnosti upravleniya silami i sredstvami garnizona pozharnoj ohrany // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2015. № 4. S. 30–34.
12. Yusupova L.D. Vozmozhnosti geoinformacionnoj sistemy mapinfo professional // *Vestnik sovremennyh issledovanij*. 2017. № 11-1 (14). S. 73–74.
13. Tursynbaev S.M., Radkevich V.G. Ispol'zovanie vozmozhnostej geoinformacionnyh sistem dlya podderzhki prinyatiya reshenij komandnym sostavom // *Geoinformacionnye sistemy voennogo naznacheniya: teoriya i praktika primeneniya: tezisy dokladov V Respub. nauch.-prakt. konf. / otv. red. O.V. Sivec; pod obshch. red. O.V. Rudenkova*. Minsk: Belorusskij gos. un-t, 2018. S. 11–12.
14. MapInfo Professional 6.0. Rukovodstvo pol'zovatelya. M.: OOO «ESTI-MAP», 2000. 136 s.
15. Raklov V.P. Geograficheskie informacionnye sistemy (GIS) v tematicheskoj kartografii. M.: GUZ, 2006. 167 s.
16. Cvetkov V.Ya. Geoinformacionnye sistemy i tekhnologii. M.: FiS, 1998. 368 s.
17. Levitin A.V. Algoritmy. Vvedenie v razrabotku i analiz. M.: Vil'yams, 2006. 576 s.
18. Zagorujko N.G. Prikladnye metody analiza dannyh i znaniy. Novosibirsk: IM SO RAN, 1999. 270 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 31.05.2022; одобрена после рецензирования: 07.06.2022;
принята к публикации: 08.06.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 31.05.2022; approved after review: 07.06.2022;
accepted for publication: 08.06.2022

Сведения об авторах:

Алексей Владимирович Вострых, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>

Бородушко Ирина Васильевна, 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, <https://orcid.org/0000-0001-9213-4126>

Терёхин Сергей Николаевич, 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

Information about authors:

Aleksey V. Vostrykh, adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: a.vostrykh@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8261-0712>

Irina V. Borodushko, professor of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of economics, associate professor, e-mail: bi08@me.com, <https://orcid.org/0000-0001-9213-4126>

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, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: expert_terehin@mail.ru

УДК 004.652; 004.75; 519.816

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СЛУЖБОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛОБАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ СОСТОЯНИЯ

Михаил Викторович Буйневич[✉],**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия****Вадим Вячеславович Ефимов.****ООО «Сберобразование», Москва, Россия**[✉]**bmv1958@yandex.ru**

Аннотация. Показана сложность современных глобально распределенных информационных систем, посредством которых предоставляются «облачные услуги», а также необходимость сбора и хранения информации их состояния в целях устранения сбоев. Проанализирован состав этой информации, показана ее гетерогенность. Проанализированы существующие модели данных состояния глобально-распределенных информационных систем, выявлено их несоответствие принципам интеграции данных состояния глобально распределенных информационных систем, сформулированным ранее. Разработана интеграционная модель данных состояния глобально распределенных информационных систем на основе стандартов и практик, в рамках которых эти данные используются соответствующими службами эксплуатации при принятии управленческих решений. Показано, что авторская модель обладает за этот счет свойством универсальности, а также персонализированностью обращений от имени пользователя за счет использования для интеграции гетерогенных данных в качестве «ключа» их атрибута, обеспечивает его доступной и максимально актуальной информацией за счет обращения к данным именно в момент запроса, обеспечивает сохранность и неизменность исходных данных при формировании обобщенного состояния за счет неприведения к общей нормальной форме.

Ключевые слова: глобально распределенная информационная система, служба эксплуатации, модель данных состояния, интеграция данных, информационно-управляющие системы

Для цитирования: Буйневич М.В., Ефимов В.В. Поддержка принятия управленческих решений службой эксплуатации глобально распределенных информационных систем на основе интеграционной модели данных состояния // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 134–143.

MANAGEMENT DECISION SUPPORT FOR THE OPERATION SERVICE OF GLOBALLY DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS BASED ON AN INTEGRATED STATE DATA MODEL

Mikhail V. Buynevich[✉].**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.****Vadim V. Efimov.****LLC «Sberobrazovanie», Moscow, Russia.**[✉]**bmv1958@yandex.ru**

Abstract. The complexity of modern globally distributed information systems, through which «cloud services» are provided, and the need to collect and store information about their state in order to eliminate failures, is shown. The composition of this information is analyzed and its

heterogeneity is shown. The existing models of globally distributed information systems state data were analyzed and their inconsistency with the principles of integration of globally distributed information systems state data formulated earlier was revealed. An integration model of the globally distributed information systems state data was developed based on the standards and practices in which these data are used by the relevant operating services in making management decisions. It is shown that the author's model has at this expense the property of universality, as well as personalized appeals on behalf of the user by using heterogeneous data for integration as a «key» of their attribute, provides him with accessible and the most relevant information by addressing the data at the time of the request, ensures the safety and immutability of the original data when forming the generalized state by not bringing to a common normal form.

Keywords: globally distributed information system, operation service, state data model, data integration, information management systems

For citation: Buynevich M.V., Efimov V.V. Management decision support for the operation service of globally distributed information systems based on an integrated state data model // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ty of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 134–143.

Введение

В настоящее время широкое распространение получила технология «облачных» вычислений и предоставляемые на ее основе «облачные» услуги, такие как обмен мгновенными сообщениями, социальные сети, удаленное хранение данных, аудио- и видеоконференции и пр. Согласно исследованию аналитического агентства «ТМТ Консалтинг» [1], российский рынок «облачных» услуг вырос в 2020 г. на 24 % и составил 90,6 млрд руб., по итогам 2021 г. ожидался такой же темп роста до 113 млрд руб., а в 2022 г. – до 140 млрд руб.

Понятие «облачные вычисления» определено международными стандартами [2] и характеризуется, среди прочего, мультиарендностью (*от англ. multi-tenancy*) – поставщик использует одни и те же вычислительные мощности для предоставления услуг различным потребителям.

При этом существенным качеством «облачных» услуг является возможность потребителей взаимодействовать между собой в форме обмена сообщениями, предоставления совместного доступа к файлам, редактирования документов и т.п. При этом пользователи могут находиться на значительном удалении друг от друга, что может быть причиной высокой сетевой задержки для ряда пользователей при обращении к общим информационным ресурсам, размещенным в одном месте, например, в центре обработки данных в Москве.

Для снижения сетевой задержки, а также для повышения отказоустойчивости информационной системы, предоставляющей «облачные» услуги, такая система традиционно реализуется в виде распределенной или, в случае если речь идет о глобальном рынке информационных услуг, – глобально распределенной информационной системой (ГРИС), серверы которой расположены в нескольких центрах обработки данных.

В дополнение к этому, инженеры, проектирующие современные информационные системы, все чаще используют микро-сервисную архитектуру, которая, по сравнению с традиционной «монолитной», характеризуется разбиением одного крупного приложения на набор меньших, которые могут быть запущены на отдельных серверах, что позволяет гибко масштабировать такую систему, а также удешевить разработку за счет доступности более широкого набора технологий разработки.

В результате в процессе достижения целей снижения сетевой задержки, повышения отказоустойчивости, гибкости масштабирования и снижения стоимости разработки количество отдельно работающих серверов приложений и систем хранения данных в составе ГРИС существенно увеличивается и может достигать десятков тысяч. При этом каждый

сервер может выйти из строя по причине ошибки приложения (например, приводящей к «утечке» памяти), сбоя аппаратной части, сегментации сети, ошибочной конфигурации и т.д. В ряде случаев сбой сервера может быть автоматически устранен с помощью внутреннего контура управления состоянием ГРИС, обеспечивающего определенную степень ее автономности. Это могут быть системы автоматической балансировки нагрузки и автоматического развертывания вычислительных мощностей. Однако в ряде случаев автоматическое восстановление состояния ГРИС не происходит.

В качестве примера можно привести сбой, произошедший в работе «облачных» сервисов компании Facebook в октябре 2021 г. в результате неправильной конфигурации одного из серверов, обеспечивающих маршрутизацию сетевых запросов между центрами обработки данных, когда пропала сетевая связанность внутри ГРИС, и длившийся шесть часов. Сбой не был устранен автоматикой; для его устранения потребовалось вмешательство инженеров службы эксплуатации, задача которых усложнилась недоступностью информации состоянии ГРИС [3].

Для устранения сбоя инженеры службы эксплуатации компании «откатали» сервер маршрутизации к состоянию до внесения неправильной конфигурации, так как «откат» – это одна из универсальных процедур устранения сбоя в работе ГРИС. Эта процедура была также задействована в компании Slack для устранения еще одного крупного сбоя в работе «облачных» сервисов в 2021 г., в результате которого 4 января не был доступен одноименный телекоммуникационный сервис в течение нескольких часов [4]. Однако в этом случае «откат» не дал результатов, так как причиной сбоя было не внесенное изменение, а недостаток вычислительных ресурсов ГРИС для обслуживания резко возросшего количества запросов пользователей в первый день после новогодних праздников в США. Устранение сбоя также было осложнено недоступностью информации о текущем состоянии ГРИС.

Сбор информации состояния (включая прошлое состояние и плановое) является необходимым этапом процесса управления состоянием ГРИС с целью устранения сбоев. От актуальности и доступности этой информации зависит точность выбора управляющего воздействия, будь то «откат» или наращивание вычислительных ресурсов, как в примерах выше, либо другие.

Однако применительно к современной ГРИС, состоящей из десятков тысяч отдельных серверов и подвергающейся десяткам плановых изменений в день, эта задача становится сложной. Для ее решения используется комплекс гетерогенных информационных систем, включающий набор специализированных систем мониторинга, систему управления конфигурацией, изменениями, сбоями, проблемами и пр. Эти гетерогенные информационные системы хранят различные срезы информации состояния ГРИС. При этом для принятия точного решения об управляющем воздействии в рамках ряда универсальных процедур восстановления, таких как «откат» к изначальному состоянию, требуется сопоставление информации из различных источников: какое изменение вызвало сбой?

В данной работе исследуется универсальная интеграционная модель данных о состоянии, необходимая для реализации службой эксплуатации подобных сценариев управления состоянием ГРИС.

Информация состояния ГРИС

Определимся с понятием «информация состояния ГРИС».

Во-первых, состояние информационной системы складывается из состояния серверов. Это набор запущенных на сервере приложений, количество задействованных ресурсов, таких как ресурс центрального процессора, объем используемой оперативной и постоянной памяти и пр. Сбор и хранение данных состояния серверов – это задача систем мониторинга, подкласса информационно-управляющих систем (ИУС), таких как Zabbix, Prometheus и т.п.

Во-вторых, состояние информационной системы характеризуется взаимной конфигурацией этих серверов. Например, обслуживает ли в данный момент сервер запросы пользователей либо находится в резерве, как показано на рис. 1, где стрелками обозначена взаимная конфигурация серверов, пунктиром – конфигурация, при которой запрос пользователя не направляется на резервные серверы до тех пор, пока основные находятся в рабочем состоянии?

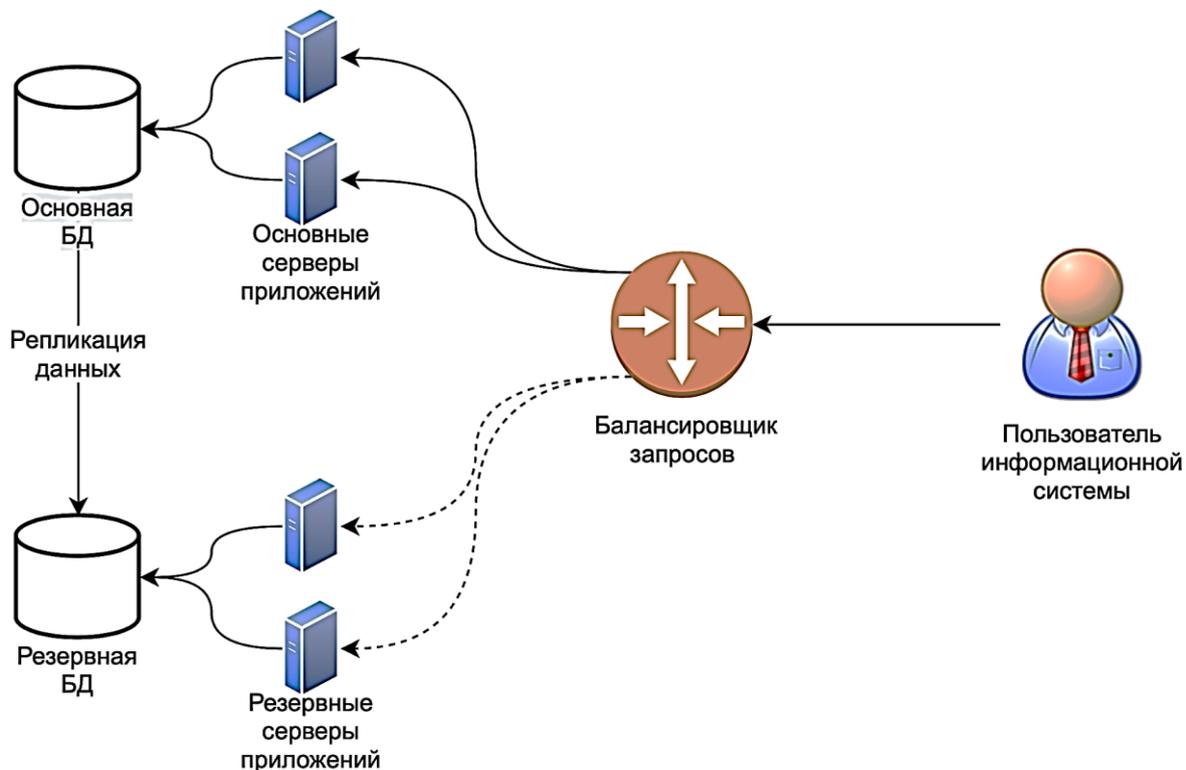


Рис. 1. Пример информационной системы с серверами приложений и базами данных

Информация о конфигурации информационной системы традиционно хранится в базе данных конфигурации. Это информация о том, с какой базой данных должен взаимодействовать конкретный сервер приложений, какой сервер в данный момент является резервным, какой находится на техническом обслуживании и пр.

В-третьих, помимо информации о состоянии серверов и их взаимной конфигурации, в рамках процедур, связанных с устранением и предотвращением сбоев (управление сбоями, управление проблемами, обеспечение информационной безопасности), фиксируется состояние ГРИС как единой сущности. В рамках процедуры управления сбоями, это информация о том, какие и сколько пользователей испытывают затруднения при обращении к сервису компании, когда сбой был зафиксирован и какие действия предпринимаются для восстановления необходимых характеристик сервиса. В рамках управления проблемами и обеспечения информационной безопасности фиксируются текущие уязвимости и сценарии, при которых работа ГРИС может быть нарушена, методы и средства, которые позволяют этого избежать, а также планы по внесению изменений в информационную систему, устраняющие данную уязвимость.

И в-четвертых, существует плановое, целевое состояние. Внесение изменений предусматривается не только в рамках устранения уязвимостей, но также и для развития сервиса в соответствии с требованиями бизнеса. При этом планы по внесению изменений, зафиксированные в виде заявок на внесение изменений, – это также информация (в данном случае – будущего) состояния ГРИС. Заявки на внесение изменений фиксируются в отдельной ИУС, такой как Change Management Portal.

Релевантные модели данных

С одной стороны, человечеством наработано несколько релевантных моделей данных, используемых в интересах управления состоянием сложных организационно-технических систем, с другой – в работе [5] авторами были декларированы организационно-технические принципы интеграции баз данных состояния ГРИС. Проанализируем существующие модели интеграции баз данных состояния ГРИС на соответствие этим принципам.

