

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

NATURAL AND MAN-MADE RISKS
(PHYSICO-MATHEMATICAL AND APPLIED ASPECTS)

№ 1 (45)–2023

Редакционный совет

Зыбина О.А.
Председатель

д.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Матвеев А.В.
Главный редактор

к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Ивахнюк Г.К.

д.х.н., проф., лауреат премии Правительства Рос. Федерации
в области науки и техники, Санкт-Петербургский
государственный технологический институт (технический
университет), Санкт-Петербург, Россия

Минкин Д.Ю.

д.т.н., проф., Санкт-Петербургский ГУП «Горэлектротранс»,
Санкт-Петербург, Россия

Шарапов С.В.

д.т.н., проф., Санкт-Петербургский Пожарно-спасательный
колледж, Санкт-Петербург, Россия

Грешных А.А.

д.п.н., к.ю.н., проф., засл. работник высш. шк. Рос. Федерации,
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-
Петербург, Россия

Максимов А.В.

к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Барбин Н.М.

д.т.н., проф., почетный работник науки и техники, Уральский
институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия; Научно-
исследовательский институт физико-химических проблем
и техносферной безопасности Уральского государственного
аграрного университета, Екатеринбург, Россия

Потапов А.И.

д.т.н., проф., засл. деятель науки Рос. Федерации, лауреат
Государственной премии Российской Федерации и премии
Правительства Российской Федерации в области науки и техники
Северо-Западный государственный заочный технический
университет, Санкт-Петербург, Россия

Сильников М.В.

д.т.н., к.физ.-мат.н., проф., засл. деятель науки Рос. Федерации,
Научно-производственное объединение специальных материалов,
Санкт-Петербург, Россия

Клюй В.В.

к.п.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Санкт-Петербург, Россия

Домничева А.В.
Секретарь

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

Редакционная коллегия

Онов В.А. <i>Председатель</i>	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Дмитриева И.В. <i>Заместитель председателя</i>	Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Таранцев А.А.	д.т.н., проф., засл. работник высш. шк. Рос. Федерации, Институт проблем транспорта им Н.С. Соломенко РАН, Санкт-Петербург, Россия
Антюхов В.И.	к.т.н., проф., засл. работник высш. шк. Рос. Федерации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Романов Н.Н.	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Виноградов В.Н.	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Болотова П.А. <i>Секретарь</i>	Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия



Editorial council

Zybina O.A. <i>Chairman</i>	DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Matveev A.V. <i>Editor-in-Chief</i>	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Ivakhnyuk G.K.	DSc, prof., laureate of the Russian Government prize. federation in the field of science and technology, Saint-Petersburg State technological institute (technical university), Saint-Petersburg, Russia
Minkin D.Yu.	DSc, prof., Saint-Petersburg state unitary enterprise «Gorelektrotrans», Saint-Petersburg, Russia
Sharapov S.V.	DSc, prof., Saint-Petersburg fire and rescue college, Saint-Petersburg, Russia
Greshnykh A.A.	DSc, PhD, prof., honored worker of the higher school of the Russian Federation, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Maksimov A.V.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Barbin N.M.	DSc, prof., honored worker of science and technology, Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia; Research institute of physico-chemical problems and technosphere safety of the Ural state agrarian university, Yekaterinburg, Russia
Potapov A.I.	DSc, prof., honored scientist of the Russian Federation, winner of the state prize of the Russian Federation and the prize of the government of the Russian Federation in the field of science and technology of the North-Western state correspondence technical university, Saint-Petersburg, Russia
Silnikov M.V.	DSc, PhD, prof., honored scientist of the Russian Federation, Scientific and production association of special materials, Saint-Petersburg, Russia
Klyuj V.V.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Domnicheva A.V. <i>Secretary</i>	Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

Editorial board

Onov V.A.
Chairman

PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

Dmitrieva I.V.
Deputy chairman

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

Tarantsev A.A.

DSc, prof., honored worker of the higher school of the Russian Federation, N.S. Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences, Saint-Petersburg, Russia

Antyukhov V.I.

PhD, prof., honored worker of the higher school of the Russian Federation, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

Romanov N.N.

PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

Vinogradov V.N.

PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

Bolotova P.A.
Secretary

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

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение
либо иное использование материалов, опубликованных в журнале
«Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»,
без письменного разрешения редакции не допускается

ББК Ц.9.3.2
УДК 504+614.8(051.2)

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149. Редакция журнала «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»; тел. (812) 645-20-35. E-mail: redakziaotdel@yandex.ru. Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU

ISSN 2307-7476

СОДЕРЖАНИЕ

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

Джафарова А.А. Оценка распространения опасных факторов пожара в ночном клубе.....	7
Савчук О.Н., Степанов Р.А. Пути снижения риска опасности для населения при пожарах в торгово-развлекательных центрах.....	15
Немцов В.С. Оценка риска возникновения аварии грузоподъемных сооружений при строительстве моста.....	25
Владимирова А.С. Анализ факторов, способствующих возникновению пожаров в зданиях.....	34

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Смолякова А.С. Анализ подходов к моделированию возникновения, развития и ликвидации чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах.....	42
Яценко М.Е. Способы борьбы с лесными пожарами.....	51

ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Гаврилова М.В., Алешков А.М. Использование имитационного моделирования для оценки оснащенности лесопожарных формирований силами пожаротушения.....	60
Скрыпникова О.И. Выбор способа транспортировки нефтепродуктов в отдаленных регионах на основе метода анализа иерархий.....	66
Баклушин В.Е. Определение времени прибытия первого пожарного подразделения на стадии проектирования объектов.....	78
Самарин М.А., Максимов А.В., Вострых А.В. Повышение эффективности информационных систем типа электронные библиотеки.....	84
Рассказова И.В. Председательство России в Арктическом совете. Чрезвычайные мероприятия.....	94
Лабинский А.Ю. Компьютерное моделирование процессов теплообмена.....	110

Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты).....	120
---	-----

CONTENT

MONITORING AND FORECASTING OF NATURAL AND MAN-MADE RISKS

Dzhafarova A.A. Assessment of the spread of fire hazards in a nightclub.....	7
Savchuk O.N., Stepanov R.A. The ways to reduce the risk of danger to the public in fires in shopping malls.....	15
Nemtsov V.S. Assessment of the risk of an accident of lifting structures during the construction of the bridge.....	25
Vladimirova A.S. Analysis of factors that contribute to the occurrence of fires in buildings.....	34

PHYSICAL AND MATHEMATICAL ASPECTS OF EMERGENCY RESPONSE

Smolyakova A.S. Analysis of approaches to modeling the occurrence, development and elimination of emergency situations at hydraulic engineering facilities.....	42
Yatcenko M.E. Ways to fight forest fires.....	51

ENGINEERING AND INFORMATION SECURITY IN EMERGENCY SITUATIONS

Gavrilova M.V., Aleshkov A.M. The use of simulation modeling to assess the equipment of forest firefighting units with firefighting forces.....	60
Skrypnikova O.I. The choice of the method of transportation of petroleum products in remote regions based on the method of hierarchy analysis.....	66
Baklushin V.E. Determination of the arrival time of the first fire unit at the object design stage.....	78
Samarin M.A., Maximov A.V., Vostrikh A.V. Improving the efficiency of information systems such as electronic libraries.....	84
Rasskazova I.V. Russia's chairmanship in the Arctic council. Emergency measures.....	94
Labinskiy A.Yu. The computing modeling the heat exchange process.....	110

To the authors of the journal «Natural and man-made risks» (physico-mathematical and applied aspects).....	120
---	------------

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

Научная статья

УДК 51-74:614.841.12

ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В НОЧНОМ КЛУБЕ

✉ Джафарова Анастасия Алексеевна.

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

✉ nastyas300696@mail.ru

Аннотация. Представлена полевая модель распространения опасных факторов пожара при возгорании в ночном клубе. Модель разработана в программе Pyrosim. В предлагаемой модели определено время достижения предельных значений опасных факторов пожара, рассчитано время блокирования путей эвакуации при пожаре в ночном клубе. Модель позволяет обосновывать управленческие решения по снижению пожарных рисков в учреждениях культуры рассматриваемого типа.

Ключевые слова: полевая модель, опасные факторы пожара, эвакуация, ночной клуб

Для цитирования: Джафарова А.А. Оценка распространения опасных факторов пожара в ночном клубе // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 7–14.

Scientific article

ASSESSMENT OF THE SPREAD OF FIRE HAZARDS IN A NIGHTCLUB

✉ Dzhaifarova Anastasiya A.

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

✉ nastyas300696@mail.ru

Abstract. A field model of the spread of fire hazards during a fire in a nightclub is presented. The model was developed in the Pyrosim program. The proposed model determines the time to reach the limit values of fire hazards, and calculates the time to block escape routes in case of a fire in a nightclub. The model allows to justify management decisions to reduce fire risks in cultural institutions of the type under consideration.

Keywords: field model, fire hazards, evacuation, night club

For citation: Dzhaifarova A.A. Assessment of the spread of fire hazards in a nightclub // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 7–14.

Введение

Наиболее распространенными причинами чрезвычайных ситуаций на объектах, входящих в инфраструктуру Российской Федерации, с массовым пребыванием людей являются пожары, вследствие чего важнейшим индикатором и показателем эффективности функционирования системы пожарной безопасности служит непосредственно снижение риска пожаров, включая сокращение числа погибших и получивших травмы в результате пожара людей.

Пожары на объектах с массовым пребыванием людей, как правило, имеют очень высокий уровень смертности, и МЧС России уделяет особое внимание вопросам противопожарной защиты таких объектов, однако, невзирая на это, проблемы обеспечения пожарной безопасности в них решаются недостаточно оперативно [1].

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Каждому пожару характерны те или иные поражающие факторы. Это такие условия, при которых возможно причинение материального ущерба, а также нанесение вреда как здоровью, так и жизни граждан. Среди существующих факторов пожара можно выделить первичные и вторичные. Более подробно остановимся на первичных, к ним относятся: открытый огонь, температуры среды, токсичные продукты горения, потеря видимости и пониженная концентрация кислорода [2].

Количество пожаров в России из года в год существенно не уменьшается, а масштабы их разрушительных последствий постоянно растут, превращая в пепел и дым огромные ценности. Статистика свидетельствует о том, что каждые 5 мин в стране вспыхивает пожар, и каждый час в огне гибнет один человек, а 20 получают ожоги и травмы. Проблема гибели людей при пожарах – предмет особого беспокойства. Ее решение требует реализации комплекса научных, организационных и технических задач.

Так как в данной работе будет проведена оценка распространения опасных факторов пожара (ОФП) в ночном клубе, фокус внимания будет смещен на происшествия в учреждениях культуры данного типа, тем самым наглядно будет продемонстрирована актуальность и значимость проведения исследований именно в этой области.

25 марта 2007 г. в Москве в помещении клуба «911», расположенного в здании театра «Ленком», возник пожар. В клубе проходило театрализованное огневое шоу, для которого использовался спирт. При очередном выступлении произошло возгорание сосуда, в котором находилось около 2 л спиртосодержащей жидкости. Затем пламя перекинулось на находящуюся в непосредственной близости пятилитровую канистру со спиртосодержащей жидкостью, после чего загорелась сцена. В клубе не было окон, а из-за паники в дверях возникла давка. Погибло 10 чел., 8 было госпитализировано.

5 декабря 2009 г. произошел пожар в ночном клубе «Хромая лошадь» в г. Перми. По основной версии, при использовании пиротехники в ночном клубе «Хромая лошадь» произошло воспламенение декора из ивовых прутьев и пенопласта в потолке. В помещении на момент пожара находилось порядка 400 чел. Когда произошло воспламенение, в клубе погас свет, оконные проемы были закрыты наглухо. Несмотря на наличие одного аварийного выхода, большинство посетителей пыталось спастись через узкий главный вход, образовав давку. Большинство жертв погибло от отравления высокотоксичным дымом. Многие погибли от ожогов, вызванных расплавленным пенопластом, стекавшим с потолка. Больше недели после трагедии люди умирали в больницах страны. Пожар унес жизни 112 чел., более 120 пострадали.

5 ноября 2022 г. произошел пожар в ночном клубе «Полигон» в г. Костроме. В здании клуба был произведен выстрел из пускового устройства «Сигнал охотника», вследствие чего загорелся пластиковый потолок, огонь распространился за считанные секунды. Из семи эвакуационных выходов четыре оказались заперты, пожарным пришлось выламывать двери, чтобы спасти людей. Погибло 13 чел., 9 пострадали.

Ранее была построена агентная модель, позволяющая оценить расчетное время эвакуации, но для оценки уровня безопасности необходимо также оценить и время блокирования эвакуационных путей (доступное время эвакуации), для чего будет использован полевой метод [3, 4].

Методы исследования

Для оценки времени блокирования эвакуационных путей может быть использована интегральная, зонная или полевая модель. Интегральный метод используется для зданий, содержащих развитую систему помещений малого объема, помещений, где размер очага пожара соизмерим с размерами помещения и позволяет оценить динамику среднеобъемных величин ОФП с ограниченной точностью. Зонный метод применим при наличии рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения, он позволяет оценить динамику ОФП в зонах конвективной колонки, резервуара дыма и остальном пространстве помещения с ограниченной точностью. Полевой метод используется для помещений, в которых

один из геометрических размеров намного больше или меньше остальных, он позволяет учитывать работу систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара, и оценить динамику ОФП в каждой точке помещения с высокой точностью [5].

Полевой метод является наиболее универсальным из существующих детерминистических методов, поскольку основан на решении уравнений в частных производных, выражающих фундаментальные законы сохранения в каждой точке расчетной области. Подробно уравнения приведены в источнике [6]. С его помощью можно рассчитать температуру, скорость, концентрации компонентов смеси и т.д. в каждой точке расчетной области [2]. В связи с этим полевой метод может использоваться:

- для проведения научных исследований в целях выявления закономерностей развития пожара;
- проведения сравнительных расчетов в целях апробации и совершенствования менее универсальных зональных и интегральных моделей, проверки обоснованности их применения;
- выбора рационального варианта противопожарной защиты конкретных объектов.

В своей основе полевой метод не содержит никаких априорных допущений о структуре течения, в связи с чем принципиально применим для рассмотрения любого сценария развития пожара [6].

Одной из самых распространенных программ для моделирования ОФП является FireDynamicSimulation (FDS), впервые появившаяся в открытом доступе в 2000 г. FDS численно решает уравнения Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков. Модель, которая представляет собой систему уравнений в частных производных, включающую в себя уравнения сохранения массы, момента и энергии, решается на трехмерной регулярной сетке и описывает пространственно-временное распределение температуры и скоростей газовой среды в помещении, концентраций компонентов газовой среды (кислорода, продуктов горения и т.д.), давления и плотности.

Математическая модель пожара является основой оценки пожарного риска. Для исследования полевой модели FDS и определения доступного времени эвакуации используется программа Pyrosim, рассчитывающая распространение опасных факторов пожара. Pyrosim является графическим редактором, позволяющим быстро воссоздавать модели для расчетов ОФП практически любого уровня сложности и детализации происходящих физических процессов. В рабочем поле можно просматривать модель на плоскости в трехмерном виде, а также в текстовом варианте. Pyrosim позволяет создавать модели отдельных помещений, зданий любой площади и этажности и даже участки местности.

Результаты исследования и их обсуждение

Для исследования полевой модели FDS в программе Pyrosim задается сценарий пожара в ночном клубе. Принимая во внимание крупнейшие пожары, произошедшие в ночных клубах на территории Российской Федерации, а также результаты анализа пожаров в учреждениях культуры данного типа по всему миру, ранее проведенного в статье [1], можно полагать, что возгорание происходит на сцене ночного клуба вследствие использования пиротехнических средств. В данном исследовании за основу принимается типовое здание одноэтажного ночного клуба, которое будет загружено в Pyrosim (рис. 1).

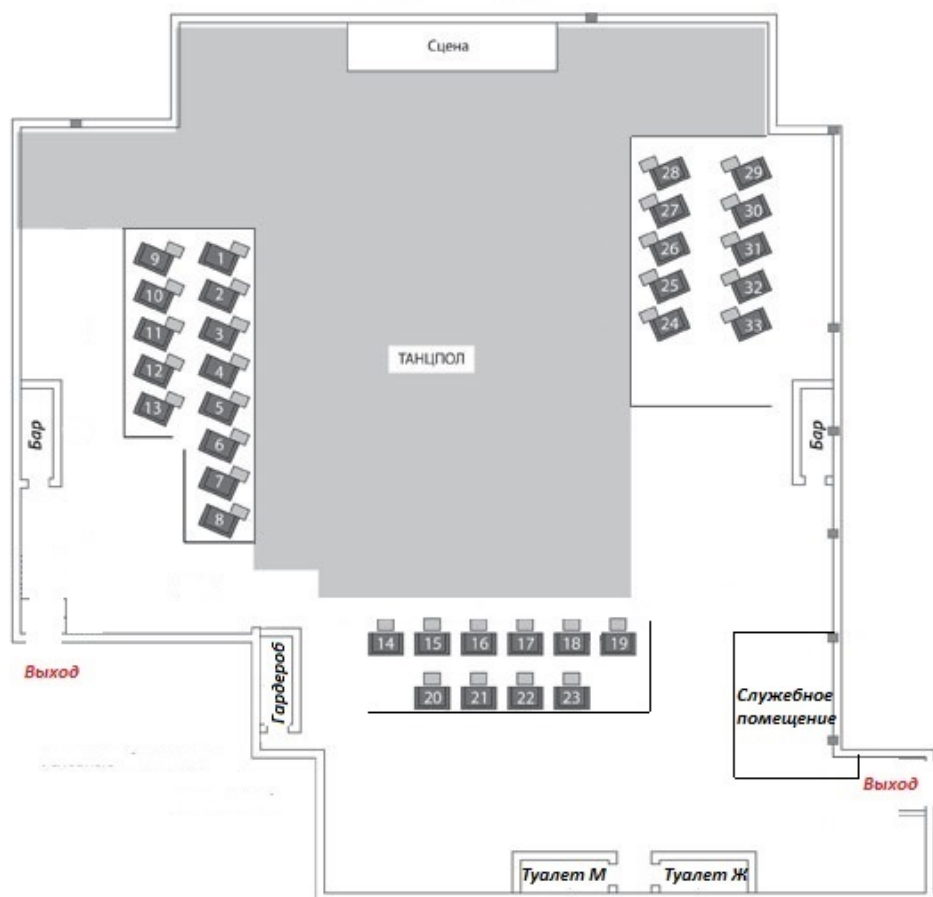


Рис. 1. План типового здания ночного клуба

Следующим шагом является построение модели на основе загруженного плана типового здания ночного клуба, задание очага пожара и датчиков ОФП (рис. 2).

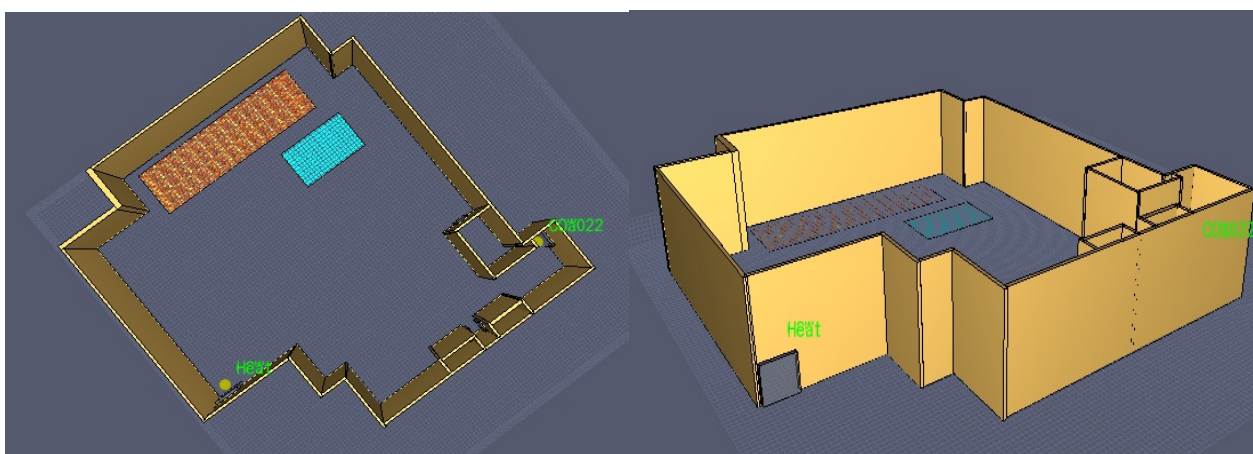


Рис. 2. Модель типового здания ночного клуба в Pyrosim

После этого запускается процесс моделирования распространения ОФП, результаты которого отражены на графиках (рис. 3–6), представленных ниже:

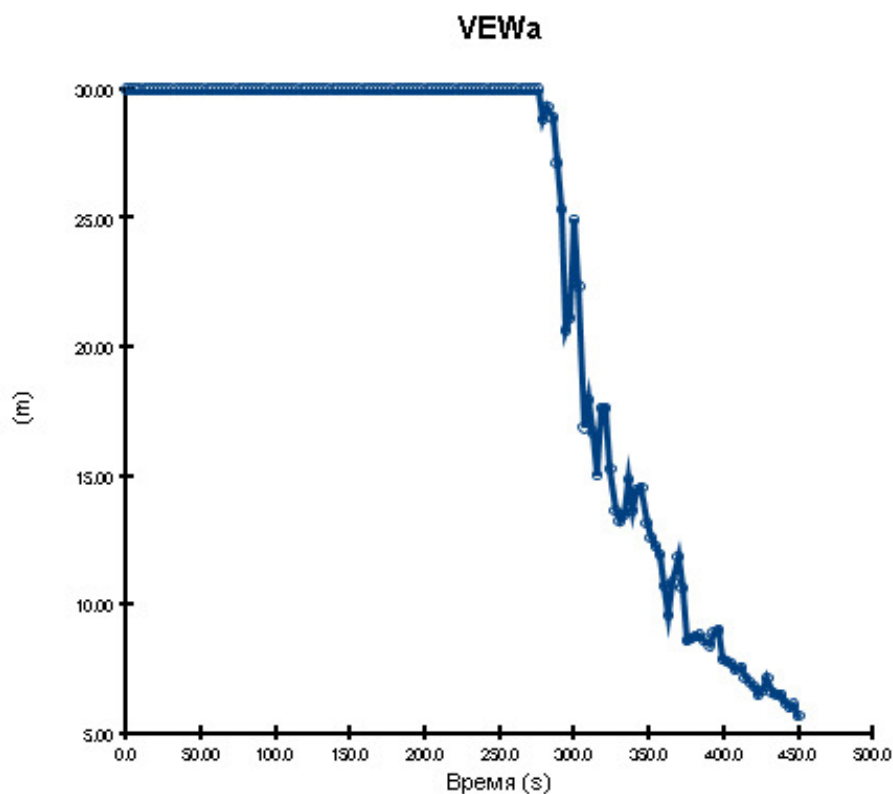


Рис. 3. График ограничения видимости и снижения уровня кислорода

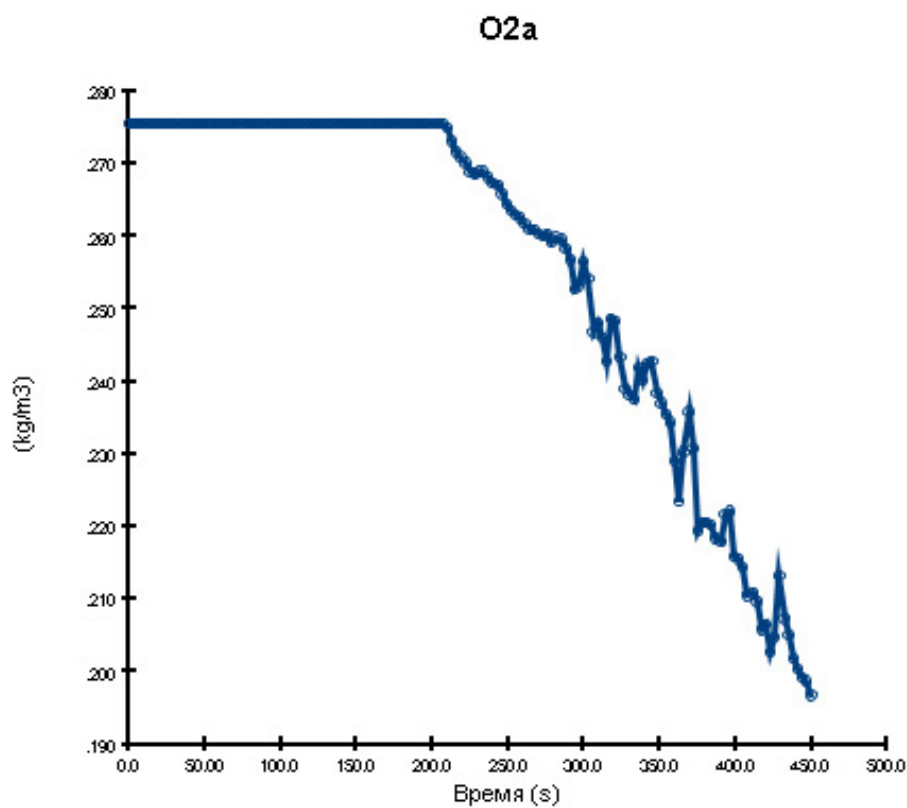


Рис. 4. График снижения уровня кислорода

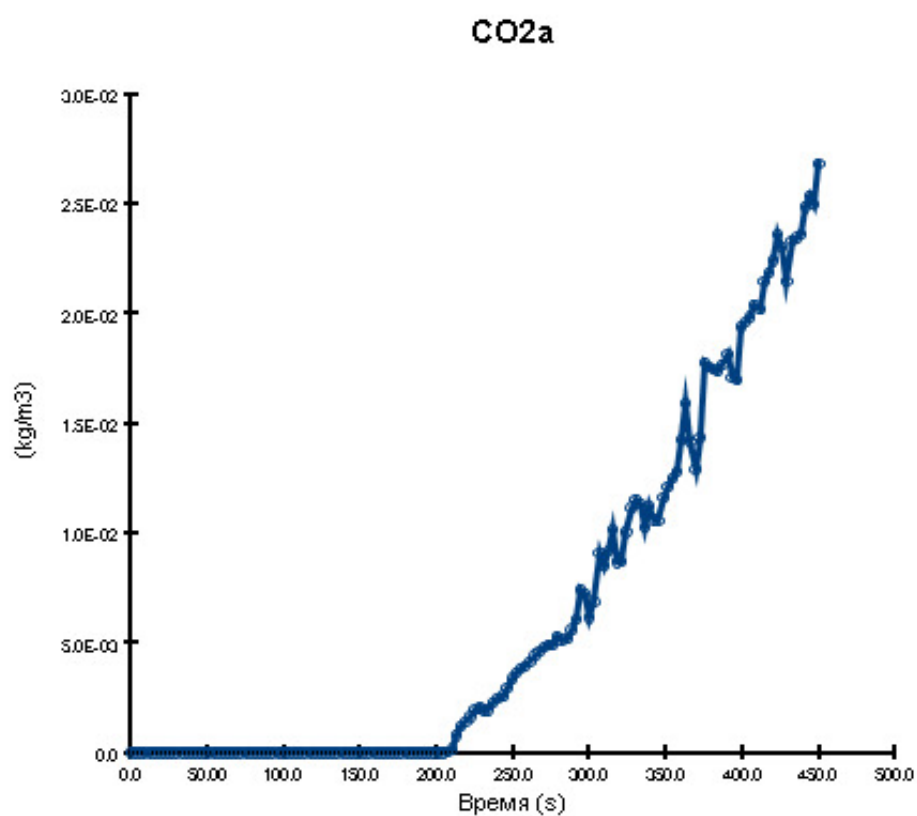


Рис. 5. График роста концентрации углекислого газа

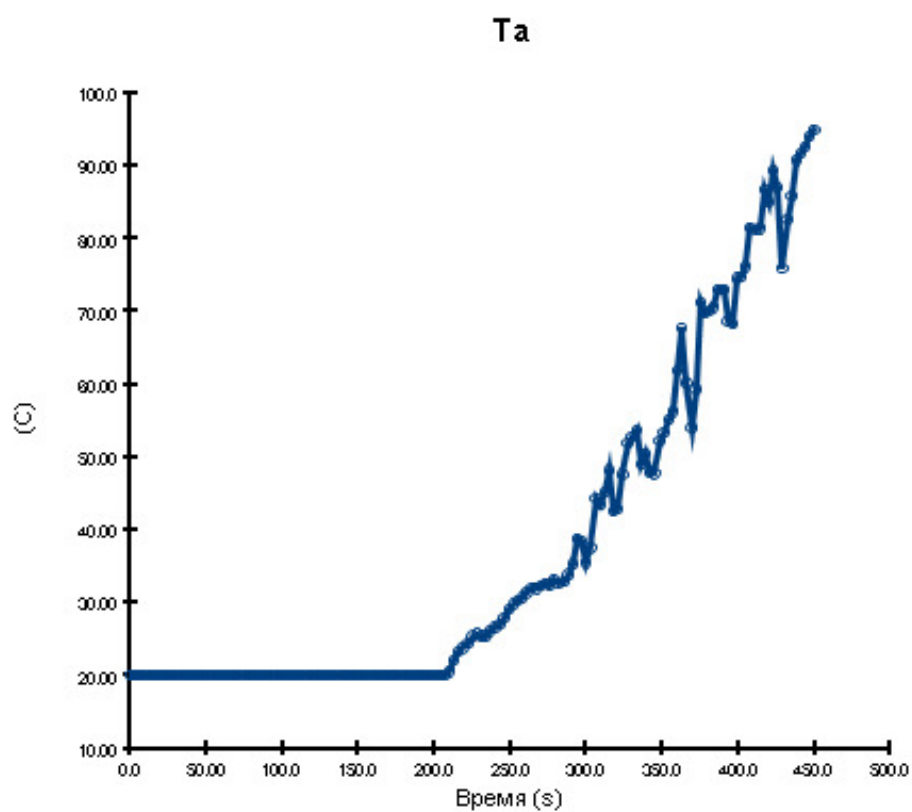


Рис. 6. График роста температуры

В Приказе МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» приведены предельные значения ОФП [7]. Время достижения ОФП получено исходя из результатов моделирования (табл.).

Таблица

Результаты моделирования пожара

Вид ОФП	Предельное значение	Время достижения
Потеря видимости	20 м	300 с
Содержание кислорода	0,026 кг*м ⁻³	260 с
Содержание СО ₂	0,11 кг*м ⁻³	320 с
Повышенная температура	+70 °С	375 с

Заключение

Исходя из результатов моделирования, можно сделать вывод о том, что предельные значения по потере видимости, пониженному содержанию кислорода и росту концентрации углекислого газа достигаются в первую очередь. Для определения времени блокирования путей необходимо наименьшее время достижения предельных значений ОФП умножить на коэффициент безопасности 0,8, что изложено в источнике [4]. Таким образом, время блокирования путей составит 208 сек. Критические значения остальных ОФП достигаются позже, например, температура приблизительно равна +70 °С на 375 сек. с момента начала пожара.

Ранее было рассчитано требуемое время эвакуации при пожаре в рассматриваемом ночном клубе с использованием агентного моделирования [3]. Исходя из этого, становится ясно, что требуемое время эвакуации, которое будет приблизительно равно 460 сек., однозначно превышает доступное, тем самым обосновывая актуальность рассматриваемой проблематики пожаров в ночных клубах и необходимость принятия управленческих решений по снижению пожарных рисков в учреждениях культуры данного типа.

Список источников

1. Задурова А.А., Матвеев А.В., Смирнов А.С. Анализ пожаров на объектах с массовым пребыванием людей на примере ночных клубов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 20–28.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Matveev A.V., Maximov A.V., Zadurova A.A. Simulation model of emergency evacuation in case of fire in a nightclub // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 720. № 1. P. 012019. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012019. EDN FMACZD.
4. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожароразрывобезопасности. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2005.
6. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: метод. рекомендации. М.: ВНИИПО МЧС России, 2003. 35 с.
7. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

References

1. Zadurova A.A., Matveev A.V., Smirnov A.S. Analiz pozharov na ob"ektah s massovym prebyvaniem lyudej na primere nochnyh klubov // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 20–28.
2. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
3. Matveev A.V., Maximov A.V., Zadurova A.A. Simulation model of emergency evacuation in case of fire in a nightclub // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 720. № 1. P. 012019. DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012019. EDN FMACZD.
4. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti: Prikaz MCHS Rossii ot 30 iyunya 2009 g. № 382. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
5. Puzach S.V. Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ih primenenie pri reshenii prakticheskikh zadach pozharozryvbezopasnosti. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2005.
6. Primenenie polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyah: metod. rekomendacii. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2003. 35 s.
7. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: prikaz MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 27.12.2022

Принята к публикации: 17.01.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 27.12.2022

Accepted for publication: 17.01.2023

Информация об авторах:

Джафарова Анастасия Алексеевна, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: nastya300696@mail.ru

Information about the authors:

Jafarova Anastasia A., associate professor of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: nastya300696@mail.ru

Научная статья

УДК 614.841.31

ПУТИ СНИЖЕНИЯ РИСКА ОПАСНОСТИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ПОЖАРАХ В ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ

✉ Савчук Олег Николаевич;

Степанов Роман Александрович.

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

✉ savchuk.o@igps.ru

Аннотация. Приводится анализ статистических данных о количестве пожаров и материального ущерба на объектах торговли? и акцентируется внимание на проблеме обеспечения безопасности населения при посещении торгово-развлекательных центров в случаях возникновения пожаров в них. Это обосновывается спецификой функционирования таких объектов и одновременным посещением их большим количеством людей, а также содержанием в них товаров, способных к воспламенению и выделению токсических газов. Приводятся статистические данные о человеческих потерях и материальном ущербе от крупных пожаров в торгово-развлекательных центрах за последние годы. Рассматриваются особенности обеспечения пожарной безопасности населения таких объектов, связанных с размещением в них на верхних этажах киноцентров и развлекательных зон. На основе анализа причин возникновения пожаров в ночном клубе «Хромая лошадь» и торгово-развлекательном центре «Зимняя вишня» рассмотрены пути совершенствования профилактических и противопожарных мероприятий по повышению безопасности посетителей: объемно-планировочные решения при проектировании, связанные с применением при строительстве материалов повышенной пожароустойчивости, разработанных на основе нанотехнологий, размещением киноцентров и развлекательных зон на нижних этажах, совершенствованием комплекса систем обнаружения и оповещения о пожаре и автоматического пожаротушения, способов эвакуации.

Ключевые слова: торгово-развлекательный центр, пожарная нагрузка, система обнаружения и оповещения о пожаре, система автоматического пожаротушения, пожароустойчивость

Для цитирования: Савчук О.Н., Степанов Р.А. Пути снижения риска опасности для населения при пожарах в торгово-развлекательных центрах // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 15–24.

Scientific article

THE WAYS TO REDUCE THE RISK OF DANGER TO THE PUBLIC IN FIRES IN SHOPPING MALLS

✉ Savchuk Oleg N.;

Stepanov Roman A.

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

✉ savchuk.o@igps.ru

Abstract. The article provides an analysis of statistical data on the number of fires and material damage at the facilities of trade and the problem of ensuring the safety of the population when visiting especially shopping and entertainment centers in cases of fires in them. This is justified by the specifics of the functioning of such objects and the simultaneous visit to the large contingent of people, as well as the content of goods in them capable of ignition and isolating toxic gases. Statistical data on human losses and material damage in large fires in shopping and entertainment centers in recent years are given. Features of ensuring the fire safety of such objects related to the placement of centers and entertainment zones are considered on the top floors. Based on the analysis of the causes of fires in the nightclub «Lame horse» and shopping and entertainment center «Winter cherry» shopping and entertainment center, ways to improve prevention and fire safety measures to improve the safety of visitors are considered: Surgical-planning solutions in the design associated with the use of materials during the construction of increased fire resistance, developed on the basis of nanotechnology, the placement of film centers and entertainment zones on the lower floors, the improvement of the complex of detection systems and alerts about fire and automatic fire extinguishing, evacuation methods.

Keywords: shopping mall, fire load, fire detection and warning system, automatic fire extinguishing system, fire resistance

For citation: Savchuk O.N., Stepanov R.A. The ways to reduce the risk of danger to the public in fires in shopping malls // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 15–24.

Введение

В настоящее время наиболее распространенными причинами чрезвычайных ситуаций в торгово-развлекательных центрах (ТРЦ) являются пожары. Обеспечение безопасности посетителей на таких объектах вызывает тревогу вследствие высокого уровня опасности, что требует тщательного анализа произошедших ранее пожаров на объектах массового скопления людей с целью выявления основных причин возникновения пожаров, приведших к гибели значительного количества людей и материальному ущербу [1].

Анализ основных причин возникновения пожаров в ТРЦ и проблемы обеспечения пожарной безопасности посетителей

Анализ статистических данных о количестве пожаров и материального ущерба только на объектах торговли с 2015 по 2019 г. в Российской Федерации подчеркивает существующую проблему по снижению этих показателей (рис. 1) [2, 3].



Рис. 1. Количество пожаров и материальный ущерб по объектам торговли в Российской Федерации в период с 2015 по 2019 г.

В настоящее время наибольшую пожарную опасность из объектов торговли представляют ТРЦ [3]. Это связано с наличием в них большого количества материалов, способных к возгоранию, наличием помещений с различным функциональным назначением, частой сменой арендаторов этих помещений, которые могут размещать в них новые виды товаров, что вызывает трудности в оперативной оценке пожарного риска и выработке профилактических противопожарных мероприятий.

Специфика работы ТРЦ связана со значительным количеством посетителей, наличием как торговых помещений и общепита, так и аттракционов для детей, что приводит к большому скоплению людей. Малейшее нарушение норм и правил противопожарной безопасности на таких объектах может привести к огромным материальным потерям

и большим человеческим жертвам. Так, например, пожар, произошедший в ночном клубе «Хромая лошадь» в г. Перми в 2009 г., привел к гибели свыше 150 чел., около 250 чел. пострадали [4].

В настоящее время известны основные способы предотвращения возникновения пожара и обеспечения безопасности людей в случае возникновения пожара в ТРЦ:

- наличие и поддержание в готовности к применению всех систем обнаружения и оповещения, а также средств автоматического пожаротушения и дымоудаления;
- соблюдение требований пожарной безопасности и оперативные действия всех работников ТРЦ, которые достигаются путем обучения их мерам пожарной безопасности и проведением практических тренировок.

Одна из проблем обеспечения надлежащей безопасности людей, посещающих ТРЦ, заключается в том, что будущие собственники таких объектов часто пренебрегают требованиями пожарной безопасности уже на этапе проектирования и строительства зданий. Это ведет к тому, что в ходе их эксплуатации проблемы обеспечения пожарной безопасности, вызванные этими недостатками, становятся неустраняемыми.