Для хранения и предоставления данных состояния традиционно используются реляционные базы данных, такие как MySQL, PostgreSQL и Oracle. Их особенностью является гарантия целостности данных: ситуация, при которой запись в одной из таблиц будет ссылаться на несуществующую запись в другой таблице предотвращается на этапе сохранения данных в базу. Механизм обеспечения целостности данных – это внешний «ключ», установленный на колонке таблицы, значения которой должны указывать на запись в другой таблице. Модель данных в этом случае будет подразумевать целостность данных, обеспеченную в момент сохранения данных в базу. Такую модель использует компания ServiceNow, предоставляющая услуги управления информационными сервисами. На рис. 2 представлен фрагмент этой модели.

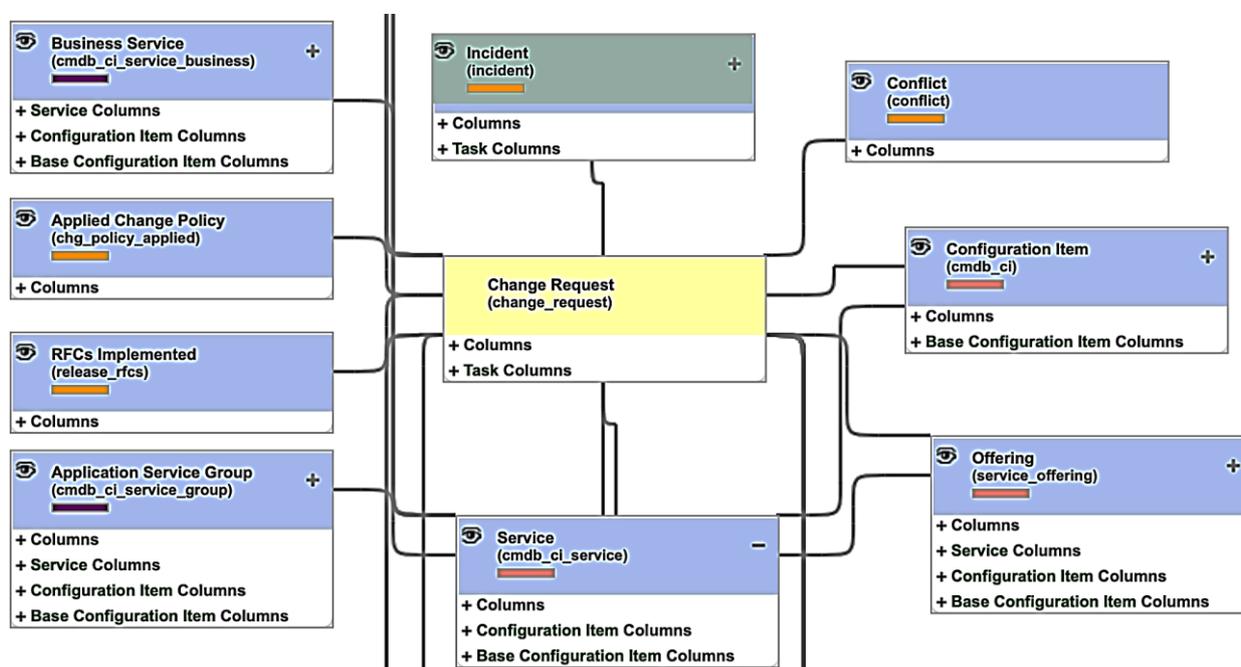


Рис. 2. Фрагмент модели данных состояния ГРИС, используемой службой эксплуатации компании ServiceNow

Данные, такие как заявка на изменение, сбои, конфликты, серверы и пр., связаны с помощью внешних «ключей». При таком подходе информация, для которой не удастся установить связь по внешнему «ключу», будет отсечена на этапе записи в базу и потеряна. Например, в момент сбоя информация о превышении порогового значения с сервера, не занесенного в базу данных, будет потеряна. Справедливо будет отметить, что наличие подобного сервера в эксплуатации указывает на нарушение процедур документооборота, однако, как правило, сбой и происходит по причине чьей-либо ошибки, которая рассматривается как обычное явление в процессе устранения сбоев. В результате данные состояния ГРИС, полученные согласно подобной модели, будут целостны, но не актуальны, что противоречит третьему принципу, а именно – «обеспечения доступной и максимально актуальной информацией» [5].

Также стоит отметить, что использование реляционной модели данных предполагает строго определенный набор атрибутов для каждой категории. Атрибут может быть обязательным и подпадать под определенный формат, например, быть числом либо строкой определенной длины. Следовательно, любая информация, которая идет на запись в базу данных, помимо требований целостности и наличия необходимых атрибутов, должна быть приведена к требуемому формату. Это означает, что часть информации, не соответствующая заданной модели, будет потеряна. Однако в случае использования комплекса ИУС для управления состоянием ГРИС, помимо получения информации о состоянии ГРИС, требуется также передача управляющего сигнала, основанного на интегрированных данных, обратно одной из ИУС, выступавшей изначально в качестве источника данных. В этом случае потеря исходной информации может помешать сформировать необходимый сигнал, что противоречит четвертому принципу, а именно – «сохранности и неизменности исходных данных при формировании обобщенного состояния» [5].

По своей сути, модель данных, разработанная для использования в реляционных базах, предполагает обеспечение целостности данных и не помогает решать задачи интеграции разнородных данных. Для решения последних чаще используются документоориентированные базы данных, такие как MongoDB, Elasticsearch и пр. Они допускают различающийся набор атрибутов и их формат для записей в одной коллекции (аналог таблицы), а также отсутствие целостности данных. Благодаря этим качествам, такие базы успешно используются для хранения и анализа «неструктурированной» информации, такой как журналы событий, включая события систем мониторинга, сигнализирующие о сбое в работе ГРИС.

Так, компания Яндекс в рамках своего облачного сервиса Yandex.Cloud, позволяющего получить доступ к инфраструктуре по требованию, предлагает услугу Yandex Managed Service for Elasticsearch, представляющую собой базу данных Elasticsearch и сервер с приложением Kibana, с помощью которого удобно формировать запросы и визуализировать полученные данные. Пример пользовательского интерфейса с вариантами визуализации данных показан на рис. 3.

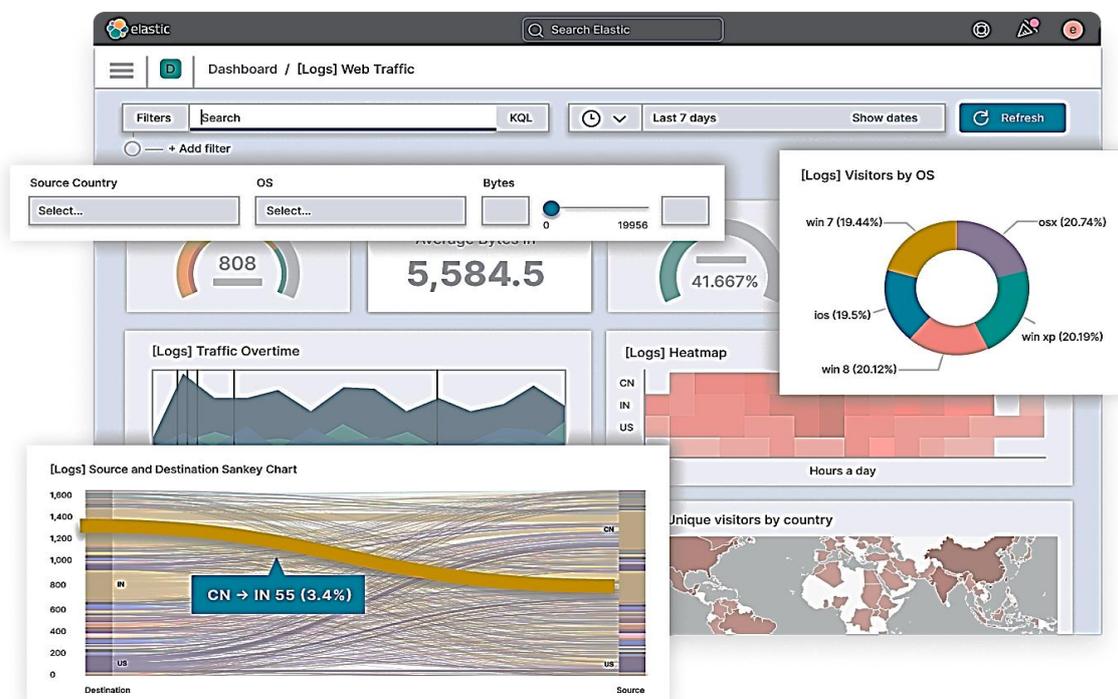


Рис. 3. Пример интерфейса приложения Kibana для визуализации неструктурированных данных из документо-ориентированной базы Elasticsearch

Сценарий использования связки Elasticsearch + Kibana предполагает запись потока неструктурированных данных в базу с дальнейшим их анализом оператором. Например, с целью выявления причины сбоя оператор формирует запрос к данным системы мониторинга за определенный период времени, в течение которого, предположительно, произошло событие, приведшее к сбою. Далее, с помощью графического интерфейса приложения Kibana определяет точный момент времени, когда показатели качества «облачного» сервиса начали отклоняться от нормы (пользователи стали получать сообщения об ошибке в ответ на запросы либо увеличилось время ответа). Имея точную отметку времени, оператор проверяет, какие изменения были внесены в систему в этот момент, формируя еще один запрос к данным в базе.

Подобный сценарий означает формирование интеграционной модели данных оператором «на лету»: для каждой конкретной задачи анализа данных определяются «ключи», по которым будут связаны разнородные данные (например, временная метка) и формируются запросы к базе. Что, однако, противоречит первому принципу, а именно – «универсальности интеграционной модели данных состояния ГРИС» [5].

Авторская интеграционная модель

Таким образом, информация состояния ГРИС складывается из, во-первых, состояния серверов, во-вторых, их взаимной конфигурации, в-третьих, текущих проблем и сбоев на уровне информационной системы как целого и, в-четвертых, информации о состоявшихся и запланированных изменениях. Сбором, обработкой и хранением этих данных занимаются разные группы ИУС, что характеризует данные как гетерогенные.

В каждой группе ИУС, будь то системы мониторинга, управления сбоями и другие, есть ряд коммерческих систем от различных производителей, а также зачастую компании разрабатывают свои собственные системы. При этом единого стандарта, который бы описывал формат и структуру данных для этих систем, не существует.

Однако существует набор стандартов и практик, которые описывают задачи, цели и процессы, в которых задействованы данные состояния ГРИС. ITIL (*аббр. от англ. IT Infrastructure Library*) описывает набор практик, целью которых является повышение эффективности службы эксплуатации [6]; COBIT (*аббр. от англ. Control Objectives for Information and Related Technologies*) своей целью ставит оценку эффективности работы службы эксплуатации для достижения целей компании [7]; ISO 2000 – серия стандартов, которые устанавливают требования, призванные гарантировать качество управления организациями, может быть использована не только применительно к информационным системам и услугам [8]; MOF (*аббр. от англ. Microsoft Operations Framework*) состоит из технических руководств, помогающих компаниям достигнуть требуемых от информационной системы уровней надежности, доступности, простоты в технической поддержке и управляемости при построении решений на базе продуктов и технологий Microsoft [9].

Известно, что задача мониторинга – это сбор и анализ данных состояния конкретных элементов информационной системы (серверов). Эти данные, независимо от того, какая система мониторинга задействована, обязательно характеризуются привязкой к моменту во времени, в который было зафиксировано то или иное значение состояния, а элементом ГРИС – к которому данное значение относится. Взаимная конфигурация серверов по определению будет указывать на два или более сервера, одним из которых может являться «родительский» сервер, принимающий запросы от пользователей.

Запись о сбое в системе в обязательном порядке содержит указание на интервал времени, в течение которого пользователи испытывали затруднения при обращении к сервису (отказ в обслуживании, снижение скорости отклика либо другие), а также указание на то, какие обращения они делали. Одним из первых шагов в рамках устранения сбоя будет установление «родительского» сервера, к которому обращаются пользователи, сообщившие

о сбое. Заявка на изменение – это документ, описывающий работы по техническому обслуживанию конкретных серверов, которые запланированы на определенный интервал времени.

В результате анализа различных категорий разнородной информации состояния ГРИС показывает, что существует универсальная связь, которая может быть представлена в виде интеграционной модели данных, показанной на рис. 4, где цифрами и стрелками обозначены «ключи» – атрибуты гетерогенных данных, по которым они могут быть интегрированы.

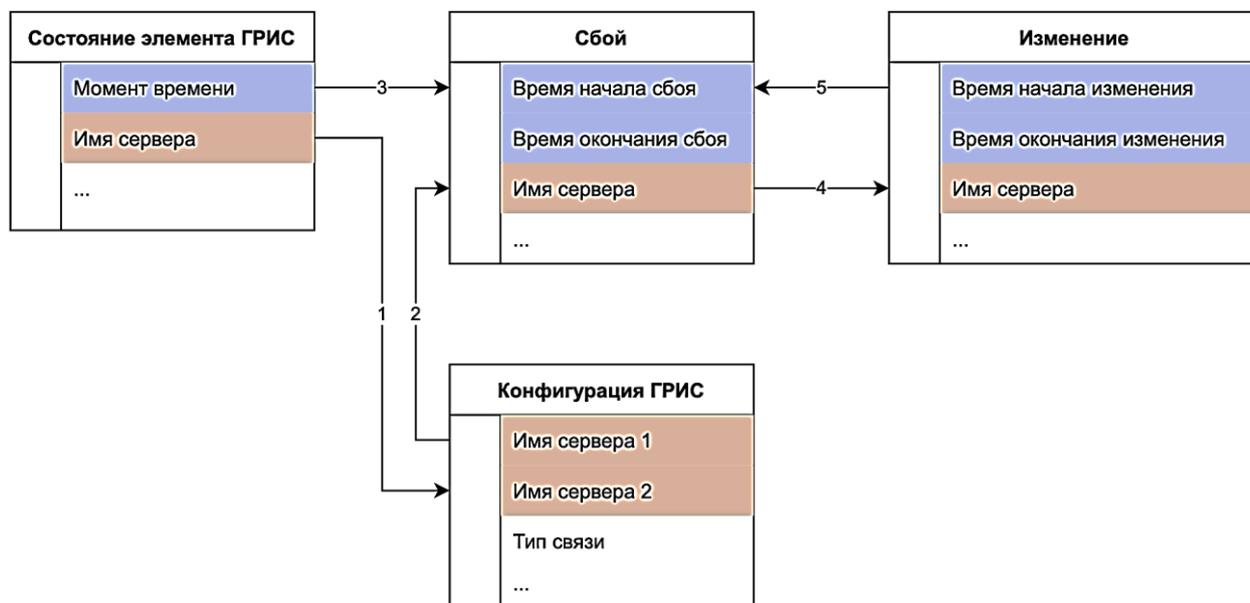


Рис. 4. Интеграционная модель данных состояний ГРИС

Проанализируем предлагаемую модель данных на соответствие принципам интеграции баз данных состояния ГРИС. Первый принцип – это универсальность интеграционной модели (против создания новой модели данных для выполнения новой задачи интеграции). Представленная интеграционная модель данных была получена авторами через анализ существующих стандартов и практик, выявление того общего и, соответственно, универсального, что в них есть и, таким образом, по способу своего формирования является универсальной.

Далее, в представленной модели в качестве «ключа» для интеграции гетерогенных данных используется атрибут исходных данных (имя сервера, момент времени), вместо традиционно используемого для этих целей идентификатора записи. Интеграция с использованием идентификатора в качестве «ключа» ставит своей целью оптимизацию формирования выборки данных (в данном случае – это обобщенное состояние ГРИС) и предполагает присвоение идентификаторов и ссылок на них заранее. В результате данные для интеграции должны быть получены и подготовлены для формирования выборки также заранее, до обращения пользователя. В отличие от этого, модель, в которой используются совпадающие атрибуты в качестве «ключей» интеграции, не требует получения и подготовки данных заранее, это может быть сделано непосредственно при обращении пользователя, от имени пользователя, что соответствует второму принципу – «персонализированности обращений к источникам данных от имени пользователя, запрашивающего обобщенное состояние ГРИС».