Особенности обеспечения пожарной безопасности населения в ТРЦ связаны со следующими обстоятельствами [6]:

- трудности быстрой эвакуации большого количества людей из всех помещений и со всех этажей при возникновении пожара;
- наличие среди посетителей любого ТРЦ детей, лиц с ограниченными возможностями, что вызывает необходимость в дополнительных более сложных способов эвакуации, учитывающих особенности их состояния здоровья и малолетний возраст;
- размещение в ТРЦ большого количества возгораемых товаров;
- наличие в ТРЦ лифтов и эскалаторов существенно осложняет процесс эвакуации людей, так как при возникновении пожаров люди на них могут быть заблокированы;
- в ТРЦ с высокой посещаемостью сложнее организовать подъезд спасательной техники и скорой помощи в связи с размещением автомобилей посетителей.

Согласно Общероссийской статистике причин пожаров (рис. 2) к основным причинам пожаров в общественных зданиях относятся неисправность электрооборудования и неосторожное обращение с огнём [7, 8].



Рис. 2. Причины пожаров в Российской Федерации

Поэтому в ТРЦ обычно при организации противопожарной профилактики особое внимание уделяют трем факторам, которые могут стать причиной пожара:

1. Несоблюдение условий проведения различных работ (сварочные работы, подключение электрооборудования и т.д.).
2. Неосторожное обращение с огнем.
3. Умышленные поджоги и террористические акты.

Анализ данных о крупных пожарах в торгово-развлекательных центрах за последние несколько лет по всей России, представленных в табл. 1 и на рис. 3, показывает, что самым крупным по численности погибших и пострадавших и по материальному ущербу был пожар в ТРЦ «Зимняя вишня» в г. Кемерово в 2018 г.

Таблица 1

Пожары в торгово-развлекательных центрах в России за 2009–2021 гг.

Дата	Наименование	Описание	Причины
5 декабря 2009 г.	Ночной клуб «Хромая лошадь», г. Пермь	Количество пострадавших – 238 чел., количество погибших – 156 чел.	Возгорание пенопласта, которым был покрыт потолок зала кафе, от попавшей в него горячей частицы, выброшенной из сработавшего пиротехнического устройства
6 сентября 2016 г.	ТЦ «Город», Москва	Происходило тление утеплителя. Площадь пожара – 20 кв. м., эвакуировано 500 чел.	Возможная причина – короткое замыкание
8 июля 2016 г.	ТЦ «Тополь», г. Иваново	Возгорание произошло в вентиляционной шахте. Площадь 5 кв. м.	Задымление в вентиляционной шахте из-за короткого замыкания
29 июня 2016 г.	ТЦ «Алмаз», г. Пермь	На здании загорелся рекламный щит	Короткое замыкание электропроводки
15 апреля 2016 г.	ТЦ «Вечерний», г. Череповец	Возгорание в магазине «Северный»	Неисправность электросчетчика
10 июля 2017 г.	ТЦ «РИО», Москва	Площадь возгорания – 70 тыс. кв. м., 18 пострадавших	Нарушение техники безопасности при проведении сварочных работ
13 марта 2017 г.	ТЦ «Грани», г. Северск	Общая площадь возгорания – 600 кв. м.	Причина неизвестна
7 января 2017 г.	ТЦ «Домино», г. Брянск	Было обнаружено два очага возгорания на кухне	Вспышка жировых отложений
26 марта 2018 г.	ТРЦ «Зимняя вишня», г. Кемерово	Площадь пожара – 1 600 кв. м. В результате пожара погибло 65 чел.	Возможная причина – неисправность электропроводки
4 апреля 2018 г.	ТЦ «Персей для детей», Москва	Количество пострадавших – 6 чел., количество погибших – 1 чел.	Возможная причина – короткое замыкание
21 декабря 2021 г.	ТЦ «Лента», г. Томск	Площадь пожара – 5 000 кв. м.	Умышленный поджог
5 ноября 2022 г.	Ночной клуб «Полигон», г. Кострома	Погибло 15 чел., эвакуировано 250 чел, площадь пожара – 3 500 кв. м	Возгорание от применения петарды и ракетницы



Рис. 3. Количество погибших и пострадавших в ТРЦ России за 2009–2021 гг.

Таблица 2

Материальный ущерб от пожаров в торгово-развлекательных центрах в России

Наименование ТРЦ	Клуб «Хромая лошадь»	ТРЦ «Зимняя вишня»	ТЦ «Персей для детей»	ТЦ «Город»	ТЦ «Тополь»	ТЦ «Алмаз»	ТЦ «Вечерний»	ТЦ «РИО»	ТЦ «Грани»	ТЦ «Домино»
Материальный ущерб	265 млн руб.	3 млрд руб.	143 млн руб.	5 млн руб.	2 млн руб.	511 тыс. руб.	215 тыс. руб.	156 млн руб.	6 млн руб.	7 млн руб.

Анализируя причины возникновения пожаров в ночном клубе «Хромая лошадь» и в ТРЦ «Зимняя вишня» [4, 9], можно сделать вывод, что в обоих случаях возгорание произошло из-за нарушения правил пожарной безопасности: были отключены системы пожаротушения и дымоудаления, пожарная сигнализация, а также из-за применения в отделке пенопласта и пластика. Ограниченное количество эвакуационных выходов и отключение аварийного освещения привело к невозможности организации безопасной эвакуации при пожаре.

При строительстве ТРЦ определяющим является обеспечение прочности и надёжности сооружений, продуманное функциональное предназначение помещений и соблюдения мер безопасности людей. В большинстве мегаполисов ТРЦ состоят из четырех и более этажей. Во многих развлекательных центрах кинотеатры находятся на последнем этаже. Такой объект представляет собой сложное конструктивное и технически оборудованное помещение – с высокими потолками и большим шагом колонн. Чаще всего в ТРЦ на верхних этажах также располагают общепит, аттракционы.

Расположение на верхних этажах аттракционов, кинозалов приводит к сложности обеспечения безопасности людей в связи с тем, что посетитель не может самостоятельно и быстро, без помощи обслуживающего персонала, покинуть помещение в случае

возникновения пожара. В этих случаях проблемой становится эвакуация посетителей при спуске с верхних этажей в связи с отключением лифтов и эскалаторов и невозможностью преодоления поражающих факторов пожара при возгорании на нижних этажах. Несмотря на недопустимость применения в качестве декора оборудования помещений ТРЦ горючих и выделяющих большое количество токсичных газов при пожаре материалов [10], к сожалению, в большинстве случаев возникновения пожаров в основе были нарушения в соблюдении этих условий.

Размещение кинотеатров на нижних этажах в уже построенных многоэтажных зданиях ТРЦ практически невозможно из-за нарушения конструктивной прочности зданий торговых центров, к тому же высота помещений нижних этажей недостаточна для кинозалов. В этой ситуации решение проблемы повышения безопасности посетителей при пожаре в многоэтажных ТРЦ возможно путем отказа от кинотеатров и развлекательных аттракционов либо разработки дополнительных профилактических и противопожарных мер по снижению пожарного риска.

Результаты анализа и пути повышения пожарной безопасности населения при посещении ТРЦ

Повышение безопасности населения при посещениях ТРЦ возможно путем совершенствования профилактических и противопожарных мероприятий, которые позволят существенно снизить людские потери и материальный ущерб при возникновении пожаров.

Для снижения риска опасности населения при пожарах в ТРЦ целесообразно:

1. Для повышения пожарной безопасности ТРЦ следует осуществлять объемно-планировочные решения при строительстве таких зданий с учетом:

- проектирования выходов и путей эвакуации с каждого этажа здания, так как лифты и эскалаторы в пожароопасных ситуациях будут обесточены;
- выбора материалов для конструкций, пандусов и оборудования, предназначенного для эвакуации лиц с ограниченными возможностями;
- выбора материалов для строительства с повышенной прочностью и пожаробезопасностью [11]. Например, ученые разработали бетонную смесь, которая включает в себя углеродные наночастицы [12]. Изготовленный таким способом бетон примерно в 1,8 раза легче обычного за счёт того, что у него меньше плотность, и он обладает высокой прочностью, хорошей водонепроницаемостью и морозостойкостью. Построенное из него сооружение способно выдерживать нагрузки втрое выше, чем выполненное из простого бетона. В настоящее время в отделке помещений с массовым пребыванием людей допускается применение ламината, дерева и паркета, обработанного специальными веществами и обладающего высокой огнестойкостью. Перспективным является использование материалов с повышенной огнестойкостью с использованием покрытий на основе нанотехнологий;
- ограничения площади и высоты помещений, тушение пожаров в которых будет затруднено;
- сокращения количества шахт лифтов, пересекающих границы пожарных отсеков;
- оборудования зданий противопожарными средствами, препятствующими распространению огня;
- оборудования системы аварийного пожаротушения для оперативного тушения пожаров в помещениях, где будут размещаться товары с повышенной пожарной нагрузкой [13];
- снижения пожарной нагрузки для складских и других пожароопасных помещений.

В настоящее время все основные планировочные решения выбираются при проектировании нового ТРЦ и проверяются при вводе в эксплуатацию. При необходимости в ходе эксплуатации торгового центра можно заказать проект перепланировки или переустройства, провести капитальные и текущие ремонты для повышения уровня защиты;

– размещения аттракционов и киноцентров на нижних этажах. В последнее время застройщики, учитывая последние требования пожарной инспекции, стали размещать кинозалы на первом этаже ТРЦ.

Наглядным примером таких решений является ТРЦ «Питер Радуга» в Санкт-Петербурге. Общая площадь комплекса составляет 90 тыс. кв. м, торговая – 80 тыс. кв. м. Здание торгового центра двухэтажное, второй степени огнестойкости. В здании имеется четыре основных и семь запасных эвакуационных выходов. Здание оборудовано автоматической установкой водяного пожаротушения. Пожарные краны и огнетушители ОП-5 расположены во всех помещениях ТРЦ. Здание оборудовано автоматической установкой водяного пожаротушения. Все помещения ТРЦ «Питер Радуга» оборудованы системами автоматического пожаротушения и разделены на противопожарные отсеки.

ТРЦ «Питер Радуга» – один из немногих в Санкт-Петербурге, спроектированный в соответствии с последними нормами СНИП. Игровые площадки в ТРЦ размещены на втором этаже и не далее, чем за 20 м от эвакуационного выхода.

Кинотеатр «Кино Стар Сити» расположен на первом этаже и по проекту второй эвакуационный выход из зала ведет непосредственно на эвакуационную лестницу.

На рис. 4 приведен план эвакуации людей со второго этажа в ТРЦ «Питер Радуга» при пожаре.



Рис. 5. План эвакуации при возникновении пожара со второго этажа ТРЦ «Питер Радуга»

Для сравнения в более ранней постройке – торговом центре «Галерея» в Санкт-Петербурге кинотеатр расположен на четвертом этаже, что вызывает трудности с эвакуацией посетителей в случае пожара.

2. Совершенствование комплекса систем обнаружения и оповещения о пожаре, водяного, газового и порошкового пожаротушения, противодымной защиты, а также зон безопасности.

Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре является одной из важных систем в сфере обеспечения пожарной безопасности объектов с массовым пребыванием людей [14].

Ее совершенствование должно осуществляться на пути разработки более надежных технических средств, систем противопожарной защиты с высокой оперативностью и производительностью по тушению пожара. Перспективным, на взгляд авторов, является внедрение в программное обеспечение таких систем для ТРЦ программ на основе искусственного интеллекта [15, 16], позволяющих вырабатывать речевые команды по оперативному и оптимальному выходу посетителей из зоны опасности в зависимости от места возникновения и динамики распространения пожара, а также последовательности включения систем автоматического пожаротушения. Целесообразна разработка специального оборудования в ТРЦ для экстренной эвакуации и вывода из здания лиц с ограниченными возможностями.

3. Важным элементом в обеспечении безопасности посетителей ТРЦ при пожаре является своевременный и безопасный их вывод из здания. В связи с этим целесообразно при входе выдавать каждому из посетителей схему эвакуации из помещений ТРЦ, что позволит при возникновении пожара быстро сориентироваться и безопасно преодолеть участки опасного задымления при выходе из здания. Кроме того, необходимо обучить персонал объекта правильной организации, эвакуации посетителей из здания, без паники, прежде всего детей, пожилых граждан, лиц с ограниченными возможностями. В этих целях персонал должен быть обеспечен на местах работы самоспасателями и средствами первичного пожаротушения (НПБ 169–2001 «Самоспасатели изолирующие для защиты органов дыхания и зрения людей при эвакуации из помещений во время пожара») и быть обучен пользованию противопожарными системами и средствами. Целесообразно проводить учебные тренировки по эвакуации и спасению посетителей при пожарах не реже двух раз в год (в летний и зимний период), привлекая к ним подразделения пожарных и спасателей местного гарнизона.

4. Стремиться к снижению пожарной нагрузки в арендованных помещениях. В этих целях руководителям ТРЦ вменить в обязанность проведение независимого пожарного аудита, по выводам которого обязывать арендаторов проводить мероприятия по снижению пожарного риска.

5. Для существующих ТРЦ с размещенными на верхних этажах аттракционами и кинозалами предусмотреть оборудование средствами эвакуации в виде надувных трапов с верхних этажей, оборудование портативных лебедочных средств снаружи и площадки для посадки вертолета на крыше ТРЦ. Отдельно предусмотреть оборудование для эвакуации лиц с ограниченными возможностями.

Заключение

На основе анализа статистических данных о пожарах в ТРЦ определены основные причины возникновения пожаров в них, и вскрыты проблемы по обеспечению пожарной безопасности населения в построенных высотных зданиях ТРЦ. Предложены меры по совершенствованию обеспечения пожарной безопасности посетителей таких объектов, что позволит сократить возможности возникновения пожаров в них и повысить вероятность спасения людей в случае пожара путем совершенствованием комплекса систем обнаружения и оповещения о пожаре и автоматического пожаротушения, способов эвакуации.

Список источников

1. Суханов И.В. Анализ пожаров в торгово-развлекательных центрах // Молодой ученый. 2022. № 4 (399). С. 306–309.
2. Крупные пожары в ТЦ и гипермаркетах в России // РИА Новости. URL: <https://ria.ru/20181110/1532523360.html> (дата обращения: 10.01.2023).

3. Крупнейшие пожары с человеческими жертвами в досуговых и торговых центрах // РБК. URL: <https://www.rbc.ru/photoreport/26/03/2018/5ab8d4e59a794749bf593cf6> (дата обращения: 10.01.2023).
4. Плотников А.С., Седов Д.В. Анализ последствий пожаров на объектах с массовым пребыванием людей и мер, направленных на их смягчение // XXI век. Техносферная безопасность. 2020. № 5 (1). С. 71–83.
5. Задурова А.А. Проблемы обеспечения безопасности людей при пожарах в ночных клубах // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 216–218. EDN POQYTL.
6. Фирсова Т.Ф., Залалтдинов Р.Р. Способы обеспечения пожарной безопасности развлекательных зон в закрытых помещениях // Аллея науки. 2019. № 9 (36). С. 287–294.
7. Статистические данные о пожарах. URL: <http://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny/federalnyy-bank-dannykh-pozhary/> (дата обращения: 10.01.2023).
8. Bastings D. Fire Safety in Atrium Buildings. Building Research Association of New Zealand (Judgeford). BRANZ Study Report, 1988. 40 p.
9. Домаков В.В., Матвеев А.В., Матвеев В.В. Правовые предпосылки национальной трагедии в торгово-развлекательном центре «Зимняя вишня», г. Кемерово // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2018. № 1 (21). С. 48–63. EDN XQZMUP.
10. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / Morgan J. Hurley [et al.]. New York: Springer-Verlag, 2016. 3493 p.
11. Hasofer A.M., Beck V.R., Bennetts D. Risk analysis in building fire safety engineering. Routledge, 2006. 189 p.
12. Парникова Е. Наночастицы углерода. В Петербурге создали бетон с суперспособностями // Еженедельник «Аргументы и факты». 2021. Вып. 45.
13. Система пожарного мониторинга для объектов с массовым пребыванием людей. URL: <https://www.secuteck.ru/blog/sistema-pozharnogo-monitoringa-dlya-obektov-s-massovym-prebyvaniem-lyudej> (дата обращения: 10.01.2023).
14. Костерин И.В. Оценка вероятности эвакуации людей при пожарах из зданий с многосветными пространствами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 24 с.
15. Коткова Е.А., Матвеев А.В. Методика интеллектуального прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей из общественных зданий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 4. С. 107–120. EDN PLARHX.
16. Коткова Е.А. Модель нейронной сети для прогнозирования предэвакуационного поведения людей при пожаре // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2022. № 2 (38). С. 66–72. DOI: 10.37468/2307-1400-2022-2-66-72. EDN UBIKMZ.

References

1. Suhanov I.V. Analiz pozharov v trgovno-razvlekatel'nyh centrakh // Molodoj uchenyj. 2022. № 4 (399). S. 306–309.
2. Krupnye pozhary v TC i gipermarketah v Rossii // RIA Novosti. URL: <https://ria.ru/20181110/1532523360.html> (data obrashcheniya: 10.01.2023).
3. Krupnejshie pozhary s chelovecheskimi zhertvami v dosugovyh i trgovykh centrakh // RBK. URL: <https://www.rbc.ru/photoreport/26/03/2018/5ab8d4e59a794749bf593cf6> (data obrashcheniya: 10.01.2023).
4. Plotnikov A.S., Sedov D.V. Analiz posledstvij pozharov na ob"ektah s massovym prebyvaniem lyudej i mer, napravlennyh na ih smyagchenie // XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2020. № 5 (1). S. 71–83.
5. Zadurova A.A. Problemy obespecheniya bezopasnosti lyudej pri pozharah v nochnykh klubah // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnykh situacij. 2018. T. 1. S. 216–218. EDN POQYTL.
6. Firsova T.F., Zalaltidinov R.R. Sposoby obespecheniya pozharnoj bezopasnosti razvlekatel'nyh zon v zakrytykh pomeschcheniyah // Alleya nauki. 2019. № 9 (36). S. 287–294.

7. Statisticheskie dannye o pozharah. URL: <http://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny/federalnyy-bank-dannykh-pozhary/> (data obrashcheniya: 10.01.2023).
8. Bastings D. Fire Safety in Atrium Buildings. Building Research Association of New Zealand (Judgeford). BRANZ Study Report, 1988. 40 p.
9. Domakov V.V., Matveev A.V., Matveev V.V. Pravovye predposylki nacional'noj tragedii v torгово-razvlekatel'nom centre «Zimnyaya vishnya», g. Kemerovo // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2018. № 1 (21). S. 48–63. EDN XQZMUP.
10. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / Morgan J. Hurley [et al.]. New York: Springer-Verlag, 2016. 3493 p.
11. Hasofer A.M., Beck V.R., Bennetts D. Risk analysis in building fire safety engineering. Routledge, 2006. 189 p.
12. Parnikova E. Nanochasticy ugleroda. V Peterburge sozdali beton s supersposobnostyami // Ezhenedel'nik «Argumenty i fakty». 2021. Vyp. 45.
13. Sistema pozharnogo monitoringa dlya ob"ektov s massovym prebyvaniem lyudej. URL: <https://www.secuteck.ru/blog/sistema-pozharnogo-monitoringa-dlya-obektov-s-massovym-prebyvaniem-lyudej> (data obrashcheniya: 10.01.2023).
14. Kosterin I.V. Ocenka veroyatnosti evakuacii lyudej pri pozharah iz zdaniy s mnogosvetnymi prostranstvami: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2012. 24 s.
15. Kotkova E.A., Matveev A.V. Metodika intellektual'nogo prognozirovaniya effektivnosti upravleniya evakuaciej lyudej iz obshchestvennyh zdaniy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 4. S. 107–120. EDN PLARHX.
16. Kotkova E.A. Model' nejronnoj seti dlya prognozirovaniya predevakuacionnogo povedeniya lyudej pri pozhare // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2022. № 2 (38). S. 66–72. DOI: 10.37468/2307-1400-2022-2-66-72. EDN UBIKMZ.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 10.01.2023

Принята к публикации: 31.01.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 10.01.2023

Accepted for publication: 31.01.2023

Информация об авторах:

Савчук Олег Николаевич, профессор кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, профессор, e-mail: savchuk.o@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8817-925X>

Степанов Роман Александрович, заместитель начальника кафедры сервис безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат педагогических наук, e-mail: stepanov.r.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-110X>

Information about the authors:

Savchuk Oleg N., professor of the department of security service of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, professor, e-mail: savchuk.o@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8817-925X>

Stepanov Roman A., deputy head of the department of security service of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of pedagogical sciences, e-mail: stepanov.r.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-110X>

Научная статья

УДК 614.8

ОЦЕНКА РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТА

✉ Немцов Владимир Сергеевич.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉ vova_nemcov@rambler.ru

Аннотация. Данная работа посвящена оценке риска возникновения аварии подъемных сооружений при строительстве моста. Объектом исследования в данной работе является гусеничный кран стрелового типа SENEBOGEN 7700, предметом исследования – оценка риска аварии. Проанализировав статистику аварии при использовании подъёмных сооружений, были выделены основные виды дефектов, приводящие к аварии. С помощью метода «Дерево отказов» были найдены вероятности возникновения аварии на гусеничном кране стрелового типа SENEBOGEN 7770 при перемещении сваи. Затем с помощью метода анализа видов, последствий и критичности отказов (FMECA) производилась оценка приоритетности риска путем проведения экспертного опроса, чтобы выделить наиболее опасные из выбранных видов отказов и провести ранжирование этих дефектов по степени критичности для строительного объекта и человека. После проведения ранжирования в работе были предложены мероприятия, которые позволят снизить риск возникновения аварии на строительном объекте.

Ключевые слова: оценка риска, промышленная безопасность, подъемные сооружения, FTA, FMECA

Для цитирования: Немцов В.С. Оценка риска возникновения аварии грузоподъемных сооружений при строительстве моста // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 25–33.

Scientific article

ASSESSMENT OF THE RISK OF AN ACCIDENT OF LIFTING STRUCTURES DURING THE CONSTRUCTION OF THE BRIDGE

✉ Nemtsov Vladimir S.

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

✉ vova_nemcov@rambler.ru

Abstract. This work is devoted to assessing the risk of an accident of lifting structures during the construction of the bridge. The object of research in this work is a SENEBOGEN 7700 jib type crawler crane, the subject of the study is an accident risk assessment. After analyzing the accident statistics when using lifting structures, the main types of defects leading to an accident were identified. With the help of the «Tree of failures» method, the probabilities of the accident occurrence were found on the SENEBOGEN 7770 boom type crawler crane when moving the pile. Then, using the method of analysis of the types, consequences and criticality of failures (FMECA), the risk priority was assessed by conducting an expert survey to identify the most dangerous of the selected types of failures and to rank these defects according to the degree of criticality for the construction object and the person. After the ranking, measures were proposed in the work that will reduce the risk of an accident at the construction site.

Keywords: risk assessment, industrial safety, lifting structures, FTA, FMECA

For citation: Nemtsov V.S. Assessment of the risk of an accident of lifting structures during the construction of the bridge // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 25–33.

Введение

Строительная отрасль является источником повышенной опасности с высоким уровнем аварийности и наиболее серьезными несчастными случаями с точки зрения полученных рабочими травм.

Авария подъемного сооружения – разрушение сооружений опасного производственного объекта (ОПО), на которых непосредственно установлены подъемные сооружения (ПС), самих ПС, в том числе падение транспортируемого груза или отдельных частей ПС. Согласно п. 6 Приложения 2 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» ОПО, на которых используются грузоподъемные сооружения, относятся к IV классу опасности [1].

Безопасность при эксплуатации грузоподъемных механизмов является важной частью обеспечения безопасной эксплуатации опасного производственного объекта в целом. Существует множество факторов, которые могут спровоцировать возникновение аварии [2–4].

В 2020 г. произошло 30 аварий при эксплуатации подъемных сооружений (пять из них произошли при эксплуатации фасадных подъемников) и 28 несчастных случаев, а в 2019 г. произошло 44 аварии и 30 несчастных случаев. Количество полученных тяжелых травм работниками в 2020 г. составило 21 (в 2019 г. – 22) [5].

Однако в настоящий момент конкретные рекомендации по использованию грузоподъемных сооружений отсутствуют. Например, приказ Ростехнадзора от 26 ноября 2020 г. № 461 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», дает ответы на большинство вопросов, связанных с требованиями к персоналу, проведению ремонтных работ и освидетельствованию грузоподъемных сооружений. Однако найти в нем актуальную информацию по эксплуатации сложно, в документе есть лишь общие рекомендации [6].

Поэтому методы оценки риска являются одним из способов снижения вероятности аварии при использовании грузоподъемных сооружений.

Целью работы является расчет риска с использованием метода «Дерево отказов» и FMECA (анализ видов, последствий и критичности отказов) аварии на кране при строительстве моста и разработка рекомендаций по снижению этого риска.

На основании полученных результатов могут быть предложены мероприятия по обеспечению безопасной работы подъемного сооружения, которые позволят уменьшить вероятность возникновения аварии на строительном объекте и защитить человека в случае ее возникновения.

Методы исследования

Оценка риска аварии при использовании подъемных сооружений проводилась с помощью методов: «Дерево отказов» и «Анализ видов, последствий и критичности отказов».

Объектом исследования является гусеничный кран стрелового типа SENEBOGEN 7700, который обширно используется во многих отраслях строительства, в конкретном случае рассматривается стреловой мост, который выполняет операцию по подъему, перемещению и погружению свай.

Анализ последовательности отказов компонентов системы крана проводился с использованием метода «Дерева отказов» или по-английски: Fault Tree Analysis (FTA).

Метод FTA используется не только для анализа сбоя устройства в системе, но также для анализа особых причин возникновения аварии. FTA является одним из основных методов прогнозирования и предотвращения всех видов аварий [7].

Метод FTA обычно применяется к системе, в которой определен механизм неисправности, и логическая связь неисправностей ясна, поскольку он делает много предположений о состоянии неисправности системы [8].

Также важно отметить, что «дерево» не является в полной мере количественной моделью. Это, прежде всего, качественная модель, которая может оцениваться и количественно.

Вероятность того, что изделие откажет к моменту времени t можно найти по следующей формуле:

$$P(T) = 1 - \exp[-Et], \quad (1)$$

где E – интенсивность отказов, которая равная вероятности того, что авария произойдет после периода безаварийной эксплуатации.

Вероятность наступления конечного события, которая будет связана с логическим оператором «И», определяется по следующей формуле:

$$P(T) = P(E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap \dots \cap E_n) = \\ P(E_1, T)P(E_2, T)P(E_3, T) \dots P(E_n, T),$$

где n – количество начальных событий, которые описаны в «дереве отказов».

Вероятность наступления конечного события, связанная с логическим оператором «ИЛИ», определяется по следующей формуле:

$$P(T) = P(E_1 \cup E_2 \cup E_3 \cup \dots \cup E_n) = P(E_1, T)P(E_2, T)P(E_3, T) \dots P(E_n, T) = \\ 1 - [1 - P(E_1)][1 - P(E_2)][1 - P(E_3)] \dots [1 - P(E_n)]. \quad (2)$$

Основная цель этого анализа заключается в поиске наиболее вероятных сценариев возникновения аварии, используя данные статистики отказа элементов системы.

После определения самих вероятностей отказов элементов, необходимо провести ранжирование этих сценариев с помощью метода анализа видов, последствий и критичности отказа (FMECA).

Особенностью метода FMECA является то, что помимо анализа вида отказа системы и его последствий, он также приводит анализ критичности. Критичность здесь рассматривается как качественная мера оценки последствий каждого из отказов [9].

Определить критичность можно с помощью матрицы, представленной в таблице [10].

Таблица

Матрица критичности

Частота возникновения события, год ⁻¹	Тяжесть последствий возникновения опасных событий на объекте			
	События со смертельным исходом	Критическое событие	Некритическое событие	Событие с малыми последствиями
>1	1	1	1	3
$1 - 10^{-2}$	1	1	2	3
$10^{-2} - 10^{-4}$	1	2	2	3
$10^{-4} - 10^{-6}$	1	2	3	4
<10 ⁻⁶	2	3	3	4

Прежде чем приступить к оценке критичности с помощью матрицы, необходимо определить самые опасные причины возникновения отказа с помощью расчета значения приоритетности риска (RPN), определяющегося как произведение трех коэффициентов, которые являются экспертными оценками по десятибалльной шкале, по следующей формуле:

$$RPN = S * O * D, \quad (3)$$

где S – значение тяжести последствий, то есть влияния отказа на систему или пользователя. Ранг тяжести будет определяться для каждого из видов отказов с помощью определение последствий этого отказа для системы; O – вероятность того, что причина, если она возникнет, приведет к отказу системы. Для определения ранга будут использоваться вероятности отказа каждого из элементов системы, используемые при использовании дерева отказов; D – субъективная оценка обнаружения причины или режима отказа системы до того, как появятся последствия для заказчика. Предполагается, что отказ уже произошел.

После сравнения RPN и критичности каждого из видов отказов между собой производится ранжирование сценариев с помощью матрицы критичности по их приоритетности к предпринимаемым действиям.

Результаты исследования и их обсуждение

Для построения «Дерева отказов» для последующей оценки риска автором были выбраны следующие группы отказов:

- износ каната, его обрыв или изначальный дефект;
- неисправность гидравлической системы;
- неисправность башенного-стрелового оборудования;
- неисправность системы защиты крана.

Результат построения дерева отказов представлен на рисунке.

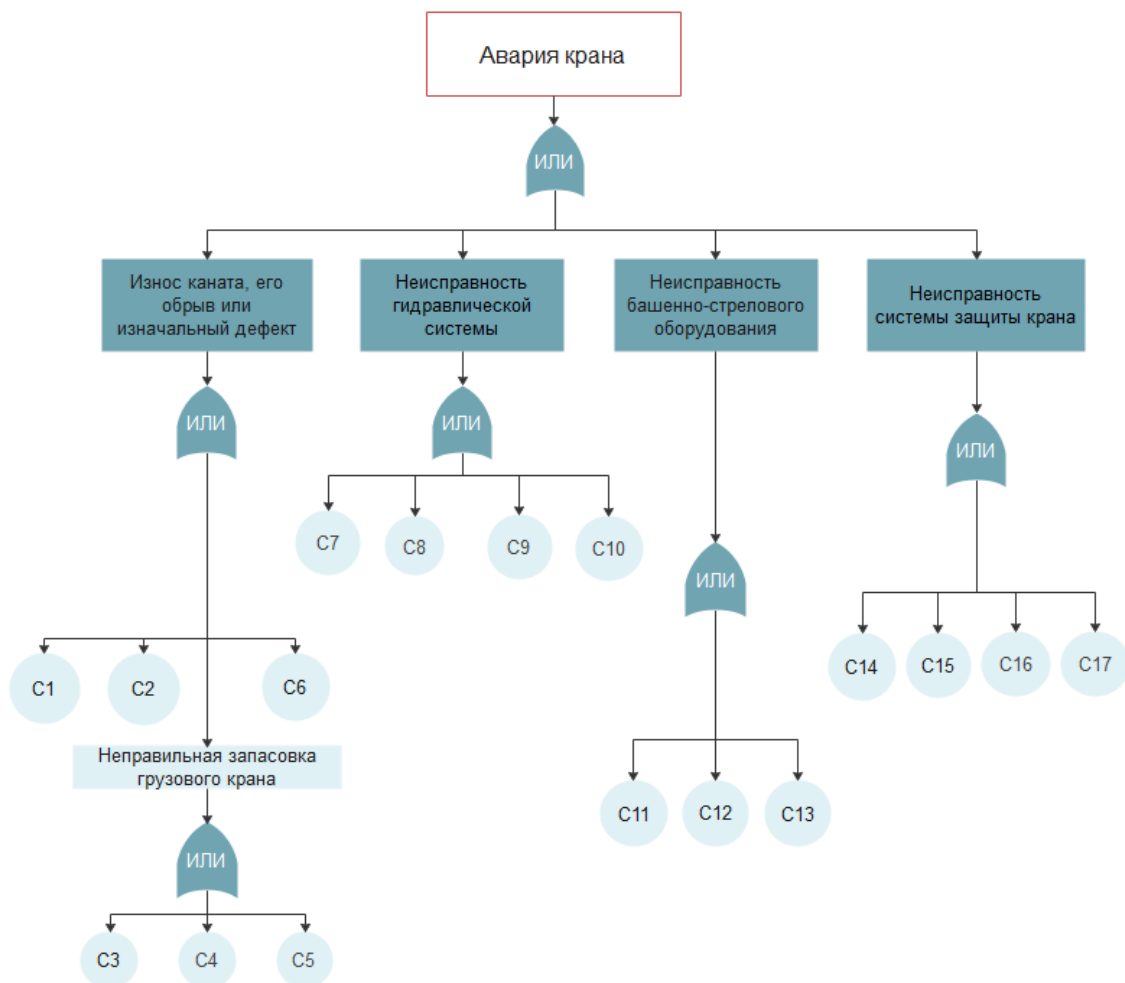


Рис. «Дерево отказов»

Для простоты отображения «Дерева отказов» базовые события, приводящие к аварии, были записаны с использованием индексов C1–C17, где C1 – скол роликов на оголовке стрелы; C2 – состояние смазки канатов неудовлетворительное; C3 – неправильная запасовка грузового каната на оголовке стрелы; C4 – неправильная запасовка стрелового каната на поворотной платформе; C5 – неправильная запасовка стрелового каната на крюковой подвеске; C6 – отсутствует вращение опорных роликов корневой секции стрелы; C7 – разрушение обоймы шарнира гидроцилиндра подъема в узле крепления к стреле; C8 – разрушение втулок подшипника гидроцилиндра подъема стрелы в месте соединения с поворотной платформой; C9 – повреждение покрытия гидрошлангов; C10 – утечка масла из гидроцилиндра подъема стрелы; C11 – коррозионный износ до 15 % при допуске 10 %; C12 – деформация раскосов стрелы; C13 – тормоз механизма подъема стрелы не работает; C14 – отсутствие координатной защиты на кране; C15 – не работает ограничитель грузоподъемности (ОГП); C16 – концевой выключатель на подъем стрелы не работает; C17 – состояние указателя наклона крана неработоспособное.

Исходя из статистики аварий кранов стрелового типа, была найдена вероятность возникновения этих дефектов на 300 кранов.

Вероятность того, что изделие откажет к моменту времени t определяем по формуле (1), она будет равна $P(T) = 3 \cdot 10^{-3}$.

Аналогичным образом были получены вероятности для остальных дефектов: $P_2 = 8 \cdot 10^{-4}$; $P_3 = 3,2 \cdot 10^{-4}$; $P_4 = 1 \cdot 10^{-4}$; $P_5 = 8 \cdot 10^{-4}$; $P_6 = 1,1 \cdot 10^{-3}$; $P_7 = 2 \cdot 10^{-4}$; $P_8 = 1,6 \cdot 10^{-4}$; $P_9 = 5,6 \cdot 10^{-3}$; $P_{10} = 2 \cdot 10^{-3}$; $P_{11} = 1 \cdot 10^{-3}$; $P_{12} = 5 \cdot 10^{-3}$; $P_{13} = 6,3 \cdot 10^{-4}$; $P_{14} = 2,4 \cdot 10^{-3}$; $P_{15} = 1 \cdot 10^{-2}$; $P_{16} = 6,2 \cdot 10^{-3}$; $P_{17} = 5,1 \cdot 10^{-3}$.

Далее найдем вероятности возникновения аварии по каждой группе выбранных дефектов по формуле (2), так как все дефекты крана обозначены оператором «ИЛИ».

Вероятность того, что авария произойдет по причине износа каната, его обрыва или изначального дефекта будет равна следующему значению:

$$P_{\text{канат}}(T) = 6,1 \cdot 10^{-3}.$$

По причине неисправности гидравлической системы:

$$P_{\text{гс}}(T) = 8,1 \cdot 10^{-3}.$$

По причине неисправности башенного-стрелового оборудования:

$$P_{\text{башня}}(T) = 6,7 \cdot 10^{-3}.$$

По причине неисправности системы защиты крана:

$$P_{\text{сз}}(T) = 2,4 \cdot 10^{-2}.$$

Следовательно, вероятность возникновения аварии крана будет равна:

$$P_{\text{крана}}(T) = 4,4 \cdot 10^{-2}.$$

После анализа «Дерева отказов», необходимо провести ранжирование каждого дефекта посредством анализа каждого сценария с помощью метода FMECA. Это поможет выявить те дефекты, которые имеют наибольший риск для объекта строительства и людей, которые находятся на нем.

Для того чтобы провести ранжирование воспользуемся формулой определения RPN (3). Для этого определим баллы S, O, D для каждого из приведенных в «Дереве отказов» сценария. Чтобы определить эти значения, используются методы экспертных оценок по десятибалльной шкале.

После сравнения полученных значений RPN и значения тяжести последствий, выберем те причины отказа, которые в каждой из категорий отказов получили наибольшее значение RPN, определим критичность с помощью матрицы, представленной в таблице критичности.

После определения критичности производится ранжирование с учетом критичности и RPN, где причины с одинаковым уровнем критичности будут ранжироваться по RPN, а в случае если RPN равны, ранжирование будет происходить по тяжести последствий.

Исходя из расчета RPN и определения критичности с помощью матрицы, получилось следующее ранжирование причин отказов:

1. Не работает ОГП.
2. Состояние указателя наклона крана неработоспособное.
3. Неправильная запасовка стрелового каната на поворотной платформе.
4. Состояние смазки канатов неудовлетворительное.
5. Скол роликов на оголовке стрелы.
6. Коррозионный износ 15 % при допуске 10 %.
7. Неправильная запасовка грузового каната на оголовке стрелы.
8. Концевой выключатель на подъем стрелы не работает.
9. Разрушение втулок подшипника гидроцилиндра в месте соединения с поворотной платформой.
10. Разрушение обоймы шарнира гидроцилиндра подъема в узле крепления к стреле.
11. Утечка масла из гидроцилиндра подъема стрелы.
12. Повреждение покрытия гидрошлангов.

После получения результатов применения методов FTA и FMESA были разработаны мероприятия, которые позволят снизить вероятность аварий на объекте строительства с использованием подъемных сооружений или уменьшить тяжесть последствий от потенциальной аварии.

Для того чтобы снизить вероятность возникновения аварии по причине обрыва строп, необходимо выполнить следующие мероприятия:

1. Стальные канаты, которые применяются в качестве грузовых или стреловых, должны соответствовать государственным стандартам, а также иметь сертификат об испытании канатов в соответствии с ГОСТ 3241 и ГОСТ 18899. Если канат изготовлен по международным стандартам, то он должен пройти сертификацию у соответствующей организации.

2. Крепления канатов должны регулярно смазываться, чтобы избежать перетирания о части металлоконструкции, а также их крепление и расположение должно быть спроектировано так, чтобы избежать спадания с роликов.

3. Петли на конце каната при креплении его на кране, при сопряжении с крюком крана, должны быть выполнены:

- с применением коуша и заплеткой свободного конца каната или установкой зажимов;
- с применением стальной кованой, штампованной, литой втулки с закреплением клином;
- путем заливки легкоплавким сплавом.

4. Для того чтобы была возможность заменить канат, его крепление к барабану должно производиться с применением прижимных планок, их количество должно быть не менее двух. Длина свободного конца каната от прижимной планки на барабане должна составлять не менее двух диаметров каната.

Чтобы снизить вероятность деформации и разрушения стрелы, необходимо:

1. Установить приборы и устройства безопасности, такие как:
 - ОГП крана;
 - концевой выключатель;
 - ограничители вылета;
 - ограничитель высоты подъема крюка.

2. Не выключать систему оповещения груза, чтобы контролировать перегруз стрелы и избежать ее деформации или выхода механизма из строя.

3. Организовать опорные точки и выполнять работу по перемещению груза плавно, чтобы избежать высоких динамических перегрузок.

4. Проводить проверку гидрооборудования крана, чтобы обеспечить правильную работу стрелы крана.

Чтобы избежать опрокидывания крана, необходимо выполнить следующие рекомендации:

1. Не допускать превышение грузоподъемности крана и поднимать грузы исходя из максимально допустимой грузоподъемности крана в зависимости от длины его стрелы.

2. Установить на кране указатель угла наклона, который будет помогать контролировать установку крана. Обеспечить правильную установку крана с применением выносных опор и не устанавливать его на свеженасыпанный грунт.

3. Не допускать к работе с применением крана при скорости ветра, которая превышает максимально установленную скорость ветра в паспорте.

Немаловажным фактором для успешного выполнения этих мероприятий для снижения риска возникновения аварии по каждому из приведенных выше сценариев является производственная дисциплина на объекте. Для обслуживания подъемных сооружений необходимы квалифицированные специалисты, прошедшие качественную подготовку и переподготовку при работе с подъемным сооружением.

Следующий фактор, который негативно влияет на безопасную эксплуатацию и выполнение мероприятий по снижению риска, – финансовое положение компании. Не каждый руководитель может, а иногда не хочет выделять средства для реализации мер по безопасной эксплуатации крана.

Подводя итоги, можно сказать, что разработка мероприятий по снижению риска возникновения аварий является неотъемлемой частью функционирования ОПО, на которых эксплуатируются подъемные сооружения, которая проводится на основе оценки риска аварий. Разработка таких мероприятий поможет снизить вероятность возникновения аварий при использовании подъемных сооружений, а также защитит человека от последствий таких аварий.

Заключение

Стреловые краны, используемые при строительстве мостов, являются источником повышенной опасности для здоровья работников, объекта строительства в целом и окружающей среды из-за возможности падения крана или утечки топлива в воду. Поэтому для стреловых кранов необходимы мероприятия по снижению вероятности возникновения аварий при его использовании.

Учитывая отсутствие конкретных рекомендаций для безопасного использования грузоподъемных сооружений, методы оценки риска аварий являются одним из немногих способов определения степени опасности и заблаговременного предупреждения возникновения аварий при использовании грузоподъемных сооружений.

Основные причины аварий при использовании стреловых кранов связаны с выходом крана из строя из-за каких-либо его дефектов или из-за действий оператора крана.

В ходе написания работы было изучено состояние промышленной безопасности в строительстве при использовании подъемных сооружений, а также такие методы оценки риска, как «Дерево отказов» и «Анализ видов, последствий и критичности отказов».

После изучения методики оценки риска и статистики аварийности и травматизма при использовании подъемных сооружений был проведен расчет риска возникновения аварии при использовании гусеничного крана стрелового типа.

В ходе расчета риска аварии были получены следующие значения:

1. Вероятность реализации определенного сценария аварии подъемного сооружения с помощью построенного «Дерева отказов».

2. Значение тяжести последствий.

3. Вероятность появления отказа для заданного или установленного периода времени, которая была определена как ранг по матрице риска, а не как фактическое значение вероятности появления отказа.

4. Вероятность обнаружения отказа, которая представляет собой оценку шанса идентифицировать и устранить отказ до появления последствий для системы или заказчика.

5. Значение приоритетности риска.

6. Уровень критичности по матрице риска.

Данные значения позволили провести оценку этих сценариев с последующим ранжированием по тяжести последствий и вероятности возникновения. После проведения ранжирования сценариев аварии были предложены мероприятия, направленные на снижение риска возникновения аварии, которые позволяют защитить объект строительства и человека.

Список источников

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ (в ред. от 8 дек. 2020 г.) // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1997. № 30. Ст. 3588.

2. Причины травматизма, аварий и несчастных случаев, связанных с нарушением безопасной эксплуатации подъемных сооружений / А.А. Васильев [и др.] // Научные труды КУБГТУ. 2015. № 9. С. 102–111.

3. Shapira, A., Lyachin, B. Identification and analysis of factors affecting safety on construction sites with tower cranes // Journal of Construction Engineering and Management. 2009. № 135 (1). P. 24–33. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:1(24).

4. Li R.Y.M., Chau K.W., Zeng F.F. Ranking of Risks for Existing and New Building Works // Sustainability. 2019. № 11 (10). P. 2863.

5. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2020 году. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Годовой%20отчет%20за%202020%20год.pdf (дата обращения: 20.02.2022).

6. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения»: приказ Ростехнадзора от 26 нояб. 2020 г. № 461 // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультатПлюс».

7. ГОСТ Р 27.302–2009. Надежность в технике (ССНТ). Анализ дерева неисправностей // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.12.2022).

8. Zheng Y., Zhao F., Wang Z. Fault diagnosis system of bridge crane equipment based on fault tree and Bayesian network // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. № 105. P. 3605–3618. DOI: 10.1007/s00170-019-03793-0.

9. Gardijan Petar. Mogućnosti realizacije metoda analize otkaza za mašinsko sredstvo // Vojnotehnički glasnik. 2001. № 49 (4-5). № 412–423.

10. Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах»: приказ Ростехнадзора от 3 нояб. 2022 г. № 387. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультатПлюс».

References

1. O promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov: Feder. zakon ot 21 iyulya 1997 g. № 116-FZ (v red. ot 8 dek. 2020 g.) // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 1997. № 30. St. 3588.

2. Prichiny travmatizma, avarij i neschastnyh sluchaev, svyazannyh s narusheniem bezopasnoj ekspluatatsii pod'emnyh sooruzhenij / A.A. Vasil'ev [i dr.] // Nauchnye trudy KUBGTU. 2015. № 9. С. 102–111.

3. Shapira, A., Lyachin, B. Identification and analysis of factors affecting safety on construction sites with tower cranes // Journal of Construction Engineering and Management. 2009. № 135 (1). P. 24–33. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:1(24).
4. Li R.Y.M., Chau K.W., Zeng F.F. Ranking of Risks for Existing and New Building Works // Sustainability. 2019. № 11 (10). P. 2863.
5. Godovoj otchet o deyatelnosti Federal'noj sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2020 godu. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/Godovoj%20otchet%20za%202020%20god.pdf (data obrashcheniya: 20.02.2022).
6. Ob utverzhdenii federal'nyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov, na kotoryh ispol'zuyutsya pod"emnye sooruzheniya»: prikaz Rostekhnadzora ot 26 noyab. 2020 g. № 461 // Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tatPlyus».
7. GOST R 27.302–2009. Nadezhnost' v tekhnike (SSNT). Analiz dereva neispravnostej // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.12.2022).
8. Zheng Y., Zhao F., Wang Z. Fault diagnosis system of bridge crane equipment based on fault tree and Bayesian network // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. № 105. P. 3605–3618. DOI: 10.1007/s00170-019-03793-0.
9. Gardijan Petar. Mogućnosti realizacije metoda analize otkaza za mašinsko sredstvo // Vojnotehnički glasnik. 2001. № 49 (4-5). № 412–423.
10. Ob utverzhdenii Rukovodstva po bezopasnosti «Metodicheskie osnovy analiza opasnostej i ocenki riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob"ektah»: prikaz Rostekhnadzora ot 3 noyab. 2022 g. № 387. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tatPlyus».

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 12.01.2023

Принята к публикации: 30.01.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 12.01.2023

Accepted for publication: 30.01.2023

Информация об авторах:

Немцов Владимир Сергеевич, магистрант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: vova_nemcov@rambler.ru

Information about the authors:

Nemtsov Vladimir S., master student of the Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politechnicheskaya str., 29), e-mail: vova_nemcov@rambler.ru

Аналитическая статья

УДК 699.81

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, СПОСОБСТВУЮЩИХ ВОЗНИКНОВЕНИЮ ПОЖАРОВ В ЗДАНИЯХ

✉Владимирова Анастасия Сергеевна.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉vladimirova.as@edu.spbstu.ru

Аннотация. Пожары могут оказывать прямое или косвенное воздействие на долговечность и эксплуатационные характеристики здания. Несмотря на то, что на сегодняшний день применяется большое количество методов профилактики и обнаружения пожаров, пожары в зданиях по-прежнему считаются серьезной угрозой для жителей. Для выявления факторов, в наибольшей степени влияющих на возникновение пожара, проводился комплексный анализ прошлых пожаров в зданиях. В качестве факторов, влияющих на возникновение пожаров в зданиях, были определены особенности конструкции здания, методы реконструкции, поведение людей, правила пожарной безопасности, строительные нормы и правила, средства и методы пожаротушения, а также представления архитекторов и инженеров о пожарной безопасности. Делается попытка положить основу для лучшего понимания источников пожаров и стремления к созданию огнестойких зданий в будущем.

Ключевые слова: пожарная безопасность, здания, методы противопожарной защиты, конструктивные решения, строительное регулирование, огнестойкость, профилактика пожаров

Для цитирования: Владимирова А.С. Анализ факторов, способствующих возникновению пожаров в зданиях // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 34–41.

Analytical article

ANALYSIS OF FACTORS THAT CONTRIBUTE TO THE OCCURRENCE OF FIRES IN BUILDINGS

✉Vladimirova Anastasia S.

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

✉vladimirova.as@edu.spbstu.ru

Abstract. Fires can have a direct or indirect impact on the durability and performance of a building. Even though many methods of fire prevention and detection are used today, fires in buildings are still considered a serious threat to residents. To identify the factors that most affect the occurrence of a fire, a comprehensive analysis of past fires in buildings was carried out. As factors influencing the occurrence of fires in buildings, the features of the building design, reconstruction methods, human behavior, fire safety rules, building codes and regulations, fire extinguishing means and methods, as well as the ideas of architects and engineers about fire safety were identified. The paper attempts to lay the foundation for a better understanding of past fires and the desire to create fire-resistant buildings in the future.

Keywords: fire safety, buildings, fire protection methods, structural solutions, construction regulation, fire resistance, fire prevention

For citation: Vladimirova A.S. Analysis of factors that contribute to the occurrence of fires in buildings // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 34–41.

Введение

В городской среде, где плотность застройки, а соответственно и плотность населения велики, пожары являются одной из наиболее опасных угроз жизни и здоровью людей и могут нести за собой значительные материальные потери. Анализируя данные статистического сборника [1] по пожарам в зданиях в Российской Федерации за 2021 г., можно прийти к выводу, что, несмотря на все принимаемые меры профилактики и пожаротушения, количество пожаров в зданиях не уменьшается (рис. 1), а число смертельных случаев в 2021 г. и вовсе возросло по сравнению с 2017 г. (рис. 2).

К основным причинам возгорания, по данным МЧС России, относят неосторожное обращение с огнем и неисправность электрооборудования. Эти факторы зачастую могут быть связаны. Видна тенденция к увеличению пожаров, связанных с неосторожным обращением с огнем (рис. 3).



Рис. 1. Количество пожаров в зданиях за 2017–2021 гг. в России

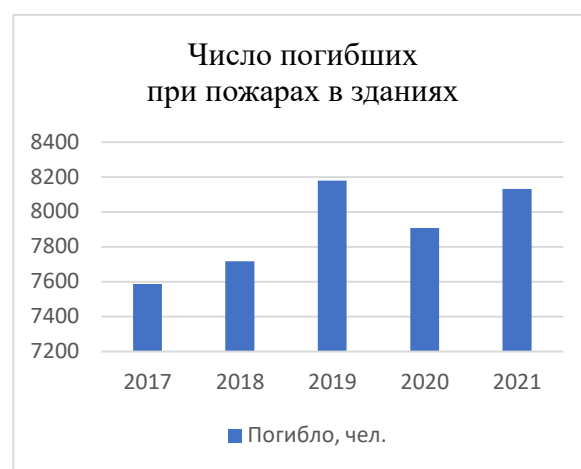


Рис. 2. Количество погибших от пожаров в зданиях за 2017–2021 гг. в России



Рис. 3. Распределение количества погибших людей в Российской Федерации по основным причинам возникновения пожаров за 2019–2021 гг.

Неконтролируемые пожары являются одной из основных причин обрушения зданий, предполагаемых повреждений, потенциальных травм и убытков [2]. Например, 12 апреля 2021 г. в здании фабрики «Невская мануфактура» 1841 г. постройки пожар унес жизнь одного человека, двоих пришлось госпитализировать. Площадь пожара составила 10 000 м² после обрушения перекрытий и кровли.

Мало того, что в локальном, региональном и глобальном масштабах выбросы в результате пожаров оказывают значительное влияние на качество воздуха и атмосферу, после пожара люди могут подвергнуться сильному психологическому удару из-за потери материальных ценностей. Лишение дома является одним из самых стрессовых факторов для владельцев [3].

Основное внимание в данной статье уделяется рассмотрению факторов, влияющих на возникновение пожара в здании. Отсутствие подробного учета причин возникновения пожаров в здании приводит к недостаточной эффективности существующей системы пожарной безопасности [4].

Факторы, влияющие на возникновение пожаров в зданиях, ранее рассматривались авторами статьи [5], однако в ней не рассматриваются новые случаи крупных пожаров, а также пожары в реалиях российской системы пожарной безопасности. Это означает, что есть необходимость в повторном рассмотрении факторов, влияющих на возникновение пожаров в зданиях, которые до сих пор не рассматривались.

Таким образом, конечной целью исследования является определение и создание классификации факторов, влияющих на частоту возникновения пожаров в зданиях.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ нормативно-технической документации в области пожарной безопасности.
2. Обобщение опыта исследований посредством изучения статей англоязычных авторов.
3. Создание классификации факторов, влияющих на частоту возникновения пожаров в зданиях.

Материалы и методы исследования

Для того, чтобы рассмотреть факторы, способствующие возникновению пожара в здании, были изучены англоязычные и русскоязычные статьи с помощью поиска по ключевым словам: fire statistics, building fire, fire risk factors, fire incidents, статистика пожаров, пожар в здании, факторы возникновения пожара, пожарные инциденты. Для поиска использовались базы данных Science Direct, Emerald Insight, SpringerLink, Scopus, IEEE Xplore и Elibrary.

Применялись методы анализа, сравнения и обобщения найденных материалов исследований, также проводилось изучение нормативно-технической документации Российской Федерации в области пожарной безопасности.

Поведение пожара в здании, аппаратные и программные меры пожарной безопасности, модели для оценки воздействия пожара в здании, глобальные пожары в различных зданиях и факторы, влияющие на пожар в здании, были изучены после тщательного обзора литературы. В таблице представлены краткие сведения о некоторых англоязычных источниках, использованных для данного исследования.

Таблица

Краткий обзор источников научной литературы, использованной в исследовании

№	Источник публикации	Описание исследований
1	2	3
1	International Journal of Geographical Information Science	Рассматриваются факторы, влияющие на бытовые пожары [6]
2	Disaster Prevention and Management: An International Journal	Было проведено исследование для выявления условий пожарной безопасности в колледжах-интернатах. Результаты показали, что человеческие факторы, такие как знания, отношение и убеждения людей, имеют влияние на пожарную безопасность [7]

1	2	3
3	PSU Research Review	Представлены подробные стратегии по повышению пожарной безопасности в зданиях в ключевых областях, а также определены будущие потребности в исследованиях и обучении [8]
4	Fire and materials	Для того чтобы охарактеризовать и включить меры риска в регулирование зданий рассматриваются системы регулирования зданий (BRS) как сложные социально-технические системы (STS), в которых существуют взаимодействия между учреждениями, технологиями и людьми, которые в идеале работают вместе, чтобы снизить риск до приемлемого для общества уровня [9]
5	Building research & information	Рассматривается представление системы регулирования зданий как социально-технической системы [10]
6	Safety science	Разработана дорожная карта для устранения всех угроз здоровью и безопасности, рассматриваемых в строительных нормах [11]
7	Fire technology	Описывается взаимосвязь между различными концепциями в области пожарной безопасности и обсуждается профессиональная ответственность инженера, выполняющего проектные работы [12]
8	Fire Technol	Определяются когнитивные искажения, которые могут влиять на процесс принятия решений человеком во время эвакуации при пожаре, а также на то, как они согласуются с общим принятием решений [13]
9	International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology	Работа [14] основана на обобщении литературы, чтобы дать обзор практики обеспечения пожарной безопасности в зданиях государственных больниц
10	Building and environment	Изучается скорость потока воздуха через дверной проем с учетом вентиляции при моделировании пожаров [15]
11	Безопасный и комфортный город	Проводится анализ статистики пожаров в России и США, и констатируются факторы возникновения возгораний [16]
12	Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси	Рассматриваются методы спасения людей от пожаров при землетрясениях, уточняются факторы их возникновения [17]

В Российской Федерации пожарная безопасность зданий и сооружений является одним из основных направлений государственной политики [18]. Проектирование и строительство любого объекта должно происходить в соответствии с Федеральным законом от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [19], согласно которому в процессе эксплуатации здания возможность возникновения пожара исключалась, а при его возникновении ограничивалось воздействие на людей и материальные ценности опасных производственных факторов, предотвращалось задымление.

Строительство и реконструкция зданий общественного и жилого назначения предусматривает разработку проектной документации, одним из разделов которой являются «Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности» [20].

Намерение проектировщиков и строителей состоит в том, чтобы спроектировать здание, которое прослужит более 60 лет [21]. Однако это не всегда возможно по разным причинам, среди которых есть и пожар. Пожар влияет на долговечность и эксплуатационные характеристики здания в существующей структуре здания или даже на его старость [22, 23]. Поэтому необходимо изучить источники возникновения и поведение огня, чтобы приблизиться к обеспечению пожарной безопасности в здании.

Результаты исследования и их обсуждение

Пожары наносят экономический и экологический ущерб во всем мире. Отсутствие учета факторов, влияющих на возникновение пожаров в здании, приводит к неэффективности существующей системы пожарной безопасности в здании и создает опасность для жизни людей. В данной работе определены факторы, влияющие на возникновение пожаров в зданиях (рис. 4).

Факторы, способствующие возникновению пожаров в здании					
Конструктивные особенности здания	Методы реконструкции	Опасные действия человека	Нормы, правила и политика в области пожарной безопасности	Методы пожаротушения	Восприятие строителей и инженеров по противопожарной защите
- Неправильное хранение строительных материалов - Эксплуатация здания не соответствует его назначению - Не предусмотрен быстрый доступ пожарной охраны в любое помещение - Отсутствует возможность подачи огнетушащих веществ в очаг пожара - Не обеспечены требуемые пути эвакуации	- Некачественный ремонт - Горючие материалы строительные леса - Сварочные работы - Незащищенные строительные конструкции - Незавершенные строительные работы на путях эвакуации - Горючие отходы	- Неправильное хранение воспламеняющихся веществ - Незнание правил пожарной эвакуации - Курение в здании - Использование источников открытого огня - Неправильное использование электроприборов - Загромождение путей эвакуации - Поджоги - Несвоевременный вызов пожарной службы	- Склонность проектировщиков следовать минимальным требованиям пожарной безопасности - Отсутствие достаточного финансирования - Необходимость в разработке новых способов тушения пожаров - Наличие неактуальных и противоречащих друг другу документов	- Практическое применение программного обеспечения для моделирования пожара - наличие средств пожаротушения в здании - Качество обмундирования пожарной команды - Недостаточное укомплектование пожарных команд	- Недостатки в обучении и проверке знаний специалистов - Языковой барьер между специалистами разных стран - неосведомленность о новейших разработках в области пожарной безопасности - Проблемы вовлечения новых специалистов

Рис. 4. Факторы, способствующие возникновению пожаров в здании

Был проведен обширный анализ литературы для изучения возникновения и развития пожара в здании. В качестве факторов оценивались особенности конструкции здания [24, 25], методы реконструкции, поведение людей [26–28], политика и строительные нормы, методы пожаротушения, а также восприятие архитекторов и инженеров по противопожарной защите.

Заключение

Таким образом, в ходе исследования были определены основные факторы, влияющие на частоту возникновения пожаров в зданиях, и разделены на шесть основных групп.

Огромную часть застройки городов составляют здания различного назначения, которые рассчитаны на десятилетия службы. В течение своего жизненного цикла они подвергаются не только старению, но и стихийным бедствиям, которые могут привести к досрочному обрушению.

Существующие мероприятия защиты от возгорания и дальнейшего развития пожара не учитывают все существующие проблемы пожарной безопасности.

Улучшение конструкции зданий, своевременная реконструкция, совершенствование норм пожарной безопасности, методов пожаротушения, качественная подготовка специалистов в области обеспечения пожарной безопасности, а также соблюдение населением противопожарных правил является ключом к снижению пожарной опасности в зданиях.

Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. / В.С. Гончаренко [и др.]; под общ. ред. С.В. Соколова. М.: ВНИИПО МЧС России, 2022. 116 с.
2. Wong N., Jan W. Total building performance evaluation of academic institution in Singapore // Building and Environment. 2003. Vol. 38. № 1. P. 161–176.
3. Caia G., Ventimiglia F., Maass A. Container vs. dacha: The psychological effects of temporary housing characteristics on earthquake survivors // Journal of Environmental Psychology. 2010. Vol. 30. № 5. P. 60–66.
4. Xiuyu L., Hao Z., Qingming, Z. Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures // Proceedia Engineering. 2012. Vol. 45. P. 643–648.

5. Rathnayake R., Sridarran P., Abeynayake M. Factors contributing to building fire incidents: A review // *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Dubai, 2020.
6. Špatenková O., Stein A. Identifying factors of influence in the spatial distribution of domestic fires // *International Journal of Geographical Information Science*. 2010. T. 24. № 6. С. 841–858.
7. Subramaniam C. Human factors influencing fire safety measures // *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2004. T. 13. № 2. С. 110–116.
8. Kodur Venkatesh, Puneet Kumar, Muhammad Masood Rafi. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety // *PSU Research Review*. 2019.
9. Meacham Brian J., Michael Stromgren, Patrick van Hees. A holistic framework for development and assessment of risk-informed performance-based building regulation // *Fire and materials*. 2021. № 45.6. P. 757–771.
10. Meacham Brian J., IJsbrand J. van Straalen. A socio-technical system framework for risk-informed performance-based building regulation // *Building research & information*. 2018. № 46.4. P. 444–462.
11. Meacham B.J., van Straalen I.J., Ashe B. Roadmap for incorporating risk as a basis of performance objectives in building regulation // *Safety Science*. 2021. T. 141. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105337.
12. The need for hierarchies of acceptance criteria for probabilistic risk assessments in fire engineering / R. Van Coile [et al.] // *Fire Technology*. 2019. № 55 (4). P. 1111–1146. DOI: 10.1007/s10694-018-0746-7.
13. Cognitive Biases Within Decision Making During Fire Evacuations / M.J. Kinsey [et al.] // *Fire Technol*. 2019. № 55. P. 465–485. DOI: 10.1007/s10694-018-0708-0.
14. Overview of Fire Safety Management for Government Hospital Buildings / Siti Shahirah Suhaili [et al.] // *Int. J. Adv. Res. Eng. Technol*. 2020. № 11. P. 89–97.
15. Chow W.K., Zou G.W. Correlation equations on fire-induced air flow rates through doorway derived by large eddy simulation // *Building and Environment*. 2005. Vol. 40. № 7. P. 897–906.
16. Вульф А.Ю. Анализ факторов, влияющих на частоту возникновения пожаров в зданиях и сооружениях // *Безопасный и комфортный город: сб. науч. трудов по материалам всерос. науч.-практ. конф. Орел: Орловский гос. ун-т им. И.С. Тургенева*, 2018. С. 87–90.
17. Маджидов И.У., Кулдашев А.Х., Ибрагимов Б.Т. Анализ факторов пожара при землетрясениях // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. 2020. Т. 4. № 3. С. 297–304.
18. О пожарной безопасности: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
19. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федер. закон от 30 дек. 2009 г. № 384-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
20. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 февр. 2008 г. № 87. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
21. Sustainable refurbishment for school buildings: a literature review / A. Le [et al.] // *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 2018.
22. Подгрушный А.В., Денисов А.Н., Хонг Ч.Д. Современные проблемы тушения пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданиях // *Пожаровзрывобезопасность*. 2007. № 16.6. С. 53–57.
23. Лазуренко А.А., Николаев А.Н., Шмырева М.Б. Современные проблемы тушения пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданиях // *Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций*. 2018. № 1. С. 813–816.
24. Джангиев Р.Н., Артемьев Н.С., Данилов А.М. Тушение пожаров и спасание людей в высотных зданиях // *Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности: сб. тезисов докладов материалов междунар. науч.-практ. конф. М.: Акад. ГПС МЧС России*, 2018.

25. Выставкина Е.В. Пожарная опасность в зданиях: обзор, оценка и тактики увеличения пожарной безопасности // *The Scientific Heritage*. 2021. № 65-3. С. 59–65.
26. Коткова Е.А. Модель нейронной сети для прогнозирования предэвакуационного поведения людей при пожаре // *Национальная безопасность и стратегическое планирование*. 2022. № 2 (38). С. 66–72. DOI: 10.37468/2307-1400-2022-2-66-72. EDN UBIKMZ.
27. Коткова Е.А. Анализ подходов к исследованию поведения людей при эвакуации в экстремальных ситуациях // *Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. 2021. Т. 16. № 4. С. 1476–1479. EDN SKRFSM.
28. Коткова Е.А., Матвеев А.В. Методика интеллектуального прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей из общественных зданий // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России»*. 2021. № 4. С. 107–120. EDN PLARHX.

References

1. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: statist. sb. / V.S. Goncharenko [i dr.]; pod obshch. red. S.V. Sokolova. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2022. 116 s.
2. Wong N., Jan W. Total building performance evaluation of academic institution in Singapore // *Building and Environment*. 2003. Vol. 38. № 1. P. 161–176.
3. Caia G., Ventimiglia F., Maass A. Container vs. dacha: The psychological effects of temporary housing characteristics on earthquake survivors // *Journal of Environmental Psychology*. 2010. Vol. 30. № 5. P. 60–66.
4. Xiuyu L., Hao Z., Qingming, Z. Factor analysis of high-rise building fires reasons and fire protection measures // *Procedia Engineering*. 2012. Vol. 45. P. 643–648.
5. Rathnayake R., Sridarran P., Abeynayake M. Factors contributing to building fire incidents: A review // *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Dubai, 2020.
6. Špatenková O., Stein A. Identifying factors of influence in the spatial distribution of domestic fires // *International Journal of Geographical Information Science*. 2010. T. 24. № 6. S. 841–858.
7. Subramaniam C. Human factors influencing fire safety measures // *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 2004. T. 13. № 2. S. 110–116.
8. Kodur Venkatesh, Puneet Kumar, Muhammad Masood Rafi. Fire hazard in buildings: review, assessment and strategies for improving fire safety // *PSU Research Review*. 2019.
9. Meacham Brian J., Michael Stromgren, Patrick van Hees. A holistic framework for development and assessment of risk-informed performance-based building regulation // *Fire and materials*. 2021. № 45.6. P. 757–771.
10. Meacham Brian J., IJsbrand J. van Straalen. A socio-technical system framework for risk-informed performance-based building regulation // *Building research & information*. 2018. № 46.4. P. 444–462.
11. Meacham B.J., van Straalen I.J., Ashe B. Roadmap for incorporating risk as a basis of performance objectives in building regulation // *Safety Science*. 2021. T. 141. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105337.
12. The need for hierarchies of acceptance criteria for probabilistic risk assessments in fire engineering / R. Van Coile [et al.] // *Fire Technology*. 2019. № 55 (4). P. 1111–1146. DOI: 10.1007/s10694-018-0746-7.
13. Cognitive Biases Within Decision Making During Fire Evacuations / M.J. Kinsey [et al.] // *Fire Technol.* 2019. № 55. P. 465–485. DOI: 10.1007/s10694-018-0708-0.
14. Overview of Fire Safety Management for Government Hospital Buildings / Siti Shahirah Suhaili [et al.] // *Int. J. Adv. Res. Eng. Technol.* 2020. № 11. P. 89–97.
15. Chow W.K., Zou G.W. Correlation equations on fire-induced air flow rates through doorway derived by large eddy simulation // *Building and Environment*. 2005. Vol. 40. № 7. P. 897–906.

16. Vul'f A.Yu. Analiz faktorov, vliyayushchih na chastotu vozniknoveniya pozharov v zdaniyah i sooruzheniyah // Bezopasnyj i komfortnyj gorod: sb. nauch. trydov po materialam vseros. nauch.-prakt. konf. Orel: Orlovskij gos. un-t im. I.S. Turgeneva, 2018. S. 87–90.
17. Madzhidov I.U., Kuldashov A.H., Ibragimov B.T. Analiz faktorov pozhara pri zemletryaseniyaх // Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi. 2020. T. 4. № 3. S. 297–304.
18. O pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 21 dek. 1994 g. № 69-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
19. Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij: Feder. zakon ot 30 dek. 2009 g. № 384-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
20. O sostave razdelov proektnoj dokumentacii i trebovaniyaх k ih soderzhaniyu: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 16 fevr. 2008 g. № 87. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
21. Sustainable refurbishment for school buildings: a literature review / A. Le [et al.] // International Journal of Building Pathology and Adaptation. 2018.
22. Podgrushnyj A.V., Denisov A.N., Hong Ch.D. Sovremennye problemy tusheniya pozharov v zdaniyah povyshennoj etazhnosti i vysotnyh zdaniyah // Pozharovzryvbezopasnost'. 2007. № 16.6. S. 53–57.
23. Lazurenko A.A., Nikolaev A.N., Shmyreva M.B. Sovremennye problemy tusheniya pozharov v zdaniyah povyshennoj etazhnosti i vysotnyh zdaniyah // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. 2018. № 1. S. 813–816.
24. Dzhangiev R.N., Artem'ev N.S., Danilov A.M. Tushenie pozharov i spasanie lyudej v vysotnyh zdaniyah // Istoricheskij opyt, sovremennye problemy i perspektivy obrazovatel'noj i nauchnoj deyatel'nosti v oblasti pozharnoj bezopasnosti: sb. tezisov dokladov materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2018.
25. Vystavkina E.V. Pozharnaya opasnost' v zdaniyah: obzor, ocenka i taktiki uvelicheniya pozharnoj bezopasnosti // The Scientific Heritage. 2021. № 65-3. S. 59–65.
26. Kotkova E.A. Model' nejronnoj seti dlya prognozirovaniya predevakuacionnogo povedeniya lyudej pri pozhare // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2022. № 2 (38). S. 66–72. DOI: 10.37468/2307-1400-2022-2-66-72. EDN UBIKMZ.
27. Kotkova E.A. Analiz podhodov k issledovaniyu povedeniya lyudej pri evakuacii v ekstremal'nyh situacijah // Zdorov'e – osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ih resheniya. 2021. T. 16. № 4. S. 1476–1479. EDN SKRFSM.
28. Kotkova E.A., Matveev A.V. Metodika intellektual'nogo prognozirovaniya effektivnosti upravleniya evakuaciej lyudej iz obshchestvennyh zdaniy // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2021. № 4. S. 107–120. EDN PLARHX.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 15.01.2023

Принята к публикации: 01.02.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 15.01.2023

Accepted for publication: 01.02.2023

Информация об авторах:

Владимирова Анастасия Сергеевна, студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: vladimirova.as@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0232-9358>

Information about the authors:

Vladimirova Anastasia S., student of the Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politechnicheskaya str., 29), e-mail: vladimirova.as@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0232-9358>

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Аналитическая статья

УДК 626/627

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, РАЗВИТИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

✉Смолякова Анастасия Сергеевна.

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

✉an.ser76@ya.ru

Аннотация. В настоящее время немаловажной как для общества, так и для экономики страны в целом остается проблема безопасности водных объектов, особенно плотин и иных гидротехнических сооружений. На сегодняшний день в Российской Федерации насчитывается более 29 тыс. гидротехнических сооружений. Разрушение таких объектов представляет как оборонную и экономическую значимость, так и угрозу для проживающих вблизи данных объектов. В зоне риска проживает около 100 млн чел. Исходя из этого, можно сделать вывод, что существует необходимость минимизации вероятности таких событий.

В последнее время интенсивно развивается использование новых инновационных методов мониторинга гидротехнических сооружений, в том числе математических методов. В данной работе проведен анализ подходов к моделированию процессов возникновения, развития и ликвидации чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах. Проанализированы методы математического моделирования и прогнозирования обстановки при возникновении чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах. Рассмотрена технология ситуационного моделирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Показаны особенности использования различных расчетных методов для оценки последствий и динамики опасных ситуаций на гидротехнических сооружениях.

Ключевые слова: анализ, гидротехническое сооружение, методы, подходы, моделирование, чрезвычайная ситуация, математическое моделирование, модель, управление

Для цитирования: Смолякова А.С. Анализ подходов к моделированию возникновения, развития и ликвидации чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 42–50.

Analytical article

ANALYSIS OF APPROACHES TO MODELING THE OCCURRENCE, DEVELOPMENT AND ELIMINATION OF EMERGENCY SITUATIONS AT HYDRAULIC ENGINEERING FACILITIES

✉Smolyakova Anastasiya S.

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

✉an.ser76@ya.ru

Abstract. Currently, an important problem, both for society and for the economy of the country as a whole, remains the problem of the safety of water bodies, especially dams and other hydraulic structures. To date, there are more than 29 thousand hydraulic structures in the Russian Federation. The destruction of such facilities is of both defense, economic and social significance for the country, as well as a potential danger to the health and life of the population, as well as the entire natural environment. About 100 million people live in the zone of possible impact of damaging factors. Based on this, we can conclude that there is a need to minimize the probability of such events.

Recently, the use of new innovative methods of monitoring hydraulic structures, including mathematical methods, has been intensively developing. In this paper, an analysis of approaches to modeling the occurrence, development and elimination of emergencies at hydraulic engineering facilities is carried out. Methods of mathematical modeling and forecasting of the situation in case of emergency situations at hydraulic engineering facilities are considered. The technology of situational modeling of natural and man-made emergencies is considered. The features of using various calculation methods to assess the consequences and dynamics of hazardous situations at hydraulic structures are shown.

Keywords: analysis, hydraulic engineering structure, methods, approaches, modeling, emergency situation, mathematical modeling, model

For citation: Smolyakova A.S. Analysis of approaches to modeling the occurrence, development and elimination of emergency situations at hydraulic engineering facilities // *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty)* = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 42–50.

Введение

С началом в XX в. научно-технической революции, наряду с усовершенствованием технологий, производством новой техники, открытием новых методов производства, с повышением уровня жизни в целом, вырос и риск возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций (ЧС) на объектах гидроструктуры, которые относятся к потенциально опасным объектам.

Ежегодно из-за аварий на потенциально опасных объектах гибнут десятки тысяч людей. Для решения данной проблемы помимо оперативного реагирования на ЧС требуется также высокая подготовка специалистов, принимающих участие в локализации и ликвидации.

Гидротехнические сооружения (ГТС) – одни из опаснейших объектов, представляющих угрозы для населения. На сегодняшний день в Российской Федерации насчитывается более 29 тыс. ГТС. Известно что, срок эксплуатации 30 и более лет имеет решающее значение в вопросах безопасности. Согласно мировой статистике, именно при эксплуатации сооружений более 30–40 лет значительно возрастает вероятность аварий на ГТС. В последнее время все чаще возникают случаи незаконной застройки периодически затопляемых участков ГТС, что создает предпосылки для создания ЧС в этих зонах, особенно в период паводка или в случае гидродинамической аварии [1].

Свыше 90 млн жителей страны проживает в зонах возможного воздействия поражающих факторов при авариях на гидротехнических объектах.

Причинами аварий на ГТС могут быть абсолютно разные обстоятельства, такие как нарушение персоналом правил эксплуатации техники, нарушение правил техники безопасности, конструктивные дефекты, разрушение основания под воздействием сил природы [2].

Целью статьи является проведение обзора подходов к моделированию процессов возникновения, развития и ликвидации ЧС на гидротехнических объектах.

Методы исследования

Некоторые характеристики ЧС, такие как внезапность, скорость распространения, неполнота или полное отсутствие информации, затрудняют их прогнозирование стандартными эмпирическими методами [3].

Учеными из России, такими как: В.А. Акимов, Н.Н. Гусев, В.А. Акатьев, А.М. Алабян, Е.В. Арефьева, В.А. Зеленцов, И.У. Ямалов, по сей день активно изучаются исследования по оценке природного и техногенного риска объектов защиты, организации действий сил и средств (СиС) в условиях ЧС, математическому и имитационному моделированию [4–10]. Из зарубежных ученых в данной области исследования можно выделить работы G. Petaccia [11]. Данные труды содержат в себе подробное описание универсальных подходов к моделированию ЧС для объектов любого типа.

Главной задачей моделирования ЧС, в том числе и на ГТС, является установление зависимостей между масштабом ЧС и количеством жертв. Эти зависимости, исходя из сложившейся ситуации, могут быть заданы с помощью функций распределения вероятностей возникновения опасных событий или функций распределения вероятностей случайных величин поражающих факторов [12].

Исходя из имеющейся информации, на основе вероятностных методов может применяться одна из следующих методик исследования: статистическая, теоретико-вероятностная, эвристическая.

В связи с этим для анализа и прогнозирования ЧС все чаще применяется математическое моделирование, которое является во многих случаях единственно допустимым.

Существуют следующие подходы к прогнозированию ЧС [13, 14]:

- вероятностно-статистический;
- вероятностно-детерминированный.

Комплексное применение вероятностно-статистического и вероятностно-детерминированного подходов позволило разработать математические модели всех основных видов ЧС.

На рис. 1 представлена структура типовой математической модели ЧС и схема ее использования для прогнозирования последствий ЧС.