Также обращение к источникам данных в момент запроса пользователя на обобщенные состояния ГРИС позволяет получить максимально актуальную информацию, что соответствует третьему принципу – «обеспечения доступной и максимально актуальной информацией».

И, наконец, в представленной модели данные не приводятся к общей нормальной форме, что неизбежно потребовало бы их модификации (так как исходные данные по постановке гетерогенны и, даже обладая каждый своей нормальной формой, она будет различаться). Таким образом, модель не противоречит четвертому принципу – «сохранности и неизменности исходных данных при формировании обобщенного состояния».

Заключение

Распространение «облачных» сервисов в сочетании с высокими требованиями их доступности требует поиска и организации новых подходов к эксплуатации ГРИС.

Предложенная интеграционная модель данных состояния ГРИС разработана на основе накопленного опыта эксплуатации информационных систем, выраженного в стандартах и наборах Best Practices, таких как ITIL, COBIT, ISO 2000, MOF.

Также, она соответствует ранее задекларированным авторами в работе [5] принципам интеграции таких данных и, совместно с методикой прагматического анализа такой информации [10], может быть использована в интересах принятия управленческих решений службой эксплуатации.

Список источников

1. Российский рынок публичных облачных услуг 2020–2021 // TMT ИССЛЕДОВАНИЯ. URL: <http://tmt-consulting.ru/wp-content/uploads/2021/06/Рейтинг-TMT-Консалтинг-Рынок-публичных-облачных-услуг-2020-2021.pdf> (дата обращения: 31.05.2022).
2. Mell P., Grance T. SP 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. September, 2011. URL: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf> (дата обращения: 31.05.2022).
3. 2021, Facebook outage // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Facebook_outage (дата обращения: 31.05.2022).
4. Customers may have trouble connecting to or using Slack // Slack. URL: <https://status.slack.com/2021-01/9ecc1bc75347b6d1> (дата обращения: 31.05.2022).
5. Буйневич М.В., Ефимов В.В. Организационно-технические принципы интеграции баз данных состояния глобально распределенной информационной системы // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 2. С. 108–115.
6. Ингланд Р. Овладевая ITIL: пер. с англ. М.: Лайвбук, 2011. 200 с.
7. COBIT // Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Cobit> (дата обращения: 31.05.2022).
8. Алексеенко А.М. Международные стандарты ISO серии 9000:2000 // Российское предпринимательство. 2011. № 7 (2). С. 69–74.
9. Microsoft® Operations Framework 4.0 (MOF) // IT Expert. URL: <https://www.itexpert.ru/rus/biblio/detail.php?ID=16164&> (дата обращения: 31.05.2022).
10. Ефимов В.В. Методика прагматического анализа информации состояния «облачного» сервиса в интересах организации интерфейса службы эксплуатации глобально распределенной информационной системы // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 3. С. 183–193.

References

1. Rossijskij rynek publicznyh oblachnyh uslug 2020–2021 // TMT ISSLEDOVANIYA. URL: <http://tmt-consulting.ru/wp-content/uploads/2021/06/Rejting-TMT-Konsalting-Rynok-publicznyh-oblachnyh-uslug-2020-2021.pdf> (data obrashcheniya: 31.05.2022).
2. Mell P., Grance T. SP 800-145. The NIST Definition of Cloud Computing. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. September, 2011. URL: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf> (data obrashcheniya: 31.05.2022).

3. 2021, Facebook outage // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Facebook_outage (data obrashcheniya: 31.05.2022).
4. Customers may have trouble connecting to or using Slack // Slack. URL: <https://status.slack.com/2021-01/9ecc1bc75347b6d1> (data obrashcheniya: 31.05.2022).
5. Bujnevich M.V., Efimov V.V. Organizacionno-tekhnicheskie principy integracii baz dannyh sostoyaniya global'no raspredelennoj informacionnoj sistemy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 2. S. 108–115.
6. Inglad R. Ovladevaya ITIL: per. s angl. M.: Lajvbuk, 2011. 200 s.
7. COBIT // Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Cobit> (data obrashcheniya: 31.05.2022).
8. Alekseenko A.M. Mezhdunarodnye standarty ISO serii 9000:2000 // Rossijskoe predprinimatel'stvo. 2011. № 7 (2). S. 69–74.
9. Microsoft® Operations Framework 4.0 (MOF) // IT Expert. URL: <https://www.itexpert.ru/rus/biblio/detail.php?ID=16164&> (data obrashcheniya: 31.05.2022).
10. Efimov V.V. Metodika pragmaticheskogo analiza informacii sostoyaniya «oblačnogo» servisa v interesah organizacii interfejsa sluzhby ekspluatacii global'no raspredelennoj informacionnoj sistemy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 3. S. 183–193.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 06.06.2022; одобрена после рецензирования: 07.06.2022; принята к публикации: 08.06.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 06.06.2022; approved after review: 07.06.2022; accepted for publication: 08.06.2022

Информация об авторах:

Михаил Викторович Буйневич, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: bmv1958@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8146-0022>

Вадим Вячеславович Ефимов, ведущий эксперт по технологиям ООО «Сберобразование» (120170, Москва, Кутузовский пр., д. 32, к. 1, пом. 3.D.08), e-mail: 2vadim@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6883-9844>

Information about authors:

Mikhail V. Buinevich, professor of the department of applied mathematics and information technologies, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: bmv1958@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8146-0022>

Vadim V. Efimov, leading technology expert at Sberobrazovanie LLC (120170, Moscow, Kutuzovsky ave., 32, building 1, room 3.D.08), e-mail: 2vadim@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6883-9844>

ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 338.24.01 (371.3)

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ В ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ УНИВЕРСИТЕТА

Владимир Николаевич Лукин[✉];

Екатерина Владимировна Папырина.

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

Виктор Григорьевич Когут.

Межпарламентская Ассамблея государств-участников Содружества Независимых
Государств, Республика Беларусь

[✉]lvn55555@mail.ru

Аннотация. Исследуется и обобщается опыт формирования отечественной системы управления проектной деятельностью в вузовской цифровой образовательной среде; обосновывается необходимость внедрения современных форм и методов управления проектной деятельностью в цифровой образовательной среде. Системный, исторический и компаративный методы способствовали осуществлению экспресс-анализа мирового и отечественного опыта в этой сфере. Обозначены основные тренды формирования вузовской цифровой образовательной среды в западной модели образования. Отмечены особенности процесса формирования управления проектной деятельностью в российской модели цифрового образования. Выявлено наличие разных подходов к проблеме цифровизации образовательной среды в России.

В ходе исследования были выявлены и обобщены современные отечественные и зарубежные исследовательские практики в области цифровых гуманитарных наук.

Раскрыты место и роль проектного обучения в решении практических задач. Это позволяет оперативно реагировать на ускоряющиеся изменения рынка труда, а также возрастающие требования компаний к практическим навыкам выпускников учебных заведений.

Обоснована необходимость оперативной разработки и внедрения отечественного софта.

На примере формирования электронной образовательной среды в ряде российских высших учебных заведений раскрываются возможности оперативного встраивания вуза в процесс цифровизации и успешного конкурентирования на рынке предложений интеллектуального товара.

Ключевые слова: управление, проектная деятельность, университет, корпоративный университет, высшее образование, электронная образовательная среда, цифровизация

Для цитирования: Лукин В.Н., Папырина Е.В., Когут В.Г. Управление проектной деятельностью в цифровой образовательной среде университета // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 144–153.

PROJECT MANAGEMENT IN THE DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT OF THE UNIVERSITY

Vladimir N. Lukin[✉];

Ekaterina V. Papyrina.

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

Viktor G. Kogut.

Interparliamentary Assembly of the Member States of the Commonwealth of Independent States, Republic of Belarus

[✉]lvn55555@mail.ru

Abstract. The article explores and summarizes the experience of the formation of the national project management system in the university digital educational environment; substantiates the need for the introduction of modern forms and methods of project management in the digital educational environment. Systematic, historical and comparative methods contributed to the rapid analysis of world and domestic experience in this area. The main trends in the formation of the university digital educational environment in the Western model of education are outlined. The features of the process of project activity management formation in the Russian model of digital education are noted. The presence of different approaches to the problem of digitalization of the educational environment in Russia is revealed.

In the course of the study, modern domestic and foreign research practices in the field of digital humanities were identified and summarized.

The place and role of project-based learning in solving practical problems are revealed. This makes it possible to respond quickly to the accelerating changes in the labor market, as well as the increasing demands of companies on the practical skills of graduates of educational institutions.

The necessity of operational development and implementation of domestic software is justified.

Using the example of the formation of an electronic educational environment in a number of Russian higher educational institutions, the possibilities of operational integration of the university into the process of digitalization and successful competition in the market of intellectual goods offers are revealed.

Keywords: management, project activity, university, corporate university, higher education, electronic educational environment, digitalization

For citation: Lukin V.N., Papyrina E.V., Kogut V.G. Project management in the digital educational environment of the university // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ty of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 144–153.

Введение

Наступающая роботизация практически всех сфер жизни социума, активное вторжение в нашу жизнь искусственного интеллекта обостряют конкуренцию на рынке труда и формируют новые тренды в образовании. Проблема актуализируется глобальными тектоническими сдвигами, инициируемыми развитием современных технологий, особенно в области военно-промышленного комплекса ряда стран, развернувшейся гонкой вооружений.

В настоящее время в мире для определения объема количества цифровых данных информации используется не только терабайты, но и эксабайты (такой объем данных интернет-трафика генерировался каждый день еще десять лет назад) и даже зеттабайты (один зеттабайт содержит 1 024 эксабайтов).

Увеличение числа интернет-пользователей, перевод государственных услуг на цифровую сервисную модель, активный рост на рынке облачных услуг и интернета вещей делают неизбежным экспоненциальный рост (такое возрастание величины, когда скорость роста пропорциональна значению самой величины) потока цифровых данных и необходимость повышения профессиональной подготовки и переподготовки в разных сферах деятельности.

Методы исследования

В западной модели образования этот тренд формируется уже ряд лет. В последних исследованиях эксперты и ученые представляют цифровые гуманитарные науки как эпистемологические культуры и обосновывают необходимость и полезность формирования новых цифровых инструментов, активно пропагандируют игровые подходы в цифровой гуманитарной педагогике. Это могут быть цифровые лаборатории, способствующие созданию знаний, объектов и субъектов [1, 2], летние школы по цифровому редактированию [3] и т.п.

В научной инфраструктуре разрабатываются и предлагаются принципы предварительного обзора библиографических и критических значений, выражаемых научными веб-порталами для визуализации данных [4].

Современные исследовательские практики в области цифровых гуманитарных наук реализуются и на Востоке, в частности в Индии [5].

В России процесс формирования цифровой образовательной среды также не остается без внимания. Итоги отдельных исследований опубликованы в научных изданиях Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. Особое внимание уделяется интеграции профессионального образования в информационное образовательное пространство [6], учету психолого-педагогических особенностей студентов очной и заочной форм обучения в учебном процессе с применением дистанционных образовательных технологий [7, 8].

Панина Е.А., Н.Р. Круглова, И.В. Сартаков, Г.Н. Крайнов, Н.А. Царева исследуют актуальные проблемы, вызовы цифровизации образования, выявляют противоречия, заложенные в этом процессе [9–12].

Азаров А.А., Давыдова М.А., Лукушин В.А. процесс цифровизации исследуют через призму возможностей совершенствования вузовского образования [13].

Эти и другие ученые и эксперты обосновывают необходимость соответствующей реакции образовательной системы на неизбежный процесс цифровизации всех сторон жизни общества. В числе основных задач вузов – необходимость оперативно встроиться в активно формирующуюся тенденцию, занять еще пока незаполненную в целом нишу в образовательном процессе, использовать новые формы и методы обучения.

В «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» 2021 г. состояние науки и системы образования включены в перечень ключевых индикаторов конкурентоспособности России, а развитие человеческого потенциала отнесено к национальным интересам государства [14, п. 22; п. 25; п. 33.13].

Целью авторов является исследование и обобщение опыта формирования отечественной системы управления проектной деятельностью в вузовской цифровой образовательной среде. Объектом исследования является система управления проектной деятельностью в условиях цифровизации образовательного российского пространства, а предметом исследования – практика формирования системы проектной деятельности в отечественной электронной информационно-образовательной среде.

В ходе исследования решается задача по экспресс-анализу мирового и отечественного опыта проектного управления в электронной образовательной среде. Используются системный, исторический и компаративный методы.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время в числе основных задач вузов стоит необходимость оперативно встроиться в цифровую тенденцию, занять еще пока незаполненную в целом нишу в образовательном процессе, использовать новые формы и методы обучения. Такая задача актуализируется и современной обстановкой, диктующей скорейший переход на существование в новых условиях блокады практически всех сфер жизнедеятельности со стороны западного мира.

Одним из важнейших направлений здесь является проектное обучение, которое позволяет во многих аспектах максимально сблизить обучение и практику в возможно короткие сроки.

Практика деятельности, например корпоративных университетов, существующих уже около 70 лет и показавших свою эффективность в решении проблемы повышения профессиональной квалификации и переподготовки человеческого капитала, доказывает это [15].

Российская Федерация встроилась в этот тренд всего пару десятилетий назад. Отрицательное здесь в том, что в этом направлении развития сразу же было заложено отставание от государств, в которых активно формировалось цифровое образовательное пространство. Положительное – появилась возможность использовать накопленный мировой опыт даже таких стран, как Малайзия или Индонезия, не повторять ошибок в построении проектного управления.

Уже поставлена задача ускорения формирования отечественного программного продукта во всех сферах деятельности, включая образовательную. Российские цифровые методологии должны прийти на смену методологиям типа Agile, Google-Приложений для организации дистанционного обучения и способствующих использованию более практичных для обучаемых облачных сервисов. Облачные сервисы позволяют не перегружать информацией все виды устройств и в тоже время хранить больше полезной информации в облачных хранилищах типа Dropbox, OneDrive, Mega, ЯндексДиск и других, экономить студентам на расходах по закупке и обслуживанию программных продуктов. Подлежат замене и GoogleApps, GooglePlay, способствовавшие более активному использованию видеоряда в ходе занятий, что повышало качество дистанционного обучения.

Необходимо в процессе замены использовать и опыт прототипов, созданных на современных электронных платформах типа SAP, SCP, FIORI и PLM.

В российских вузах накоплен определенный опыт такой работы с использованием зарубежных достижений. Об этом свидетельствует рост отечественных научных публикаций по проблемам управления проектной деятельностью [16–19]. В числе авторов преподаватели и эксперты Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России [20–22].

Все более широкое распространение в России получали исследования иностранных авторов. Группа экспертов представила итоги исследования перспектив развития высшего образования [23]; в управлении проектами уделяется должное внимание ранним этапам институционализации комплексного осуществления проектов [24]; через рефрейминг системной интеграции раскрывается процессный взгляд на проекты [25]; регулярно осуществляется обзор публикаций по проблемам управления проектами [26].

Особый интерес вызывают результаты широкомасштабного исследования трансформаций систем высшего образования, происходивших в бывших республиках Советского Союза последнюю четверть века. Оно было проведено международной экспертной группой в составе более 40 ученых под руководством А. Смоленцевой, Й. Хаусмана, И. Фрумина, Д. Семенова при поддержке Всемирного банка [27].

Самого пристального внимания, изучения опыта и поддержки требуют усилия ряда российских вузов, активно внедряющих проектный подход в обучении.

Так, в Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) реализуется целая программа по привлечению к проектной деятельности студентов НИУ ВШЭ с использованием проектно-учебных лабораторий [28].

В Московском политехническом университете внедрение проектной деятельности понимается как часть модернизации вузовской образовательной системы [29].

Южный федеральный университет распространяет опыт внедрения проектного обучения в Институте компьютерных технологий и информационной безопасности ЮФУ [30].