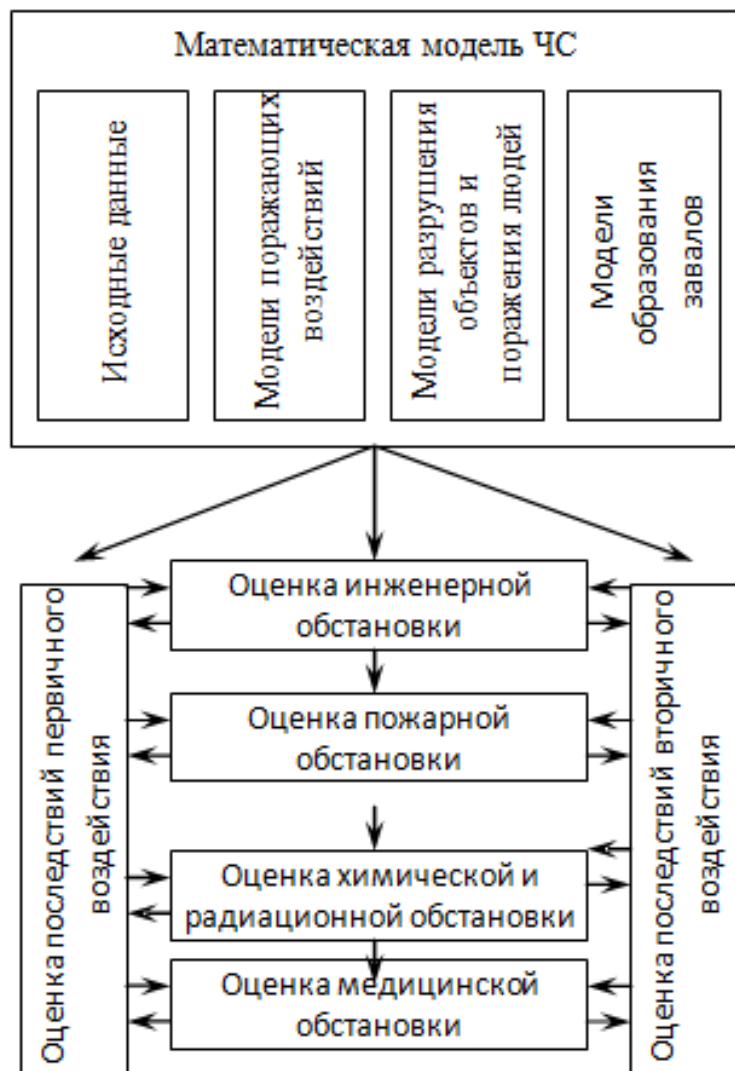


Рис. 1. Структура модели прогнозирования последствий ЧС

По сравнению с известными методами моделирования, с помощью математического моделирования удастся получить более объективную и точную оценку рисков, что достаточно важно при проведении мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС [15].

Недостатком является длительное время, необходимое для выполнения вычислительных расчетов.

На сегодняшний день широкое применение в моделировании ЧС также получили нейросетевые технологии с использованием информации, получаемой при дистанционном зондировании поверхности Земли. Так появились геоинформационные системы (ГИС), которые предназначены для оценки риска возникновения ЧС различных видов, анализа их развития и прогнозирования последствий. Структура ГИС представлена на рис. 2.



Рис. 2. Основные компоненты ГИС

С помощью картографической и координатной привязки к объектам и возможности учёта рельефа местности ГИС становится более точной и эффективной в вопросах моделирования ЧС.

Также существует технология ситуационного моделирования ЧС. Данная технология объединяет расчетные методы оценки аварийных ситуаций, методы аналитической обработки и динамического картирования, управляемые экспертной системой [16].

При необходимости оперативного реагирования ситуационный метод применяется в виде сценарного подхода. Этот метод основывается на заблаговременном расчете последствий ЧС и плана ликвидации наиболее вероятных и опасных аварий относительно конкретного объекта.

Достоинство сценарного подхода выражается в высокой степени оперативности реагирования СиС на ЧС ввиду известного сценария действия относительно вида ЧС.

Недостатком является то, что сложившаяся ситуация может кардинально отличаться от предусмотренного сценария, ввиду чего управление осуществляется недостаточно эффективно.

Результаты исследования и их обсуждение

Изучив имеющуюся литературу по данной области исследования, ниже в таблице представлен обзор трудов с известными подходами к моделированию ЧС на гидротехнических объектах.

Таблица

Автор(ы) научный труд	Способ моделирования	Достоинства подхода	Трудности подхода
1	2	3	4
Едаменко А.С., Лежанко В.А. «Диагностика опасностей гидротехнических сооружений на примере белгородского водохранилища» [17]	В работе моделирование ЧС выполняется с помощью «Дерева отказов» Белгородского водохранилища. «Дерево отказов» является частью структурного подхода к моделированию и представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, состоящую из последовательностей отказов и неисправностей	– возможность выполнить качественный и количественный анализ надежности системы; – помогает дедуктивно выявлять отказы; – помогает наглядно выявить ненадежные места системы, способные вызвать ЧС	– требует значительных материальных затрат и времени; – требует от специалиста глубокого понимания системы
Белов П.Г., Киселева Ю.В. «Прогнозирование и снижение риска чрезвычайных ситуаций, вызванных разгерметизацией гидротехнических сооружений» [18]	Для исследования процесса возникновения ЧС на гидротехническом объекте автор использует причинно-следственные диаграммы типа «Дерево происшествия» и «Дерево событий», а также программный комплекс АРБИТР	– наглядность; – позволяет учесть большое количество факторов	– от специалиста требуется глубокое понимание системы
Белов П.Г. «Априорная оценка и снижение риска аварии гидротехнического сооружения на основе моделирования» [19]	Для наглядного представления возникновения ЧС на ГТС в работе рассматривается причинно-следственная диаграмма типа «Дерево происшествия». Данная модель позволяет учесть около 50 существенных факторов и негативных последствий, а ее анализ позволяет ранжировать их по степени влияния на показатели оцененного при этом риска. Модель имеет 22 исходных события, способных привести к аварии	– сравнительная простота построения; – легкость преобразования; – наглядность; – способность к декомпозиции	– от специалиста требуется глубокое понимание системы

1	2	3	4
Суворова Е.С. «Моделирование зон затоплений на примере гидротехнической аварии в г. Дубна» [20]	Прогнозирование ЧС производится с помощью имитационного моделирования, а именно с помощью программного обеспечения NEC-RAS. Данная программа специально предназначена для моделирования гидравлических потоков в реках и каналах. Используется для преодоления проблем неустойчивости на водной поверхности	– широко применяется для оценки наводнений, а также для анализа на объектах ГТС; – наглядность модели; – возможна имитация различных сценариев аварии	– отсутствие учета характера движения вод, то есть скорость воды – константа
Василенко А.А. «Гидродинамические аварии и их моделирование» [21]	В работе рассматривается широкий спектр видов моделирования, а именно математическое, физическое, имитационное, с помощью большого количества программных комплексов (SV_1, БОР, Волна). Описан физический смысл и способ реализации каждого моделирования	С учетом стоимости обслуживания, ряда ограничений, недостатков и значительной сложности для прогнозирования аварий на ГТС автор отдает свое предпочтение ППК «Волна»	
Стриганова М.Ю. «Методы оценки и прогнозирования последствий при разрушении гидротехнических сооружений» [22]	Для прогнозирования аварии на ГТС автор использует математическую модель	– возможность заменить физический эксперимент; – дешевизна	– сложный математический аппарат

Заключение

Таким образом, проанализировав информацию по теме исследования из открытых источников, можно сделать вывод, что при всей актуальности проблемы обеспечения безопасности гидротехнических объектов данная область остается недостаточно исследованной. Аварии на гидротехнических объектах способны приобретать достаточно опасный характер, делая непригодными для жизни целые населенные пункты, не говоря уже о многочисленных человеческих жертвах.

На сегодняшний день данная область исследования нуждается в более пристальном изучении и увеличении количества исследователей. С каждым годом все больше гидротехнических объектов приближаются к критическому сроку эксплуатации, тем самым повышая уровень опасности для жизни людей, проживающих в окрестностях данного объекта.

Список источников

1. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. Водосливные плотины. М.: Высшая школа, 1978. С. 62–71.
2. Нестеров М.В. Гидротехнические сооружения. Мн.: Новое знание, 2006. С. 327–362.
3. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: учеб. пособие / под общ. ред. М.И. Фалеева. Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. С. 52–98.
4. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: ЗАО «Деловой экспресс», 2004. С. 14–38.
5. Гусев Н.Н. Методология создания и эксплуатации информационной системы мониторинга безопасности зданий и сооружений опасных производственных объектов и гидротехнических сооружений: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2008. С. 112–132.
6. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций. Ч. 2. Кн. 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / В.А. Акатьев [и др.] / под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: ЗАО «Фирма «Папирус», 1998. С. 76–95.
7. Создание интеллектуальных информационных систем оперативного прогнозирования речных наводнений / А.М. Алабян [и др.] // Вестник Российской академии наук. 2016. Т. 86. № 2. С. 27–44.
8. Арефьева Е.В. Подтопление объектов и застроенных территорий как потенциальный источник чрезвычайных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 10. С. 14–33.
9. Модельно-ориентированная система оперативного прогнозирования речных наводнений / В.А. Зеленцов [и др.] // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 8. С. 831–843.
10. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. М.: Лаборатория базовых знаний, 2013. С. 113–155.
11. An energy and mass model of snow cover suitable for operational and avalanche forecasting / G. Petaccia [et al.] // Journal of Hydroinformatics. 2013. № 15 (1). P. 120–137.
12. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций: учеб. пособие / под общ. ред. В.Г. Шапталы. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. С. 50–77.
13. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлит, 2002. С. 122–160.
14. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.
15. Перевалов А.С. Математические модели управления поисково-спасательными подразделениями МЧС на внутренних водоемах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. С. 20–22.
16. Пospelов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. С. 144–121.
17. Едаменко А.С., Лежанко В.А. Диагностика опасностей гидротехнических сооружений на примере Белгородского водохранилища // Технологии техносферной безопасности. 2020. Вып. 2 (88). С. 63–73.
18. Белов П.Г., Киселева Ю.В. Прогнозирование и снижение риска чрезвычайных ситуаций, вызванных разгерметизацией гидротехнических сооружений // Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий. 2015. С. 47.
19. Белов П.Г. Априорная оценка и снижение риска аварии гидротехнического сооружения на основе моделирования // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 2. С. 26–34.
20. Суворова Е.С. Моделирование зон затоплений на примере гидротехнической аварии в г. Дубна // Большая студенческая конференция. 2022. С. 69–73.

21. Василенко А.А. Гидродинамические аварии и их моделирование // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. № 8. С. 119–125.
22. Стриганова М.Ю. Методы оценки и прогнозирование последствий при разрушении гидротехнических сооружений // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2012. № 1 (15). С. 10–21.

References

1. Chugaev R.R. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Vodoslivnye plotiny. M.: Vysshaya shkola, 1978. S. 62–71.
2. Nesterov M.V. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Mn.: Novoe znanie, 2006. S. 327–362.
3. Zashchita naseleniya i territorij ot chrezvychajnyh situacij: ucheb. posobie / pod obshch. red. M.I. Faleeva. Kaluga: GUP «Oblizdat», 2001. S. 52–98.
4. Akimov V.A., Lesnyh V.V., Radaev N.N. Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoj i tekhnogennoj sferah. M.: ZAO «Delovoj ekspres», 2004. S. 14–38.
5. Gusev N.N. Metodologiya sozdaniya i ekspluatacii informacionnoj sistemy monitoringa bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov i gidrotekhnicheskikh sooruzhenij: dis. ... d-ra tekhn. nauk. SPb., 2008. S. 112–132.
6. Obespechenie meropriyatij i dejstvij sil likvidacii chrezvychajnyh situacij. Ch. 2. Kn. 2. Operativnoe prognozirovanie inzhenernoj obstanovki v chrezvychajnyh situacijah / V.A. Akat'ev [i dr.] / pod obshch. red. S.K. Shojgu. M.: ZAO «Firma «Papirus», 1998. S. 76–95.
7. Sozdanie intellektual'nyh informacionnyh sistem operativnogo prognozirovaniya rechnyh navodnenij / A.M. Alabyan [i dr.] // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2016. T. 86. № 2. S. 27–44.
8. Aref'eva E.V. Podtoplenie ob"ektov i zastroennyh territorij kak potencial'nyj istochnik chrezvychajnyh situacij // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007. № 10. S. 14–33.
9. Model'no-orientirovannaya sistema operativnogo prognozirovaniya rechnyh navodnenij / V.A. Zelencov [i dr.] // Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2019. T. 89. № 8. S. 831–843.
10. Yamalov I.U. Modelirovanie processov upravleniya i prinyatiya reshenij v usloviyah chrezvychajnyh situacij. M.: Laboratoriya bazovyh znaniy, 2013. S. 113–155.
11. An energy and mass model of snow cover suitable for operational and avalanche forecasting / G. Petaccia [et al.] // Journal of Hydroinformatic. 2013. № 15 (1). P. 120–137.
12. Shaptala V.G., Radouckij V.Yu., Shaptala V.V. Osnovy modelirovaniya chrezvychajnyh situacij: ucheb. posobie / pod obshch. red. V.G. Shaptaly. Belgorod: Izd-vo BGTU, 2010. S. 50–77.
13. Samarskij A.A., Mihajlov A.P. Matematicheskoe modelirovanie. Idei. Metody. Primery. M.: Fizmatlit, 2002. S. 122–160.
14. Matveev A.V. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.
15. Perevalov A.S. Matematicheskie modeli upravleniya poiskovo-spasatel'nyimi podrazdeleniyami MCHS na vnutrennih vodoemah: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2013. S. 20–22.
16. Pospelov D.A. Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika. M.: Nauka, 1986. S. 144–121.
17. Edamenko A.S., Lezhanko V.A. Diagnostika opasnostej gidrotekhnicheskikh sooruzhenij na primere Belgorodskogo vodohranilishcha // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2020. Vyp. 2 (88). S. 63–73.
18. Belov P.G., Kiseleva Yu.V. Prognozirovanie i snizhenie riska chrezvychajnyh situacij, vyzvannyh razgermetizaciej gidrotekhnicheskikh sooruzhenij // Global'naya i nacional'nye strategii upravleniya riskami katastrof i stihijnyh bedstvij. 2015. S. 47.
19. Belov P.G. Apriornaya ocenka i snizhenie riska avarii gidrotekhnicheskogo sooruzheniya na osnove modelirovaniya // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2019. № 2. S. 26–34.
20. Suvorova E.S. Modelirovanie zon zatoplenij na primere gidrotekhnicheskogo avarii v g. Dubna // Bol'shaya studencheskaya konferenciya. 2022. S. 69–73.

21. Vasilenko A.A. Gidrodinamicheskie avarii i ih modelirovanie // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2017. № 8. S. 119–125.
22. Striganova M.Yu. Metody ocenki i prognozirovanie posledstvij pri razrushenii gidrotekhnicheskikh sooruzhenij // Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MCHS Respubliki Belarus'. 2012. № 1 (15). S. 10–21.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 20.12.2022

Принята к публикации: 10.01.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 20.12.2022

Accepted for publication: 10.01.2023

Информация об авторах:

Смолякова Анастасия Сергеевна, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: an.ser76@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8950-682X>

Information about the authors:

Smolyakova Anastasia S., associate professor of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: an.ser76@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8950-682X>

Научная статья

УДК 614.8

СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ

✉ Яценко Мария Евгеньевна.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉ yatsenko.me@edu.spbstu.ru

Аннотация. Рассмотрены виды лесных пожаров, их основные причины, а также методы, которые используются для борьбы с ними в России и за рубежом. Существует несколько видов лесных пожаров: низовой, верховой и торфяной. Иногда в отдельную категорию выделяют горение валежников и пятнистый пожар. Наиболее частой причиной пожаров является человек и его деятельность (весенний пал травы, непотушенные костры, выброшенные окурки, разбитые бутылки и прочий мусор). Способы борьбы с лесными пожарами подразделяются на две категории: превентивные методы (недопущение лесных пожаров) и методы тушения лесных пожаров. Были сделаны выводы о наиболее часто используемых способах борьбы с различными видами лесных пожаров.

Ключевые слова: лесные пожары, тушение, профилактика, противопожарный разрыв, искусственные осадки

Для цитирования: Яценко М.Е. Способы борьбы с лесными пожарами // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 51–59.

Scientific article

WAYS TO FIGHT FOREST FIRES

✉ Yatsenko Maria E.

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

✉ yatsenko.me@edu.spbstu.ru

Abstract. In this paper, the types of forest fires, the main causes of forest fires, as well as methods used to combat forest fires in Russia and abroad were considered. There are several types of forest fires: grassroots, riding level and peat fire. Sometimes a separate category is distinguished by the ignition of dead wood and a spotted fire. The most common cause of fires is a person and his activities (spring grass fall, unkempt fires, discarded cigarette butts, broken bottles and other garbage). Methods of fighting forest fires are divided into two categories: preventive methods (prevention of forest fires) and methods of extinguishing forest fires. Conclusions were drawn about the most commonly used methods of fighting for various types of forest fires.

Keywords: forest fires, extinguishing, prevention, fire gap, artificial precipitation

For citation: Yatsenko M.E. Ways to fight forest fires // Prirodnye i tekhnogennyye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 51–59.

Введение

Россия является мировым лидером по площади лесов, включая в себя 20 % всех лесов планеты, площадь которых достигает 1,19 млрд га. Лесистость, то есть доля покрытых лесом земель от площади страны, достигает 46,4 % [1].

Лесные пожары – опасные и динамичные процессы, возникающие, как правило, случайно во времени и пространстве, часто в труднодоступных местах. Они являются очень неудобным объектом для изучения и воздействия.

Чрезвычайные ситуации, связанные с лесными пожарами, происходят в России ежегодно. По данным Государственного доклада МЧС России [2] в 2021 г. на территории России было зарегистрировано 15 112 очагов природных пожаров, при этом в 2020 г. было зарегистрировано 14 812 очагов пожара, что на 2 % меньше по сравнению с 2021 г. Общая площадь природных пожаров в 2021 г. составила 10 059 359,88 га, а в 2020 г. – 9 267 731 га, что на 8,5 % меньше, чем в 2021 г.

Целью данной работы является выявление основных видов лесных пожаров, возможных причин их возникновения и изучение методов борьбы с лесными пожарами.

Лесные пожары чаще всего подразделяются на низовые, верховые и торфяные [3].

Низовой пожар распространяется по высоте, как правило, на 1,5–2 м от уровня почвы и захватывает кустарники, ветки, лиственный опад. Скорость распространения – до 3 м/мин. Большинство лесных пожаров относятся к данному виду.

Верховой пожар считается самым опасным из-за его непредсказуемости и скорости распространения. Пламя довольно быстро распространяется по всему стволу и кронам деревьев. Скорость распространения пламени сильно зависит от метеорологических условий, в особенности от скорости ветра. Так, в безветренную погоду скорость составляет около 5–10 км/ч. В ветреную же погоду скорость может возрасти до 30–70 км/ч. Верховые пожары неразрывно связаны с низовыми и зачастую соединяются.

Торфяной пожар (иногда его также называют подземным), по сравнению с двумя описанными выше видами, обладает небольшой скоростью распространения, которая не превышает 1 м/час. Главная сложность данного вида пожара – это его обнаружение и тушение. Также данные пожары могут тлеть даже зимой под слоем снега.

Для возникновения лесного пожара необходимо, чтобы присутствовали все три элемента «треугольника огня», который изображен на рис. 1.



Рис. 1. Треугольник огня

Горючими материалами в лесной зоне являются сухая трава и листья, ветки, деревья, кустарники. Кислород содержится в воздухе. А источником огня могут быть как окружающая среда (например, самовозгорание или молния), так и непосредственно человек (непотушенный костер, брошенный окурок).

Рассмотрим подробнее причины возникновения очагов пожара.

Если рассматривать естественные причины, то наиболее частая – молния [4]. Также существует вероятность возникновения пожара из-за самовоспламенения растительности и торфа.

Пожары, вызванные естественными причинами, происходят довольно редко, но, как правило, они располагаются в глубине лесного массива, что затрудняет их обнаружение и тушение.

Наиболее часто лесные пожары возникают из-за человека [5]: оставленные без контроля костры, разведение костров в неположенных для этого местах, брошенные окурки, несоблюдение правил пожарной безопасности и неосторожное обращение с огнем, пал травы.

Пожары, возникшие по вине человека, как правило, находятся на небольшом удалении от населенных пунктов, поэтому их обнаружение и тушение не настолько затруднено, как в случае с пожарами, возникшими по причине самовозгорания или удара молнии.

Аналитическая часть

Способы борьбы с лесными пожарами разветвляются на два направления:

1. Профилактические мероприятия, которые направлены на то, чтобы снизить вероятность появления пожара.

2. Непосредственное тушение пожара, где немаловажную роль играет своевременное обнаружение источника пожара.

Нужно отметить, что существуют три составляющие, о которых упоминалось выше, без которых возникновение и распространение пожара не представляется возможным: горючее вещество, кислород и источник возгорания.

При рассмотрении направления недопущения возгорания можно воздействовать только на две составляющие этого «треугольника»: горючий материал и источник огня, так как источником кислорода является воздух, который ограничить в лесах невозможно.

Одним из превентивных мероприятий является составление карты лесных территорий [6, 7]. Такие карты создаются в процессе обследования лесных массивов. На них обозначаются зоны риска, а также места расположения противопожарных барьеров.

Авторы сразу нескольких статей считают, что создание противопожарных разрывов и барьеров является наиболее простым и эффективным способом как профилактики, так и тушения пожаров.

Противопожарные барьеры – естественная или искусственная преграда, которая не дает распространяться пожару [8].

Естественные барьеры – различные водоемы на территории леса, такие как озера, реки и болота, а также участки и полосы земли, на которых отсутствует растительность.

Искусственные барьеры – различные сооружения, которые создают разрыв в сплошном лесном массиве. К ним можно отнести различные канавы, автомобильные и железные дороги, также сюда относятся проходящие по территории леса линии электропередач. Сюда будут относиться и специально созданные противопожарные барьеры [9].

Такие барьеры представляют собой полосы земли, на которых полностью отсутствует какая-либо растительность либо высаживается слой коротких многолетних вечнозеленых растений и трав, например, клевера. Ширина таких полос обычно составляет 10–20 м [10].

Противопожарный барьер выполняет несколько функций. Во-первых, это огнеупорный барьер, через который лесной пожар не сможет распространиться дальше. Во-вторых, такие полосы позволяют легко добраться до участка леса не только пешком, но и на пожарной машине [11].

В работе [12] автор говорит о том, что вероятность возникновения пожара снижется при более низком классе пожарной опасности. В свою очередь класс пожарной опасности напрямую зависит от метеорологической обстановки, в особенности от осадков. В связи с этим автор приходит к выводу, что наиболее перспективными способами предупреждения и ликвидации лесных пожаров являются средства и технологии, которые основаны на методах искусственного осадкообразования над очагами лесных пожаров.

Автор статьи [13] считает, что не нужно забывать о том, что причиной большинства лесных пожаров является человек, и в своей работе уделяет внимание ответственности, в том числе и уголовной, которая предусматривает определенные санкции за нарушение правил пожарной безопасности, особенно если это привело к возникновению лесного пожара.

Теперь обратимся ко второму направлению борьбы с пожарами – непосредственно тушению возникших лесных пожаров. Первым шагом в тушении пожаров является его обнаружение [14, 15]. Существует много способов, позволяющих обнаружить пожар в лесу. К ним относятся:

- наблюдение со специальных наблюдательных вышек и других сооружений;
- наземное наблюдение путем регулярного обхода и обследования территории леса;
- авиационный мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов и видеонаблюдения [16];
- использование систем космического мониторинга [17, 18];
- приём сообщений от населения.

Следующий шаг – тушение. Тушение каждого лесного пожара представляет собой последовательное выполнение операций на соответствующих стадиях развития пожара, которые представлены на рис. 2 [19, 20].



Рис. 2. Стадии развития пожара и операции по тушению пожара

При борьбе с природными пожарами существует несколько методов тушения лесных пожаров [21, 22], которые представлены на рис. 3.

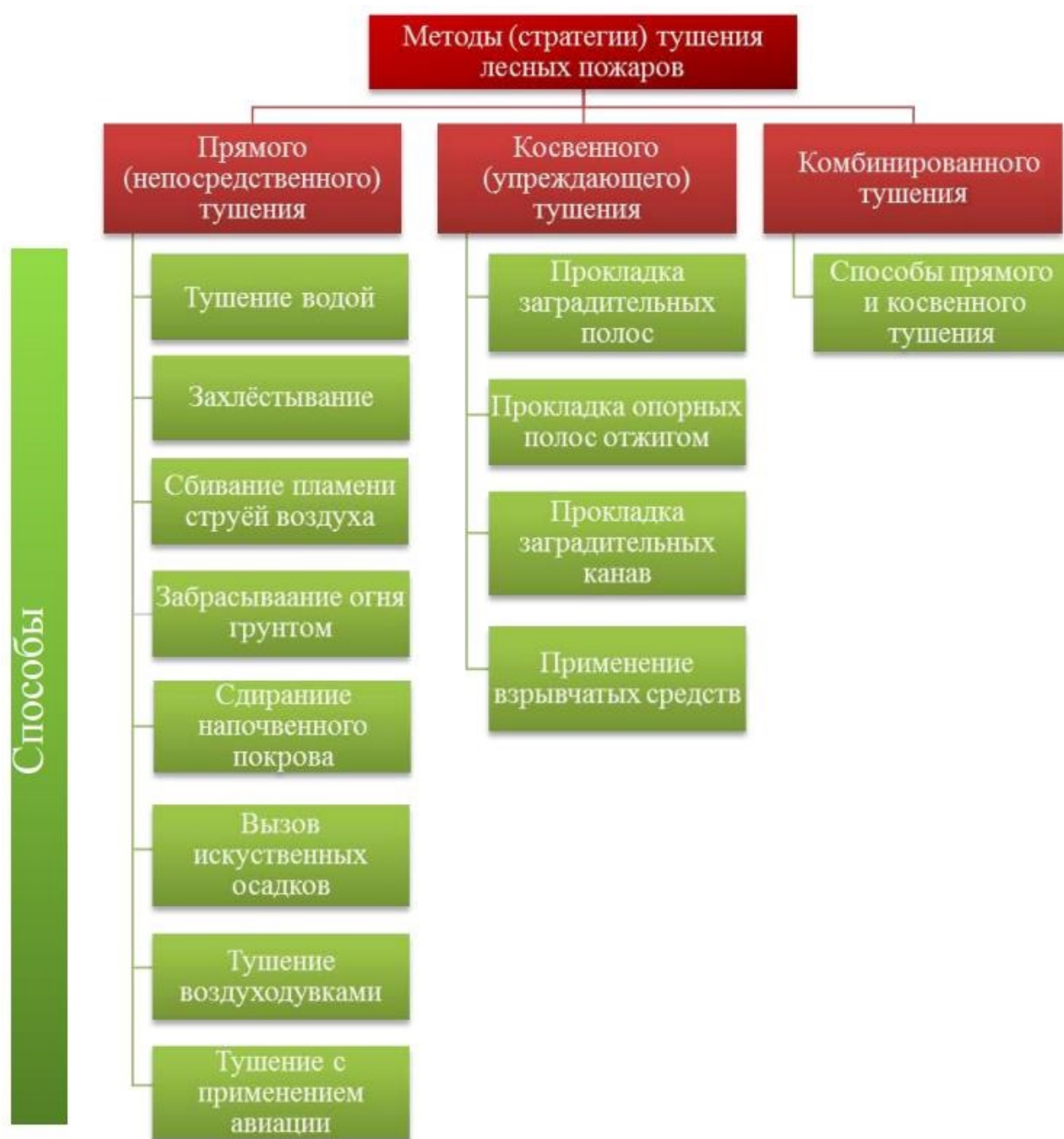


Рис. 3. Методы тушения лесных пожаров

В статье [23] авторами особое внимание уделено использованию грунта для непосредственной борьбы с лесными пожарами путем его метания специальными устройствами (пожарными грунтометами), что является перспективным, особенно при тушении малых лесных пожаров. Предложена конструкция пожарной грунтометной машины для тушения лесных пожаров путем создания (закладки) минерализованных полос и заполнения грунтом края движущегося пожара (низовые пожары).

Автором статьи [24] предлагается способ локализации верховых пожаров с помощью разбрызгивания над очагами пожара негорючих материалов.

Заключение

На сегодняшний день существует множество способов борьбы с лесными пожарами. В этом направлении ведется комплексная работа.

В области профилактических мероприятий разрабатываются различные приспособления, которые снижают вероятность возгорания. С другой стороны, ведется работа с населением: напоминания о том, как нужно вести себя в лесу, как правильно разводить костер и как правильно его затушить. Также применяется нормативный подход для привлечения к ответственности лиц, которые нарушают правила пожарной безопасности.

В области тушения пожаров постоянно совершенствуется система обнаружения очагов пожаров, появляются новые способы тушения пожаров и приспособления для улучшения уже существующих методов

Список источников

1. Рослесхоз: каждое третье дерево в российском лесу – лиственница // Министерство природных ресурсов. URL: https://www.mnr.gov.ru/press/news/rosleskhoz_kazhdoe_trete_derevo_v_rossiyskom_lesu_listvennitsa/?special_version=Y (дата обращения: 16.12.2022).
2. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 году: гос. доклад. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946> (дата обращения: 16.12.2022).
3. Гнусов М.А., Малюков С.В., Петков А.Ф. Виды и характеристики лесных пожаров // Воронежский научно-технический вестник. 2020. № 1 (31). С. 140–146.
4. Jin R., Lee K. Investigation of forest fire characteristics in North Korea using remote sensing data and GIS // Remote Sensing. 2022. № 14 (22). DOI: 10.3390/rs14225836.
5. The effects of large-scale forest disturbances on hydrology – an overview with special emphasis on karst aquifer systems / U. Vilhar [et al.] // Earth-Science Reviews. 2022. № 235. DOI: 10.1016/j.earscirev.2022.104243.
6. Zhou Q., Zhang H., Wu Z. Effects of forest fire prevention policies on probability and drivers of forest fires in the boreal forests of china during different periods // Remote Sensing. 2022. № 14 (22). DOI: 10.3390/rs14225724.
7. Chicas S.D., Østergaard Nielsen J. Who are the actors and what are the factors that are used in models to map forest fire susceptibility? A systematic review // Natural Hazards. 2022. № 114 (3). P. 2417–2434. DOI: 10.1007/s11069-022-05495-5.
8. Халдина Е.А. Математическое моделирование распространения верховых лесных пожаров с учетом противопожарных преград // Векторы благополучия: экономика и социум. 2013. № 4 (10). С. 98–103.
9. Analysis of the efficiency of combined barrier strips for localizing the burning of needles and leafage / A.O. Zhdanova [et al.] // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2022. № 95 (4). P. 939–944. DOI: 10.1007/s10891-022-02550-7.
10. Ковтун К.А., Потапова С.О. Проблемные вопросы оптимизации средств и способов тушения лесных пожаров // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. № 9. С. 391–394.
11. Оськина Т.В. Профилактика лесных пожаров // Студенческие научные исследования: сб. статей IX Междунар. науч.-практ. конф.: в 2-х ч. Пенза: Наука и Просвещение, 2021. С. 122–125.
12. Подрезов Ю.В. Особенности, перспективные способы, средства и технологии борьбы с лесными пожарами – источниками чрезвычайных лесопожарных ситуаций // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 1 (67). С. 36–39.
13. Рамазанова К.С., Вестов Ф.А. Особенности профилактики лесных пожаров и уголовная ответственность за их возникновение в Российской Федерации // Правовые институты и методы обеспечения экологической и природоресурсной безопасности в России,

странах СНГ и Европейского союза: законодательство, социальная и экологическая эффективность: сб. науч. статей по материалам VI Междунар. науч.-практ. конф. преподавателей, практических сотрудников, студентов, магистрантов, аспирантов. Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2019. С. 125–127.

14. Mahdi A.S., Mahmood S.A. Analysis of deep learning methods for early wildfire detection systems: review // Paper presented at the ICETA 2022: 5th International Conference on Engineering Technology and its Applications. 2022. P. 271–276. DOI: 10.1109/ICETA54559.2022.9888515.

15. Gazizov A.M., Popova E.V., Yangirova R.R. Analysis of innovative ways to eliminate forest fires in order to minimize environmental damage // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. № 981 (3). DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032027.

16. Drones and blockchain integration to manage forest fires in remote regions / D. Mahmudnia [et al.] // Drones. 2022. № 6 (11). DOI: 10.3390/drones6110331.

17. Grari M. Using IOT and ML for forest fire detection, monitoring, and prediction: a literature review // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2022. № 100 (19). P. 5445–5461.

18. Khachumov M., Khachumov V. Optimization models of UAV route planning for forest fire monitoring // Paper presented at the Proceedings – 2022: International Russian Automation Conference, RusAutoCon. 2022. P. 272–277. DOI: 10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896260.

19. Данилова С.С., Николаева В.М. Обнаружение лесных пожаров. Методы тушения лесных пожаров // Научно-практический электронный журнал Аллея Науки. 2018. № 10 (26).

20. Никищенко Н.Г. Особенности организации тушения лесных пожаров // Мировая наука. 2019. № 12 (33). С. 291–293.

21. Гоман П.Н., Баев Н.Н. Анализ современных методов и способов тушения лесных пожаров // Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве: сб. материалов VII Междунар. заочной науч.-практ. конф. Минск: УГЗ, 2021. С. 6–15.

22. Monitoring of forest fires and their consequences / S.E. Anisimov [et al.] // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. № 1010 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012070.

23. The firefighting soil-thruster for laying mineralized strips and extinguishing wildfires / E.M. Tsarev [et al.] // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. № 1010 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012099.

24. Laboratory studies of extinguishing a forest ground fire with soil / M. Gnusov [et. al] // Paper presented at the AIP Conference Proceedings. 2022. № 2467. DOI: 10.1063/5.0094294.

References

1. Rosleskhoz: kazhdoe tret'e derevo v rossijskom lesu – listvennica // Ministerstvo prirodnyh resursov. URL: https://www.mnr.gov.ru/press/news/rosleskhoz_kazhdoe_trete_derevo_v_rossiyskom_lesu_listvennica/?special_version=Y (data obrashcheniya: 16.12.2022).
2. O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera v 2021 godu: gos. doklad. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946> (data obrashcheniya: 16.12.2022).
3. Gnusov M.A., Malyukov S.V., Petkov A.F. Vidy i harakteristiki lesnyh pozharov // Voronezhskij nauchno-tekhnicheskij vestnik. 2020. № 1 (31). S. 140–146.
4. Jin R., Lee K. Investigation of forest fire characteristics in North Korea using remote sensing data and GIS // Remote Sensing. 2022. № 14 (22). DOI: 10.3390/rs14225836.
5. The effects of large-scale forest disturbances on hydrology – an overview with special emphasis on karst aquifer systems / U. Vilhar [et al.] // Earth-Science Reviews. 2022. № 235. DOI: 10.1016/j.earscirev.2022.104243.

6. Zhou Q., Zhang H., Wu Z. Effects of forest fire prevention policies on probability and drivers of forest fires in the boreal forests of china during different periods // *Remote Sensing*. 2022. № 14 (22). DOI: 10.3390/rs14225724.
7. Chicas S.D., Østergaard Nielsen J. Who are the actors and what are the factors that are used in models to map forest fire susceptibility? A systematic review // *Natural Hazards*. 2022. № 114 (3). P. 2417–2434. DOI: 10.1007/s11069-022-05495-5.
8. Haldina E.A. Matematicheskoe modelirovanie rasprostraneniya verhovyyh lesnyh pozharov s uchetom protivopozharnyyh pregrad // *Vektory blagopoluchiya: ekonomika i socium*. 2013. № 4 (10). S. 98–103.
9. Analysis of the efficiency of combined barrier strips for localizing the burning of needles and leafage / A.O. Zhdanova [et al.] // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2022. № 95 (4). P. 939–944. DOI: 10.1007/s10891-022-02550-7.
10. Kovtun K.A., Potapova S.O. Problemnye voprosy optimizacii sredstv i sposobov tusheniya lesnyh pozharov // *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy*. 2018. № 9. S. 391–394.
11. Os'kina T.V. Profilaktika lesnyh pozharov // *Studencheskie nauchnye issledovaniya: sb. statej IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 2-h ch. Penza: Nauka i Prosveshchenie*, 2021. S. 122–125.
12. Podrezov Yu.V. Osobennosti, perspektivnye sposoby, sredstva i tekhnologii bor'by s lesnymi pozharemi – istochnikami chrezvychajnyh lesopozharnyyh situacij // *Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. 2021. № 1 (67). S. 36–39.
13. Ramazanova K.S., Vestov F.A. Osobennosti profilaktiki lesnyh pozharov i ugolovnaya otvetstvennost' za ih vozniknovenie v Rossijskoj Federacii // *Pravovye instituty i metody obespecheniya ekologicheskoy i prirodoresursnoy bezopasnosti v Rossii, stranah SNG i Evropejskogo soyuza: zakonodatel'stvo, social'naya i ekologicheskaya effektivnost': sb. nauch. statej po materialam VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. prepodavatelej, prakticheskikh sotrudnikov, studentov, magistrantov, aspirantov. Saratov: Izd-vo «Saratovskij istochnik», 2019. S. 125–127.*
14. Mahdi A.S., Mahmood S.A. Analysis of deep learning methods for early wildfire detection systems: review // *Paper presented at the IICETA 2022: 5th International Conference on Engineering Technology and its Applications*. 2022. P. 271–276. DOI: 10.1109/IICETA54559.2022.9888515.
15. Gazizov A.M., Popova E.V., Yangirova R.R. Analysis of innovative ways to eliminate forest fires in order to minimize environmental damage // *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. № 981 (3). DOI: 10.1088/1755-1315/981/3/032027.
16. Drones and blockchain integration to manage forest fires in remote regions / D. Mahmudnia [et al.] // *Drones*. 2022. № 6 (11). DOI: 10.3390/drones6110331.
17. Grari M. Using IOT and ML for forest fire detection, monitoring, and prediction: a literature review // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2022. № 100 (19). P. 5445–5461.
18. Khachumov M., Khachumov V. Optimization models of UAV route planning for forest fire monitoring // *Paper presented at the Proceedings – 2022: International Russian Automation Conference, RusAutoCon*. 2022. P. 272–277. DOI: 10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896260.
19. Danilova S.S., Nikolaeva V.M. Obnaruzhenie lesnyh pozharov. Metody tusheniya lesnyh pozharov // *Nauchno-prakticheskij elektronnyj zhurnal Alleya Nauki*. 2018. № 10 (26).
20. Nikishchenko N.G. Osobennosti organizacii tusheniya lesnyh pozharov // *Mirovaya nauka*. 2019. № 12 (33). S. 291–293.
21. Goman P.N., Baev N.N. Analiz sovremennyh metodov i sposobov tusheniya lesnyh pozharov // *Problemy obespecheniya bezopasnosti lyudej pri pozhare i vzryve: sb. materialov VII Mezhdunar. zaochnoj nauch.-prakt. konf. Minsk: UGZ, 2021. S. 6–15.*
22. Monitoring of forest fires and their consequences / S.E. Anisimov [et al.] // *Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. № 1010 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012070.

23. The firefighting soil-thrower for laying mineralized strips and extinguishing wildfires / E.M. Tsarev [et al.] // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. № 1010 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012099.

24. Laboratory studies of extinguishing a forest ground fire with soil / M. Gnusov [et al.] // Paper presented at the AIP Conference Proceedings. 2022. № 2467. DOI: 10.1063/5.0094294.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 20.12.2022

Принята к публикации: 10.01.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 20.12.2022

Accepted for publication: 10.01.2023

Информация об авторах:

Яценко Мария Евгеньевна, студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29), e-mail: yatsenko.me@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2228-4134>

Information about the authors:

Yatsenko Maria E., student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnic str., 29), e-mail: yatsenko.me@edu.spbstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2228-4134>

ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Научная статья

УДК 004.94

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОСНАЩЕННОСТИ ЛЕСОПОЖАРНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ СИЛАМИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

✉ Гаврилова Марина Валериевна.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия.

Алешков Александр Михайлович.

Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия

✉ gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru

Аннотация. В настоящее время наблюдается увеличение масштабов лесных пожаров и, соответственно, рост ущерба от них. Эффективная борьба с лесными пожарами способствует снижению их последствий. На эффективность борьбы с лесными пожарами влияет состояние лесопожарной системы страны. На основе анализа состояния лесопожарной системы страны выявлено, что на эффективность работы подразделений по тушению лесных пожаров влияет оснащенность подразделений силами и средствами пожаротушения. Целью данной работы является разработка имитационной модели лесопожарных формирований для оценки оснащенности подразделений силами и средствами пожаротушения. В данной работе использовался метод имитационного моделирования. В качестве средства моделирования использовался программный продукт AnyLogic. Описана разработка модели подразделения лесного пожаротушения для тушения лесных пожаров. Также в данной работе рассмотрена возможность использования разработанной модели для оценки оснащенности подразделений лесного пожаротушения силами и средствами пожаротушения.

Ключевые слова: лесные пожары, ликвидация лесных пожаров, лесопожарные формирования, имитационное моделирование, AnyLogic, лесная охрана

Для цитирования: Гаврилова М.В., Алешков А.М. Использование имитационного моделирования для оценки оснащенности лесопожарных формирований силами пожаротушения // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 60–65.

Scientific article

THE USE OF SIMULATION MODELING TO ASSESS THE EQUIPMENT OF FOREST FIREFIGHTING UNITS WITH FIREFIGHTING FORCES

✉ Gavrilova Marina V.

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

Aleshkov Aleksander M.

Academy of EMERCOM of Russia

✉ gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru

Abstract. At present, there is an increase in the scale of forest fires and, accordingly, an increase in damage from them. Effective fighting of forest fires contributes to the reduction of the consequences of forest fires. The effectiveness of forest fire suppression is influenced by the state of the country's forest fire system. Based on the analysis of the state of the forest fire system of the country revealed that the effectiveness of units

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

to extinguish forest fires is influenced by the equipment of units with firefighting forces and means. The purpose of this work is to develop a simulation model of forest firefighting units to assess the equipment of subdivisions with firefighting forces and means. The method of simulation modeling was used in this work. As a simulation tool the software product AnyLogic was used. This paper describes the development of a forest firefighting unit model for extinguishing forest fires. Also in this work the possibility of using the developed model for the evaluation of the forest firefighting units with firefighting forces and means has been considered.

Keywords: forest fires, forest fire suppression, forest fire brigades, simulation modelling, AnyLogic, forest protection

For citation: Gavrilova M.V., Aleshkov A.M. The use of simulation modeling to assess the equipment of forest firefighting units with firefighting forces // *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty)* = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 60–65.

Введение

Изменение климата в последние десятилетия способствует возрастанию пожарной опасности в лесах России [1, 2]. Лесные пожары представляют угрозу для жизни людей, проживающих вблизи пожароопасных территорий, их имущества и для лесного хозяйства в целом. Помимо этого, атмосферный воздух загрязняется за счет горения леса и влияет на качество воздуха, что негативно сказывается на здоровье людей и экологической обстановке территорий [3]. Эффективная борьба с лесными пожарами способствует снижению наносимых ими последствий.

На эффективность борьбы с лесными пожарами влияет состояние лесопожарной системы страны. Самая низкая эффективность работ лесопожарных подразделений по предварительной оценке наблюдается в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах [4]. Именно на эти округа в последние три года приходится более 80 % погибших при пожарах лесных насаждений от общей площади по стране [5]. Среди основных ошибок, допускаемых лесопожарными формированиями при ведении оперативных действий по тушению лесного пожара, отмечено медленное наращивание сил и средств [6]. Недостаточное количество сил и средств, направляемых на тушение на начальном этапе реагирования на возникающие пожары, также способствует дальнейшему распространению пожара [7]. Оценка оснащенности сил и средств, задействованных в борьбе с лесными пожарами, способствует выявлению проблем работы лесопожарных формирований и определению возможных путей их решения. Имитационное моделирование уже используется научным сообществом в вопросах безопасности [8], что говорит о широких возможностях данного метода и делает возможным создание модели для оценки оснащенности лесопожарных формирований силами пожаротушения.

Методы исследования

При разработке модели использовалась научная работа, в которой описывается метод оценки обеспеченности лесопожарных формирований силами пожаротушения [9]. Данный аналитический метод апробирован и используется в лесной науке при разработке и совершенствовании нормативной правовой и методической базы.

Для разработки имитационной модели использовалось программное обеспечение AnyLogic. Оно включает в себя графический язык моделирования и позволяет пользователю расширять созданные модели с помощью языка Java [10].

Для создания модели был выбран такой метод имитационного моделирования, как дискретно-событийное моделирование. Оно позволяет создавать системы с дискретными событиями. Дискретно-событийное моделирование подразумевает моделирование системы, которая должна быть представлена как процесс, то есть как последовательность действий, выполняемых агентами, или как поток заявок, которые обрабатываются ресурсами [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Реагирование на возникший пожар осуществляет лесопожарное формирование. От того, как быстро формированию удастся среагировать на пожар, зависит скорость ликвидации пожара. Чем быстрее пожар будет ликвидирован, тем быстрее группа, занимающаяся его тушением, будет готова к работе по тушению другого обнаруженного пожара. Таким образом, эффективность работы лесопожарного формирования зависит от двух условий: скорости действий лесопожарных формирований и их численности. Достижение предела численности формирований, когда ресурсов недостаточно для реагирования на новый лесной пожар, всегда означает достижение критического порога, после прохождения которого начинает проявляться негативный эффект «запаздывания», когда формирование несвоевременно реагирует на пожар (от чего пожар может стать масштабнее, следовательно, на его ликвидацию потребуется больше сил и времени) [9]. При создании модели была поставлена следующая задача: разработать такую модель лесопожарного формирования, которая позволит отслеживать возникновение критического порога при определённой численности формирования (рис. 1).

Пожары представлены в виде агентов, которые создаются с помощью блока «Source» (на рис. 1 – «Пожар»). В настройках данного блока можно задавать интенсивность возникновения агентов и их периодичность. Блок «Queue» (на рис. 1 – «Ожидание_реагирования») используется для создания очереди из появляющихся пожаров, на ликвидацию которого еще не были отправлены группы. С помощью тех же блоков создаются группы для ликвидации пожаров. В отличие от пожаров, в блоке «Source» (на рис. 1 – «Группы») задается конечное количество групп, которые будут созданы данным блоком. Под группой понимается базовая тактическая единица лесопожарного формирования типового состава (подразделения), имеющая все необходимые для ликвидации пожара технические средства. Блок «Queue» (на рис. 1 – «Ожидание_вызова») в данном случае имитирует ожидание группами вызова на пожар. При моделировании ликвидации использовались блоки «Pickup» (на рис. 1 – «Прибытие группы») и «Dropoff» (на рис. 1 – «Возвращение группы»). Данные блоки позволяют имитировать занятость группы в пожаре. Блок «Delay» (на рис. 1 – «Ликвидация») создаёт задержку на заданное время. Данный блок позволяет имитировать операционный период группы, который определяется временем обнаружения лесного пожара и его ликвидации. В этот же период входит время, затраченное на транспортировку группы до места пожара и на возвращение группы. При создании данной модели было принято допущение, что возникающие пожары одинаковы по сложности, на их ликвидацию требуется одинаковый операционный период и одной группы для его ликвидации будет достаточно. После ликвидации пожара соответствующий агент уничтожается с помощью блока «Sink» (на рис. 1 – «Пожар_потушен»). Но агенты «Группа», в отличие от агентов «Пожар», не уничтожаются, а возвращаются в очередь в блоке «ожидание вызова». Так как группа не может сразу же после ликвидации пожара приступить к ликвидации следующего, был использован блок «Delay» (на рис. 1 – «Отдых»), который создает задержку группы на необходимое время.

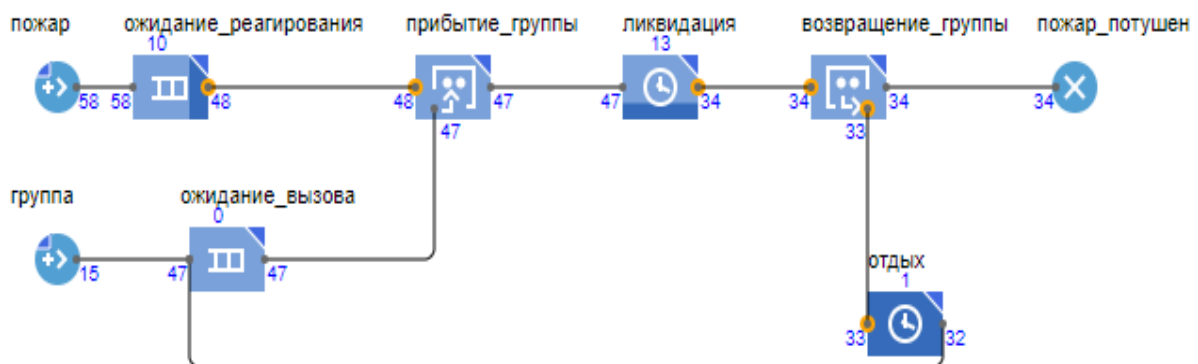


Рис. 1. Пример работы модели

Для проверки работоспособности модели были заданы следующие условия:

- интенсивность: семь пожаров в неделю, с возможностью появления двух пожаров за один раз;
- количество групп: 15;
- время операционного периода: сутки;
- группа может приступить к тушению следующего пожара через сутки.

При запуске модели (рис. 1) можно было заметить, что в блоке «ожидание_реагирования» накапливается очередь из появившихся пожаров. Это говорит о том, что для реагирования на пожар в данный момент модельного времени нет свободных групп, следовательно, данного количества групп в заданных условиях будет недостаточно для своевременного реагирования на вновь появляющиеся лесные пожары.



Рис. 2. График работы модели

График, представленный на рис. 2, получен во время работы модели и иллюстрирует как со временем меняется количество свободных групп лесопожарного формирования, количество ликвидируемых пожаров, на котором заняты группы, и количество пожаров, на ликвидацию которых еще не были отправлены группы лесопожарного формирования.

На графике можно заметить, что пока групп достаточно, на пожары удаётся реагировать своевременно (не происходит накопление пожаров, на которые не удастся реагировать). Как только все группы заняты ликвидацией пожаров, пожары, оставшиеся без реагирования, начинают накапливаться. Количество ликвидируемых пожаров остается неизменным, так как на ликвидации задействованы все возможные силы.

Заключение

Таким образом, в ходе выполнения данной работы был разработан прототип модели работы лесопожарного формирования, иллюстрирующий только принцип работы имитационной модели, которая позволит отслеживать возникновение критического порога, когда имеющихся базовых тактических единиц лесопожарного формирования типового состава будет недостаточно для оперативного реагирования на возникающие пожары, что, в свою очередь, позволит оценить достаточность таких базовых тактических единиц, укомплектованных необходимыми для ликвидации лесных пожаров средствами.

Список источников

1. An assessment of potential change in wildfire activity in the russian boreal forest zone induced by climate warming during the twenty-first century / S.P. Malevsky-Malevich [et al.] // Climatic Change. 2008. № 86 (3–4). P. 463–474. DOI: 10.1007/s10584-007-9295-7.

2. Potential forest fire danger over northern Eurasia: Changes during the 20th century / P.Y. Groisman [et al.] // *Global and Planetary Change*. 2007. № 56 (3–4). P. 371–386. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.029.
3. Fried J.S., Gilles J.K., Spero J. Analysing initial attack on wildland fires using stochastic simulation // *International Journal of Wildland Fire*. 2006. № 15 (1). P. 137–146. DOI: 10.1071/WF05027.
4. Котельников Р.В., Мартынюк А.А. Показатель для оценки эффективности организации охраны лесов от пожаров // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2021. № 2 (380). С. 213–222.
5. Росстат. Сведения о защите лесов за 2018, 2019, 2020 гг. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (дата обращения: 02.10.2022).
6. Николаев Д.В., Триш А.А., Борисова М.Ю. Информационно-расчетное обеспечение принятия решений по применению сил и средств руководителем тушения пожаров // *Наука, техника и образование*. 2020. № 10 (74). С. 28–33.
7. Кректунов А.А., Гайнулина Е.В. Основные проблемы организации противопожарной защиты населенных пунктов при предотвращении и тушении лесных пожаров // *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сб. статей по материалам III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. 2012. С. 165–167.
8. Савельев Д.И., Авдеева М.О. Постановка задачи моделирования чрезвычайной ситуации природного характера // *Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. с междунар. участием*. СПб.: С.-Петерб. политех. ун-т Петра Великого, 2020. С. 13–15.
9. Коршунов Н.А., Котельников Р.В., Савченкова В.А. Метод оценки обеспеченности лесопожарных формирований силами пожаротушения // *Лесотехнический журнал*. 2018. Т. 8. № 3 (31). С. 71–78.
10. Григорьев И. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию: практ. пособие. Интернет-издание. 2020. 273 с.
11. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Моделирование сложных систем в имитационной среде AnyLogic // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 13. С. 352–357.
12. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

References

1. An assessment of potential change in wildfire activity in the russian boreal forest zone induced by climate warming during the twenty-first century / S.P. Malevsky-Malevich [et al.] // *Climatic Change*. 2008. № 86 (3–4). P. 463–474. DOI: 10.1007/s10584-007-9295-7.
2. Potential forest fire danger over northern Eurasia: Changes during the 20th century / P.Y. Groisman [et al.] // *Global and Planetary Change*. 2007. № 56 (3–4). P. 371–386. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.029.
3. Fried J.S., Gilles J.K., Spero J. Analysing initial attack on wildland fires using stochastic simulation // *International Journal of Wildland Fire*. 2006. № 15 (1). P. 137–146. DOI: 10.1071/WF05027.
4. Kotel'nikov R.V., Martynyuk A.A. Pokazatel' dlya ocenki effektivnosti organizacii ohrany lesov ot pozharov // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. 2021. № 2 (380). S. 213–222.
5. Rosstat. Svedeniya o zashchite lesov za 2018, 2019, 2020 gg. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13295> (data obrashcheniya: 02.10.2022).
6. Nikolaev D.V., Trish A.A., Borisova M.Yu. Informacionno-raschetnoe obespechenie prinyatiya reshenij po primeneniyu sil i sredstv rukovoditelem tusheniya pozharov // *Nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2020. № 10 (74). S. 28–33.
7. Krektunov A.A., Gajnullina E.V. Osnovnye problemy organizacii protivopozharnoj zashchity naselennyh punktov pri predotvrashchenii i tushenii lesnyh pozharov // *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy: sb. statej po materialam III Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem*. 2012. S. 165–167.

8. Savel'ev D.I., Avdeeva M.O. Postanovka zadachi modelirovaniya chrezvychajnoj situacii prirodnoho haraktera // Nedelya nauki SPbPU: materialy nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. SPb.: S.-Peterb. politekh. un-t Petra Velikogo, 2020. S. 13–15.

9. Korshunov N.A., Kotel'nikov R.V., Savchenkova V.A. Metod ocenki obespechennosti lesopozharnyh formirovanij silami pozharotusheniya // Lesotekhnicheskij zhurnal. 2018. T. 8. № 3 (31). S. 71–78.

10. Grigor'ev I. AnyLogic za tri dnya. Prakticheskoe posobie po imitacionnomu modelirovaniyu: prakt. posobie. Internet-izdanie. 2020. 273 s.

11. Yakimov I.M., Kirpichnikov A.P., Mokshin V.V. Modelirovanie slozhnyh sistem v imitacionnoj srede AnyLogic // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. № 13. S. 352–357.

12. Matveev A.V. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 22.12.2022

Принята к публикации: 15.01.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 22.12.2022

Accepted for publication: 15.01.2023

Информация об авторах:

Гаврилова Марина Валериевна, студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29), e-mail: gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru

Алешков Александр Михайлович, доцент кафедры пожарной автоматики Академии государственной противопожарной службы МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук, e-mail: alexander-akfire@yandex.ru

Information about the authors:

Gavrilova Marina V., student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya str., 29), e-mail: gavrilova2.mv@edu.spbstu.ru

Aleshkov Aleksander M., associate professor of the department of fire automation of the Academy of the State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin str., 4), candidate of technical sciences, e-mail: alexander-akfire@yandex.ru

Научная статья

УДК 621.6

ВЫБОР СПОСОБА ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ОТДАЛЕННЫХ РЕГИОНАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

✉Скрышников О.И.

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

✉skrypnikova.oxana@yandex.ru

Аннотация. Многие годы нефть остается незаменимым полезным ископаемым, переработка и транспортировка которого осуществляется колоссальными темпами. Освоение сырьевого потенциала в отдаленных регионах набирает обороты, однако в то же время транспортировка нефтепродуктов в данной местности связана с определенными трудностями, выражаемыми суровыми погодными условиями, уязвимостью природной среды, а также удаленностью. В совокупности вышеперечисленные факторы определяют сезонность использования отдельных видов транспорта, повышение цен на эксплуатацию транспортной инфраструктуры. Поэтому актуальным вопросом является выбор оптимального способа транспортировки нефтепродуктов в отдаленных регионах. В работе рассмотрен пример выбора способа транспортировки в отдаленных регионах из четырех альтернатив (автомобильный, трубопроводный, водный, трубопроводный) по пяти критериям (допустимый объем перевозимого нефтепродукта, стоимость перевозки, возможность доставки нефтепродуктов в отдаленные регионы, скорость доставки, зависимость от погодных условий/состояния дорог) на основе метода анализа иерархий.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, нефтепродукты, транспортировка

Для цитирования: Скрышников О.И. Выбор способа транспортировки нефтепродуктов в отдаленных регионах на основе метода анализа иерархий // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 66–77.

Scientific article

THE CHOICE OF THE METHOD OF TRANSPORTATION OF PETROLEUM PRODUCTS IN REMOTE REGIONS BASED ON THE METHOD OF HIERARCHY ANALYSIS

✉Skrypnikova Oksana I.

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

✉skrypnikova.oxana@yandex.ru

Abstract. For many years, oil has remained an indispensable mineral, the processing and transportation of which is carried out at an enormous pace. The development of raw material potential in the Arctic zone is gaining momentum, but at the same time, the transportation of petroleum products in this area is associated with certain difficulties, expressed by severe weather conditions, vulnerability of the natural environment, as well as the remoteness of the Arctic regions. Together, the above factors determine the seasonality of the use of certain types of transport, the increase in prices for the operation of transport infrastructure. Therefore, an urgent issue is the choice of the optimal method of transportation of petroleum products in remote regions. The paper considers an example of choosing a method of transportation in remote regions from four alternatives (automobile, pipeline, water, pipeline) according to five criteria (permissible volume of transported petroleum products, cost of transportation, the possibility of delivering petroleum products to remote regions, speed of delivery, dependence on weather conditions/road conditions) based on the hierarchy analysis method.

Keywords: hierarchy analysis method, petroleum products, transportation

For citation: Skrypnikova O.I. The choice of the method of transportation of petroleum products in remote regions based on the method of hierarchy analysis // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 66–77.

Введение

Отдаленные регионы Российской Федерации, к которым относят Камчатский край, Магаданскую область, Ненецкий АО, Республику Саха (Якутия), Сахалинскую область, Чукотский АО, Ямало-Ненецкий АО, располагают большими объемами углеводородного сырья, однако добыча и транспортировка нефтепродуктов в данной местности является весьма затруднительной ввиду своеобразия климатических условий [1, 2].

На сегодняшний день активно используют четыре способа транспортировки, к которым относят автомобильный, железнодорожный, водный, трубопроводный. Развитие транспортной инфраструктуры на территории отдаленных регионов неоднозначно [3–6]. Например, в западных регионах достаточно развита сеть автомобильных дорог и ж/д путей, а в регионах Сибири и Дальнего Востока наземные транспортные коммуникации практически отсутствуют, и сообщение осуществляется посредством воздушного и водного транспорта. По оценкам динамика развития железных дорог в арктических регионах незначительна, в определенных регионах по причине закрытия некоторых участков протяженность путей уменьшилась. Что касается автомобильных дорог, то их протяженность имеет тенденцию к увеличению, однако в некоторых регионах строительство новых дорог практически не велось [7, 8]. Водный транспорт не всегда возможно использовать, ввиду наличия льдов, либо же использовать его в составе каравана за ледоколом, что является длительным процессом. Трубопроводный транспорт развит только в некоторых регионах. В связи с этим возникает задача выбора оптимального способа транспортировки с учетом нескольких критериев. Решить многокритериальную задачу возможно с помощью метода анализа иерархий (МАИ).

Методы исследования

МАИ, предложенный Т.Л. Саати [9], позволяет выбрать оптимальный способ транспортировки нефтепродуктов в отдаленных регионах путем попарного сравнения способов по каждой альтернативе. Блок-схема алгоритма решения задачи с помощью МАИ представлена на рис. 1.

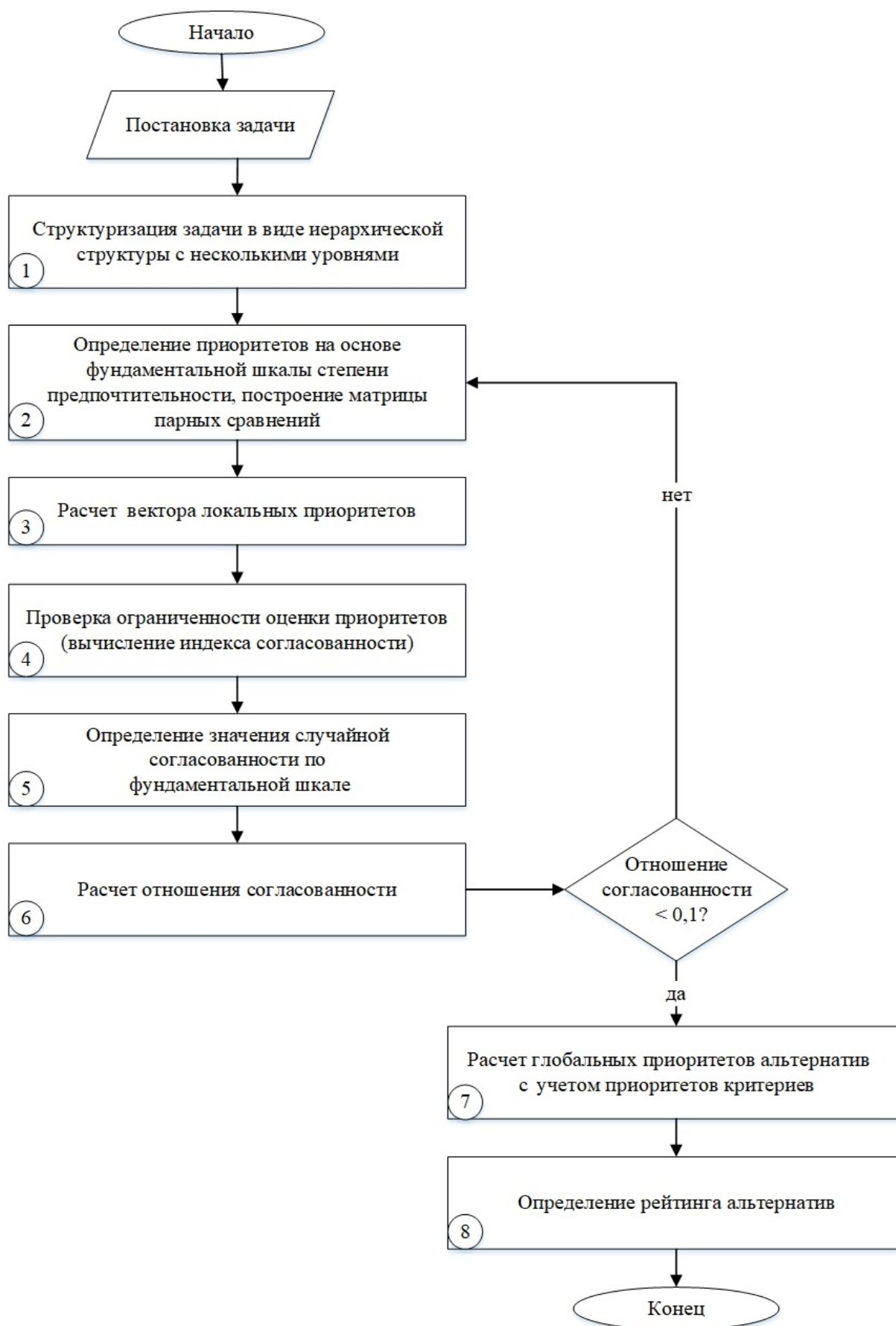


Рис. 1. Блок-схема алгоритма решения задачи на основе метода анализа иерархий

Этап 1. Структуризация задачи в виде иерархической структуры. На данном этапе определяются цель, критерии и альтернативы, которые представляют собой иерархию. Вершиной иерархии является цель, промежуточный уровень – критерии, нижний уровень – альтернативы.

Этап 2. Определение приоритетов путем построения матрицы парных сравнений для всех альтернатив по каждому критерию на основе фундаментальной шкалы степени предпочтительности (табл. 1).

Таблица 1

Фундаментальная шкала степени предпочтительности

a_{ij}^*	Пояснения
1	Одинаковая значимость. Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Некоторое преобладание значимости одного действия перед другим (слабая значимость). Опыт и суждение дают лёгкое предпочтение одному действию перед другим
5	Существенная или сильная значимость. Опыт и суждение дают сильное предпочтение одному действию перед другим
7	Очень сильная или очевидная значимость. Предпочтение одного действия перед другим очень сильно. Его превосходство практически явно
9	Абсолютная значимость. Свидетельство в пользу предпочтения одного действия другому в высшей степени предпочтительны
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы. Ситуация, когда необходимо компромиссное решение

* a_{ij} – элемент матрицы парных сравнений

Этап 3. Расчет вектора локальных приоритетов (ВЛП). Производится расчет для каждой матрицы сравниваемых элементов (табл. 2). Такие же расчеты выполняются для каждого критерия по альтернативам.

Таблица 2

Расчет локального вектора приоритетов

Критерий	x_1	x_2	...	x_n	ВЛП
x_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	$\frac{\sqrt[n]{a_{11} * a_{12} * ... * a_{1n}}}{\sum \sqrt[n]{\text{произведение}}}$
x_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	$\frac{\sqrt[n]{a_{21} * a_{22} * ... * a_{2n}}}{\sum \sqrt[n]{\text{произведение}}}$
...	...	...	...	...	...
x_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nn}	$\frac{\sqrt[n]{a_{n1} * a_{n2} * ... * a_{nn}}}{\sum \sqrt[n]{\text{произведение}}}$
Итого	$\sum a_{ij}$				

Этап 4. Проверка ограниченности оценки приоритетов путем вычисления индекса согласованности (ИС), определяемого формулой:

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1},$$

где n – размерность матрицы; λ_{max} – собственное число матрицы, которое вычисляется следующим образом: 1) суммируется каждый столбец матрицы парных сравнений; 2) сумма первого столбца умножается на первую компоненту вектора локальных приоритетов, сумма второго столбца на вторую компоненту и т.д.; 3) полученные произведения суммируются.

Этап 5. Определение значения случайной согласованности (СС). Необходимо сравнить ИС с той величиной, которая получилась бы при случайном выборе суждений по фундаментальной шкале (1 ... 10) для заданного значения (табл. 3).

Таблица 3

Значения случайной согласованности

Размерность матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Этап 6. Расчет отношения согласованности (ОС). После определения ИС и СС, находят отношение согласованности по формуле:

$$ОС = \frac{ИС}{СС}.$$

Если значение отношения согласованности больше 0,1, то можно утверждать о рассогласованности, и матрицу следует заполнить заново. В противном случае можно приступать к следующему этапу.

Этап 7. Расчет глобальных приоритетов. Производится путем умножения значений ВЛП на приоритеты соответствующих критериев уровня, и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями.

Этап 8. Определение рейтинга альтернатив. Определяется альтернатива с наибольшим глобальным приоритетом, которая и будет являться наилучшим решением.

Результаты исследования и их обсуждение

В работе отражено применение блок-схемы алгоритма решения задачи на основе МАИ на примере выбора оптимального способа транспортировки для доставки нефтепродуктов в отдаленных регионах из четырех альтернатив:

- автомобильный – А1;
- ж/д транспорт – А2;
- водный – А3;
- трубопроводный – А4.

Выбор осуществлялся на основе пяти критериев:

- допустимый объем перевозимого нефтепродукта – К1;
- стоимость перевозки – К2;
- возможность доставки нефтепродуктов в отдаленных регионах – К3;
- скорость доставки – К4;
- зависимость от погодных условий/состояния дорог (ПУ/СД) – К5.

В табл. 4 приведены исходные данные для эксперта, на основе анализа которых строятся матрицы парных сравнений.

Исходные данные

	К1 (малый/ большой)	К2 (низкая/средняя/ высокая)	К3 (да/нет)	К4 (высокая/ низкая)	К5 (подвержен/ не подвержен)
Автомобильный транспорт	малый	средняя	да	высокая	не подвержен
Ж/д транспорт	большой	средняя	да	высокая	не подвержен
Водный транспорт	большой	средняя	да	низкая	подвержен
Трубопроводный транспорт	большой	низкая	да	высокая	не подвержен

Этап 1. Произведена декомпозиция проблемы принятия решений (рис. 2).

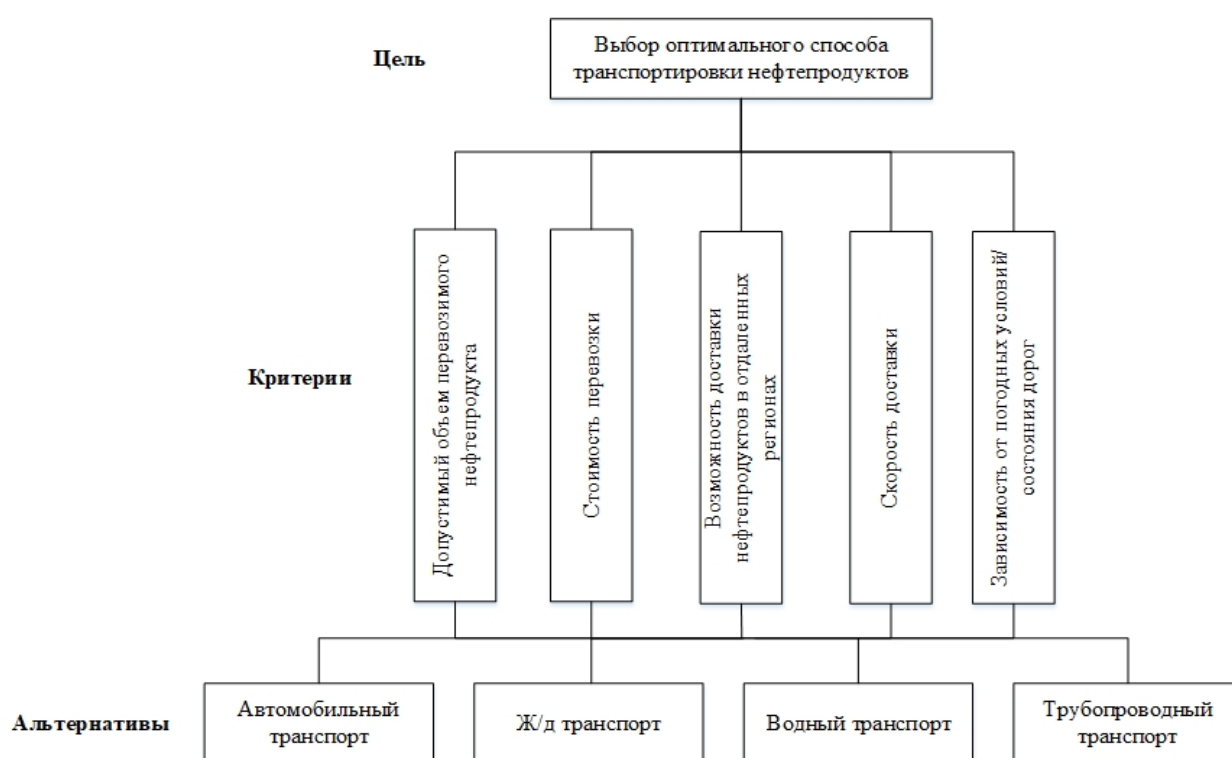


Рис. 2. Иерархия проблемы выбора способа транспортировки

Этап 2. На основе фундаментальной шкалы степени предпочтительности (табл. 1) были построены матрицы парных сравнений для каждой альтернативы по всем критериям (табл. 5–10), опираясь на исходные данные.

Таблица 5

Матрица парных сравнений критериев

Критерии	К1	К2	К3	К4	К5
К1	1	1/4	1/2	3	3
К2	4	1	1/2	2	5
К3	2	2	1	4	4
К4	1/3	1/2	1/4	1	3
К5	1/3	1/5	1/4	1/3	1

Таблица 6

Матрица парных сравнений для критерия K1

Допустимый объем	A1	A2	A3	A4
A1	1	1/8	1/7	1/9
A2	8	1	3	1/2
A3	7	1/3	1	1/3
A4	9	2	3	1

Таблица 7

Матрица парных сравнений для критерия K2

Стоимость перевозки	A1	A2	A3	A4
A1	1	8	6	3
A2	1/8	1	1/3	1/7
A3	1/6	3	1	1/5
A4	1/3	7	5	1

Таблица 8

Матрица парных сравнений для критерия K3

Возможность доставки	A1	A2	A3	A4
A1	1	4	7	2
A2	1/4	1	3	1/5
A3	1/7	1/3	1	1/6
A4	1/2	5	6	1

Таблица 9

Матрица парных сравнений для критерия K4

Скорость доставки	A1	A2	A3	A4
A1	1	5	9	3
A2	1/5	1	4	1/6
A3	1/9	1/4	1	1/7
A4	1/3	6	7	1

Таблица 10

Матрица парных сравнений для критерия K5

Зависимость от ПУ/СД	A1	A2	A3	A4
A1	1	1/7	3	1/6
A2	7	1	7	3
A3	1/9	1/7	1	1/6
A4	6	1/3	6	1

Этап 3–6. Для расчета вектора локальных приоритетов (ЛВП), вычисления индекса и отношения согласованности использовался пакет MS Excel, данные расчетов представлены в табл. 11–16.

Таблица 11

Расчет ЛВП, ИС, ОС для критериев

Критерии	1	2	3	4	5	Произведение	Корень	ЛВП	ИС	ОС
1	1	0,25	0,5	3	3	1,125	1,024	0,166		
2	4	1	0,5	2	5	20	1,821	0,296		
3	2	2	1	4	4	64	2,297	0,373		
4	0,333	0,5	0,25	1	3	0,125	0,659	0,107		
5	0,333	0,2	0,25	0,333	1	0,006	0,354	0,057		
Итого	7,666	3,95	2,5	10,333	16		6,155		0,101	0,09

На данном этапе можно сделать вывод о том, что наиболее значимым критерием при выборе вида транспорта является возможность доставки в отдаленные регионы, а наименее значимым – зависимость от ПУ/СД.

Таблица 12

Расчет ЛВП, ИС, ОС для К1

Допустимый объем	A1	A2	A3	A4	Произведение	Корень	ЛВП	ИС	ОС
A1	1	0,125	0,143	0,111	0,002	0,211	0,037		
A2	8	1	3	0,5	12	1,861	0,325		
A3	7	0,333	1	0,333	0,776	0,939	0,164		
A4	9	2	3	1	54	2,711	0,474		
Итого	25	3,458	7,143	1,944		5,722		0,046	0,051

По критерию «Допустимый объем» наиболее приоритетным является трубопроводный транспорт.

Таблица 13

Расчет ЛВП, ИС, ОС для К2

Стоимость перевозки	A1	A2	A3	A4	Произведение	Корень	ЛВП	ИС	ОС
A1	1	8	6	3	144	3,464	0,563		
A2	0,125	1	0,333	0,143	0,006	0,278	0,045		
A3	0,167	3	1	0,2	0,1	0,563	0,091		
A4	0,333	7	5	1	11,655	1,848	0,3		
Итого	1,625	19	12,333	4,343		6,152		0,068	0,076

По критерию «Стоимость перевозки» наиболее приоритетным является автомобильный транспорт.

Таблица 14

Расчет ЛВП, ИС, ОС для К3

Возможность доставки в отдаленных регионах	A1	A2	A3	A4	Произведение	Корень	ЛВП	ИС	ОС
A1	1	4	7	2	56	2,736	0,486		
A2	0,25	1	3	0,2	0,15	0,622	0,111		
A3	0,143	0,333	1	0,167	0,008	0,299	0,053		
A4	0,5	5	6	1	15	1,968	0,349		
Итого	1,893	10,333	17	3,367		5,625		0,048	0,054

По критерию «Возможность доставки в отдаленных регионах» наиболее приоритетным является автомобильный транспорт.

Таблица 15

Расчет ЛВП, ИС, ОС для К4

Скорость доставки	A1	A2	A3	A4	Произведение	Корень	ЛВП	ИС	ОС
A1	1	5	9	3	135	3,409	0,529		
A2	0,2	1	4	0,67	0,536	0,855	0,133		
A3	0,111	0,25	1	0,143	0,004	0,251	0,039		
A4	0,333	6	7	1	13,986	1,934	0,299		
Итого	1,644	12,25	21	4,813		6,449		0,098	0,1

По критерию «Скорость доставки» наиболее приоритетным является автомобильный транспорт.

Таблица 16

Расчет ЛВП, ИС, ОС для К5

Зависимость от ПУ/СД	A1	A2	A3	A4	Произведение	Корень	ЛВП	ИС	ОС
A1	1	0,143	3	0,167	0,072	0,517	0,085		
A2	7	1	7	3	147	3,482	0,572		
A3	0,111	0,143	1	0,167	0,003	0,227	0,037		
A4	6	0,333	6	1	11,988	1,861	0,306		
Итого	14,111	1,619	17	4,334		6,087		0,084	0,09

По критерию «Зависимость от ПУ/СД» наиболее приоритетным является ж/д транспорт. Во всех случаях $ОС \leq 0,1$, что говорит о согласованности.

Этап 7. В табл. 17 отражен расчет приоритетов для всей иерархии в совокупности.

Расчет приоритетов для всей иерархии в совокупности

	Векторы приоритетов					
	K1	K2	K3	K4	K5	Глобальный приоритет
	0,166	0,296	0,373	0,107	0,057	
A1	0,037	0,563	0,486	0,549	0,084	0,418
A2	0,325	0,045	0,111	0,098	0,565	0,151
A3	0,164	0,091	0,053	0,04	0,037	0,081
A4	0,474	0,3	0,349	0,312	0,306	0,348

ГП1 = $(0,166 \cdot 0,037) + (0,296 \cdot 0,563) + (0,373 \cdot 0,486) + (0,107 \cdot 0,549) + (0,057 \cdot 0,084) = 0,418$;

ГП2 = $(0,166 \cdot 0,325) + (0,296 \cdot 0,045) + (0,373 \cdot 0,111) + (0,107 \cdot 0,098) + (0,057 \cdot 0,565) = 0,151$;

ГП3 = $(0,166 \cdot 0,164) + (0,296 \cdot 0,091) + (0,373 \cdot 0,053) + (0,107 \cdot 0,04) + (0,057 \cdot 0,037) = 0,081$;

ГП4 = $(0,166 \cdot 0,474) + (0,296 \cdot 0,3) + (0,373 \cdot 0,349) + (0,107 \cdot 0,312) + (0,057 \cdot 0,306) = 0,348$.