Уральский федеральный университет (УрФУ) предлагает вузам для изучения и использования практику внедрения проектного обучения в университетах на примере Нижнетагильского технологического института УрФУ [31].

Особое место в образовательно-просветительской деятельности в этом направлении занимает структурное подразделение Национального исследовательского ядерного университета МИФИ (НИЯУ МИФИ, МИФИ) МИФИ-«Университет 2035», которое за короткий срок вышло в лидеры по реализации проектного метода в обучении. Один из авторов обучался передовым методам управления проектной деятельностью в рамках программы профессиональной переподготовки «Управление проектной деятельностью в цифровой образовательной среде университета».

Интересны, познавательны и полезны все шесть модулей предложенной программы. Методы подачи учебного материала, разнообразные кейсы и контрольные мероприятия стимулировали не только работу на лекциях, но и сподвигли к активной самостоятельной работе.

Примером управления проектной деятельностью в цифровой образовательной среде университета является и НИУ ВШЭ – поставщик образовательных услуг для компаний разных отраслей рынка, в том числе государственных структур, имеющих свое подразделение и в Санкт-Петербурге. Его Корпоративный университет предлагает корпоративные образовательные решения, разработанные ведущими специалистами и экспертами НИУ ВШЭ на основе современных технологий и подходов к бизнес-образованию.

Особенности корпоративного обучения: создание индивидуальных обучающих программ в тесном сотрудничестве с обучаемым и с учетом специфики вуза и будущей профессиональной среды; фокус на результатах обучения для профессии; использование реально существующих задач учреждения, ведомства в качестве кейсов в процессе обучения; баланс теоретических знаний и практических навыков; возможность выбрать место проведения обучения: на территории университета и на территории заказчика.

Форматы обучения разнообразны. Образовательный консалтинг: курсы на основе реальных ситуаций, в качестве кейсов рассматриваются конкретные проекты заказчика; краткосрочные программы: интенсивные тренинги для решения определённых задач или развития конкретных компетенций; комплексные модульные программы: долгосрочные программы, состоящие из модулей, каждый из которых является частью комплекса, при этом решает самостоятельные задачи; обучение с использованием дистанционных технологий на базе образовательной платформы Learning Management System (LMS), разработанной специалистами НИУ ВШЭ.

Основные направления обучения: развитие компетенций, цифровизация образовательного пространства, менеджмент; маркетинг (управление опытом, маркетинговые коммуникации в цифровой среде), управление проектами; финансовый менеджмент, бухгалтерский учет, стратегические сессии и воркшопы.

При разработке образовательных программ обеспечивается: анализ текущих потребностей вуза и ведомства в обучении, в зависимости от задач по специальности или конкретного проекта; определение оптимального формата обучения; оценка уровня подготовки постоянного и переменного состава; составление карты их компетенций

и потенциала, зон ближайшего развития; формирование программы с учётом ведомственной специфики.

Завершающий шестой модуль программы по управлению проектной деятельностью в «Университете Сбера» раскрывает механизм экосистемы и платформы ПАО «Сбер», роль в этом экспертов «Университета Сбер» подтверждена наличием в России устойчивой тенденции к ориентации на цифровизацию высшего образования. Подробную информацию по проблеме можно найти на сайте «Университет Сбер» <https://sberuniversity.ru/> [32].

Российская Федерация хорошими темпами нарастила численность вузов, которые стали использовать мировой цифровой передовой опыт, в их числе Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России.

Заключение

Таким образом, глобальная цифровизация образовательного процесса в настоящее время включает и отечественный образовательный процесс. В нем активно используется опыт, накопленный в процессе создания и функционирования, в том числе корпоративных университетов.

Экспресс-анализ результатов цифровизации образовательного пространства показал, что этот процесс осуществляется по двум основным направлениям: формирование цифровой образовательной среды в высших учебных заведениях и создание корпоративных учебных учреждений, организаций при (или) в структуре высших учебных заведений и корпораций.

В Российской Федерации в настоящий момент насчитывается более ста университетов, развивающих собственные электронные платформы или использующих апробированные зарубежные, а также отечественные.

Проблемы проектного управления становятся предметом научного исследовательского интереса, который вызвал рост научных публикаций как за рубежом, так и в России.

Список источников

1. Malazita J.W., Teboul E.J., Rafeh H. Digital Humanities as Epistemic Cultures: How DH Labs Make Knowledge, Objects, and Subjects // *Digital Humanities Quarterly*. 2020. Vol. 14. № 3.
2. Tracy D.G., Hoiem E.M. Scaffolding and Play Approaches to Digital Humanities Pedagogy: Assessment and Iteration in Topically-Driven Courses // *Digital Humanities Quarterly*. 2017. Vol. 11. № 4.
3. Rehbein M., Fritze Hands-On C. Teaching Digital Humanities: A Didactic Analysis of a Summer School Course on Digital Editing // *Digital Humanities Pedagogy: Practices, Principles and Politics*. 2012.
4. Guldi J. Scholarly Infrastructure as Critical Argument: Nine principles in a preliminary survey of the bibliographic and critical values expressed by scholarly web-portals for visualizing data // *Digital Humanities Quarterly*. 2020. Vol. 14. № 3.
5. Shanmugapriya T., Menon N. Infrastructure and Social Interaction: Situated Research Practices in Digital Humanities in India // *Digital Humanities Quarterly*. 2020. Vol. 14. № 3.
6. Гамбашидзе Н.А., Луговой А.А. Процессы интеграции дополнительного профессионального образования в информационное образовательное пространство // *Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества*. 2021. № 4 (53). С. 28–32.
7. Булат Р.Е., Лебедев А.Ю., Байчорова Х.С. Психолого-педагогические особенности очной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России»*. 2021. № 4. С. 171–181.
8. Никитин Н.А. Технология формирования готовности обучающихся очной формы обучения к освоению образовательной программы с применением дистанционных

- образовательных технологий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 4. С. 182–194.
9. Панина Е.А. Актуальные вопросы цифровизации образования в современных условиях // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2020. № 3 (46). С. 60–67.
10. Круглова Н.Р., Сартаков И.В. Некоторые аспекты анализа опыта цифровизации высшего образования // Профессиональное образование в современном мире. 2020. Т. 10. № 1. С. 3499–3507.
11. Крайнов Г.Н. Вызовы цифровизации российскому высшему образованию // Вестник МИРБИС. 2021. № 1 (25). С. 55–60.
12. Царёва Н.А. Поколение net: гуманизация или цифровизация // ИКОНИ. 2021. № 3. С. 144–152.
13. Азаров А.А., Давыдова М.А., Лукушин В.А. Цифровая трансформация российских университетов: возможности и вызовы // Социально-гуманитарные знания. 2022. № 1. С. 63–74.
14. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Рос. Федерации от 2 июля 2021 г. № 400. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046/page/1> (дата обращения: 17.04.2022).
15. Corporate Universities an Engine for Human Capital / Ph. Kolo [et al.]. AT A GLANCE, 2013. 20 p.
16. Гречушкина Н.В. Факторы интеграции онлайн-курсов в образовательную систему вуза // Качество открытого дистанционного образования концепции, проблемы, решения (DEQ-2017). Молодежь и наука: материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. и науч.-практ. конф. студентов. 2018. С. 66–70.
17. Проектное обучение в формате Всероссийской школы «Технологии+Бизнес» // Проектное обучение. Практика внедрения в университетах / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 136–148.
18. Тетюкова Е.П. Проектное обучение – инновационный подход к организации учебного процесса в высших учебных заведениях Российской Федерации // Физика. Технологии. Инновации: сб. материалов VI Междунар. молодеж. науч. конф., посвящ. 70-летию основания Физико-технологического института УрФУ. Екатеринбург: УрФУ, 2019. С. 349–358.
19. Догнак Н.А. Применение проектных технологий в высших учебных заведениях // Молодой ученый. 2019. № 389 (276). С. 151–153.
20. К вопросу организации дистанционного обучения в вузах МЧС России / Е.Н. Трофимец [и др.] // Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 45–51.
21. Перспективы развития электронного обучения в системе подготовки кадров МЧС России / А.А. Горбунов [и др.] // Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / сост. С.А. Турсенев. СПб.: С.-Петербур. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 266 с.
22. Захарова И.В. Тенденции развития рынков электронного обучения в Российской Федерации // Электронное обучение в непрерывном образовании: V Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2018. С. 24–32.
23. Accelerated Universities Ideas and Money Combine to Build Academic Excellence. Серия: Global Perspectives on Higher Education. Iss. 40 / edited by Ph. Altbach, L. Reisberg, J. Salmi, I. Froumin. Leiden; Boston: Brill, 2018. 194 p.
24. Hall D.M., Scott W. R. Early stages in the institutionalization of integrated project delivery // Project Management Journal. 2019. № 50 (2). P. 128–143.
25. Whyte J., Davies A. Reframing Systems Integrations: A Process Perspective on Projects // Project Management Institute. 2021. № 52 (3). P. 237–249. DOI: 10.1177/87569728211004064.

26. A Systematic Literature Review: The Front End of Projects / T. Williams [et al.] // *Sponsored Research*. 2019.
27. *Years of Transformations of Higher Education Systems in Post-Soviet Countries. Reform and Continuity. Ser.: Palgrave Studies in Global Higher Education* / J. Huisman [et al.] // Springer Nature. Basingstoke, 2018. 482 p.
28. НИУ ВШЭ. Проектная деятельность студентов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» // *Проектное обучение. Практика внедрения в университетах* / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 28–53.
29. Московский Политех. Внедрение проектной деятельности как часть модернизации образовательной системы // *Проектное обучение. Практика внедрения в университетах* / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 54–67.
30. Южный федеральный университет. Внедрение проектного обучения в Институте компьютерных технологий и информационной безопасности ЮФУ // *Проектное обучение. Практика внедрения в университетах* / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 106–135.
31. Уральский федеральный университет. Проектное обучение в Нижнетагильском технологическом институте УрФУ // *Проектное обучение. Практика внедрения в университетах* / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 88–105.
32. Цифровая трансформация в новой реальности (в партнерстве с INSEAD). URL: <https://sberuniversity.ru/learning/programms/programms/> (дата обращения: 16.04.2022).

References

1. Malazita J.W., Teboul E.J., Rafeh H. Digital Humanities as Epistemic Cultures: How DH Labs Make Knowledge, Objects, and Subjects // *Digital Humanities Quarterly*. 2020. Vol. 14. № 3.
2. Tracy D.G., Hoiem E.M. Scaffolding and Play Approaches to Digital Humanities Pedagogy: Assessment and Iteration in Topically-Driven Courses // *Digital Humanities Quarterly*. 2017. Vol. 11. № 4.
3. Rehbein M., Fritze Hands-On C. Teaching Digital Humanities: A Didactic Analysis of a Summer School Course on Digital Editing // *Digital Humanities Pedagogy: Practices, Principles and Politics*. 2012.
4. Guldi J. Scholarly Infrastructure as Critical Argument: Nine principles in a preliminary survey of the bibliographic and critical values expressed by scholarly web-portals for visualizing data // *Digital Humanities Quarterly*. 2020. Vol. 14. № 3.
5. Shanmugapriya T., Menon N. Infrastructure and Social Interaction: Situated Research Practices in Digital Humanities in India // *Digital Humanities Quarterly*. 2020. Vol. 14. № 3.
6. Gambashidze N.A., Lugovoi A.A. Processy integracii dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya v informacionnoe obrazovatel'noe prostranstvo // *Psihologo-pedagogicheskie problemy bezopasnosti cheloveka i obshchestva*. 2021. № 4 (53). S. 28–32.
7. Bulat R.E., Lebedev A.Yu., Baichorova H.S. Psihologo-pedagogicheskie osobennosti ochnoi formy obucheniya s primeneniem distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologii // *Nauch.-analit. zhurn «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2021. № 4. S. 171–181.
8. Nikitin N.A. Tekhnologiya formirovaniya gotovnosti obuchayushchihsya ochnoi formy obucheniya k osvoeniyu obrazovatel'noi programmy s primeneniem distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologii // *Nauch.-analit. Zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2021. № 4. S. 182–194.
9. Panina E.A. Aktual'nye voprosy cifrovizacii obrazovaniya v sovremennyh usloviyah // *Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2020. № 3 (46). S. 60–67.
10. Kruglova N.R., Sartakov I.V. Nekotorye aspekty analiza opyta cifrovizacii vysshego obrazovaniya // *Professional'noe obrazovanie v sovremennom mire*. 2020. T. 10. № 1. S. 3499–3507.

11. Krajnov G.N. Vyzovy cifrovizacii rossijskomu vysshemu obrazovaniyu // Vestnik MIRBIS. 2021. № 1 (25). S. 55–60.
12. Caryova N.A. Pokolenie net: gumanizaciya ili cifrovizaciya // IKONI. 2021. № 3. S. 144–152.
13. Azarov A.A., Davydova M.A., Lukushin V.A. Cifrovaya transformaciya rossijskih universitetov: vozmozhnosti i vyzovy // Social'no-gumanitarnye znaniya. 2022. № 1. S. 63–74.
14. O Strategii nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 2 iyulya 2021 g. № 400. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046/page/1> (data obrashcheniya: 17.04.2022).
15. Corporate Universities an Engine for Human Capital / Ph. Kolo [et al.] AT A GLANCE, 2013. 20 p.
16. Grechushkina N.V. Faktory integracii onlaĭn-kursov v obrazovatel'nyu sistemu vuza // Kachestvo otkrytogo distancionnogo obrazovaniya koncepcii, problemy, resheniya (DEQ-2017). Molodezh' i nauka: materialy XIX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. i nauch.-prakt. konf. studentov. 2018. S. 66–70.
17. Proektnoe obuchenie v formate Vserossiĭskoj shkoly «Tekhnologii+Biznes» // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 136–148.
18. Tetyukova E.P. Proektnoe obuchenie – innovacionnyj podhod k organizacii uchebnogo processa v vysshih uchebnyh zavedeniyah of the Russian Federation // Fizika. Tekhnologii. Innovacii: sb. materialov VI Mezhdunar. molodezh. nauch. konf., posvyashch. 70-letiyu osnovaniya Fiziko-tekhnologicheskogo instituta UrFU. Ekaterinburg: UrFU, 2019. S. 349–358.
19. Dognak N.A. Primenenie proektnykh tekhnologij v vysshih uchebnyh zavedeniyah // Molodoj uchenyj. 2019. № 389(276). S. 151–153.
20. K voprosu organizacii distancionnogo obucheniya v vuzah MCHS Rossii / E.N. Trofimec [i dr.] // Podgotovka kadrov v sisteme preduprezhdeniya i likvidacii posledstvij chrezvychajnykh situacij: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2018. S. 45–51.
21. Perspektivy razvitiya elektronnoho obucheniya v sisteme podgotovki kadrov MCHS Rossii / A.A. Gorbunov [i dr.] // Podgotovka kadrov v sisteme preduprezhdeniya i likvidacii posledstvij chrezvychajnykh situacij: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / sost. S.A. Tursenev. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017. 266 s.
22. Zaharova I.V. Tendencii razvitiya rynkov elektronnoho obucheniya v Rossiĭskoj Federacii // Elektronnoe obuchenie v nepreryvnom obrazovanii: V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb., 2018. S. 24–32.
23. Accelerated Universities Ideas and Money Combine to Build Academic Excellence. Seriya: Global Perspectives on Higher Education. Iss. 40 / edited by Ph. Altbach [et al.]. Leiden; Boston: Brill, 2018. 194 p.
24. Hall D.M., Scott W. R. Early stages in the institutionalization of integrated project delivery // Project Management Journal. 2019. № 50 (2). P. 128–143.
25. Whyte J., Davies A. Reframing Systems Integrations: A Process Perspective on Projects // Project Management Institute. 2021. № 52 (3). P. 237–249. DOI: 10.1177/87569728211004064.
26. A Systematic Literature Review: The Front End of Projects / T. Williams [et al.] // Sponsored Research. 2019.
27. Years of Transformations of Higher Education Systems in Post-Soviet Countries. Reform and Continuity. Ser.: Palgrave Studies in Global Higher Education / J. Huisman [et al.] // Springer Nature. Basingstoke, 2018. 482 p.
28. NIU VSHE. Proektnaya deyatel'nost' studentov Nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta «Vysshaya shkola ekonomiki» // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 28–53.
29. Moskovskij Politekh. Vnedrenie proektnoj deyatel'nosti kak chast' modernizacii obrazovatel'noj sistemy // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 54–67.

30. Yuzhnyĭ federal'nyĭ universitet. Vnedrenie proektnogo obucheniya v Institute komp'yuternykh tekhnologii i informacionnoĭ bezopasnosti YUFU // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 106–135.

31. Ural'skiĭ federal'nyĭ universitet. Proektnoe obuchenie v Nizhnetagil'skom tekhnologicheskom institute UrFU // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 88–105.

32. Cifrovaya transformaciya v novoj real'nosti (v partnerstve s INSEAD). URL: <https://sberuniversity.ru/learning/programms/programms/> (data obrashcheniya: 16.04.2022).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 18.04.2022; одобрена после рецензирования: 16.05.2022; принята к публикации: 18.05.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 18.04.2022; approved after review: 16.05.2022; accepted for publication: 18.05.2022

Информация об авторах:

Лукин Владимир Николаевич, профессор кафедры философии и социальных наук Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, ассоциированный научный сотрудник Федерального научно-исследовательского социологического центра Российской академии наук – Социологического института РАН, действительный член Петровской академии наук и искусств (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор политических наук, кандидат исторических наук, доцент, e-mail: lvn5555@mail.ru

Когут Виктор Григорьевич, заместитель Генерального секретаря Совета Межпарламентской ассамблеи СНГ, доцент кафедры теории и истории государства и права Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат политических наук, e-mail: vgkogut@gmail.com

Папырина Екатерина Владимировна, научный сотрудник отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: papyrina@mail.ru

Information about authors:

Vladimir N. Lukin, professor of the department of philosophy and social sciences of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, associate researcher of the Federal Research sociological center of the Russian academy of sciences – Sociological institute of the Russian academy of Sciences, full member of the Petrovsky academy of sciences and arts (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), doctor of political sciences, candidate of historical sciences, associate professor, e-mail: lvn5555@mail.ru

Viktor G. Kogut, deputy secretary General of the council of the CIS Interparliamentary assembly, associate professor of the department of theory and history of state and law, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), candidate of political sciences, e-mail : vgkogut@gmail.com

Ekaterina V. Papyrina, researcher of the department of information support for the population and information support technologies of the RSChS and fire safety of the center for organization of research and editorial activities of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, e-mail: papyrina@mail.ru

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 51-77:614.84

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВАКУАЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ В НОЧНОМ КЛУБЕ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОЙ СЕТИ

Анастасия Алексеевна Задунова✉.

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

✉nastyas300696@mail.ru

Аннотация. Представлена модель эвакуации при пожаре в ночном клубе. Модель представляет собой байесовскую сеть, реализованную в программе GeNIe Academic. В предлагаемой модели определены и проанализированы факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс и время эвакуации при пожаре. Используя распределение вероятностей рассматриваемых факторов, сведения из литературы и реальные эмпирические данные становится возможным оценить и спрогнозировать процесс спасения и время эвакуации с использованием предложенной модели. Модель дает возможность оценить величину воздействия различных факторов на процесс эвакуации и обосновать управленческие решения, направленные на снижение времени эвакуации при пожаре в ночном клубе.

Ключевые слова: байесовская сеть, эвакуация, пожар, ночной клуб

Для цитирования: Задунова А.А. Моделирование эвакуации при пожаре в ночном клубе на основе байесовской сети // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 154–162.

FIRE EVACUATION MODELING IN A NIGHTCLUB BASED ON A BAYESIAN NETWORK

Anastasia A. Zadurova✉.

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

✉nastyas300696@mail.ru

Abstract. The article presents a model of evacuation in case of a fire in a nightclub. The model is a Bayesian network implemented in the GeNIe Academic program. The proposed model identifies and analyzes the factors that have the greatest impact on the process and time of evacuation in case of fire. Using the probability distribution of the factors under consideration, information from the literature and real empirical data, it becomes possible to estimate and predict the rescue process and evacuation time using the proposed model. The model makes it possible to estimate the magnitude of the impact of various factors on the evacuation process and justify management decisions aimed at reducing the evacuation time in case of a fire in a nightclub.

Keywords: Bayesian network, evacuation, fire, nightclub

For citation: Zadurova A.A. Fire evacuation modeling in a nightclub based on a bayesian network // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ta of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 154–162.

Введение

Обеспечение безопасности людей при пожарах в общественных зданиях – одна из важнейших задач, решению которой посвящены исследования многих как отечественных, так и зарубежных ученых. Ночные клубы не являются исключением, поскольку объектам такого рода характерно массовое скопление людей на довольно ограниченной территории. Поэтому процессу эвакуации при пожарах в ночных клубах стоит уделить особое внимание.

На основе анализа крупнейших пожаров в ночных клубах мира можно сделать вывод, что наиболее распространенными причинами их возникновения является использование пиротехники и поджог, кроме того, в подавляющем большинстве заведений не соблюдались нормы и правила пожарной безопасности [1]. Процессу эвакуации при пожарах в ночных клубах характерна высокая степень неопределенности [2–4]. Требуется всестороннее изучение множества факторов, оказывающих влияние на процесс развития пожаров и эвакуации людей в ночных клубах. Результаты таких эмпирических исследований дадут возможность обосновать управленческие решения, направленные на оптимизацию процесса эвакуации и обеспечения безопасности людей в кризисных и чрезвычайных ситуациях (ЧС) [5–7].

С целью повышения уровня безопасности людей в ночных клубах был проведен ряд исследований. Эти исследования были направлены на изучение особенностей проектирования зданий ночных клубов, распространения опасных факторов пожара (ОФП), оценку времени эвакуации и принятие решений в ЧС [8]. Тем не менее данные исследования имеют исключительно фрагментарный характер, до сих пор существует значительный недостаток проверенных эмпирических данных и практического опыта в сфере реагирования на ЧС в данной категории объектов. Значительное влияние факторов неопределенности и сложности складывающейся ситуации предполагает использование методов моделирования процесса эвакуации при пожарах в ночных клубах для принятия обоснованных управленческих решений. В этом отношении байесовские сети являются мощнейшим аппаратом для моделирования сложных проблем с большим количеством факторов неопределенности [9, 10].

Целью данной статьи является разработка байесовской сети для моделирования и исследования процесса эвакуации при пожаре в ночном клубе и оценки времени эвакуации. В работе представлены теоретические основы, применяемые в данном исследовании, описание модели байесовской сети для процесса эвакуации и результаты моделирования.

Методы исследования

Байесовская сеть – это вероятностная графическая модель, которая служит для описания уровня неопределенности в различных системно сложных системах, снижения вычислительной сложности, прогнозирования эффективности принятия различных решений. Байесовскую сеть можно определить как ориентированный ациклический граф, состоящий из узлов и дуг, в котором узлы представляют случайные величины, а дуги иллюстрируют связи и отношения между этими узлами.

Чтобы разработать модель байесовской сети в любом программном обеспечении, первым шагом является определение переменных (узлов) и зависимостей (дуг) [11]. В рассматриваемой постановке задачи узлами выступают факторы, влияющие на процесс эвакуации при пожаре в ночном клубе (например, максимальная вместимость здания ночного клуба, исправность пожарной автоматики, ширина путей эвакуации, загруженность путей эвакуации, психоэмоциональное состояние людей, наличие паники и т.д.), а дуги иллюстрируют взаимосвязь причин и следствий. Каждый узел может иметь несколько состояний, каждое из которых может возникнуть с определенной вероятностью. Для корневого узла (у которого нет родителей) определяются априорные вероятности. Также формируется таблица условной вероятности для остальных узлов. На следующем этапе все

значения вероятностей нормализуются в диапазоне от 0 до 1. При отсутствии точных данных о распределении вероятностей, они приводятся на основе предложений экспертов или с использованием эмпирических данных об уже случившихся пожарах в ночных клубах [12].

Вероятности в байесовской сети могут рассматриваться и оцениваться как условные и безусловные и показаны в процентах.

В данной работе с помощью байесовской сети моделируется анализ времени эвакуации, используя представленные выше методы, чтобы определить факторы, влияющие на процесс спасения людей при пожаре в ночном клубе и вызывающие превышение времени эвакуации. Модель разработана с использованием программного обеспечения GeNIe.

В разработанной модели байесовской сети представлен обзор всего процесса спасения и эвакуации людей при пожаре в ночном клубе, рассмотрены важнейшие факторы, оказывающие влияние на процесс эвакуации и потенциально приводящие к превышению фактического времени эвакуации по сравнению с требуемым. Учитываются такие факторы как состояние путей эвакуации, место возникновения пожара, распространение паники, наличие систем автоматического пожаротушения и систем оповещения и др.

Все факторы представлены в виде узлов байесовской сети, которые связаны направленными дугами, формирующими взаимосвязи причин и следствий. Многократный запуск модели байесовской сети позволяет проводить анализ факторов, выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс эвакуации при пожаре в ночном клубе [13–15].

Результаты исследования

Для разработки модели и ее анализа необходимо сделать ряд предположений. Предлагается упрощенная схема типового здания одноэтажного ночного клуба (рис. 1). Как показано на рис. 1, ночной клуб включает в себя три зоны со столами для посетителей (А, С, D₄), находящиеся на разном расстоянии от выходов E₁ и E₂ (основного и запасного), сцену (В), гардероб (D₂), танцпол (D₃), два бара – слева и справа соответственно (D₁ и D₅) и служебное помещение (D₆).

На рис. 2 изображен двунаправленный граф, иллюстрирующий связь между помещениями ночного клуба. Например, люди могут перемещаться из А в D₁ или из В в D₃ и наоборот, тогда как для достижения одного из выходов Е переход в вершины D неизбежен. Предположим, что проведение различных файер-шоу и использование пиротехники наиболее вероятно на сцене ночного клуба (вершина В), поэтому вероятность возникновения пожара здесь будет выше. Кроме того, предположим, что в вершинах Е не будет пожара, и эти вершины являются конечным пунктом назначения людей при эвакуации из здания ночного клуба.

На рис. 3 представлена предлагаемая байесовская сеть процесса эвакуации при пожаре в ночном клубе. В таблице представлено описание узлов сформированной байесовской сети.

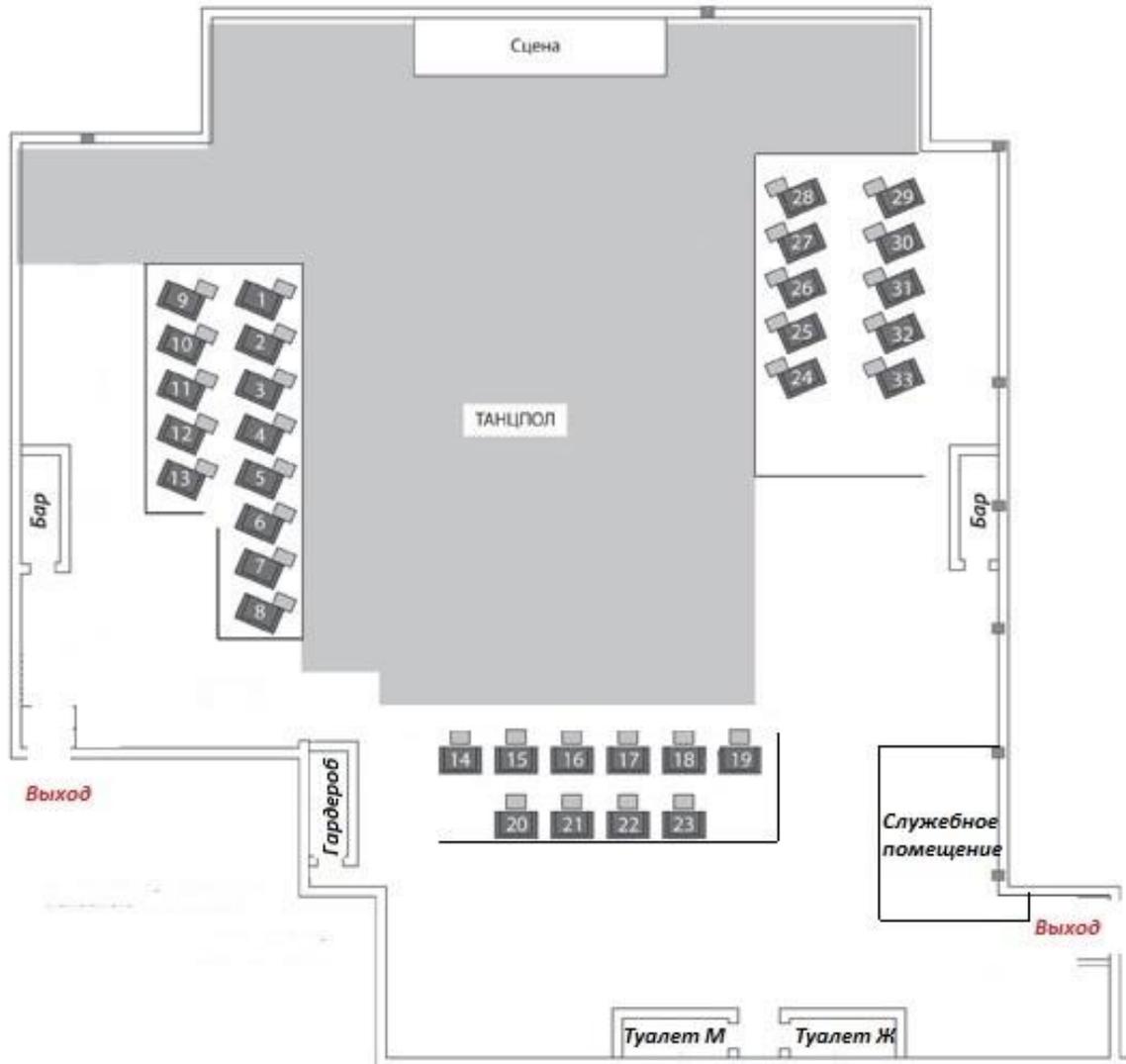


Рис. 1. Упрощенная схема типового здания одноэтажного ночного клуба

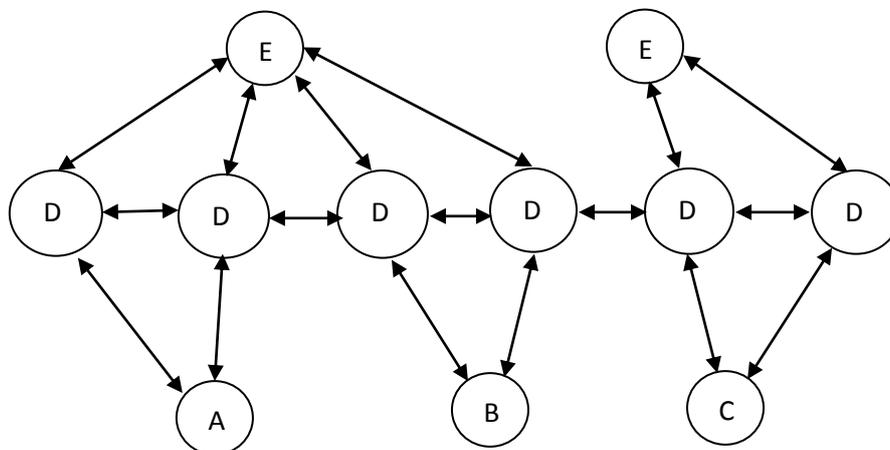


Рис. 2. Двухнаправленный граф связей между помещениями ночного клуба

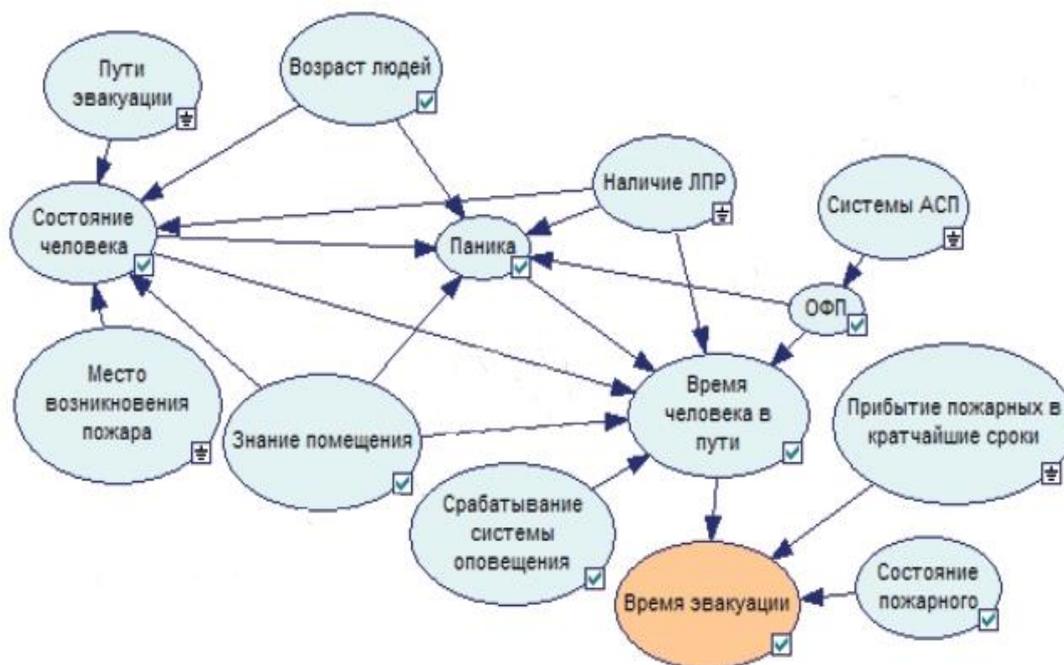


Рис. 3. Модель байесовской сети

(ЛПР – лицо, принимающее решения; АСП – автоматизированные средства пожаротушения)