Этап 8. Сравнивая полученные значения глобальных приоритетов, определены рейтинги всех видов транспорта относительно цели задачи. Наибольший приоритет – 0,418 оказался у автомобильного транспорта. Согласно проведенному оцениванию по МАИ, в соответствии с поставленной целью – доставкой нефтепродуктов в отдаленных регионах предпочтение следует отдать именно этому виду транспорта.

Заключение

Таким образом, МАИ является одним из перспективных методов решения многокритериальных задач в системе поддержки принятия решений, который обладает рядом преимуществ, таких как наглядность решения задачи, простота логических выводов, также стоит отметить, что область применения метода универсальна.

В работе с помощью блок-схемы алгоритма решения задачи на основе МАИ был выбран оптимальный способ транспортировки нефтепродуктов в отдаленных регионах, которым является автомобильный транспорт. Данный способ позволяет оперативно доставлять груз за относительно невысокую стоимость [10]. Также в силу развитости в отдаленных регионах как автомобильной дороги, так и ж/д путей возможно использование и ж/д транспорта, рейтинг которого ненамного меньше, чем у автомобильного. Рейтинг трубопроводного транспорта на третьем месте ввиду развитости данного способа только в некоторых регионах. Наименьший рейтинг у водного транспорта, ввиду больших затрат времени на доставку и сезонности использования из-за суровых погодных условий.

Список источников

1. Бобожинов Э.И., Кожухова Н.М. Транспортировка нефти и газа с арктического шельфа // Актуальные научные исследования: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: ООО «Наука и Просвещение», 2021. С. 28–30. EDN VAZRHO.

2. Казанин А.Г. Анализ стратегических приоритетов развития нефтегазовой отрасли в Ямало-Ненецком автономном округе // Экономика и управление: проблемы, решения. 2020. Т. 3. № 8 (104). С. 35–44. DOI: 10.34684/ek.up.p.r.2020.08.03.005. EDN GHAXFO.

3. Matveev A., Bogdanova E. Functional model of an intelligent decision support system for responding to transport emergencies in the Arctic zone // Transportation Research Procedia. 2021. Vol. 57. P. 363–369. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.062. EDN JBZHID.

4. Занин А.В., Квасов И.Н. Возможные способы транспортировки углеводородов с территории арктического шельфа // Нефтегазовое дело, техносферная безопасность, рациональное природопользование: современные реалии: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. Махачкала: Типография ФОРМАТ, 2020. С. 40–42. EDN NQRDAM.
5. Гимаева А.Р., Хасанов И.И., Шобик Н.А. К вопросу выбора схемы транспортировки углеводородов, добываемых с шельфа арктических морей // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16. № 3. С. 62–69. DOI: 10.17122/ngdelo-2018-3-62-69. EDN XQZNXXV.
6. Marchenko R., Babyr A. Digitalization of Arctic Logistics Management Systems for Oil Transportation // Transportation Research Procedia. Novosibirsk, 2021. P. 953–960. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.02.150. EDN IYUYG.
7. Серова Н.А., Серова В.А. Транспортная инфраструктура российской Арктики: специфика функционирования и перспективы развития // Проблемы прогнозирования. 2021. № 2 (185). С. 142–151. DOI: 10.47711/0868-6351-185-142-151. EDN JGZPVW.
8. Bianco I. Ilin I., Iliinsky A. Digital technology risk reduction mechanisms to enhance ecological and human safety in the northern sea route for oil and gas companies // E3S Web of Conferences. Chelyabinsk, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202125806047. EDN IBBZAT.
9. Саати Т.М. Принятие решений. Метод анализа иерархий: учеб. / пер. с англ. Р.Г. Вачназде. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
10. Ensuring the Safety of Maritime Transportation of Energy Resources in Difficult Regions of the Arctic / N.P. Veretennikov [et al.] // Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies: proceedings of the 2018 International Conference. Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. P. 274–276. DOI: 10.1109/ITMQIS.2018.8525062. EDN OHNEVW.

References

1. Bobozhonov E.I., Kozhuhova N.M. Transportirovka nefti i gaza s arkticheskogo shel'fa // Aktual'nye nauchnye issledovaniya: sb. statej Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Penza: ООО «Nauka i Prosveshchenie», 2021. С. 28–30. EDN VAZR XO.
2. Kazanin A.G. Analiz strategicheskikh prioritetov razvitiya neftegazovoj otrasli v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okruge // Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. 2020. Т. 3. № 8 (104). С. 35–44. DOI: 10.34684/ek.up.p.r.2020.08.03.005. EDN GHAXFO.
3. Matveev A., Bogdanova E. Functional model of an intelligent decision support system for responding to transport emergencies in the Arctic zone // Transportation Research Procedia. 2021. Vol. 57. P. 363–369. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.062. EDN JBZHID.
4. Zanin A.V., Kvasov I.N. Vozmozhnye sposoby transportirovki uglevodorodov s territorii arkticheskogo shel'fa // Neftegazovoe delo, tekhnosfernaya bezopasnost', racional'noe prirodoopol'zovanie: sovremennye realii: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. Mahachkala: Tipografiya FORMAT, 2020. С. 40–42. EDN NQRDAM.
5. Gimaeva A.R., Hasanov I.I., Shobik N.A. K voprosu vybora skhemy transportirovki uglevodorodov, dobyvaemyh s shel'fa arkticheskikh morej // Neftegazovoe delo. 2018. Т. 16. № 3. С. 62–69. DOI: 10.17122/ngdelo-2018-3-62-69. EDN XQZNXXV.
6. Marchenko R., Babyr A. Digitalization of Arctic Logistics Management Systems for Oil Transportation // Transportation Research Procedia. Novosibirsk, 2021. P. 953–960. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.02.150. EDN IYUYG.
7. Serova N.A., Serova V.A. Transportnaya infrastruktura rossijskoj Arktiki: specifika funkcionirovaniya i perspektivy razvitiya // Problemy prognozirovaniya. 2021. № 2 (185). С. 142–151. DOI: 10.47711/0868-6351-185-142-151. EDN JGZPVW.
8. Bianco I. Ilin I., Iliinsky A. Digital technology risk reduction mechanisms to enhance ecological and human safety in the northern sea route for oil and gas companies // E3S Web of Conferences. Chelyabinsk, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202125806047. EDN IBBZAT.

9. Saati T.M. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij: ucheb. / per. s angl. R.G. Vachnazde. M.: Radio i svyaz', 1993. 278 s.

10. Ensuring the Safety of Maritime Transportation of Energy Resources in Difficult Regions of the Arctic / N.P. Veretennikov [et al.] // Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies: proceedings of the 2018 International Conference. Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. P. 274–276. DOI: 10.1109/ITMQIS.2018.8525062. EDN OHNEVW.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 15.01.2023

Принята к публикации: 09.02.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 15.01.2023

Accepted for publication: 09.02.2023

Информация об авторах:

Скрыпникова Оксана Ивановна, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: skrypnikova.oxana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2656-4907>

Information about the authors:

Oksana Skrypnikova, graduate student of the faculty of training highly qualified personnel of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: skrypnikova.oxana@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2656-4907>

Научная статья

УДК 614.84

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРИБЫТИЯ ПЕРВОГО ПОЖАРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

✉ Баклушин Василий Евгеньевич.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉ baklushin.ve@edu.spbstu.ru

Аннотация. Проведен анализ существующих нормативных требований по времени движения пожарной техники, времени на сбор и выезд пожарного подразделения по сигналу тревоги. Также рассмотрены возможные варианты по определению времени прибытия первого пожарного подразделения к проектируемым зданиям и сооружениям с целью подтверждения соответствия объекта защиты Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности. Актуальность данной темы связана с возможностью различной трактовки нормативных требований по пожарной безопасности и отсутствием нормативной скорости движения пожарной техники для объектов проектирования различного назначения, в результате чего при проведении экспертизы проектной документации регулярно возникают замечания от экспертов по пожарной безопасности.

Ключевые слова: объект защиты, пожарное подразделение, расчетное время прибытия

Для цитирования: Баклушин В.Е. Определение времени прибытия первого пожарного подразделения на стадии проектирования объектов // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 78–83.

Scientific article

DETERMINATION OF THE ARRIVAL TIME OF THE FIRST FIRE UNIT AT THE OBJECT DESIGN STAGE

✉ Baklushin Vasilii E.

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

✉ baklushin.ve@edu.spbstu.ru

Abstract. This article is devoted to the analysis of existing regulatory requirements for the movement time of fire-service equipment, the time of turnout and departure of the fire protection forces upon an alarm call. There is a consideration of possible options for the determination fire-fighting response time to the design objects and structures in order to show object compliance with the Technical Regulations for fire safety requirements. The relevance of this topic is related to the possibility of double interpretations of regulatory requirements for fire safety and the lack of regulatory speed of the fire-fighting equipment for different design objects. As a result fire safety experts state remarks about project documentation during the examination.

Keywords: object of protection, fire department, estimated time of arrival

For citation: Baklushin V.E. Determination of the arrival time of the first fire unit at the object design stage // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 78–83.

Введение

Современные нормативные требования по пожарной безопасности в Российской Федерации имеют ряд разночтений между документами одного статуса, а специалисты по пожарной безопасности регулярно сталкиваются с вопросами, которые не имеют должного отражения в действующей нормативной базе. В связи с этим нормы пожарной

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

безопасности требуют доработки и корректировки, что и происходит в последние годы с большой регулярностью. Однако многочисленные изменения, вносимые в своды правил и Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ № 123-ФЗ) [1], не затрагивают вопрос определения времени прибытия первого пожарного подразделения к объекту защиты, с которым сталкиваются проектные организации при разработке проектной документации для объектов любого назначения этажности и площади.

Несмотря на то, что требования по времени прибытия первого пожарного подразделения содержатся в ст. 76 «Требования пожарной безопасности по размещению зданий пожарных депо на территориях населенных пунктов» ФЗ № 123-ФЗ и их возможно трактовать как требования именно к проектированию пожарных депо, при проведении экспертизы проектной документации экспертные организации регулярно требуют подтверждения времени прибытия первого пожарного подразделения.

Аналитическая часть

Согласно требованиям ч. 1 ст. 76 ФЗ № 123-ФЗ время прибытия первого пожарного подразделения к объекту защиты, находящемуся на территории городского населенного пункта, не должно превышать 10 мин, а к объекту защиты, находящемуся на территории сельского населенного пункта, – 20 мин. В соответствии с п. 2.11 Свода правил [2] время прибытия первого подразделения к месту вызова – время следования оперативного подразделения пожарной охраны от места получения сообщения о пожаре (от пожарного депо) до объекта предполагаемого пожара. То есть это время сбора и следования пожарного подразделения без учета времени на обнаружение пожара и времени на передачу сигнала о пожаре. При этом в соответствии со Сводом правил [2] возможно определить необходимую зону для размещения подразделения пожарной охраны в зависимости от пожарной опасности объектов защиты, обслуживаемых данным подразделением. Данная задача решается при разработке проектов планировки территории или при проектировании пожарных депо, но не подходит для проектирования иных зданий и сооружений. Кроме того, в Своде правил [2] не приводятся нормативная скорость движения пожарной техники и нормативное время сбора личного состава по тревоге, что не позволяет определить время прибытия первого пожарного подразделения к объекту защиты, опираясь на данный свод правил.

Наиболее распространенным способом подтверждения соответствия требованиям ст. 78 ФЗ № 123-ФЗ при проектировании объектов защиты является письменный ответ от пожарной части с указанием времени прибытия. Но процедура отправки запроса и получения ответа достаточно длительная и не исключает возможности получения ответа с отказом о направлении данных сведений или отрицательным результатом, что неприемлемо при проведении экспертизы проектной документации с учетом ограничения срока данной экспертизы. В случае получения подтверждения времени прибытия от пожарной части, как правило, не указывается конкретное время следования, а декларируется соответствие требованиям ст. 76 ФЗ № 123-ФЗ.

В соответствии с Нормативами по пожарно-строевой и тактико-специальной подготовке для личного состава федеральной противопожарной службы (норматив № 2.1 «Сбор и выезд по тревоге») [3] время на сбор и выезд по тревоге не превышает 52 сек. Таким образом, единственным неизвестным для определения времени прибытия первого пожарного подразделения является средняя скорость движения пожарной техники.

Рассмотрим другие варианты определения времени прибытия первого пожарного подразделения. В качестве примера объекта защиты примем Гидрокорпус 1 Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, расположенный по адресу: Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29А. Ближайшим подразделением пожарной охраны для указанного объекта защиты является пожарная часть № 34, расположенная по адресу: Санкт-Петербург, Гжатская ул., д. 20, на удалении 1 км.

1. На данный момент из действующих нормативных документов скорость движения пожарной техники указана в п. 6.2 Свода правил [4]: «Выбирают скорость следования пожарных автомобилей к месту предполагаемого пожара ($V_{сп}$, км/ч) в зависимости от типа дорожного покрытия. В качестве скорости следования рекомендуется использовать следующие значения:

- для твердого покрытия – 50 км/ч;
- для щебеночно-гравийного покрытия – 40 км/ч;
- для грунтового покрытия – 30 км/ч.

При наличии на маршруте следования нескольких типов покрытия дороги скорость следования рекомендуется принимать равной 40 км/ч».

Ссылаться в проектной документации на п. 6.2 Свода правил [4] некорректно для жилых и общественных зданий, исходя из области применения указанного свода правил. При этом ссылка на данный пункт в проектной документации также является одним из наиболее распространённых способов обоснования времени прибытия первого пожарного подразделения.

Расчетное время прибытия с учетом времени на сбор и выезд по тревоге с посадкой в автомобиль за воротами гаража отделения караула – 52 сек, при средней скорости для твердого покрытия 50 км/ч – 2 мин 4 сек., что не превышает 10 мин после поступления сигнала о пожаре в соответствии со ст. 76 ФЗ № 123-ФЗ. Движение пожарной техники при этом предусматривается с использованием специальных световых и звуковых сигналов, вследствие чего время на светофоры в расчете не учитывается.

2. Еще одним способом подтверждения времени прибытия является использование поисково-информационных картографических служб. Рассмотрим наиболее популярные из них:

2.1. Построение маршрута движения в службе «Яндекс Карты», представленное на рис. 1, позволяет учитывать тип транспортного средства, его вес, габариты, а также производить расчет без учета дорожных заторов. Как указывалось ранее, движение пожарной техники при этом предусматривается с использованием специальных световых и звуковых сигналов.

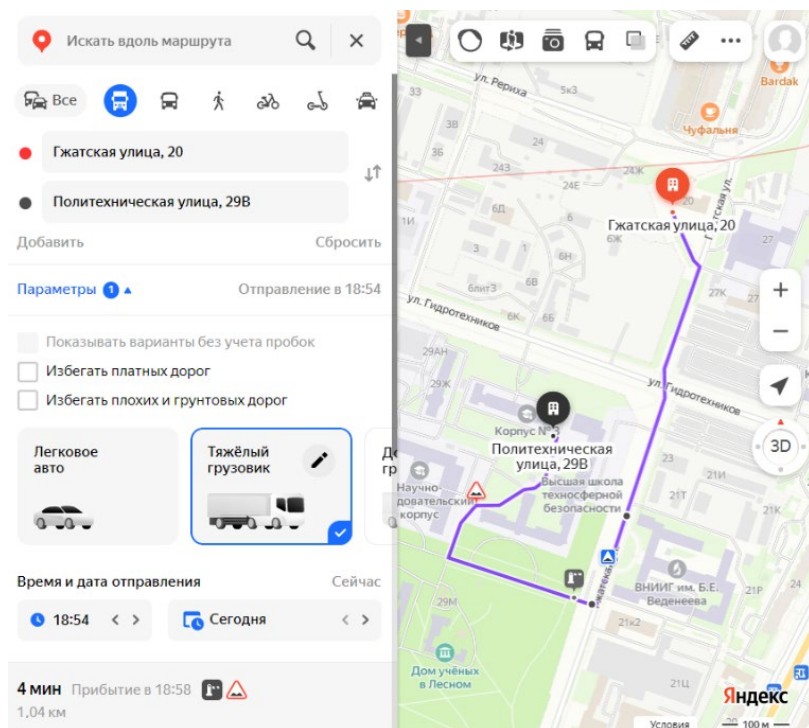


Рис. 1. Схема движения с указанием времени, «Яндекс Карты»

Расчетное время прибытия первого подразделения к месту вызова с учетом времени на сбор и расчетом времени движения в службе «Яндекс Карты» составляет 4 мин 52 сек. Аналогичное время для легкового автомобиля составит 3 мин 52 сек.

2.2. Построение маршрута движения в службе «Google Карты», представленное на рис. 2, не имеет аналогичного своему конкуренту функционала, и с учетом дорожной обстановки результат будет различным в разный период времени.

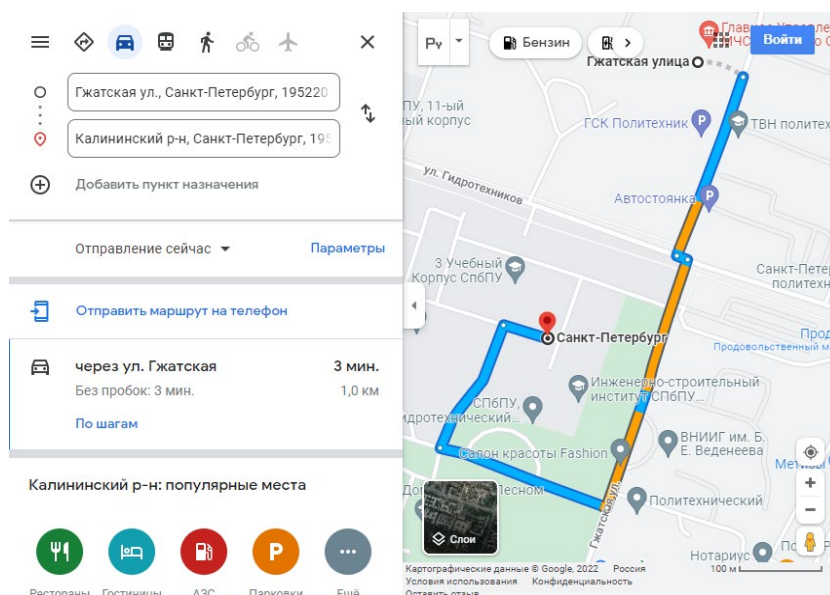


Рис. 2. Схема движения с указанием времени, «Google Карты»

Расчетное время прибытия первого подразделения к месту вызова с учетом времени на сбор и расчетом времени движения в службе «Google Карты» составляет 3 мин 52 сек.

2.3. Построение маршрута движения в службе «2ГИС» представлено на рис. 3. Служба «2ГИС» идентична по функционалу службе «Яндекс Карты» в части выбора транспортного средства, но как и служба «Google Карты» производит расчет с учетом дорожной обстановки.

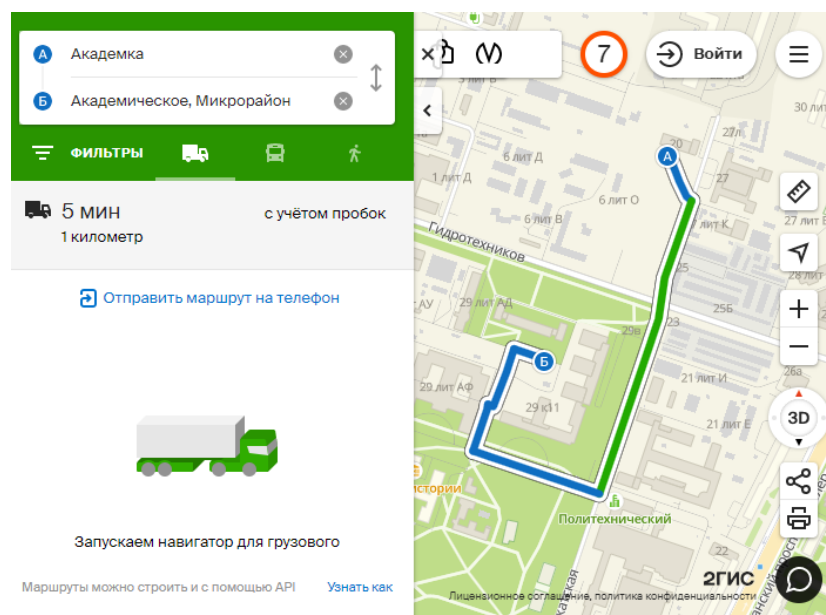


Рис. 3. Схема движения с указанием времени, «2ГИС»

Расчетное время прибытия первого подразделения к месту вызова с учетом времени на сбор и расчетом времени движения в службе «2ГИС» составляет 5 мин 52 сек. Аналогичное время для легкового автомобиля составит 4 мин 52 сек.

3. Еще один вариант прогнозирования времени прибытия подробно рассмотрен в статьях [5–11], данный способ основан на основании статистических данных прошлых лет, в соответствии с которыми возможно рассчитать предполагаемое время прибытия пожарных подразделений.

Заключение

Рассмотренные в данной статье варианты расчета времени прибытия значительно отличаются друг от друга, при этом статистические данные о времени прибытия показывают, что реальное время прибытия больше рассмотренного в п. 1, но меньше рассмотренного в п. 2 аналитической части настоящей статьи.

Очевидно, что нормативная база в области пожарной безопасности в Российской Федерации требует доработки и уточнения, в том числе и в части нормирования времени прибытия первого пожарного подразделения. Целесообразно или внести разъяснения о применении ст. 76 ФЗ № 123-ФЗ только для проектирования пожарных депо и разработки проектов планировки территории, или дополнить своды правил нормативной скоростью движения пожарной техники, при этом дополнив их условиями для расчета при пересечении переездов, разводных мостов и иных преград, требующих остановок пожарной техники.

Список источников

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2008. № 30. Ст. 3579.
2. Свод правил СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения (утв. приказом МЧС России от 25 марта 2009 г. № 181, в ред. Изменения № 1, утв. приказом МЧС России от 9 дек. 2010 г.) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.01.2023).
3. Об утверждении Порядка подготовки личного состава пожарной охраны: приказ МЧС России от 26 окт. 2017 г. № 472 (с изм. и доп.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Свод правил СП 232.1311500.2015. Пожарная охрана предприятий. Общие требования (утв. приказом МЧС России от 3 июля 2015 г. № 341) // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.01.2023).
5. Лучин М.Н., Фролов П.А. Анализ методик проведения расчётов нормативного времени прибытия и мест дислокации подразделений пожарной охраны // Системы безопасности: сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. 2019. № 28. С. 399–405.
6. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 9. С. 42–48.
7. Кайбичев И.А. Прогноз среднего времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар в Российской Федерации на 2018 год // Актуальные вопросы естествознания: сб. материалов III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2018. С. 277–281.
8. Кайбичев И.А. Индексы среднего времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар в российской федерации в 2017 году // Актуальные вопросы естествознания: сб. материалов III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2017. С. 216–219.
9. Кайбичев И.А., Шмидт С.Э. Прогнозирование среднего времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар в российской федерации с помощью метода скользящего среднего // Актуальные вопросы естествознания: сб. материалов IV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2019. С. 369–373.
10. Максимов А.В. Анализ оперативной деятельности подразделений ГПС МЧС России // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2015. № 1 (13). С. 67–73.

11. Аспекты практического применения алгоритмов и методик времени прибытия пожарных подразделений / А.А. Назаров [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 1 (20). С. 20–25.

References

1. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 2008. № 30. St. 3579.
2. Svod pravil SP 11.13130.2009. Mesta dislokacii podrazdelenij pozharnoj ohrany. Poryadok i metodika opredeleniya (utv. prikazom MCHS Rossii ot 25 marta 2009 g. № 181, v red. Izmeneniya № 1, utv. prikazom MCHS Rossii ot 9 dek. 2010 g.) // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.01.2023).
3. Ob utverzhdenii Poryadka podgotovki lichnogo sostava pozharnoj ohrany: prikaz MCHS Rossii ot 26 okt. 2017 g. № 472 (s izm. i dop.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
4. Svod pravil SP 232.1311500.2015. Pozharnaya ohrana predpriyatij Obshchie trebovaniya (utv. prikazom MCHS Rossii ot 3 iyulya 2015 g. № 341) // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (data obrashcheniya: 21.01.2023).
5. Luchin M.N., Frolov P.A. Analiz metodik provedeniya raschyotov normativnogo vremeni pribytiya i mest dislokacii podrazdelenij pozharnoj ohrany // Sistemy bezopasnosti: sb. materialov Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. 2019. № 28. S. 399–405.
6. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V. O normirovanii vremeni pribytiya pozharnyh podrazdelenij k mestu pozhara // Pozharovzryvbezopasnost'. 2011. T. 20. № 9. S. 42–48.
7. Kajbichev I.A. Prognoz srednego vremeni pribytiya pervogo pozharnogo podrazdeleniya na pozhar v Rossijskoj Federacii na 2018 god // Aktual'nye voprosy estestvoznaniya: sb. materialov III Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. 2018. S. 277–281.
8. Kajbichev I.A. Indeksy srednego vremeni pribytiya pervogo pozharnogo podrazdeleniya na pozhar v rossijskoj federacii v 2017 godu // Aktual'nye voprosy estestvoznaniya: sb. materialov III Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Ivanovo: Ivanovskaya pozh.-spas. akad. GPS MCHS Rossii, 2017. S. 216–219.
9. Kajbichev I.A., Shmidt S.E. Prognozirovanie srednego vremeni pribytiya pervogo pozharnogo podrazdeleniya na pozhar v rossijskoj federacii s pomoshch'yu metoda skol'zyashchego srednego // Aktual'nye voprosy estestvoznaniya: sb. materialov IV Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. 2019. S. 369–373.
10. Maksimov A.V. Analiz operativnoj deyatel'nosti podrazdelenij GPS MCHS Rossii // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2015. № 1 (13). S. 67–73.
11. Aspekty prakticheskogo primeneniya algoritmov i metodik vremeni pribytiya pozharnyh podrazdelenij / A.A. Nazarov [i dr.] // Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik. 2021. № 1 (20). S. 20–25.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 01.02.2023

Принята к публикации: 25.02.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 01.02.2023

Accepted for publication: 25.02.2023

Информация об авторах:

Баклушин Василий Евгеньевич, студент магистратуры Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29), e-mail: baklushin.ve@edu.spbstu.ru

Information about the authors:

Baklushin Vasilii E., master's degree student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnic str., 29), e-mail: baklushin.ve@edu.spbstu.ru

Научная статья

УДК 004.055

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТИПА ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕКИ

✉Самарин Максим Александрович;

Максимов Александр Викторович;

Вострых Алексей Владимирович.

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

✉6117308@gmail.com

Аннотация. Проведен сравнительный анализ популярных электронных библиотек: elibrary.ru, cyberleninka.ru, Национальная электронная библиотека и aldebaran.ru, выявивший несоответствие систем существующим принципам человеко-ориентированного проектирования, что является показателем их низкой эффективности.

Модернизация библиотек, согласно предложенным рекомендациям, позволит повысить эффективность как самих систем, так и работы пользователей в них, что приведёт к возрастанию таких показателей, как скорость работы, скорость и лёгкость обучения навыкам оперирования, субъективная удовлетворённость и степень сохранения навыков оперирования, а также снизится вероятность появления ошибок.

Ключевые слова: электронная библиотека, графический пользовательский интерфейс, информационная система, эффективность, принципы построения систем «человек-машина»

Для цитирования: Самарин М.А., Максимов А.В., Вострых А.В. Повышение эффективности информационных систем типа электронные библиотеки // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 84–93.

Scientific article

IMPROVING THE EFFICIENCY OF INFORMATION SYSTEMS SUCH AS ELECTRONIC LIBRARIES

✉Samarin Maxim A.;

Maximov Alexander V.;

Vostrikh Alexey V.

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

✉6117308@gmail.com

Abstract. The article presents a comparative analysis of popular electronic libraries: elibrary.ru, cyberleninka.ru, National Electronic Library and aldebaran.ru, which revealed that the systems did not comply with the existing principles of human-oriented design, which is an indicator of their low efficiency. Modernization of libraries according to the recommendations proposed in the article will improve the efficiency of both the systems themselves and the work of users in them, which will lead to an increase in such indicators as the speed of work, the speed and ease of learning operating skills, subjective satisfaction and the degree of preservation of operating skills, as well as reduce the likelihood of errors.

Keywords: electronic library, graphical user interface, information system, efficiency, principles of building «man-machine» systems

For citation: Samarina M.A., Maximov A.V., Vostrikh A.V. Improving the efficiency of information systems such as electronic libraries // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 84–93.

Введение

Сегодня человечество уже достигло лимита, ограничивающего психофизиологические возможности человека в освоении информационного массива даже в пределах сравнительно узких областей наук [1]. Одновременно всё сильнее встаёт вопрос хранения, поиска и обработки, а также систематизации всей накопленной информации по различной литературе, исследованиям и научным трудам [2, 3].

Без возможности эффективного поиска необходимой информации наука перестает развиваться в желаемых темпах, а также возрастает вероятность возникновения ситуации итерационного исследования ранее уже изученных феноменов и явлений. Для информации, хранящейся в библиотеках в традиционной форме, характерна низкая эффективность обработки, распространения, хранения, учета и поиска. Перевод имеющейся информации в электронную форму и предоставление широкого доступа к ней посредством интернета позволили повысить эффективность этих показателей. Последние статистические данные демонстрируют, что интернет обладает большим объёмом информации, чем традиционные библиотеки, вместе с тем всё больше людей также предпочитают работать с электронными версиями литературы [4].

В данной ситуации создание электронных библиотек (ЭБ) является передовым направлением, позволяющим открыть доступ к информации для самых широких слоев населения. ЭБ становятся неотъемлемой частью деятельности практически в любой области культуры, институтов власти, науки и образования [5].

ЭБ представляют собой информационные системы (ИС), обеспечивающие хранение различных информационных ресурсов в электронном виде с возможностью доступа к ним посредством электронно-вычислительной техники.

ЭБ создаются по следующим причинам [2]:

- предоставление качественно новых возможностей работы с большими объемами информации;
- обеспечение доступа к информации пользователей в локальном и удалённом режиме;
- создание информационных массивов по направлениям учебных заведений;
- целенаправленное информационное обеспечение различных областей культуры, образования и науки за счет создания и предоставления полнотекстовых баз данных в режиме теледоступа;
- обеспечение хранения и обобщения библиотечных фондов.

Преимущества ЭБ [2]:

- круглосуточный доступ к информации независимо от места нахождения потенциального пользователя;
- высокая оперативность предоставления информации;
- возможность получения доступа к литературе, находящейся в ограниченном количестве или в единственном экземпляре;
- предотвращение ухудшения состояния оригинальных документов;
- более полное и практически безграничное использование информации в цифровом виде;
- удобство использования электронного документа;
- возможность использования ЭБ пользователями любой возрастной категории, профессии и вкуса;
- возможность обслуживания категорий пользователей с нарушениями зрительной системы и болезнями опорно-двигательного аппарата;
- возможность использования фрагментов исходных данных в работе, объединяя, добавляя и редактируя материалы.

Существующие и разрабатываемые сегодня ИС типа ЭБ имеют возможность поддержки широкого спектра информационных ресурсов, а также обладают большим разнообразием функциональных средств, сконцентрированных в их графических пользовательских интерфейсах (ГПИ).

Несмотря на все преимущества, ЭБ имеют ряд недостатков, которые влияют на эффективность работы с ними. Одним из основных недостатков ЭБ является низкое качество их ГПИ, которое выражается в сложно преодолимом понятийном барьере, возникающем между пользователем и ЭБ [6, 7]. Данный барьер возникает по причине низкого качества ГПИ этих библиотек и отличий категорий пользователей и ИС. Степень различий по определённым разделам между категориями «человек» и «информационная система» представлена в табл. 1.

Таблица 1

Различия между категориями пользователь и ИС типа ЭБ

Признаки	Пользователь	ИС вида ЭБ
Приспосабливаемость	Способен выполнять широкий набор задач	Узкоспециализирована
Точность	Точность ограничена	Зависит от требований заказчиков
Способность к адаптации	Способен адаптироваться к внезапным изменениям ситуации	Низкая адаптация, возможен выход из строя
Возможность обучения	Возможна	Ограниченно возможна
Быстродействие	Физиологически ограниченное количество каналов выдачи информации	Возможна любая скорость
Задания с неопределенностью	Выполнимо	Сложно выполнимо
Перспектива дальнейшего развития процесса	Точное прогнозирование невозможно	Система прогнозируема
Моторика	Физическая работоспособность ограничена	Физическая работоспособность не ограничена
Трудоемкость распознавания и восприятия информации	Ограниченное количество каналов восприятия	Ограниченное количество каналов восприятия
Контроль	Не пригоден	Пригодна
Монотонность	Малоприспособлен	Пригодна
Возможность обработки неполной или искаженной информации	Возможна	Частичная возможность
Интуиция	Имеется	Отсутствует
Рабочая устойчивость	Зависит от воздействия внешних и личностных факторов	Не зависит от воздействия внешних и личностных факторов
Возможности памяти	Ограниченная оперативная память, большой объём долговременной памяти, в которой возможна потеря или изменение информации	Память отличается большим объёмом, исключая потерю или изменение информации

Основной задачей ГПИ является минимизация усилий пользователей по взаимодействию с ЭБ без необходимости углубленного изучения внутренних механизмов и процессов исполнения программного кода. Качественный ГПИ призван сократить понятийный барьер, возникающий при попытках взаимодействия пользователей и программных продуктов [8, 9].

Качественно разработанный ГПИ способствует повышению таких показателей, как скорость работы пользователей в ЭБ, скорость и лёгкость обучения функциональным элементам ЭБ, субъективная удовлетворённость от использования ЭБ и степень сохранения навыков оперирования, а также позволяет снизить вероятность появления ошибок [10, 11].

В процессе взаимодействия пользователей с ЭБ они испытывают три вида нагрузок [12, 13]: когнитивную, визуальную, моторную.

Снижение данных нагрузок позволит повысить качество ГПИ и, как следствие, возрастет эффективность ЭБ в целом.

Методы исследования

Снижение нагрузок возможно с помощью внедрения в разработку ЭБ принципов построения систем «человек-машина», основным из которых является полное соответствие ИС и относящихся к ней элементов пользователям целевой аудитории. ЭБ должна учитывать физические, психологические возможности и социальные аспекты пользователей [14].

Также разработка ЭБ и их ГПИ должна учитывать следующие принципы [15]:

- принцип распределения функций. ЭБ не должна предъявлять к пользователям чрезмерных требований, например, скорость и точность ввода данных;

- принцип комплексности. Принцип заключается в стремлении сократить сложность ЭБ;

- принцип группирования. Группирование элементов ГПИ ЭБ необходимо проектировать в соответствии с порядком и частотой использования элементов интерфейса, что позволит потенциальным пользователям с меньшим когнитивным диссонансом запомнить порядок действий. Это приведёт к сокращению времени ответа системы и уменьшению количества ошибок. Также при группировании элементов ГПИ должны учитываться следующие нюансы:

- а) очередность использования элементов ГПИ;

- б) частота использования элементов при нормальной работе;

- в) элементы ГПИ библиотек, функционально связанные между собой, должны размещаться группами, выделяющимися от других элементов;

- г) важные и часто используемые элементы ГПИ библиотек должны находиться в легкодоступных местах;

- д) использующиеся друг за другом элементы ГПИ библиотек должны располагаться рядом;

- принцип отличимости. Элементы ГПИ электронных библиотек должны быть легко отличимыми;

- принцип совместимости с обучаемым. Положение элементов ГПИ электронных библиотек и их функционирование должны соответствовать предположениям пользователей, сформированным у них в процессе жизненного опыта;

- принцип функциональной взаимосвязи. Взаимосвязанные элементы ГПИ ЭБ должны располагаться таким образом, чтобы различалась их функциональная связь;

- принцип готовности информации к использованию. При осуществлении пользователем запроса к ЭБ, информация о состоянии системы должна предоставляться без нарушений других процессов;

- принцип доступности. Необходимо обеспечить простой доступ к информации;

- принцип совместимости с практикой. Положение элементов ГПИ ЭБ и их функционирование должны соответствовать предположениям пользователей, базирующимся на их предшествующем практическом опыте использования ИС данного типа;

- принцип логической последовательности. Идентичные элементы ГПИ ЭБ должны функционировать согласованно друг с другом;
- принцип контроля ошибок. ЭБ должны предотвращать ошибки пользователей или предлагать средства для их исправления;
- принцип достаточности времени на исправление ошибок. ГПИ ЭБ должен обеспечить пользователю достаточное время для идентификации и надежного исправления ошибок;
- принцип способности к изменению. ГПИ ЭБ должен обладать достаточной гибкостью для осуществления возможности приспосабливаться к особенностям той или иной целевой аудитории.

Результаты исследования и их обсуждение

Авторами проведен сравнительный анализ на выполнение рассмотренных принципов следующими ЭБ: elibrary.ru, cyberleninka.ru, Национальная электронная библиотека (НЭБ) и aldebaran.ru.

Основными выявленными недостатками ЭБ elibrary.ru являются:

- отсутствие мобильной версии (нарушение принципов: «способность к изменению», «доступность»);
- для доступа к информации необходима сложная регистрация (нарушение принципов: «доступность», «готовность информации к использованию»);
- сложная навигация по ЭБ (нарушение принципов: «совместимость с обучаемым», «совместимость с практикой», «логическая последовательность»);
- ГПИ библиотеки переполнен излишней информацией (нарушение принципов: «комплексность», «совместимость с практикой», «логическая последовательность»);
- ГПИ библиотеки не учитывает особенности психики пользователей (нарушение принципов: «контроль ошибок», «доступность»);
- сложный поиск по библиотеке (нарушение принципов: «совместимость с практикой», «доступность»);
- неудачно подобрана цветовая схема ГПИ (нарушение принципов: «доступность», «готовность информации к использованию»);
- отсутствие режимов для разных категорий граждан, например, для слабовидящих (нарушение принципов: «совместимость с обучаемым» «доступность»);
- ГПИ библиотеки требует слишком много данных от пользователей (нарушение принципов: «совместимость с обучаемым», «совместимость с практикой», «доступность»).

Основными выявленными недостатками ЭБ cyberleninka.ru являются:

- неполноценная функция поиска (нарушение принципов: «совместимость с обучаемым», «доступность»);
- для доступа к информации необходима сложная регистрация (нарушение принципов: «доступность», «готовность информации к использованию»);
- сложный поиск по библиотеке (нарушение принципов: «совместимость с практикой», «доступность»);
- отсутствие режимов для разных категорий граждан, например, для слабовидящих (нарушение принципов: «совместимость с обучаемым» «доступность»);
- сложно считывается шрифт текста ГПИ по причине своего размера (нарушение принципов: «доступность», «готовность информации к использованию»).