Таблица. Описание узлов байесовской сети

Узлы	Количество состояний	Состояния	Описание
Пути эвакуации	2	Свободны / Загромождены (заблокированы)	Возможность беспрепятственно двигаться к выходу из здания
Место возникновения пожара	9	A/B/C/D ₁ /D ₂ /D ₃ /D ₄ /D ₅ /D ₆	Согласно рис. 3 и сделанному ранее предположению, что пожар не может начаться в вершинах E, с наибольшей вероятностью пожар происходит в зоне B
Возраст людей	2	Менее 40 / Более 40	Возраст человека оказывает влияние на его физическое состояние и подверженность панике
Наличие ЛПР	2	Да / Нет	Допускается возможность того, что кто-то из посетителей (или сотрудников клуба) возьмет на себя руководство людьми при пожаре, чтобы снизить уровень паники
Знание помещения	2	Да / Нет	Наличие предварительных знаний о расположении помещений и выходов ночного клуба
Состояние человека	2	Не пострадал / Пострадал	Воздействие на человека ОФП, наличие физических повреждений
Паника	2	Да / Нет	Подверженность людей панике
Системы дымоудаления и АСП	2	Сработали / Не сработали	Работоспособность систем дымоудаления и АСП
ОФП	2	Воздействуют / Не воздействуют	Воздействие ОФП на людей
Срабатывание системы оповещения	2	Да / Нет	Работоспособность системы оповещения людей о пожаре

Узлы	Количество состояний	Состояния	Описание
Время человека в пути	2	Норма / Превышено	Время человека в пути напрямую влияет на время эвакуации
Своевременность прибытия пожарного расчета	2	Вовремя / С задержкой	Влияние на процесс эвакуации прибывших пожарных
Состояние пожарного	2	Не пострадал / пострадал	Воздействие на пожарных ОФП, наличие физических повреждений
Время эвакуации	2	Норма / Превышено	Информация о времени эвакуации зависит от влияния совокупности определенных выше факторов

Далее определяются априорные и условные вероятности для всей сети, опираясь на статистику и информацию из открытых источников, а также используя сделанные ранее предположения, что возгорание начнется с наибольшей вероятностью в узле В, а в узлах Е возгорания точно не произойдет.

В данной работе были рассмотрены два сценария для оценки времени эвакуации при пожаре в ночном клубе с использованием аппарата байесовских сетей.

Сценарий 1

Описывая сценарий 1, предполагаем, что в рассматриваемом ночном клубе пути эвакуации не загромождены, пожар возникает на сцене, кто-то из посетителей берет на себя руководство людьми, что снижает уровень паники, системы оповещения, дымоудаления и автоматического пожаротушения полностью исправны и срабатывают без сбоев, пожарный караул прибывает за требуемое время. Задав все указанные условия в разработанную модель байесовской сети, получаем следующий результат (рис. 4). Время эвакуации при условиях, заданных в сценарии 1, может быть превышать требуемое в 12 % случаев.

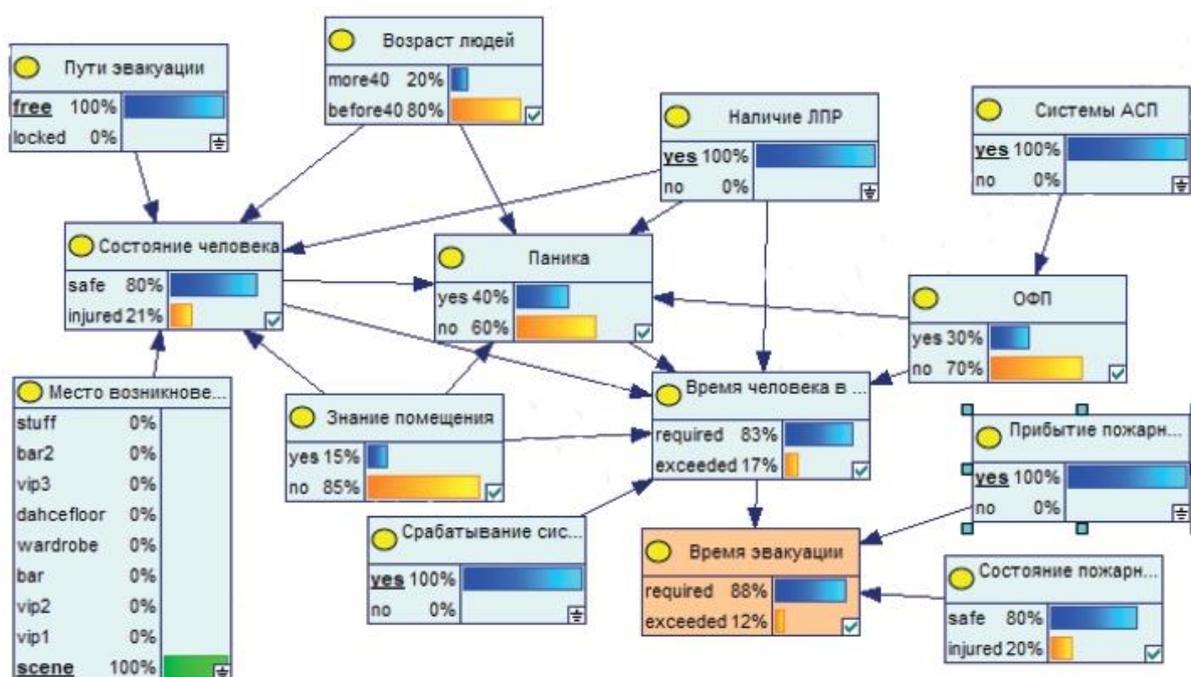


Рис. 4. Результаты моделирования по сценарию 1

Сценарий 2

Описывая сценарий 2, предполагаем, что пути эвакуации могут быть загромождены, пожар возникает на сцене, никто из посетителей не берет на себя руководство людьми, что повышает уровень паники, автоматизированные системы пожаротушения не срабатывают, что приводит к более интенсивному воздействию ОФП на людей, а пожарный караул прибывает с задержкой. Задав все указанные условия в разработанную модель байесовской сети, получаем следующий результат (рис. 5). Время эвакуации при условиях, заданных в сценарии 2, будет превышать требуемое в 31 % случаев.

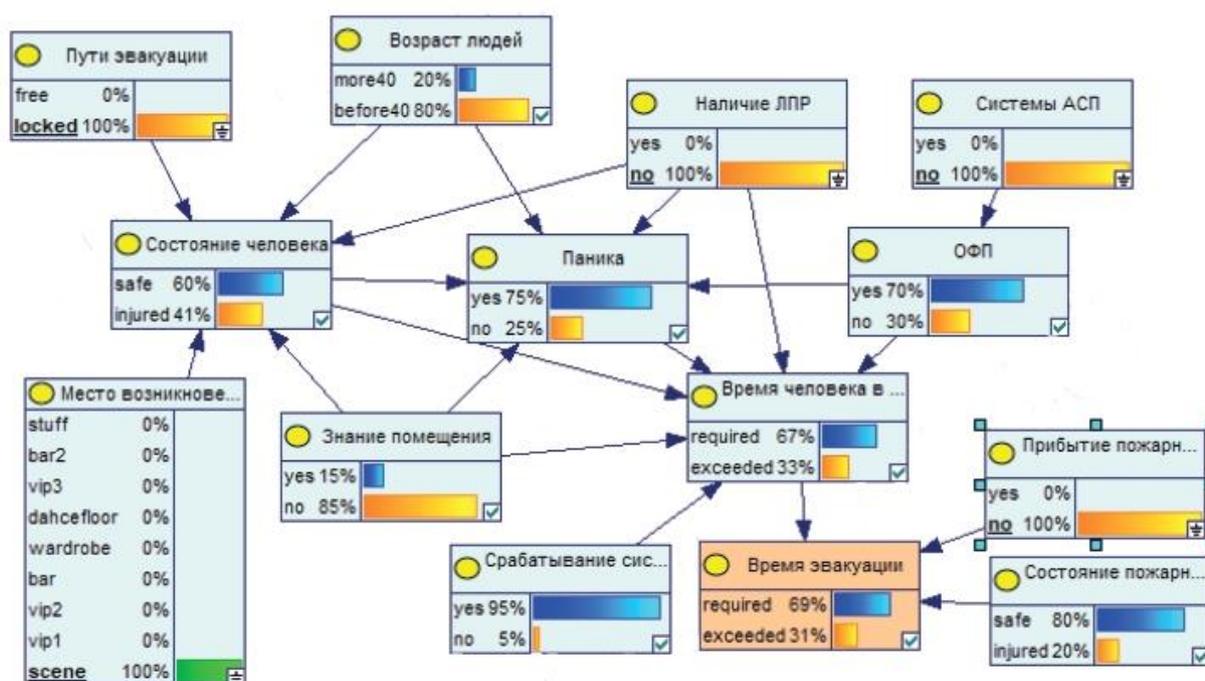


Рис. 5. Результаты моделирования по сценарию 2

Заключение

Таким образом, в предлагаемой модели определены и проанализированы факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс и время эвакуации, а сама модель байесовской сети дает возможность оценить величину воздействия различных факторов на процесс эвакуации и обосновать эффективность принятия управленческих решений, направленных на недопущение превышения допустимого времени на эвакуацию при пожаре в ночном клубе.

Многократный запуск модели байесовской сети позволит выявить факторы, которые оказывают большее влияния на время протекания процесса эвакуации. Применение полученной информации на практике позволит сократить число пострадавших и снизить материальный ущерб при пожарах в ночных клубах.

Список источников

1. Задурова А.А., Матвеев А.В., Смирнов А.С. Анализ пожаров на объектах с массовым пребыванием людей на примерах ночных клубов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 20–28.
2. Kobayashi K. Fire Investigation Report of Club «Santika» in Bangkok // Fire Science and Technology. 2011. Vol. 30. № 2 (Spec. Iss.). P. 45–54.

3. Report of the technical investigation of The Station Nightclub fire: appendices / W. Grosshandler [et al.] // NIST NCSTAR. 2005. № 2.
4. A computational study of the station nightclub fire accounting for social relationships / S. El-Tawil [et al.] // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. Vol. 20. № 4.
5. Матвеев А.В. Организационные и методические аспекты обеспечения безопасности потенциально опасных объектов. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 144 с.
6. Матвеев А.В., Ефремов С.В. Модель процесса аварийной эвакуации из здания в случае пожара при нестационарном потоке людей // Безопасность жизнедеятельности. 2013. № 2. С. 45–50.
7. Матвеев А.В., Попивчак И.И. Управление безопасностью персонала АЭС при пожаре // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2018. № 3 (23). С. 92–101.
8. Matveev A.V., Maximov A.V., Zadurova A.A. Simulation model of emergency evacuation in case of fire in a nightclub // IOP Conference Ser. Earth and Environmental Science. Ser.: International Science and Technology Conference «Earth Science». 2021. P. 012019.
9. Звягин Л.С. Байесовские интеллектуальные технологии – инновационный метод анализа в условиях неопределённости // Отраслевые аспекты технических наук. 2011. № 11. С. 13–19.
10. Савин А.В. Байесовский подход в современном анализе: алгоритмы и синтез // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2018. Т. 2. С. 635–638.
11. Власенко А.И. Обзор программных решений для построения байесовских сетей // Проблемы управления в социально-экономических и технических системах: сб. науч. статей по материалам XII Междунар. науч. конф. / отв. ред. Т.Э. Шульга. 2016. С. 138–139.
12. Задунова А.А. Использование аппарата байесовских сетей при оценивании вероятности пожара на примере ночного клуба: сб. трудов секции № 11 XXXII Междунар. науч.-практ. конф. Химки, 2022. С. 97–102.
13. Enabling a powerful marine and offshore decision-support solution through bayesian network technique / A.G. Eleye-Datubo [et al.] // Risk Analysis. 2006. Vol. 26. P. 695–721.
14. Hänninen M., Kujala P. Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model. Reliability Engineering and System Safety. 2012. Vol. 102. P. 27–40.
15. Звягин Л.С. Особенности использования байесовского подхода для выявления проблем анализа статистики ситуаций различных процессов и поиска их решений // Мягкие измерения и вычисления. 2021. Т. 48. № 11. С. 54–65.

Referenses

1. Zadurova A.A., Matveev A.V., Smirnov A.S. Analiz požarov na ob"ektah s massovym prebyvaniem lyudej na primerah nochnyh klubov // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 20–28.
2. Kobayashi K. Fire Investigation Report of Club «Santika» in Bangkok // Fire Science and Technology. 2011. Vol. 30. № 2 (Spec. Iss.). P. 45–54.
3. Report of the technical investigation of The Station Nightclub fire: appendices / W. Grosshandler [et al.] // NIST NCSTAR. 2005. № 2.
4. A computational study of the station nightclub fire accounting for social relationships / S. El-Tawil [et al.] // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. Vol. 20. № 4.
5. 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.
6. Matveev A.V., Efremov S.V. Model' processa avarijnoj evakuacii iz zdaniya v sluchae požara pri nestacionarnom potoke lyudej // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2013. № 2. S. 45–50.
7. Matveev A.V., Popivchak I.I. Upravlenie bezopasnost'yu personala AES pri požare // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2018. № 3 (23). S. 92–101.

8. Matveev A.V., Maximov A.V., Zadurova A.A. Simulation model of emergency evacuation in case of fire in a nightclub. V sbornike: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser.: International Science and Technology Conference «Earth Science». 2021. P. 012019.

9. Zvyagin L.S. Bajesovskie intellektual'nye tekhnologii – innovacionnyj metod analiza v usloviyah neopredelyonnosti // Otrasleyve aspekty tekhnicheskikh nauk. 2011. № 11. S. 13–19.

10. Savin A.V. Bajesovskij podhod v sovremennom analize: algoritmy i sintez // Mezhdunarodnaya konferenciya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam. 2018. T. 2. S. 635–638.