Основными выявленными недостатками ЭБ НЭБ являются:

- ГПИ библиотеки переполнен излишней информацией (нарушение принципов: «комплексность», «совместимость с практикой», «логическая последовательность»);
- сложный поиск по библиотеке (нарушение принципов: «совместимость с практикой», «доступность»);

– ГПИ библиотеки переполнен разделами, которые можно было компактно сгруппировать (нарушение принципов: «доступность» «распределение функций», «комплексность», «группирование»).

Основными недостатками ЭБ aldebaran.ru являются:

– сложный поиск по библиотеке (нарушение принципов: «совместимость с практикой», «доступность»);

– отсутствие режимов для разных категорий граждан, например, для слабовидящих (нарушение принципов: «совместимость с обучаемым» «доступность»);

– сложно считывается шрифт текста ГПИ по причине своего размера (нарушение принципов: «доступность», «готовность информации к использованию»);

– неудачно подобрана цветовая схема ГПИ (нарушение принципов: «доступность», «готовности информации к использованию»);

– ГПИ библиотеки переполнен излишней информацией (нарушение принципов: «комплексность», «совместимость с практикой», «логическая последовательность»);

Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ ЭБ

ЭБ	Принципы												
	распределения функций	комплексности	группирования	отличимости	функциональной взаимосвязи	готовности информации к использованию	доступности	совместимости с обучаемым	совместимости с практикой	логической последовательности	контроля ошибок	достаточности времени на исправление ошибок	способности к изменению
elibrary.ru	+	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	+	–
cyberleninka.ru	+	+	+	+	+	–	–	–	–	+	–	+	+
НЭБ	–	–	–	+	+	+	–	+	–	–	+	+	+
aldebaran.ru	+	–	+	+	+	–	–	–	–	–	+	+	+

Из табл. 2 видно, что все проанализированные ЭБ имеют ряд серьёзных недостатков, заключающихся в нарушении принципов построения ИС «человек-машина», что приводит к снижению эффективности работы пользователей. Внедрение рассмотренных принципов в процесс модернизации библиотек и их интерфейсов позволит повысить эффективность ЭБ в целом.

Особое внимание при проектировании ЭБ следует уделять психофизиологическим особенностям пользователей. На основе проведённых исследований из области эргономики и инженерной психологии [16, 17] составлен перечень рекомендаций по проектированию ЭБ и их ГПИ:

– ГПИ ЭБ должен проектироваться таким образом, чтобы не предъявлять чрезмерных требований к ресурсам внимания пользователей, так как внимание человека имеет ограниченные ресурсы и состоит из двух типов: соматических ощущений и восприятия внешнего мира, которые могут вступать в конкуренцию, приводя к появлению ошибок в работе пользователей [18];

– ГПИ ЭБ должен учитывать «законы формирования восприятия». К таким законам относятся:

а) принцип хорошего продолжения. В условиях воздействия внешних факторов на пользователей элементы ГПИ ИС, имеющие сходства с ранее знакомыми, воспринимаются быстрее и проще;

б) принцип переключения внимания. Расположенные рядом элементы ГПИ ИС воспринимаются пользователями как единое целое;

в) принцип группировки. Элементы ГПИ ИС воспринимаются пользователями как единое целое, если их свойства имеют общее происхождение;

г) принцип фигуры и фона. Визуально похожие элементы ГПИ ИС воспринимаются пользователями как единое целое;

д) принцип мертвой зоны. Каждый элемент ГПИ ИС воспринимается пользователями как единое целое, даже при условии, что некоторые его части могут не наблюдаться;

– ГПИ ЭБ должен учитывать пределы долговременной и кратковременной (оперативной) памяти. Для проектирования эффективных ЭБ необходимо учитывать следующие свойства оперативной памяти:

а) ГПИ ЭБ должен отображать только необходимую информацию;

б) чем больше объём информации поступает пользователю, тем быстрее она убывает;

в) чем сильнее однородность информации, тем выше вероятность появления ошибок в работе пользователей;

г) объём памяти пользователей в среднем ограничен пятью – семью элементами;

д) информационные элементы ГПИ должны ясно отличаться между собой для сведения к минимуму вероятности появления ошибок.

В свою очередь, долговременная память подразделяется на декларативную и процедурную. Декларативная память содержит информацию о фактических знаниях и специфическом опыте пользователя. Проектировщики ИС ЭБ должны представлять информацию в ГПИ таким образом, чтобы она соответствовала прошлому опыту пользователей. Также следует учитывать следующие экспериментально полученные константы:

а) время убывания информации из визуальной памяти находится в пределах 1 сек.;

б) время убывания информации из акустической памяти находится в пределах до 3 сек.;

– ГПИ ЭБ должен предоставлять пользователям знания, являющиеся достаточными для достижения поставленной цели, и учитывать разные состояния системы [19];

– ГПИ ЭБ должен обеспечивать быструю и точную обратную связь для исключения вероятности возникновения случаев побуждения пользователей к неэффективным действиям. Также при проектировании должны учитываться следующие типы «мысленных случаев»:

а) скорость работы пользователя в ЭБ зависит от своевременного получения подтверждений от ГПИ;

б) при концентрации внимания пользователей ЭБ на определённых деталях возрастает вероятность упустить важную информацию;

в) при строгом соблюдении пользователями ЭБ определенных инструкций могут не учитываться сопутствующие обстоятельства, имеющие высокую значимость;

г) при концентрации пользователей ЭБ на определённой идее упускаются из внимания альтернативы;

– ГПИ ЭБ должен учитывать время реагирования моторной системы человека. Данный параметр характеризуется временным отрезком с момента реагирования органов чувств пользователя на раздражитель до реакции его моторной системы. Экспериментально получены следующие параметры [20]:

– время реакции при ожидаемых сигналах – 0,3 сек.;

– минимальное время реакции с участием головного мозга – 0,15 сек.;

– время реакции при внезапном сигнале – 0,5 сек.;

– простая рефлекторная реакция – 0,04 сек.

Заключение

Использование предложенных рекомендаций и экспериментально полученных данных при проектировании ГПИ позволит повысить эффективность работы пользователей в ЭБ, что благоприятно отразится как на эргономических показателях взаимодействия с системами, так и когнитивно-психологическом состоянии читателей.

Список источников

1. Парамошкин Д.С., Шибанов С.В., Хмелевской Б.Г. Анализ применения метаданных в электронных библиотеках информационных ресурсов // Надежность и качество: тр. междунар. симпозиума. 2009. Т. 1. С. 211–214.
2. Лаврик О.Л. Традиционные академические библиотечные сети в цифровой культуре // Библиотековедение. 2019. Т. 68. № 6. С. 567–575.
3. Шварцман М.Е., Крыжановская О.Н. Цифровые методы исследования: новый вектор информатизации библиотек // Библиотековедение. 2019. Т. 68. № 1. С. 103–111.
4. Давыдова Н.Р. Электронная библиотека РГБ: этапы развития и особенности формирования цифровых коллекций // Библиотековедение. 2019. Т. 68. № 2. С. 144–154.
5. Крюкова Е.С., Паращук И.Б. Методологические аспекты анализа качества электронных библиотек на основе статистики интервальных средних // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 1. С. 135–138.
6. Вострых А.В. Сравнительный анализ методов оценки человеко-машинных интерфейсов // Актуальные проблемы инфо-телекоммуникаций в науке и образовании. 2019. № 2. С. 179–184.
7. Ахунова Д.Г., Вострых А.В. Преимущества перехода на целеориентированное проектирование интерфейсов для мобильных пользователей информационных систем // Модернизация информационной инфраструктуры для сетей 5G/IMT 2020 и для других перспективных технологий в интересах трансформации регионов: Росинфоком – 2019. 2019. С. 5–9.
8. 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.
9. Головач В.В. Дизайн пользовательского интерфейса. СПб.: Usethics, 2008. 97 с.
10. Купер А., Рейман Р., Кронин Д. Основы проектирования взаимодействия. СПб.: Символ, 2010. 688 с.
11. Купер А. Почему высокие технологии сводят нас с ума, и как восстановить душевное равновесие. СПб.: Символ-Плюс, 2004. 336 с.
12. Уэйншенк С. 100 главных принципов дизайна. Как удерживать внимание. СПб.: Питер, 2011. 272 с.
13. Уэйншенк С. 100 новых главных принципов дизайна. Как удерживать внимание. СПб.: Питер, 2016. 290 с.
14. Джеф Р. Интерфейс Новые направления в проектировании компьютерных систем. СПб.: Символ, 2007. 257 с.
15. Ломов Б.Ф. Справочник по инженерной психологии. М.: Машиностроение, 1982. 452 с.
16. Голден К. Хороший интерфейс – невидимый интерфейс. СПб.: Питер, 2016. 256 с.
17. Пулин Р. Школа дизайна: макет. М.: Манн, 2019. 232 с.
18. Лебедев А.А. Ководство. СПб.: Студия Артемия Лебедева, 2020. 560 с.

19. Баженов С.Р., Стукалова А.А. Методика оценки качества и эффективности использования электронного каталога научной библиотеки // Информационные ресурсы России. 2021. № 1 (179). С. 24–31.

20. Алефиренко В.М., Шамгин Ю.В. Инженерная психология. Практикум. Минск: БГУИР, 2005. 37 с.

References

1. Paramoshkin D.S., Shibarov S.V., Hmelevskoy B.G. Analiz primeneniya metadannykh v elektronnykh bibliotekakh informatsionnykh resursov // Nadezhnost' i kachestvo: tr. mezhdunar. simpoziuma. 2009. T. 1. S. 211–214.

2. Lavrik O.L. Traditsionnye akademicheskie biblioteknyye seti v cifrovoj kul'ture // Bibliotekovedenie. 2019. T. 68. № 6. S. 567–575.

3. Shvarcman M.E., Kryzhanovskaya O.N. Cifrovyye metody issledovaniya: novyy vektor informatizatsii bibliotek // Bibliotekovedenie. 2019. T. 68. № 1. S. 103–111.

4. Davydova N.R. Elektronnaya biblioteka RGB: etapy razvitiya i osobennosti formirovaniya cifrovyykh kollekcij // Bibliotekovedenie. 2019. T. 68. № 2. S. 144–154.

5. Kryukova E.S., Parashchuk I.B. Metodologicheskiye aspekty analiza kachestva elektronnykh bibliotek na osnove statistiki interval'nykh srednykh // Matematicheskiye metody v tekhnologiyakh i tekhnike. 2021. № 1. S. 135–138.

6. Vostrykh A.V. Sravnitel'nyy analiz metodov ocenki cheloveko-mashinnykh interfejsov // Aktual'nye problemy info-telekommunikatsiy v nauke i obrazovanii. 2019. № 2. S. 179–184.

7. Ahunova D.G., Vostrykh A.V. Preimushchestva perekhoda na celeorintirovannoye proektirovaniye interfejsov dlya mobil'nykh pol'zovateley informatsionnykh sistem // Modernizatsiya informatsionnoy infrastruktury dlya setey 5G/IMT 2020 i dlya drugih perspektivnykh tekhnologiy v interesakh transformatsii regionov: Rosinfokom – 2019. 2019. S. 5–9.

8. Bujnevich M.V., Maksimov A.V., Vostrykh A.V. Analiz rezul'tatov audita setevykh informatsionnykh resursov MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 101–110.

9. Golovach V.V. Dizajn pol'zovatel'skogo interfejsa. SPb.: Usethics, 2008. 97 с.

10. Kuper A., Rejman R., Kronin D. Osnovy proektirovaniya vzaimodeystviya. SPb.: Simvol, 2010. 688 с.

11. Kuper A. Pochemu vysokie tekhnologii svodyat nas s uma, i kak vosstanovit' dushevnoye ravновесие. SPb.: Simvol-Plyus, 2004. 336 с.

12. Uejnshenk S. 100 glavnykh principov dizajna. Kak uderzhat' vnimanie. SPb.: Piter, 2011. 272 с.

13. Uejnshenk S. 100 novykh glavnykh principov dizajna. Kak uderzhat' vnimanie. SPb.: Piter, 2016. 290 с.

14. Dzhef R. Interfejs Novyye napravleniya v proektirovanii komp'yuternykh sistem. SPb.: Simvol, 2007. 257 с.

15. Lomov B.F. Spravochnik po inzhenernoy psikhologii. M.: Mashinostroenie, 1982. 452 с.

16. Golden K. Horoshiy interfejs – nevidimyy interfejs. SPb.: Piter, 2016. 256 с.

17. Pulin R. Shkola dizajna: maket. M.: Mann, 2019. 232 с.

18. Lebedev A.A. Kovodstvo. SPb.: Studiya Artemiya Lebedeva, 2020. 560 с.

19. Bazhenov S.R., Stukalova A.A. Metodika ocenki kachestva i effektivnosti ispol'zovaniya elektronnoy kataloga nauchnoy biblioteki // Informatsionnyye resursy Rossii. 2021. № 1 (179). S. 24–31.

20. Alefirenko V.M., Shamgin Yu.V. Inzhenernaya psikhologiya. Praktikum. Minsk: BGUIR, 2005. 37 с.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 03.02.2023

Принята к публикации: 27.02.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 03.02.2023

Accepted for publication: 27.02.2023

Информация об авторах:

Самарин Максим Александрович, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: 6117308@gmail.com

Максимов Александр Викторович, заместитель начальника кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: maksimov.a@igps.ru

Вострых Алексей Владимирович, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: leha.lik@mail.ru

Information about the authors:

Samarin Maxim A., adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: 6117308@gmail.com

Maksimov Alexander V., deputy head of the department of applied mathematics and information technologies of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: maksimov.a@igps.ru

Vostrikh Alexey V., adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: leha.lik@mail.ru

Научная статья

УДК 327

ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВО РОССИИ В АРКТИЧЕСКОМ СОВЕТЕ. ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

✉ **Рассказова Инга Викторовна.**

Департамент образовательной и научно-технической деятельности, Москва, Россия

✉ opora_mchs@mail.ru

Аннотация. Описывается Арктический совет, история его становления, структура, представлена деятельность МЧС России в рабочей группе по предупреждению, готовности и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Большая часть публикации посвящается подходам Российской Федерации к вопросам взаимодействия в рамках Арктического совета. Отмечаются характерные особенности Арктического совета, в том числе отсутствие задач военной направленности. Анализируется содержание и выполнение Плана основных мероприятий в связи с председательством Российской Федерации в Арктическом совете в 2021–2023 гг. в контексте предупреждения чрезвычайных ситуаций в регионе, отмечается общее возрастание напряжённости в Арктике в контексте влияния специальной военной операции на Украине. Делается вывод о том, что решение актуальных проблем региона возможно только на основе сбалансированного и взаимовыгодного международного сотрудничества по развитию Арктической зоны.

Ключевые слова: Арктический совет, Россия, председательство, рабочая группа, международное сотрудничество, безопасность населения и территорий, чрезвычайные ситуации, устойчивое развитие, специальная военная операция

Для цитирования: Рассказова И.В. Председательство России в Арктическом совете. Чрезвычайные мероприятия // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 94–109.

Scientific article

RUSSIA'S CHAIRMANSHIP IN THE ARCTIC COUNCIL. EMERGENCY MEASURES

✉ **Rasskazova Inga V.**

Department of educational, scientific and technical activities, Moscow, Russia

✉ opora_mchs@mail.ru

Abstract. The Arctic Council is described, the history of its formation, structure, and the activities of the EMERCOM of Russia in the working group on prevention, preparedness and emergency response are presented. Most of the publication is devoted to the approaches of the Russian Federation to issues of interaction within the framework of the Arctic council. The characteristic features of the Arctic council are noted, including the absence of military-oriented tasks. The content and implementation of the Plan of main activities in connection with the chairmanship of the Russian Federation in the Arctic council in 2021–2023 are analyzed. In the context of emergency prevention in the region, there is a general increase in tension in the Arctic in the context of the impact of a special military operation in Ukraine. It is concluded that the solution of the urgent problems of the region is possible only on the basis of balanced and mutually beneficial international cooperation for the development of the Arctic zone.

Keywords: Arctic council, Russia, chairmanship, working group, international cooperation, security of population and territories, emergency situations, sustainable development, special military operation

For citation: Rasskazova I.V. Russia's chairmanship in the Arctic council. Emergency measures // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 94–109.

Арктика – это загадочная часть планеты, в которой природа сохранилась почти в первозданном виде. Холодный климат подчёркивает ее специфику. Эта область имеет огромное значение в жизни планеты в целом. Последнее время Арктика становится геополитической ареной, на которой все большее число заинтересованных сторон имеют свои амбиции.

История становления Арктического совета началась в 1989 г. По инициативе Финляндии в г. Рованиеми в сентябре 1989 г. представители восьми арктических стран: СССР, Канады, Норвегии, Дании, США, Финляндии, Швеции и Исландии встретились для обсуждения защиты окружающей среды в Арктике, началась первая совместная работа – подготовка «Стратегии защиты окружающей среды в Арктике», в итоге в 1991 г. все страны подписали разработанный документ.

Стоит отметить, что Первая Парламентская Конференция по проблемам региона состоялась опять-таки по инициативе Финляндии в 1993 г. в г. Рейкьявике (Исландия). В 1994 г. в очередной раз именно Финляндия выдвигает идею о проектировании Совета государств, земли которых являются частью Арктики. Первое совещание Парламента о проблемных вопросах региона призывало объединить усилия стран, и, скооперировавшись, общемировое сообщество 27 лет назад учредило Арктический совет (Совет, АС) на основе Декларации, которую подписали все восемь арктических стран 19 сентября 1996 г. в г. Оттава (Канада) [1].

Целью Совета является содействие общим усилиям стран, коренных народов и других жителей Арктики в защите окружающей среды и общего регионального благоустройства [2].

Обратим внимание, что Декларация не регистрировалась в ООН и не представлялась государственным парламентам стран – участниц АС на утверждение, а, следовательно, она не является основополагающим международным договором. В ней изложены базовые регламенты деятельности: задачи учреждения, его состав, государства-члены, государства, имеющие наблюдательный статус, концепции работы Совета, определено поочерёдное двухгодичное председательство стран-участниц и, самое главное, прописано, что он не занимается вопросами военной безопасности.

В состав Арктического совета входят постоянные участники: восемь государств приарктического региона и шесть организаций коренных малочисленных народов, а также для неарктических стран, международных организаций существует статус наблюдателя: 13 государств и 25 международных организаций (рис. 1).

Организации коренных малочисленных народов уполномочены участвовать в собраниях, принимать решения в рамках Совета. Страны-наблюдатели и организации-наблюдатели могут присутствовать на мероприятиях по приглашению действующего председателя АС, в том числе на заседаниях Комитета старших должностных лиц (КСДЛ) Арктического совета [3, 4].

АРКТИЧЕСКИЙ СОВЕТ				
постоянные участники		наблюдатели		
страны-участники	коренные малочисленные народы	страны	межправительственные и межпарламентские организации	неправительственные организации
Дания	Совет саамов	Великобритания	Международный совет по исследованию моря (ИКЕС)	Консультативный комитет по защите морей (АКОПС)
Исландия	российская Ассоциация коренных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока	Германия	Международная Федерация обществ Красного Креста и Красного Полумесяца (МФКК)	Арктический институт Северной Америки (АИСА)
Канада		Индия	Международная морская организация (ИМО)	ассоциация “Оленеводы мира” (АОМ)
Норвегия		Республика Корея	Международный союз охраны природы (МСОП)	Циркумполярный союз охраны природы (ЦСОП)
Россия		Китай	Совет министров северных стран (СМСС)	Международный арктический научный комитет (МАНК)
США	Международная ассоциация алеутов	Испания	Северная экологическая финансовая корпорация (НЕФКО)	Международная арктическая ассоциация социальных наук (МААСН)
Финляндия	Циркумполярный совет инуитов	Италия	КСевероатлантическая комиссия по морским млекопитающим (НАММКО)	Международный союз по приполярной медицине (МСПМ)
Швеция	Арктический совет атабасков	Нидерланды	Комиссия ОСПАР	Международная рабочая группа по делам коренных народов (МРГДКО)
	Международный совет гвичинов	Польша	Постоянный комитет парламентариев Арктического региона (ПКПАР)	Северный Форум
		Сингапур	Программа развития ООН (ПРООН)	Международная организация по защите океанов
		Франция	Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП)	Университет Арктики (УАрктика)
		Швейцария	Всемирная метеорологическая организация (ВМО)	Всемирный фонд дикой природы
		Япония	Совет западных стран Северной Европы	

Рис. 1. Структура Арктического совета¹

Министерская встреча является высшим органом Совета, проводится раз в два года. В её рамках принимаются общеорганизационные решения, подписывается Министерская Декларация и передаётся в председательство. Министерские встречи готовятся и проводятся страной, которая председательствует, председатель рассказывает об итогах своей двухлетней работы. Работа Совета предусматривает аналитическую и научную направленность.

КСДЛ является политическим и административным уровнем работы. Открытые встречи проводятся не реже двух раз в год, при необходимости допускаются закрытые заседания. На закрытых заседаниях заранее решаются и обсуждаются проекты и внутренние вопросы деятельности, готовятся документы политической направленности, планируются Министерские встречи. На открытых заседаниях, которые проводятся в расширенном составе делегаций государств – членов Совета, постоянных участников, наблюдателей, официально утверждаются проекты, отчёты рабочих и целевых групп и другие документы Совета.

В рабочих и целевых группах на научном и управленческом уровне сосредоточена основная деятельность Совета. В АС действуют на постоянной основе рабочие группы, а также создаются целевые и экспертные группы, чаще всего на два года, пока не будет достигнут желаемый результат.

Рабочие группы несут ответственность за выполнение проектов и программ, утверждённых министрами АС в декларациях, принятых по итогам Министерских встреч. В настоящее время действуют шесть таких групп (рис. 2).

¹ Arctic council observers. URL: <https://www.arctic-council.org/about/observers/> (дата обращения: 25.03.2022).

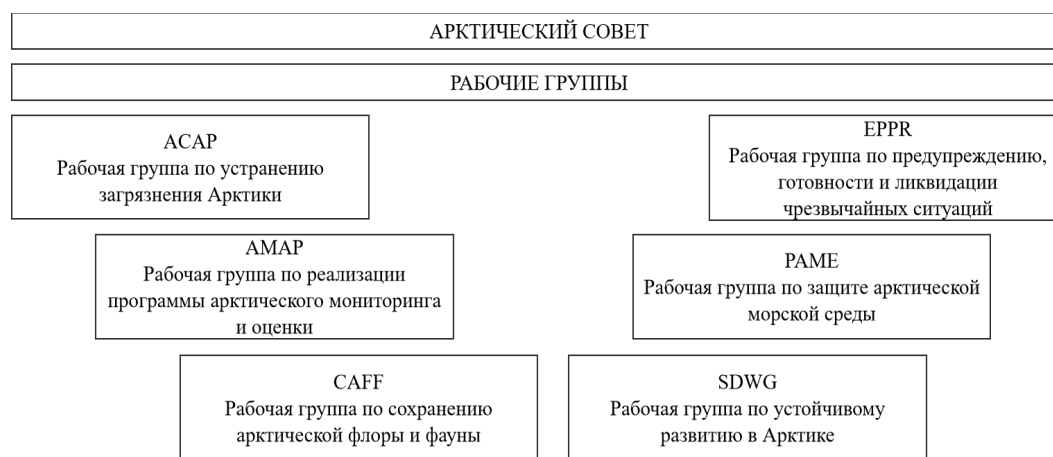


Рис. 2. Рабочие группы Арктического совета

Деятельность экспертных и целевых групп направлена на достижение заданных результатов в сфере, определённой КСДЛ. Например, итогом двухлетней работы с 2009 по 2011 г. целевой группы по поиску и спасанию стало Соглашение о сотрудничестве в авиационном и морском поиске и спасании в Арктическом регионе.

Мероприятия, проводимые под руководством рабочих групп, иногда дублируют друг друга по содержанию, тем самым обеспечивая целостный подход к решению существующих проблем. По мнению автора, работу можно улучшить за счёт повышения коммуникации между группами именно на первоначальном этапе формирования проблемных вопросов и согласования тем проектов, а также по итогам реализации проекта в перечень итоговых документов включать, помимо объёмных докладов, небольшую информационную справку для Старших должностных лиц Совета.

Рассмотрим особенности АС. Подготовленные в рабочих группах рекомендации и доклады выносятся на обсуждение КСДЛ и министров государств – членов Совета для последующего утверждения. Необходимый кворум для встречи на уровне министров или заседания КСДЛ – это шесть арктических стран. Решения принимаются коллегиально при отсутствии принципиальных возражений арктических стран и постоянных участников. В случае невозможности участия представителя на встрече, необходимо в течение 45 дней направить в АС уведомление о своём решении по рассматриваемым вопросам.

Также отличительной особенностью Совета от международных организаций можно назвать отсутствие бюджетного планирования, ведь все инициативы и проекты АС финансируются странами – участницами АС при софинансировании наблюдателей.

Ещё одной особенностью можно назвать невозможность, ввиду отсутствия полномочий, контроля за внедрением арктическими странами принятых рекомендаций и положений.

В четвёртых, необходимо отметить, что все подписанные международные договоры по различным вопросам взаимодействия не считаются договорами Совета, а являются международными.

Пятая особенность заключается в том, что Совет не занимается вопросами военной обороны и безопасности, негласно исключены из обсуждений также вопросы определения государственных границ и притязаний на землю и акваторию, добычи углеводородного сырья и полезных ископаемых, в том числе управления природными ресурсами на суше и море.

Арктический совет, являясь авторитетным институтом международного экологического сотрудничества в Арктической зоне, обрёл юридические атрибуты межправительственной международной организации. Так, с 2013 г. работает секретариат АС в г. Тромсё (Норвегия), и арктические страны согласованно направляют регулярные взносы на его функционирование [5]. Секретариат создан с целью конкретной реализации решений АС, более точного их администрирования, сохранения опыта, знаний и концепции управления Арктическим регионом, расширения информационного обмена и обеспечения общей технической поддержки государств – членов Совета.

Следует отметить, что никакой «монополии» на согласование международных позиций по управлению Арктикой Совет не имеет: например, без участия России был создан в 1971 г. и действует межправительственный форум Совет министров северных стран; без участия Канады и США создан в 1993 г. и функционирует Совет Баренцева/Евроарктического региона.

Интерес к Арктике экспоненциально растёт – увеличивается число желающих получить статус наблюдателя, что, в свою очередь, свидетельствует о повышении международного авторитета Совета. Далеко не все подающие заявку на получение статуса наблюдателя получают желаемое. Так, в 2021 г. Чехия, изучающая с прошлого века северные территории и создавшая на г. Шпицбергене постоянную базу для деятельности исследователей и имеющая научное судно для мониторинга океана, подала заявку, но получила отказ по инициативе России. Поскольку государство, претендующее на получение статуса наблюдателя в Совете, должно демонстрировать желание сотрудничать со всеми членами организации, а Чехия в апреле 2021 г. бездоказательно обвинила Россию в причастности к событиям в г. Врбетице, из-за чего разразился международный скандал.

Ввиду резкого повышения заинтересованности неарктических государств и международных организаций в получении статуса наблюдателя, Совет активно сотрудничает с другими международными организациями и органами. Можно сделать вывод, что АС постепенно и планомерно превращается в международную организацию, хотя формально таковой не является.

Согласно установочным документам, на ротационной основе на два года назначается Председатель Совета. С 2019 по 2021 г. председательствовала Исландия, 2017 по 2019 г. – Финляндия, до этого – Америка.

20 мая 2021 г. на 12-й Министерской сессии в г. Рейкьявике (Исландия) Российская Федерация приняла предложение стать председателем Совета в 2021–2023 гг. и провести 13-ю Министерскую сессию Арктического совета в 2023 г. [6] (рис. 3). Отмечено, что председательство проходит под лозунгом «Ответственное управление для устойчивой Арктики».



Рис. 3. Передача церемониального молотка

Каждая председательствующая страна формирует программу приоритетов в политике развития региона. Россия намерена в формате Совета продолжить поиск равновесия между тремя основными направлениями устойчивого развития: экономическим ростом, социальной интеграцией и защитой окружающей среды [7]. Необходимо не вносить в Совет объективно существующее военно-политическое соперничество между США и Россией, необходимо предотвратить снижение роли АС в управлении Арктикой – это главные стратегические задачи на период председательства России.

В апреле 2021 г. утверждена Концепция председательства и План её основных мероприятий [8], который включает в себя 116 мероприятий, сгруппированных в 11 разделов. Мероприятия посвящены обсуждению вопросов экономического сотрудничества, изменения климата и экологии Арктики, развитию человеческого капитала, коренных малочисленных народов, развитию инфраструктуры и устойчивого судоходства, культурным событиям, международному научному сотрудничеству, молодёжи, предотвращению чрезвычайных ситуаций, туризму.

Вернёмся к рабочим группам. Как понятно из названия, чрезвычайными ситуациями занимается Рабочая группа EPPR. На данный момент в ней председательствует Канада.

В составе рабочей группы созданы три экспертные группы, которые занимаются совершенствованием практических действий по повышению готовности и реагирования на экологические и другие чрезвычайные ситуации: поисково-спасательная экспертная группа, экспертная группа по реагированию на морскую окружающую среду и группа экспертов по радиации.

У EPPR высокие гуманные цели вне политики, группа занимается оценкой рисков, обменом информацией и накоплением передового опыта в области защиты и ликвидации ЧС, а также проведением международных учений и тренировок. EPPR собирается два раза в год, чтобы обсуждать значимые проекты, приоритетные направления работы.

В соответствии с Планом основных мероприятий председательства России по направлению «Предотвращение чрезвычайных ситуаций в Арктике» уже реализован ряд мероприятий.

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации Владимира Путина в 2021 г. было проведено межведомственное опытно-исследовательское учение по защите территорий, входящих в Арктическую зону Российской Федерации, от чрезвычайных ситуаций (рис. 4). Оно одновременно проходило на территории семи субъектов Арктической зоны России. Учение объединяло практическую отработку вводных, деловую программу, общественно важные культурные, социальные, спортивные мероприятия.



Рис. 4. Эмблема Межведомственного опытно-исследовательского учения в Арктической зоне

В мероприятии принимали участие территориальные и функциональные подсистемы Единой госсистемы предупреждения, ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), крупнейшие хозяйствующие субъекты, которые реализуют масштабные проекты по созданию инфраструктуры. Было задействовано больше 6 000 чел.

В рамках отработки вводных проводилась апробация новых образцов техники и снаряжения, решались опытно-исследовательские задачи с целью проверки возможности применения разработанных методик, алгоритмов, схем. В рамках деловой программы в международном формате был вынесен широкий круг тем, имеющих стратегическое значение для развития и обеспечения безопасности Арктики – от социально-экономического

потенциала региона до экологической проблематики и реагирования на чрезвычайные ситуации. Проведено большое число общественно важных социальных, культурных мероприятий. Например, «Неделя безопасности российской Арктики», мастер-классы по разной тематике, досуговая деятельность для младших школьников, экоакции, фестивали мобильных бань и полевых кухонь, иные мероприятия.

В учении участвовало полсотни представителей государств – участников Совета (Финляндия, Норвегия, Дания, Канада, США), эксперты государств – наблюдателей Совета (Великобритания, Южная Корея, Швейцария, Нидерланды, Италия, Китай, Индия, Франция), представители международных организаций.

Масштабное Учение дало возможность оценки используемых концепций для ликвидации чрезвычайных ситуаций в регионе, позволило использовать на практике передовые ИТ-технологии для их будущей интеграции в РСЧС, выявить перспективную направленность научных исследований. Учения показали способность нашей страны самостоятельно отражать весь возможный спектр природных и техногенных угроз в регионе, формируя имидж России на мировой арене как надёжного и ответственного партнёра.

В мае 2021 г. в Московской обл. состоялся Международный салон средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность». Салон призван представить результаты реализации госполитики и достижений в области безопасности в различных сферах жизни. В работе Салона были приняты участие более 40 тыс. чел., 350 иностранных представителей из 76 официальных международных делегаций (рис. 5).



Рис. 5. Панорама XIII Международного салона средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность»

Отдельным блоком был представлен Арктический кластер. Он включал в себя деловую программу и выставочную экспозицию (рис. 6, 7), подготовленную совместно с другими участниками развития системы обеспечения комплексной безопасности региона [9].



Рис. 6. Фрагменты внешней экспозиции



Рис. 7. Фрагменты внутренней экспозиции

В рамках деловой программы проводились круглые столы: «Обучение спасателей для работы в Арктической зоне Российской Федерации», «Вопросы развития аварийно-спасательной инфраструктуры в Арктической зоне Российской Федерации», «Система связи МЧС России в Арктической зоне Российской Федерации», «Проблематика глобального изменения климата и деградации вечной мерзлоты».

По итогам работы (рис. 8) было предложено продолжить работу по развитию аварийно-спасательной инфраструктуры, а именно специализированных комплексных объектов в узловых точках региона (п. Сабетта, г. Певек, ПГТ Диксон, ПГТ Тикси), включающих органы повседневного управления, аварийно-спасательные подразделения, а также авиационные подразделения МЧС России – 13 вертолётов (четыре МИ-8, девять

МИ-38) с местами дислокации в населённых пунктах г. Архангельска, г. Мурманска, г. Тикси, г. Диксона, г. Анадыря, г. Певека и г. Сабетта. На данный момент спасательные центры есть в основном в западной части региона в г. Мурманске, г. Нарьн-Маре, г. Архангельске, г. Воркуте, г. Дудинке и г. Якутске, а ведомственная авиация на территории отсутствует, что затрудняет полноценное прикрытие Северного морского пути.



Рис. 8. Круглый стол о развитии аварийно-спасательной инфраструктуры в Арктической зоне

В рамках панельной дискуссии, посвящённой обучению спасателей для работы в экстремальных условиях Арктики, рассматривались как действующая профподготовка, так и были предложены инновационные методы обучения, в частности дистанционные технологии образования, обсуждались вопросы гармонизации законодательства по подготовке «арктических» спасателей (рис. 9).



Рис. 9. Панельная дискуссия об обучении спасателей для работы в Арктической зоне

С целью повышения качества практической подготовки спасателей и испытания новых образцов техники, оборудования и снаряжения предложено возродить экспедиционную деятельность министерства. Предложение скоро будет реализовано (в марте – апреле) экспедицией по трём субъектам (Республике Коми, Ненецкому и Ямало-Ненецкому автономным округам) в рамках межведомственного опытно-исследовательского учения Безопасная Арктика – 2023.

На совещании, посвящённом системам связи в Арктике, рассматривались аспекты проектирования цифровой платформы для совместного реагирования экстренных оперативных служб для повышения результативности деятельности, а также необходимость обеспечения спасательных центров бесперебойной радиосвязью в обслуживаемых районах с отсутствием мёртвых зон до 400 км.

На встрече по проблематике глобального изменения климата и деградации вечной мерзлоты делились полученными достижениями в обеспечении безопасности жизни граждан и территориальной защиты от чрезвычайных ситуаций, вызванных глобальным изменением климата, поднимался вопрос применимости международного гуманитарного права к защите окружающей среды в ситуациях вооружённого конфликта (рис. 10).



Рис. 10. Доклад заместителя главы Международного Комитета Красного Креста Франциско Хавьера Сеперо Гарсиа

На Международной научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе» [10], проведённой осенью 2022 г., исследователи в сфере безопасности обсудили специфику надзора за техногенными и природными угрозами, использование пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, ледокольного флота, различных робототехнических комплексов в целях защиты граждан и территорий региона (рис. 11).



Рис. 11. Пленарное заседание Международной научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе»

Террористические акты, произошедшие в Нью-Йорке и Вашингтоне в сентябре 2001 г., заставили пересмотреть международную систему общественной безопасности, и совместно в сентябре 2001 г. в Швеции в районе г. Буден было проведено международное учение «Баренц Рескью-2001». Но сейчас это яркое и значимое мероприятие – Международное учение спасательных служб России, Норвегии, Финляндии и Швеции «Баренц Рескью-2022», запланированное на сентябрь 2022 г. в Норвегии в г. Будё, было отменено.

Подводя итог рассмотрения Плана председательства России в Арктическом совете по линии защиты от чрезвычайных ситуаций, можно отметить, что выполняются все мероприятия на территории России точно в срок, и не по инициативе страны отменяются заграничные обязательства, ведь стратегической целью России в период председательства в Арктическом совете является укрепление взаимодействия государств-участников и выработка единого решения о пути дальнейшего арктического сотрудничества. Это абсолютно правильный выбор, ориентированный на сотрудничество, а не на конфронтацию.

Отметим, что к анализу председательства России подключился Центр передового опыта НАТО по стратегическим коммуникациям. Они намерены подробно изучить вопрос обеспечения России своих интересов в регионе. Стремясь усилить влияние своего военного блока, скорее всего, воспользуются собранной информацией во вред России. НАТО, в том числе, активно изучает распространяемую дезинформацию об арктическом регионе, особенно о мероприятиях, проводимых Россией в рамках председательства в АС.

Долгое время Совет держался в стороне от «политических игр», арктическая восьмёрка объединяла усилия, движимая единой целью. Но вскоре после начала специальной военной операции России в Украине, даже общечеловеческие цели, такие как охрана окружающей среды и обеспечение устойчивого развития, попали под влияние политики. В итоге страны Скандинавии, Америка, Канада – арктическая семёрка, в марте прошлого года приостановили свою деятельность в АС.

Одно из крупнейших в мире международных агентств новостей и финансовой информации «Рейтер» 3 марта 2022 г. опубликовало статью о бойкоте арктической семёркой России из-за спецоперации на Украине [11]. В статье речь идёт о том, что объявленный бойкот приведёт к потрясениям в международном сотрудничестве в регионе в то время, когда изменение климата открывает возможности для эксплуатации ресурсов. Англичане сами вспоминают примечание Первой Оттавской декларации 1996 г., что АС не вправе заниматься вопросами военной безопасности в Арктике².

Российская сторона выступила с комментариями по поводу политизированности и иррациональности подобных заявлений, поскольку такой отказ затруднит совместную работу в рамках Совета по развитию регионального сотрудничества в интересах всех жителей Арктики, и предложила вернуться к конструктивному взаимодействию в рамках Совета [12].

Обратим внимание, что для России обстановка в Совете накаляется, ведь пять государств – членов АС (Дания, Исландия, Канада, Норвегия и США) уже входят в состав Организации Североатлантического договора (НАТО) и ещё два государства (Финляндия, Швеция) 18 мая 2022 г. подали заявку на вступление в военный блок, три государства (Дания, Финляндия и Швеция) являются членами Европейского союза, а Норвегия и Исландия входят в Европейское экономическое пространство.

В том числе пять государств Европы (Дания, Финляндия, Норвегия, Швеция, Исландия) входят в состав Совета государств Балтийского моря (СГБМ) и Совета Баренцева/Евроарктического региона (СБЕР), членом которых официально является и Российская Федерация.