11. Vlasenko A.I. Obzor programmnyh reshenij dlya postroeniya bajesovskih setej // Problemy upravleniya v social'no-ekonomicheskikh i tekhnicheskikh sistemah: sb. nauch. statej po materialam XII Mezhdunar. nauch. konf. / otv. red. T.E. Shul'ga. 2016. S. 138–139.

12. Zadurova A.A. Ispol'zovanie apparata bajesovskih setej pri ocenivanii veroyatnosti pozhara na primere nochnogo kluba: sb. trudov sekcii № 11 HKHXII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Himki, 2022. S. 97–102.

13. Enabling a powerful marine and offshore decision-support solution through bayesian network technique / A.G. Eleye-Datubo [et al.] // Risk Analysis. 2006. Vol. 26. P. 695–721.

14. Hänninen M., Kujala P. Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model. Reliability Engineering and System Safety. 2012. Vol. 102. P. 27–40.

15. Zvyagin L.S. Osobennosti ispol'zovaniya bajesovskogo podhoda dlya vyyavleniya problem analiza statistiki situacij razlichnyh processov i poiska ih reshenij // Myagkie izmereniya i vychisleniya. 2021. T. 48. № 11. S. 54–65.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 13.05.2022; одобрена после рецензирования: 17.05.2022; принята к публикации: 20.05.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 13.05.2022; approved after review: 17.05.2022; accepted for publication: 20.05.2022

Сведения об авторах:

Анастасия Алексеевна Задунова, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: nastya300696@mail.ru

Information about the authors:

Anastasia A. Zadurova, postgraduate student of the faculty of training of highly qualified personnel, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., 149), e-mail: nastya300696@mail.ru

УДК 004.942

МЕТОДИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОЦЕДУР ВОЗДЕЙСТВИЯ

Геннадий Николаевич Заводсков[✉].

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

[✉]ncuks73@mail.ru

Аннотация. Обеспечение безопасности на объектах транспортной инфраструктуры является одной из приоритетных задач государства. Водный транспорт является важнейшим элементом транспортной инфраструктуры. Актуальность вопросов минимизации рисков на объектах водного транспорта и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций обуславливается тем, что возникновение чрезвычайных ситуаций приводит к значительным материальным затратам. Чрезвычайные ситуации возникают по ряду различных причин, таких как негативное воздействие факторов различной природы, человеческого фактора, а также ошибок, допускаемых должностными лицами при принятии решений по оценке обстановки при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Предложена методика поддержки принятия решений должностных лиц по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта на основе реализации автоматизированных процедур воздействия. Использование предлагаемой методики позволяет компенсировать возможные ошибки при принятии управленческих решений, то есть снизить вероятность принятия ошибочного решения, а также повысить уровень навыков и умений должностных лиц.

Построена структурная схема системы поддержки принятия решений на основе реализации автоматизированных процедур воздействия. Выделено пять режимов функционирования данной системы.

Ключевые слова: безопасность людей на водном транспорте, система поддержки принятия решений, методика поддержки принятия решения

Для цитирования: Заводсков Г.Н. Методика поддержки принятия решений должностных лиц по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах водного транспорта на основе реализации автоматизированных процедур воздействия // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 2. С. 163–173.

METHODOLOGY OF DECISION SUPPORT FOR OFFICIALS ON PREVENTION AND LIQUIDATION OF EMERGENCY SITUATIONS AT WATER TRANSPORT FACILITIES BASED ON THE IMPLEMENTATION OF AUTOMATED IMPACT PROCEDURES

Gennady N. Zavodskov[✉].

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

[✉]ncuks73@mail.ru

Abstract. Ensuring security at transport infrastructure facilities is one of the priority tasks of the state. Water transport is the most important element of the transport infrastructure. The relevance of the issues of minimizing risks at water transport facilities and eliminating

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

the consequences of emergency situations is due to the fact that the occurrence of emergency situations leads to significant material costs. Emergencies arise for a number of different reasons, such as the negative impact of factors of various nature, the human factor, as well as mistakes made by officials when making decisions to assess the situation in emergency situations.

The methodology of decision-making support for officials on the prevention and elimination of emergencies at water transport facilities based on the implementation of automated impact procedures is proposed. The use of the proposed methodology makes it possible to compensate for possible mistakes in making managerial decisions, that is, to reduce the likelihood of making an erroneous decision, as well as to increase the level of skills and abilities of officials.

A block diagram of a decision support system based on the implementation of automated impact procedures is constructed. There are five modes of operation of this system.

Keywords: safety of people on water transport, decision support system, decision support methodology

For citation: Zavodskov G.N. Methodology of decision support for officials on prevention and liquidation of emergency situations at water transport facilities based on the implementation of automated impact procedures // Nauch.-analit. jour. «Vestnik S.-Petersb. un-ty of State fire service of EMERCOM of Russia». 2022. № 2. P. 163–173.

Введение

В деятельности органов управления МЧС России, в частности центров управления в кризисных ситуациях (ЦУКС), существует ряд проблем, связанных с качеством принимаемых решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) на водном транспорте, которые напрямую влияют на жизнедеятельность населения и экономику страны в целом.

Одна из проблем связана с большим потоком информации, который необходимо обрабатывать вручную сотрудникам ЦУКС. Другая проблема связана с тем, что должностные лица (ДЛ) ЦУКС в условиях ограниченного времени должны производить сбор, анализ и обработку поступающей информации в области предупреждения и ликвидации последствий ЧС на водном транспорте. Обработка поступающей информации в сжатые временные сроки приводит к тому, что ДЛ при проведении соответствующих расчетов могут совершать ошибки, которые приводят к неправильной оценке обстановки, а также необоснованным решениям. Характер этих ошибок зависит от типа задач, решаемых ДЛ, от компетенции ДЛ и их психофизиологического состояния [1–4].

Рассмотренные проблемы могут быть решены путем автоматизации ряда процедур и разработки методик, моделей и алгоритмов процессов поддержки деятельности ДЛ по предупреждению и ликвидации ЧС природного и техногенного характера на объектах водного транспорта.

Цель работы – разработка методики поддержки принятия решений ДЛ по предотвращению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта на основе реализации автоматизированных процедур воздействия.

Результаты исследования и их обсуждение

Зависимость ошибок от типа задач, решаемых ДЛ, от компетенции ДЛ и их психофизиологического состояния обуславливает необходимость выявления типов и характера ошибок, причин их возникновения и выработку системой поддержки принятия решений (СППР) рекомендаций (воздействий) ДЛ по их устранению [1].

Для компенсации ошибок разработана методика интеллектуальной поддержки принятия решений ДЛ ЦУКС при планировании мероприятий по предотвращению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта. Механизм интеллектуальной поддержки опирается на оценку решений, принимаемых ДЛ ЦУКС, встроенных в систему интеллектуальной поддержки принятия решений средствами экспертных систем (ЭС), реализующих «автоматизированные процедуры воздействия» на ДЛ.

В составе ЭС есть система динамического пополнения базы знаний при появлении новых ЧС. Система динамического пополнения базы знаний служит для адаптации ЭС к новым, не имевшим место ранее, чрезвычайным ситуациям, что обеспечивает усиление интеллектуальных возможностей ДЛ.

Механизм СППР базируется на теоретических положениях ЭС и опирается на оценки степени ошибочности решений ДЛ ЦУКС. Степень ошибочности решений определяется как соотношение принятого и «эталонного» решения для типовой ситуации, предлагаемого ЭС СППР. На основании проведенной оценки решения вырабатываются соответствующие рекомендации ДЛ по корректуре решения. При этом предполагается реализация возможностей обучения ЭС на новых ЧС (самообучение с подкреплением), что обеспечивает усиление интеллектуальных возможностей ДЛ в новых условиях [1]. Структурная схема и состав СППР представлены на рис. 1.

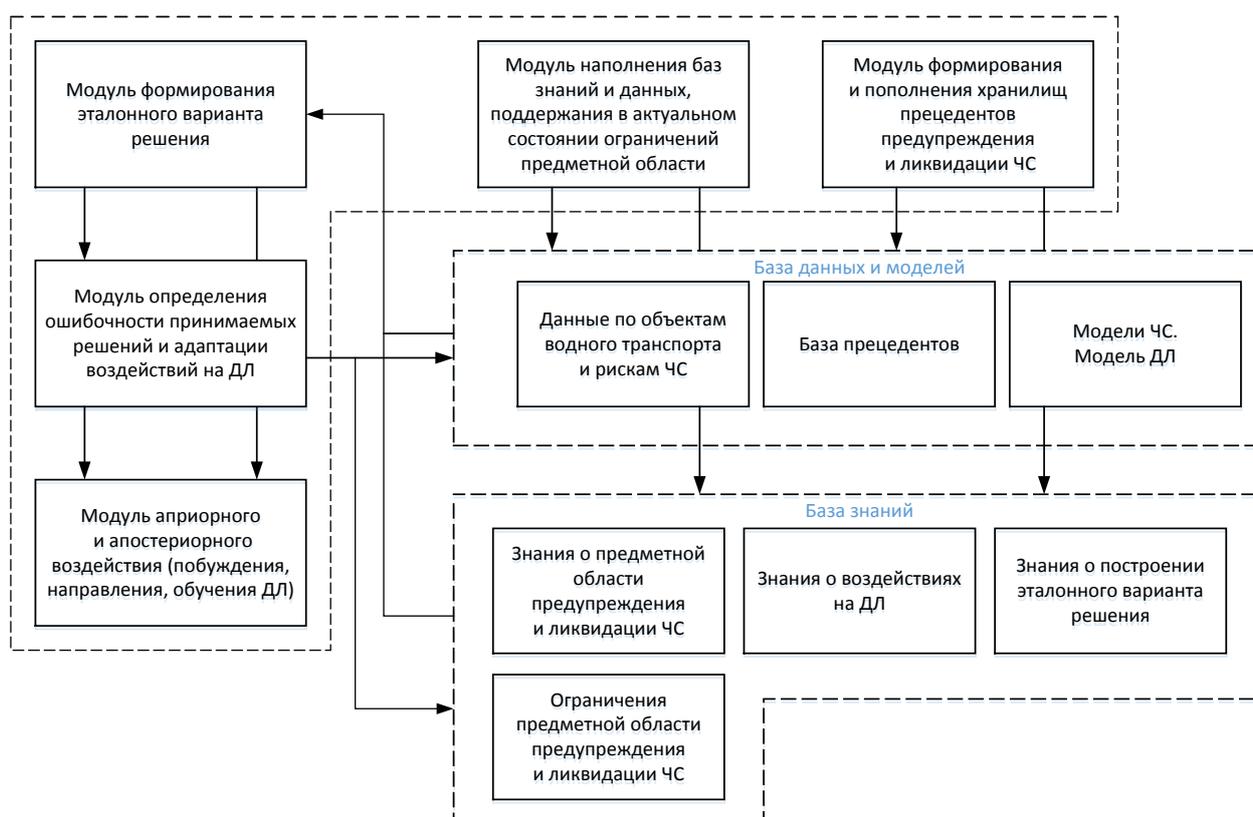


Рис. 1. Структурная схема и состав СППР ДЛ ЦУКС

Определим назначение выделенных элементов системы. Основу системы составляют два элемента – база знаний и база данных и моделей.

Учитывая выбор принципа построения СППР как разновидности активной интеллектуальной системы, важнейшей частью такой системы является база знаний [5–8].

База знаний строится по продукционной модели [8], в которой знания хранятся в виде:

$$i; S; L; A \rightarrow B; Q,$$

где i – индивидуальный номер продукции; S – описание класса ситуаций, в котором данная структура может использоваться; L – условие, при котором продукция активизируется; $A \rightarrow B$ – ядро продукции.

Например, запись: «ЕСЛИ A_1, \dots, A_n , ТО B » означает, что «если все условия от A_1 до A_n являются истиной, то B также истина».

База знаний и процедуры ее обработки (машина логического вывода) характеризуют:

а) предметную область предупреждения и ликвидации ЧС;

б) ограничения предметной области предупреждения и ликвидации ЧС;

в) эталонные варианты решений по предупреждению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта;

г) варианты воздействия на ДЛ.

База данных и моделей системы составляет ее фактографическую основу [9].

С ее помощью осуществляется хранение и обработка информации о:

а) объектах водного транспорта;

б) рисках на объектах водного транспорта и их элементах;

в) прецедентах принятия решений в различных ситуациях;

г) параметрах моделей ситуаций и модели ДЛ.

Для наполнения базы знаний и базы данных и поддержания их в актуальном состоянии в состав системы включается модуль пополнения прецедентов ликвидации ЧС и модуль поддержания в актуальном состоянии ограничений предметной области, пополнения баз данных и знаний [10].

Первый модуль обеспечивает актуализацию и пополнение базы прецедентов, второй обеспечивает начальное заполнение баз, модификацию и поддержание их в актуальном состоянии.

Группа модулей оценки решения и выработки воздействий состоит из трех элементов.

На верхнем уровне группы находится модуль формирования эталонного варианта решения. Под эталонным решением понимается вариант решения, сформированный с учетом знаний и опыта экспертов, а формирование решения осуществляется на основе моделей предметной области по типовым ЧС на объектах водного транспорта.

В модуле определения ошибочности принимаемых решений и адаптации воздействий на ДЛ происходит сравнение принятого и эталонного решения. Фактически это означает оценку качества принятого ДЛ решения. На основе полученной оценки системой принимается решение о необходимости или отсутствии корректуры решения, принятого ДЛ (необходимости выработки воздействия на ДЛ).

При необходимости такого воздействия задействуется модуль априорного и апостериорного воздействия (побуждения, направления и обучения ДЛ). Априорные воздействия направлены на повышение качества функционирования ДЛ в рамках решения задач анализа исходных данных, а апостериорные воздействия в основном обеспечивают учет прецедентов принятия решений в различных условиях обстановки.

Предлагаемая методика определяет последовательность работы моделей, учитывающих действия ДЛ, и основана на использовании автоматизированных процедур воздействия на ДЛ в различных режимах функционирования СППР.

В рамках методики выделяются пять режимов функционирования СППР:

1) инициализация;

2) создание и сопровождение;

3) оценка качества принимаемых решений;

4) формирование и выдача воздействий;

5) адаптация процедур оказания воздействий.

При реализации первых двух режимов осуществляется приведение СППР в состояние готовности к использованию с учетом особенностей ДЛ, которое работает с системой. Режим создания предполагает формирование или модификацию способов воздействия на ДЛ с учетом особенностей решаемой задачи по предупреждению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта (предполагается учет особенностей предметной области и ограничений). Сопровождение СППР осуществляется с учетом реализации автоматизированных процедур воздействия на ДЛ.

В третьем и четвертом режимах, в зависимости от полученной в результате оценки, формируются воздействия на ДЛ с учетом выявленных отклонений. Далее, запускаются

процедуры воздействия на ДЛ, направленные на оказание влияния на ДЛ в направлении оптимизации принятиях решений.

На уровне пятого режима функционирования СППР вырабатываются процедуры, адаптирующие воздействие на ДЛ с учетом ранее принятых им решений.

Таким образом, процедуры воздействия формируются системой на основе оценки качества деятельности ДЛ.

При реализации методики поддержки принятия решения ДЛ ЦУКС по предотвращению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта на основе реализации автоматизированных процедур воздействия реализуются следующие функции:

1) с учетом состояния предметной области, требований решаемой задачи и ограничений, сформированных экспертами вариантов действий, осуществляется формирование эталонного варианта решения (прецедентов предупреждения и ликвидации ЧС);

2) осуществляется начальное формирование баз знаний и данных, характеризующих состояние предметной области, и обеспечивается поддержание в актуальном состоянии знаний и данных, в том числе характеризующих ограничения предметной области решаемой задачи;

3) обеспечивается пополнение базы прецедентов ЧС;

4) оценивается качество принятого ДЛ решения по конкретной ситуации путем его сравнения с эталонными решениями (то есть оценивается качество деятельности ДЛ);

5) формирование и реализация воздействий на ДЛ с учетом качества принятого им решения.

С учетом приведенного на рис. 1 порядка взаимодействия модулей СППР, на рис. 2 приведена схема цикла принятия решения по предупреждению и ликвидации ЧС, а на рис. 3 – общий порядок реализации методики с учетом взаимодействия модулей СППР, режимов работы ДЛ, выявленных функций СППР.

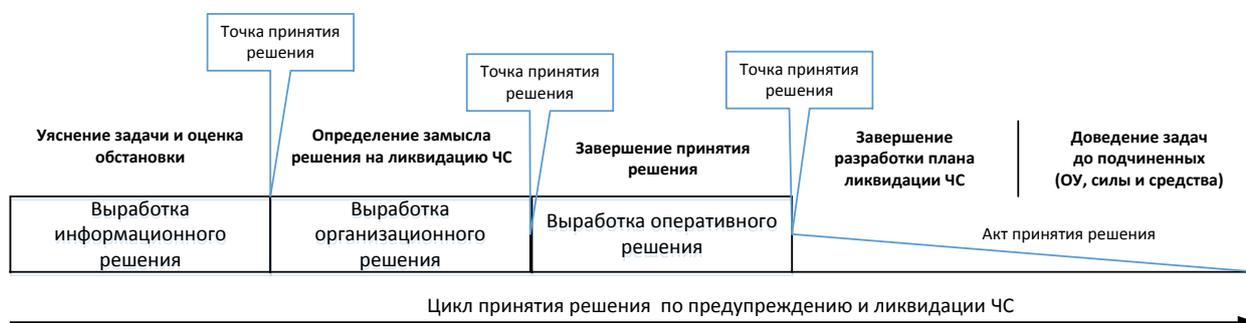


Рис. 2. Схема цикла принятия решения

Определим входы и выходы методики. На вход методики поступают данные, которые описывают условия возникновения ЧС на объектах водного транспорта. Фактически, это множество исходных данных, учитываемых при уяснении задачи и оценки обстановки (характеристика предметной области) о ЧС. На выходе методики формируется множество вырабатываемых системой воздействий на ДЛ. Вырабатываемые процедуры воздействия учитывают оценку решения, принятого ДЛ. Методика учитывает сущность процессов принятия решений на различных уровнях. Поэтому выделяются уровень принятия и оценки решений представлением лицом, принимающим решение (ЛПР), и уровень представления ДЛ ЦУКС (аналитиков). Этим обеспечивается учет специфики решаемых задач и конкретизация воздействий на ДЛ.

Предполагается также деление воздействий по так называемым уровням общности. Верхним уровнем общности является уровень системы водного транспорта в целом, а на нижнем уровне расположены «терминальные» объекты водного транспорта [10]. На данном уровне критикуются концептуальные решения по обеспечению безопасности объектов водного транспорта.

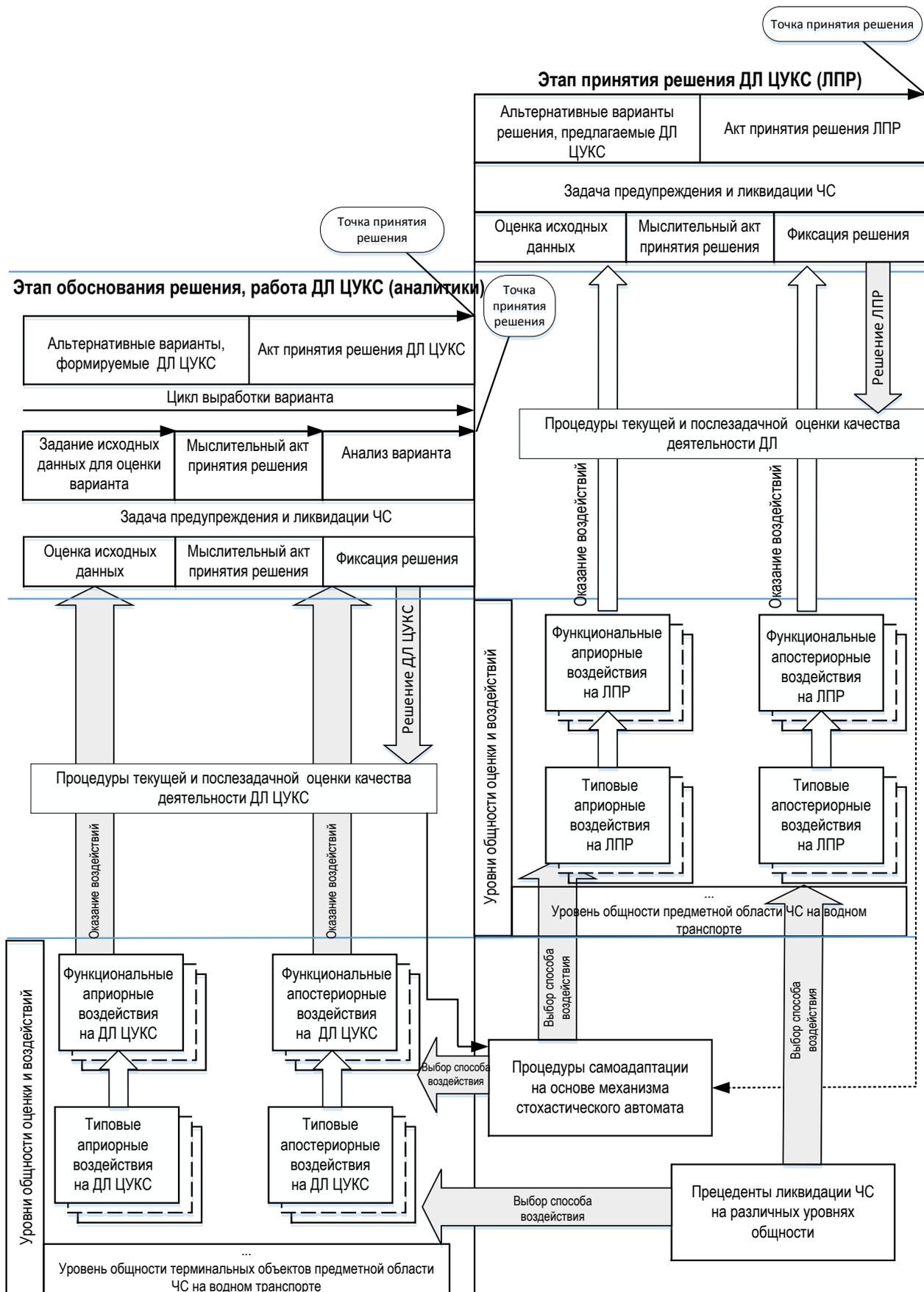


Рис. 3. Общий порядок применения методики

Применение методики поддержки принятия решений ДЛ ЦУКС по предотвращению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта на основе реализации ряда автоматизированных процедур рассмотрим на примере.

Принятие решений по предупреждению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта осуществляется ЛПР и ДЛ оперативно-дежурной смены (ОДС) ЦУКС. В данном случае старший оперативный дежурный (СОД) ЦУКС является ЛПР, а ДЛ ОДС ЦУКС (аналитики) являются: специалист по применению сил и средств, специалист по мониторингу и прогнозу развития ЧС, специалист по анализу и подготовке оперативных данных и др. в соответствии с перечнем обязательных должностей, формирующих ОДС ЦУКС [11]. Каждый из этих специалистов оценивает обстановку и принимает решение в соответствии со своими полномочиями и функционалом. Так, специалист по мониторингу и прогнозу развития ЧС готовит метеопрогноз и выводы о его влиянии на обстановку в районе ЧС и на ход проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, осуществляет прогнозирование параметров ЧС и на основе полученной информации составляет прогноз наилучшего развития ситуации. Специалист по применению сил и средств на основе этих данных принимает решение, какие аварийно-спасательные формирования будут привлекаться на ликвидацию ЧС. Смоделируем ситуацию и рассмотрим методику поддержки принятия решения специалистом по мониторингу и прогнозу развития ЧС.

В 9 часов 50 минут 24 июня 2021 г. в ОДС ЦУКС Главного управления МЧС России по Ульяновской обл. от очевидца И.И. Иванова поступило сообщение о том, что на р. Волге вблизи г. Новоульяновска в результате нарушения судоходства произошло столкновение двух прогулочных катеров с последующим потоплением. Всего на двух суднах находилось более 30 человек, из них пятеро детей.

Как уже было сказано, специалист по мониторингу и прогнозу развития ЧС готовит метеопрогноз и выводы о его влиянии на обстановку в районе ЧС и на ход проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ. Для подготовки метеопрогноза можно использовать:

- ежедневный гидрометеорологический бюллетень Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Ульяновского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, который предоставляется в ЦУКС ежедневно к 12 часам с информацией на следующие сутки;
- официальный сайт Росгидромета и его территориальных подразделений;
- запросить метеопрогноз у дежурного синоптика территориального подразделения Росгидромета, но на это понадобится дополнительное время.

В процессе выработки данных вариантов ДЛ могут принимать ошибочные решения [1] из-за различных факторов (компетенции должностного лица, его психофизиологических особенностей, качества используемой информации, временных рамок и т.д.).

Специалист при принятии решения использовал ежедневный гидрометеорологический бюллетень, который поступил 23 июня 2021 г. «По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Ульяновского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 24 июня 2021 г. прогнозируется переменная облачность, без осадков. Ветер западный 5–8 м/с. Температура атмосферного воздуха ночью +13 °С ...+18 °С, днем +30 °С ...+35 °С. Видимость 4 000 м. Влажность 65 %». Анализируя данные метеоусловия, ДЛ сделало вывод, что погодные условия не будут способствовать дальнейшему ухудшению развития ЧС и увеличению времени аварийно-восстановительных работ в зоне ЧС.

В базе знаний хранятся эталонные варианты решений, в которых учтены погодные условия по шкале Бофорта.

СППР оценивает решение, принятое ДЛ, путем сопоставления с «эталонными» решениями и выявляет величину отклонения от них. Для выбора «эталонного» решения берутся данные с официального сайта Росгидромета и его территориальных подразделений, так как они оперативные. Прогноз на сайте следующий: «24 июня 2021 г. прогнозируется переменная облачность, местами кратковременный дождь, возможна гроза. Ветер ночью

западный 3–8 м/с, днём северо-западный 8–13 м/с, при грозе порывы до 17 м/с. Температура ночью +14 °С ...+19 °С, днём +30 °С...+35 °С». В данном случае «эталонным» решением будет вывод, что погодные условия будут способствовать дальнейшему ухудшению развития ЧС и увеличению времени аварийно-восстановительных работ в зоне ЧС, так как порывы ветра до 17 м/с соответствуют семи баллам по шкале Бофорта, при этом максимальная высота волн достигает 5 м.

Если отклонения незначительные, то система не предпринимает никаких действий. Если отклонения существенные, то система оказывает соответствующие воздействия на ДЛ, например всплывающая подсказка с реальными гидрометеорологическими данными. В конкретном случае будет подсказка с неучтенными ДЛ порывами ветра до 17 м/с и максимальной высотой волн до 5 м. Специалист может внести корректировки в принимаемое решение, а может оставить его без изменения.

Выработанные варианты решений предоставляются СОД и процесс принятия решения осуществляется аналогично на следующем уровне.

Заключение

В процессе принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта ДЛ ЦУКС могут допускать ошибки, связанные с различными факторами (большой объем информации, временные рамки, компетентность ДЛ, психофизиологические особенности ДЛ и т.д.) [1, 2].

В ходе исследования разработана структура СППР ДЛ ЦУКС и методика ее применения в процессе предотвращения и ликвидации ЧС на объектах водного транспорта. Механизмы СППР обеспечивают достижение заданных требований к качеству управления ДЛ ЦУКС территориального органа МЧС России, к устранению возможных ошибок при принятии управленческих решений.

Список источников

1. 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.
2. Щетка В.Ф., Заводсков Г.Н., Онов В.А. Информационная система поддержки принятия решений по обеспечению безопасности на водном транспорте // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 1. С. 93–99.
3. Юркин М.А., Латышенко К.П., Семенов Е.С. Предупреждение чрезвычайных ситуаций с применением современных информационных технологий // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 1 (40). С. 40–45.
4. Методологические аспекты построения систем поддержки принятия решений / В.С. Симанков [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. 2015. № 8 (3). С. 258–267.
5. Системный анализ и принятие решений / В.И. Антюхов [и др.]. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 352 с.
6. Тараскин М.М., Коваленко Ю.И., Монахов П.А. Анализ задач, решаемых при распознавании ситуаций в системах поддержки выработки решений (часть 1) // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2022. № 1 (153). С. 3–8. DOI: 10.52190/1729-6552_2022_1_3.
7. Рыков А.С. Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации. М.: МИСиС, 2009. 608 с.
8. Куватов В.И., Малыгин И.Г., Смирнов А.С. Интеллектуальные технологии в системах управления МЧС России: учеб. пособие. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2013.
9. Антюхов В.И., Остудин Н.В. Методика выявления и анализа проблемных вопросов в деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России //

Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 1. С. 97–106.

10. 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.

11. Методические рекомендации по организации деятельности центров управления в кризисных ситуациях территориальных органов МЧС России / утв. зам. министра МЧС России В.Н. Яцуценко. М., 2021.

References

1. Shchetka V.F., Zavodskov G.N. Model' oshibok dolzhnostnyh lic pri prinyatii reshenij po preduprezhdeniyu i likvidacii chrezvychajnyh situacij prirodno i tekhnogennogo haraktera // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 1. S. 106–118.

2. Shchetka V.F., Zavodskov G.N., Onov V.A. Informacionnaya sistema podderzhki prinyatiya reshenij po obespecheniyu bezopasnosti na vodnom transporte // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 1. S. 93–99.

3. Yurkin M.A., Latyshenko K.P., Semenov E.S. Preduprezhdenie chrezvychajnyh situacij s primeneniem sovremennyh informacionnyh tekhnologij // Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoj zashchity. 2019. № 1 (40). С. 40–45.

4. Metodologicheskie aspekty postroeniya sistem podderzhki prinyatiya reshenij / V.S. Simankov [i dr.] // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2015. № 8 (3). S. 258–267.

5. Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij / V.I. Antyuhov [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017. 352 s.

6. Taraskin M.M., Kovalenko Yu.I., Monahov P.A. Analiz zadach, reshaemyh pri raspoznavanii situacij v sistemah podderzhki vyrabotki reshenij (chast' 1) // Oboronnyj kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2022. № 1 (153). S. 3–8. DOI: 10.52190/1729-6552_2022_1_3.

7. Rykov A.S. Sistemnyj analiz: modeli i metody prinyatiya reshenij i poiskovoj optimizacii. M.: MISiS, 2009. 608 s.

8. Kuvatov V.I., Malygin I.G., Smirnov A.S. Intellektual'nye tekhnologii v sistemah upravleniya MCHS Rossii: ucheb. posobie. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2013.

9. Antyuhov V.I., Ostudin N.V. Metodika vyyavleniya i analiza problemnyh voprosov v deyatel'nosti dolzhnostnyh lic centrov upravleniya v krizisnyh situacijah MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2016. № 1. S. 97–106.

10. 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.

11. Methodological recommendations on the organization of the activities of control centers in crisis situations of territorial bodies of EMERCOM of Russia / approved by the deputy minister of EMERCOM of Russia V.N. Yatsutsenko. M., 2021.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 18.05.2022; одобрена после рецензирования: 13.06.2022;
принята к публикации: 14.06.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 18.05.2022; approved after review: 13.06.2022;
accepted for publication: 14.06.2022

Информация об авторах:

Заводсков Геннадий Николаевич, 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 authors:

Gennady N. Zavodskov, senior lecturer of the department of system analysis and crisis management of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ncuks73@mail.ru

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы Министерства Российской
Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской
Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»**

**Научно-аналитический журнал
«Вестник Санкт-Петербургского университета
ГПС МЧС России»**

№ 2 – 2022

Редакторы
И.В. Дмитриева,
Л.В. Алексеева

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149