Поочерёдно, 9 марта 2022 г. СБЕР прекратил сотрудничество с Россией, а 3 мая 2022 г. СГБМ принял решение приостановить членство России в организации в связи с незаконной войной России против Украины.

Арктические страны от нас отстранились, но, тем не менее, 25 января 2023 г. посол Бразилии в России заявил о намерении стать наблюдателем в Совете, ведь у страны особый интерес к Арктическому региону, ко всем возможностям, которые есть в Арктике.

Сегодня арктическая семёрка не сомневается в важности АС, признает целесообразность совместной деятельности, но при этом не намерена участвовать в проектах под началом России.

Намерение западных стран возобновить работу Совета без участия Российской Федерации принято под давлением США, однако это неэффективный и неработающий план. По мнению Америки, значимые проекты могут быть реализованы и без участия России. По мнению автора, США целенаправленно вносит раздор между арктическими странами, преследуя исключительно свои цели по снижению влияния остальных стран на развитие региона и падению их экономики в целом.

Деятельность Совета должна реализовываться согласно утверждённому плану и принимать в расчёт мнение всех сторон. Не стоит забывать, что АС предусматривает специальный регламент. Арктическая семёрка его нарушила, бойкотировала работу Совета под руководством России. Научное сообщество рассуждает о возможностях проектирования циркумполярной структуры, где общие усилия государств-участников будут консолидированы без участия Российской Федерации. По факту, это выглядит как арктический ostracism России, тайным голосованием семёрка решила судьбу нежелательной в политике персоны. Стоит заметить, что, принимая в расчёт важность Российской Федерации как участника развития региона, данных целей будет сложно достичь [13].

² Оттавская декларация 1996 г. была подписана на английском языке, целесообразно на нём представить текст примечания 1: «The Arctic Council should not deal with matters related to military security». Ottawa Declaration // Arctic Council. 1996. URL: <https://oaarchive.arctic-council.org/handle/11374/85> (дата обращения: 23.03.2022).

В целесообразности взаимодействия России с другими государствами – участниками Совета сомневаться не приходится. Обратим внимание, что нынешняя пауза может отрицательным образом повлиять на возможности совершенствования коммуникации, многое будет зависеть от нюансов американской политики.

Нельзя согласиться с утверждением ряда отечественных экспертов о том, что АС на фоне показательного отказа западных стран от любых контактов с Россией прекратил свою деятельность и окончательно распался.³ Председательство Российской Федерации в Совете должно официально продолжаться ещё до весны этого года. Далее председателем становится Норвегия.

Вследствие сокращения государственной коммуникации общее число проблем в регионе может увеличиться, также в дальнейшем может быть остановлена международная научно-исследовательская деятельность, хотя российская сторона в рамках председательства нацелена на повышение эффективности научной деятельности и практической применимости её результатов в Арктике, поддерживает программу комплексных исследований Арктики и формирование механизма поддержки многосторонних исследований по укреплению сотрудничества в различных областях [14].

Стоит отметить, что Российская Федерация, пусть и в одиночку, но не останавливается в научно-исследовательской деятельности. С 24 июня по 11 июля 2022 г. в высокоширотной Арктике на исследовательском судне «Профессор Молчанов» состоялась научно-образовательная экспедиция «Арктический плавучий университет – 2022: меняющаяся Арктика». Проект существует уже 10 лет и вносит весомый вклад в подготовку молодых специалистов из разных стран мира, преимущественно европейских, в области изучения разнообразия живых организмов, экологии, климата, исторического и культурного наследия Арктики. В установленные сроки завершены работы по строительству ледовой самодвижущейся платформы «Северный полюс», на базе которой будет проводиться широкий спектр исследований в Арктике. Такой научной базы нет ни в одной стране мира, что ещё раз подтверждает значимость России как ведущей мировой арктической державы.

Будучи председателем в Арктическом совете в 2021–2023 гг., Россия инициировала создание Международной арктической станции «Снежинка» – первого в мире безуглеродного автономного научно-образовательного комплекса на водородной энергии на Ямале в горах Полярного Урала для учёных и инженеров всего мира, в том числе для студентов и старшеклассников. Проект создания станции «Снежинка» был одобрен всеми арктическими странами в июне 2020 г., тестовый запуск первой «Снежинки» запланирован на конец 2024 г. [15].

Более четверти века сотрудничество между странами АС было устойчивым и планомерным, никогда не становилось заложником сложившейся международной ситуации [16]. Мероприятия, которые входят в План председательства России в Совете, одобрены каждым из восьми участников учреждения на собрании в столице Исландии и являются значимой составляющей ответственности государств перед всеми жителями Арктики. Определённо, всем странам нужно приложить дополнительные усилия для развития взаимоотношений.

Представляется не слишком понятной работа Совета усечённым составом, не понятна сама процедура замены председателя, неясно каким образом семёрка стран помешает Российской Федерации участвовать в различных проектах в перспективе. Обратим внимание, что для работы в едином информационном пространстве, в соответствии с уставными документами, о результатах деятельности Совета информируется каждый участник Совета для согласования, независимо от степени вовлечения в проект.

³ Шарковская М. Экологические итоги недели: Арктический совет прекратил своё существование; в США выпустили генетически модифицированных комаров. URL: <https://argumenti.ru/society/nature/2022/03/764484> (дата обращения: 23.03.2022).

Сложно представить, как исключить страну, владеющую самой продолжительной береговой линией среди арктических стран, из решения общих вопросов устойчивого развития всего региона, ведь невозможно поделить, например, животный и растительный мир Северного ледовитого океана на российский и нероссийский и оберегать только своё.

Можем предположить, что структура Совета в целом изменится, из-за антироссийских взглядов участников станут основными аспекты безопасности, будет укрепляться роль Америки в её воздействии на европейские страны в рамках Совета и не только.

Вынужденную временную паузу в полноценном функционировании АС необходимо использовать для анализа ситуации в регионе и выработки дополнительных конкретных мер по обеспечению российских интересов, прежде всего в её сбалансированном развитии, улучшении благосостояния жителей и усилении безопасности в северном направлении [17].

После исключения государствами Запада Российской Федерации из Совета не были отмечены глобальные чрезвычайные ситуации, однако нельзя сказать, что данные противоречия не привели к большому количеству проблемных вопросов. Отказ арктической семёрки участвовать в совещаниях, мероприятиях под председательством Российской Федерации приводит к серьёзным препятствиям для международного сотрудничества. Нарушается балансировка сил в регионе, которая поэтапно создавалась до этого.

Необходимо отметить, что предпринимаемая деятельность против России отражается и на государствах, вводящих санкции. Но ни санкционное давление, ни накал международной обстановки на фоне военной операции не должен срывать реализацию выполнения мероприятий в рамках председательства в Совете, ведь стратегический план АС на 2021–2030 гг. говорит о том, что Совет должен оставаться межправительственным форумом для сотрудничества в Арктике, продолжая сохранять регион и поддерживать имеющуюся сформированную нормативно-правовую базу [18].

Нельзя исключать того, что в текущем году государства – учредители Совета вернутся к реалиям коллективного взаимодействия стран в рамках Совета. В мае в г. Салехарде будут представлены результаты работы председательства России в АС, и полномочия перейдут к Норвегии. В прошлые годы результаты работы председательства оформлялись в форме Декларации Министерской сессии АС, подписанной министрами иностранных дел стран арктической восьмёрки. Скоро станет известно как будет выглядеть Салехардская Декларация 2023 г. по случаю тринадцатой Министерской сессии Арктического совета.

Страны – участницы АС и страны-наблюдатели в разной степени готовы отстаивать свои права, но определённо присутствует глобальная линия разлома. В ближайшем будущем основной нерв противостояния будет проходить по линии между арктическими и неарктическими государствами, что, в свою очередь, приведёт к разговору о появлении новых структур для решения арктических вопросов. Скорее всего, будут видны попытки открыть Арктику для «общего пользования», субъектами которой станут вдобавок к арктической восьмёрке Евросоюз, Китай, Индия, Япония, Великобритания и ряд других стран. Между этими странами возможен взаимовыгодный альянс и формирование дальнейшей интернационализации Арктики.

Семёрка стран Арктики, общемировое комьюнити должно начать взаимодействовать как можно скорее. Только при сохранении совместных усилий Совета возможно дальнейшее развитие региона.

Список источников

1. Журавель В.П. Арктический совет: основные вехи развития (к 25-летию образования) // Арктика и Север. 2022. № 46. С. 220–233. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.46.220.
2. Арктический совет: история создания, деятельность. URL: <https://yandex.ru/turbo/syl.ru/s/article/336462/arkticheskiy-sovet-istoriya-sozdaniya-deyatelnost> (дата обращения: 15.01.2023).
3. Журавель В.П. Председательство Российской Федерации в Арктическом совете как ориентир для исследований ЦАИ ИЕ РАН // Научно-аналитический вестник ИЕ РАН. 2022. № 1. С. 120–124.

4. Журавель В.П. Председательство России в Арктическом совете в 2021–2023 гг. Риски и угрозы // Региональная энергетика и энергосбережение. 2022. № 1. С. 32–33.
5. Вылегжанин А.Н. Арктический совет: статус и деятельность // Российский совет по международным делам: доклад № 67/2021. М.: НП РСМД, 2021. 94 с.
6. Declaration of the Foreign Ministers of the Arctic States // 12th Ministerial meeting of the Arctic council. Reykjavik, Iceland, 2021. URL: <https://oaarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/2600/declaration%202021%20web%20EN.pdf?sequence=9&isAllowed=y> (дата обращения: 20.01.2023).
7. Корчунов Н.В. О задачах России в период ее председательства в Арктическом совете // Арктические ведомости. 2021. № 1. С. 8–11.
8. План основных мероприятий в связи с председательством Российской Федерации в Арктическом совете в 2021–2023 годах от 30 апр. 2021 г. № 4161п-П2. URL: http://www.arcticandnorth.ru/upload/medialibrary/7f7/Plan-osn-merporiyatii_Arkticheskii_-sovets-2021_2023-godakh.pdf (дата обращения: 20.05.2021).
9. Рабочая группа по предупреждению, готовности и ликвидации чрезвычайных ситуаций. URL: <https://www.arctic-council.org/ru/about/working-groups/eppr/> (дата обращения: 14.01.2023).
10. Материалы междунар. науч.-практ. конф. / сост.: А.А. Бобровская, М.А. Косовец. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 376 с. ISBN 978-5-907489-79-0.
11. Arctic council in upheaval over Russia as climate change transforms region. URL: <https://www.reuters.com/world/arctic-council-countries-halt-meetings-over-russias-invasion-ukraine-2022-03-03/> (дата обращения: 18.01.2023).
12. МИД прокомментировал отказ стран Запада участвовать в Арктическом совете. URL: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/news/1802852/ (дата обращения: 14.01.2023).
13. U.S. Department of State. Joint Statement on Arctic Council Cooperation Following Russia's Invasion of Ukraine. URL: <https://www.state.gov/joint-statement-on-arctic-council-cooperation-following-russias-invasion-of-ukraine/> (дата обращения: 13.01.2023).
14. Артамонов В.С., Лукин В.Н., Мусиенко Т.В. Геополитика Арктики: проблемы обеспечения безопасности // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2020. № 1 (29). С. 9–22. DOI: 10.37468/2307-1400-2020-1-9-22. EDN YZSJTK.
15. Международная арктическая станция «Снежинка». URL: <https://arctic-mipt.com/#rec155659450> (дата обращения: 21.01.2023).
16. Русофобия ставит Арктику на грань катастрофы URL: <https://inosmi.ru/20220407/arktika-253715834.html> (дата обращения: 15.01.2023).
17. Артамонов В.С., Мусиенко Т.В. Геополитика Арктики: система управления рисками безопасности жизнедеятельности // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2016. № 2-2 (14). С. 72–78. EDN WCJGFZ.
18. Arctic Council Strategic Plan 2021 to 2030. URL: <https://oaarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/2601/ac-strategic-plan%20RU.pdf?sequence=14&isAllowed=y> (дата обращения: 22.01.2023).

References

1. Zhuravel' V.P. Arkticheskij sovet: osnovnye vekhi razvitiya (k 25-letiyu obrazovaniya) // Arktika i Sever. 2022. № 46. S. 220–233. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.46.220.
2. Arkticheskij sovet: istoriya sozdaniya, deyatelnost'. URL: <https://yandex.ru/turbo/syl.ru/s/article/336462/arkticheskij-совет-istoriya-sozdaniya-deyatelnost> (data obrashcheniya: 15.01.2023).
3. Zhuravel' V.P. Predsedatel'stvo Rossijskoj Federacii v Arkticheskom sovete kak orientir dlya issledovanij CAI IE RAN // Nauchno-analiticheskij vestnik IE RAN. 2022. № 1. S. 120–124.
4. Zhuravel' V.P. Predsedatel'stvo Rossii v Arkticheskom sovete v 2021–2023 gg. Riski i ugrozy // Regional'naya energetika i energosberezhenie. 2022. № 1. S. 32–33.
5. Vylegzhanin A.N. Arkticheskij sovet: status i deyatelnost' // Rossijskij sovet po mezhdunarodnym delam: doklad № 67/2021. М.: NP RSMD, 2021. 94 с.

6. Declaration of the Foreign Ministers of the Arctic States // 12th Ministerial meeting of the Arctic council. Reykjavik, Iceland, 2021. URL: <https://oaarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/2600/declaration%202021%20web%20EN.pdf?sequence=9&isAllowed=y> (data obrashcheniya: 20.01.2023).

7. Korchunov N.V. O zadachah Rossii v period ee predsedatel'stva v Arkticheskom sovete // Arkticheskie vedomosti. 2021. № 1. S. 8–11.

8. Plan osnovnyh meropriyatij v svyazi s predsedatel'stvom Rossijskoj Federacii v Arkticheskom sovete v 2021–2023 godah ot 30 apr. 2021 g. № 4161p-P2. URL: http://www.arcticandnorth.ru/upload/medialibrary/7f7/Plan-osn-merporiyatii_Arkticheskii_-sovet-2021_2023-godakh.pdf (data obrashcheniya: 20.05.2021).

9. Rabochaya gruppa po preduprezhdeniyu, gotovnosti i likvidacii chrezvychajnyh situacij. URL: <https://www.arctic-council.org/ru/about/working-groups/eppr/> (data obrashcheniya: 14.01.2023).

10. Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / sost.: A.A. Bobrovskaya, M.A. Kosovec. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 376 s. ISBN 978-5-907489-79-0.

11. Arctic council in upheaval over Russia as climate change transforms region. URL: <https://www.reuters.com/world/arctic-council-countries-halt-meetings-over-russias-invasion-ukraine-2022-03-03/> (data obrashcheniya: 18.01.2023).

12. MID prokommentiroval otkaz stran Zapada uchastvovat' v Arkticheskom sovete. URL: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/news/1802852/ (data obrashcheniya: 14.01.2023).

13. U.S. Department of State. Joint Statement on Arctic Council Cooperation Following Russia's Invasion of Ukraine. URL: <https://www.state.gov/joint-statement-on-arctic-council-cooperation-following-russias-invasion-of-ukraine/> (data obrashcheniya: 13.01.2023).

14. Artamonov V.S., Lukin V.N., Musienko T.V. Geopolitika Arktiki: problemy obespecheniya bezopasnosti // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2020. № 1 (29). S. 9–22. DOI: 10.37468/2307-1400-2020-1-9-22. EDN YYSJTK.

15. Mezhdunarodnaya arkticheskaya stanciya «Snezhinka». URL: <https://arctic-mipt.com/#rec155659450> (data obrashcheniya: 21.01.2023).

16. Rusofobiya stavit Arktiku na gran' katastrofy URL: <https://inosmi.ru/20220407/arktika-253715834.html> (data obrashcheniya: 15.01.2023).

17. Artamonov V.S., Musienko T.V. Geopolitika Arktiki: sistema upravleniya riskami bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2016. № 2-2 (14). S. 72–78. EDN WCJGFZ.

18. Arctic Council Strategic Plan 2021 to 2030. URL: <https://oaarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/2601/ac-strategic-plan%20RU.pdf?sequence=14&isAllowed=y> (data obrashcheniya: 22.01.2023).

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 07.02.2023

Принята к публикации: 28.02.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 07.02.2023

Accepted for publication: 28.02.2023

Информация об авторах:

Рассказова Инга Викторовна, отдел развития обеспечения безопасности Арктического региона Департамента образовательной и научно-технической деятельности МЧС России (121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 7), e-mail: opora_mchs@mail.ru

Information about the authors:

Rasskazova Inga V., department of security development of the Arctic region of the Department of educational, scientific and technical activities of EMERCOM of Russia (121352, Moscow, Davydovskaya str., 7), e-mail: opora_mchs@mail.ru

Научная статья

УДК 536.2

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА

✉ Лабинский Александр Юрьевич.

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

✉ labynsci@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены компьютерные модели расчета теплопроводности в стержне постоянного сечения, изменения температуры жидкости по длине трубы и расчета двумерного температурного поля жидкости при течении в трубе.

Компьютерные модели расчета теплопроводности и изменения температуры жидкости по длине трубы реализованы средствами электронных таблиц Excel.

Компьютерная модель течения жидкости в трубе реализована в виде программы для ЭВМ. Приведены результаты моделирования процессов теплопроводности и теплообмена.

Подробно рассмотрена постановка задачи моделирования процессов теплообмена с использованием численного метода решения задачи Коши в форме конечных разностей. Такой подход позволяет вычислить значение исследуемого параметра в любой точке исследуемого объекта. Численный метод включает в себя получение системы алгебраических уравнений для неизвестных переменных и алгоритм решения этих уравнений.

Приведены основные зависимости, описывающие процесс теплопроводности в стержне конечной длины. Результаты расчета изменения температуры по длине стержня представлены в наглядном графическом виде.

Приведены основные зависимости, описывающие процесс изменения температуры текущей по трубе жидкости. Результаты расчета изменения температурного напора по длине трубы представлены в наглядном графическом виде.

Подробно рассмотрена постановка задачи и математическая модель процесса течения несжимаемой жидкости в трубе. На основе разработанной математической модели создана компьютерная модель, реализованная в виде программы для ЭВМ. Представлены результаты расчета с помощью метода прогонки двумерного температурного поля жидкости по длине трубы. Зависимости температур жидкости в различных узловых точках сечения трубы по длине трубы представлены в наглядном графическом виде.

Ключевые слова: теплообмен, теплопроводность, температурное поле, численный метод, математическая модель, компьютерная модель, программа для ЭВМ

Для цитирования: Лабинский А.Ю. Компьютерное моделирование процессов теплообмена // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 110–119.

Scientific article

THE COMPUTING MODELING THE HEAT EXCHANGE PROCESS

✉ Labinskiy Alexander Yu.

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

✉ labynsci@yandex.ru

Abstract. The article considers mathematical models of calculation of thermal conductivity in a constant cross-section rod, change of a liquid temperature along the length of the pipe and calculation of two-dimensional temperature field of liquid under the flow in the pipe.

The mathematical model of fluid flow in the tube is realized in the form of a program for computers. The results of modeling of processes of heat conduction and heat exchange are presented.

The task of simulation of heat exchange processes using numerical method of solving the Cauchy problem in the form of finite differences is considered in detail. This approach makes it possible to calculate the value of the studied parameter at any point of the object under investigation. The numerical method involves obtaining a system of algebraic equations for unknown variables and an algorithm for solving these equations.

The main dependencies describing the process of thermal conductivity in the rod of the final length are given. The results of the calculation of the temperature change by the length of the rod are presented in a graphical presentation.

The main dependencies describing the process of temperature change of the liquid flowing through the pipe are given. The results of the calculation of temperature pressure change over the length of the pipe are presented in a graphical presentation.

The problem statement and mathematical model of the process of flow of incompressible liquid in the pipe are considered in detail. On the basis of the developed mathematical model, a computer model, implemented in the form of a program for computers, was created. The results of calculation, using the method of running, of two-dimensional temperature field of liquid along the pipe length are presented. The temperature dependence of the liquid in the various nodal points of the pipe section along the length of the pipe is presented in a graphical form.

Keywords: heat exchange, heat conductivity, temperature field, numerical method, mathematical model, computing model, computing program

For citation: Labinskiy A.Yu. The computing modeling the heat exchange process // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 110–119.

Введение

Математические модели, базирующиеся на основе обыкновенных дифференциальных уравнений, часто встречаются в различных областях науки и техники. Аппарат обыкновенных дифференциальных уравнений применяется в задачах движения различных объектов, при расчете электрических цепей, радиоактивного распада, при описании квантовых систем, в различных задачах теплофизики, в экономических и социологических моделях и многих других задачах [1–3].

На практике ряд физических задач приводит к необходимости решения задачи Коши следующего вида:

$$dY/dx = f(x, Y), \quad Y(0) = Y_0,$$

где Y – исследуемый параметр объекта (плотность, скорость, температура и т.п.); x – координата объекта (координата по длине пластины, стержня, трубы и т.п.).

Если рассматривается не одно уравнение, а система уравнений, то под Y_0 , Y и f следует понимать векторы начальных условий, искомых функций и правых частей соответственно.

Аналитические решения задач теплообмена, полученные путем непосредственного интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих исследуемый процесс, дают возможность вычислить значение исследуемого параметра в любой точке данного объекта [4, 5].

В противоположность аналитическим решениям, в основу численного метода положено уравнение в форме конечных разностей, с помощью которого можно вычислить значение исследуемого параметра в некоторых заранее выбранных точках данного объекта. Это равноценно математическим способам приближенного интегрирования. При этом в отличие от точного аналитического решения, для которого характерны трудности удовлетворения граничных условий, при помощи численного решения всегда возможно, хотя бы приближенно, удовлетворить граничным условиям данной задачи [6–8].

Одним из численных методов является широко используемый метод конечных разностей. Сущность метода состоит в том, что в дифференциальном уравнении производные искомой функции заменяются приближенными соотношениями между конечными разностями в отдельных узловых точках исследуемого объекта.

В качестве основных неизвестных в численном методе рассматриваются значения зависимой переменной в конечном числе точек (сеточных узлах или узловых точках) расчетной области. Численный метод включает в себя получение системы алгебраических

уравнений для неизвестных переменных и алгоритм решения этих уравнений. Именно это упрощение, связанное с использованием алгебраических, а не дифференциальных уравнений, делает численные методы широко используемыми [6, 7].

Сущность всякого метода численного решения данной задачи сводится к тому, каким образом по заданному значению Y^n определить значение в следующей узловой точке Y^{n+1} .

Алгоритм численного решения указанной задачи можно записать так:

$$(Y^{n+1} - Y^n) / \Delta x = F(x^{n+1}, Y^{n+1}, Y^n, (dY/dx)^{n+1}, (dY/dx)^n),$$

где специфика метода решения содержится в функции F .

Данное уравнение называется разностным аналогом исходного уравнения задачи Коши, так как производная по координате заменена конечной разностью. Процедуру замены дифференциальных соотношений разностными называют аппроксимацией. Качество разностного аналога характеризуется локальной погрешностью аппроксимации.

Сформулируем постановку задачи, результаты решения которой представлены в данной статье. Необходимо произвести компьютерное моделирование процессов теплопроводности в стержне постоянного сечения, изменения температуры жидкости по длине трубы и изменения двумерного температурного поля жидкости при течении в трубе.

Существует большое число средств моделирования (пакеты Mathematics, MATLAB, MapleMathCAD, COMSOL, FlowVision и т.п.) производства известных «западных» компаний. Однако цена таких пакетов начинается от 100 000 руб. (лицензия на год), занимаемый объем памяти составляет от 500 Мб и выше.

Технологическая независимость России, в том числе в области программного обеспечения, является основой устойчивого развития. В условиях санкций «западных» стран была сформулирована проблема – разработка отечественного софта и цель данного исследования – создание компьютерных моделей указанных процессов с помощью электронной таблицы Excel и системы визуального программирования Delphi на языке программирования Object Pascal.

Автор имеет опыт создания систем компьютерного моделирования, например, системы SMS, позволяющий разрабатывать компьютерные модели в виде консольных программ для ЭВМ на основе базовых шаблонов, описывающие системы массового обслуживания, системы автоматического управления, использующие нечеткую логику, нечеткую кластеризацию, нейронные сети, генетические алгоритмы и методы решения дифференциальных уравнений [9, 10].

Тема статьи актуальна, так как импортозамещение программного обеспечения в госсекторе регулируется законодательными нормативными актами Российской Федерации, согласно которым к 2024 г. доля отечественного софта в госструктурах должна превышать 90 %, а в госкомпаниях – 70 %.

Новизна исследования, отражающая личный вклад автора, заключается в разработке компьютерной модели течения жидкости в трубе, реализованной в виде программы для ЭВМ, с помощью которой проведены компьютерные эксперименты по расчету двумерного температурного поля жидкости при течении в трубе. В результате расчетов, выполненных с использованием метода прогонки «поперек трубы», получены значения температур жидкости по длине трубы, причем в каждом сечении по длине трубы получены значения температур жидкости в пяти узловых точках.

Теплопроводность в стержне постоянного сечения

Рассмотрим распространение тепла в прямом стержне с постоянным поперечным сечением по длине. Обозначим количество тепла, поступающего через торцевую поверхность стержня, через Q_x . Обозначим площадь поперечного сечения стержня через F и периметр через P . Стержень длиной L находится в жидкости с постоянной температурой

$T_{\text{ж}} = \text{const}$, коэффициент теплоотдачи α от поверхности стержня к окружающей среде будем считать постоянным: $\alpha = \text{const}$. Коэффициент теплопроводности материала стержня λ достаточно велик, что позволяет считать температуру стержня меняющейся только вдоль оси стержня. Температуру стержня обозначим через $T_{\text{ст}}$, тогда избыточная по отношению к жидкости температура стержня: $\theta = T_{\text{ст}} - T_{\text{ж}}$.

Согласно закону Фурье:

$$Q_x = -\lambda * F * d\theta/dx,$$

где Q_x – количество тепла, входящего в торец стержня; x – координата по длине стержня.

Изменение температуры на отрезке dx равно:

$$dQ = \theta + d\theta/dx * dx.$$

Тогда для количества тепла, выходящего из противоположного торца элемента dx , имеем:

$$Q_{x+dx} = -\lambda * d/dx(\theta + d\theta/dx * dx) * F = -\lambda * F * d\theta/dx - \lambda * F * dx * d^2\theta/dx^2.$$

Отсюда:

$$dQ = Q_x - Q_{x+dx} = \lambda * F * dx * d^2\theta/dx^2.$$

С другой стороны, согласно закону Ньютона-Рихмана:

$$dQ = \alpha * \theta * P * dx.$$

Приравнивая эти уравнения, получим:

$$d^2\theta/dx^2 = \alpha * \theta * P / (\lambda * F) = m^2 * \theta,$$

где $m = \sqrt{[(\alpha * P) / (\lambda * F)]}$ [1/м]; размерности величин: $m = [1/\text{м}]$, $\alpha = [\text{Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})]$, $P = [\text{м}]$, $\lambda = [\text{Вт}/(\text{м} * \text{К})]$, $F = [\text{м}^2]$.

Общий интеграл уравнения $d^2\theta/dx^2 = m^2 * \theta$ будет иметь вид:

$$\theta = C_1 * e^{mx} + C_2 * e^{-mx},$$

где значения постоянных C_1 и C_2 определяются из граничных условий.

Для стержня конечной длины, в случае когда теплоотдачей с конца стержня можно пренебречь, граничные условия можно записать в виде:

при $x = 0 \rightarrow \theta = T_1$ – температура основания стержня;

при $x = L \rightarrow d\theta/dx = 0$.

Тогда уравнение, определяющее температуру в любом сечении стержня, будет иметь вид:

$$T = T_1 * \{ \text{ch}[m * (L - x)] / \text{ch}(m * L) \}.$$

В предельном случае, когда $x = L$, формула принимает вид:

$$T_{x=L} = T_1 / \text{ch}(m * L).$$

Математическая модель изменения температуры по длине стержня была реализована в виде компьютерной модели с использованием электронной таблицы Excel, позволяющей представлять результаты расчета в графическом виде.

Исходные данные: медный стержень с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 400$ [Вт/(м*К)] длиной $L = 1,0$ м и площадью поперечного сечения $F = 0,001$ м². Коэффициент теплоотдачи стержня к жидкости $\alpha = 250$ [Вт/(м²*К)]. Температура основания стержня $T_1 = 80$ °С. Результаты расчета изменения температуры по длине стержня представлены на рис. 1.

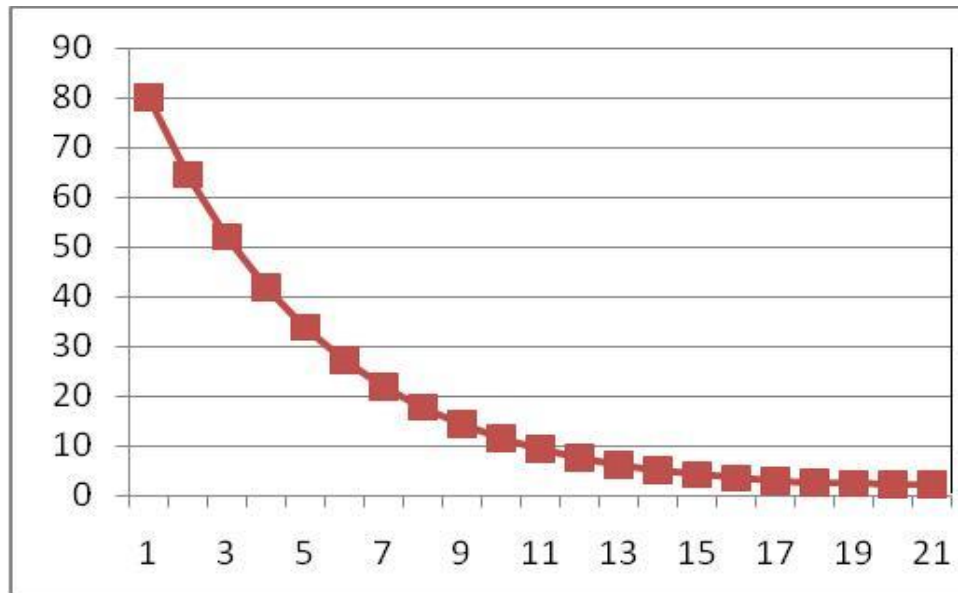


Рис. 1. Изменение температуры по длине стержня

Изменение температуры жидкости по длине трубы

Рассмотрим течение жидкости в трубе. Периметр трубы P [м], начальная температуры жидкости $T_{ж0}$ [°С], массовый расход жидкости G [кг/с], теплоемкость жидкости c_p [кДж/(кг*°С)] и коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенке трубы α [Вт/(м²*°С)] известны.

Для элемента трубы длиной dx можно записать:

$$q(x) \cdot P \cdot dx = \alpha \cdot (T_c - T_{ж}) \cdot P \cdot dx = G \cdot c_p \cdot dT,$$

где $q(x)$ – тепловой поток от жидкости к стенке трубы [Вт/м²].

Данное уравнение можно представить в виде:

$$dT/dx + f(x) \cdot T = g(x), \quad f(x) = \alpha(x) \cdot P / (G \cdot c_p), \quad g(x) = f(x) \cdot T_c(x),$$

где T_c – температура стенки трубы.

Для решения данного дифференциального уравнения используем метод Лагранжа (вариации произвольной постоянной), согласно которому решение примет вид:

$$T = c(x) \cdot \exp\left[-\int_0^x f(x) dx\right],$$

где $c(x)$ – произвольная постоянная, которая может быть найдена из граничных условий.

Обозначая $\vartheta = T_{ж} - T_c$, решение дифференциального уравнения можно записать в следующем виде:

$$\vartheta = \vartheta_0 \cdot \exp\left[-\int_0^x \alpha(x) \cdot P / (G \cdot c_p) dx\right],$$

где ϑ_0 – начальная разность температур на входе в трубу (при $x = 0$).

Если коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенке трубы α по длине трубы не меняется ($\alpha = \text{const}$), а температура стенки трубы постоянна ($T_c = \text{const}$), то уравнение изменения температуры по длине трубы будет иметь вид:

$$\vartheta = \vartheta_0 \cdot \exp[-x \cdot \alpha \cdot P / (G \cdot c_p)].$$

Исходные данные для расчета: периметр трубы $P = 0,001$ [м], коэффициент теплоотдачи от жидкости к стенке трубы $\alpha = 500$ [Вт/(м²·°C)], расход жидкости $G = 0,1$ [кг/с], теплоемкость жидкости $c_p = 4,0$ [кДж/(кг·°C)], начальная разность температур $\vartheta_0 = T_{\text{ж}} - T_c = 100$ °C.

Математическая модель изменения температурного напора жидкости по длине трубы была реализована в виде компьютерной модели с использованием электронной таблицы Excel, позволяющей представлять результаты расчета в графическом виде.

Результаты расчета – график изменения температурного напора $\vartheta = T_{\text{ж}} - T_c$ по длине трубы (координата по длине трубы x) при постоянной температуре стенки трубы ($T_c = \text{const}$) и постоянном значении коэффициента теплоотдачи от жидкости к стенке трубы ($\alpha = \text{const}$) представлены на рис. 2.

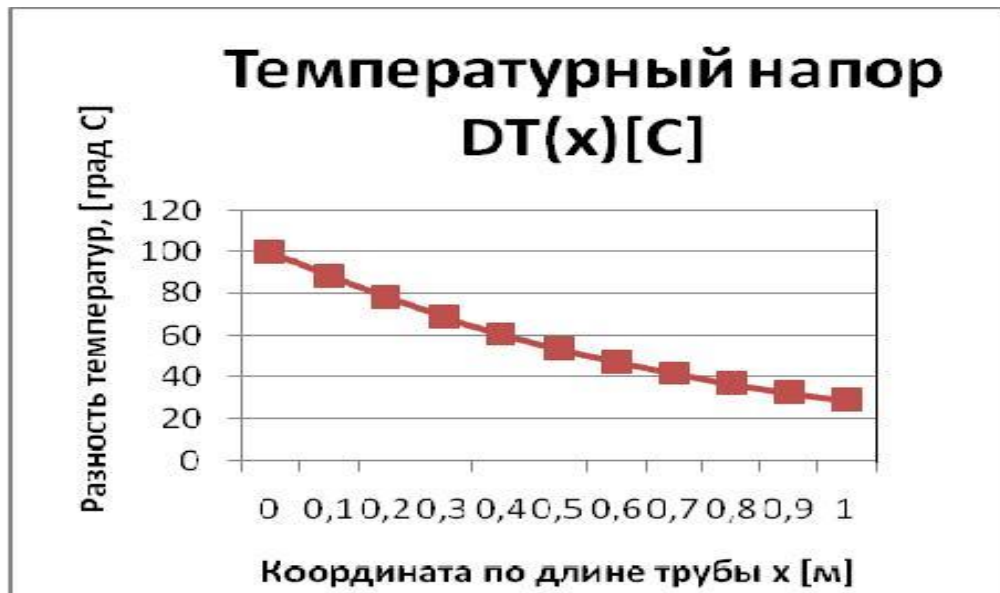


Рис. 2. Изменение температурного напора $DT(x)=T_{\text{ж}} - T_c$ по длине трубы

Расчет двумерного температурного поля жидкости при течении в трубе. Конечно-разностные схемы для уравнения энергии

Простейшее одномерное стационарное уравнение энергии имеет вид:

$$c \cdot \rho \cdot v \cdot \partial T / \partial x = \lambda \cdot \partial^2 T / \partial x^2.$$

Введем равномерную пространственную сетку $x_n = (n-1) \cdot h$, $n = 1, \dots, N$. Конечно-разностное уравнение для внутренней точки строим методом баланса, выбрав элементарные объемы вида: $[x_n - h/2, x_n + h/2]$. Сеточную функцию численного решения обозначим через U_n , $n = 1, \dots, N$. Уравнение баланса n -го элементарного объема для единичного промежутка времени имеет вид:

$$Q^k(x_n + h/2) - Q^k(x_n - h/2) + Q^T(x_n + h/2) - Q^T(x_n - h/2) = 0,$$

где Q^k – энтальпия потока жидкости; Q^T – количество теплоты за счет процесса теплопроводности.

Количество теплоты за счет теплопроводности может быть аппроксимировано следующим образом:

$$Q^T(x_n + h/2) \approx \lambda * (U_n - U_{n+1}) / h; \quad Q^T(x_n - h/2) \approx \lambda * (U_{n-1} - U_n) / h.$$

Тепловые потоки жидкости аппроксимируются различным образом:

$$Q^k(x_n + h/2) \approx c * \rho * v * U_{n+1}, \quad Q^k(x_n - h/2) \approx c * \rho * v * U_n, \quad (1)$$

$$Q^k(x_n + h/2) \approx c * \rho * v * (U_{n+1} + U_n) / 2, \quad Q^k(x_n - h/2) \approx c * \rho * v * (U_n + U_{n-1}) / 2, \quad (2)$$

$$Q^k(x_n + h/2) \approx c * \rho * v * U_n, \quad Q^k(x_n - h/2) \approx c * \rho * v * U_{n-1}. \quad (3)$$

Проанализируем соотношения (1)–(3), учитывая, что жидкость течет в направлении оси X, проходя через элементарные объемы в порядке возрастания их номеров.

В аппроксимации (1) принято, что температура втекающей в элементарный объем жидкости равна температуре центра объема, а температура вытекающей – температуре центра следующего за ним по течению объема. Однако физика процесса такова, что температура жидкости должна определяться только условиями ее протекания и теплообмена в предшествующих объемах.

В аппроксимации (2) принято, что жидкость втекает в элементарный объем с температурой, равной полусумме температур данного и предыдущего объемов, а вытекает с температурой, равной полусумме температур данного и следующего за ним по течению объема. Данный случай не противоречит физике процесса, однако при больших скоростях течения жидкости температура U_n может упасть ниже значения U_{n-1} , что вызовет в численном решении немонотонность распределения температуры.

Аппроксимация (3), в которой через левую границу объема втекает жидкость с температурой предшествующего объема, а через правую границу вытекает жидкость с температурой данного объема, хорошо работает при больших скоростях течения.

Формулы (1)–(3) можно трактовать также следующим образом.

В уравнении (1) производная $\partial T / \partial x \approx (U_{n+1} - U_n) / h$ аппроксимируется разностью вперед по направлению потока жидкости, в уравнении (2) производная $\partial T / \partial x \approx (U_{n+1} - U_{n-1}) / (2 * h)$ аппроксимируется центральной разностью, а производная $\partial T / \partial x \approx (U_n - U_{n-1}) / h$ в уравнении (3) аппроксимируется разностью назад или разностью «против потока».

Математическая модель

Постановка задачи: производится расчет двумерного температурного поля несжимаемой жидкости $T(r, z)$, протекающей в трубе радиусом R и длиной L . Температура жидкости на входе в трубу постоянна по поперечному сечению и равна $T_{вх}$. На внутренней поверхности трубы задано либо распределение по длине трубы температуры стенки $T_w(z)$, либо плотности теплового потока $Q_w(z)$. Течение жидкости считается гидродинамически стабилизированным, то есть поперечная составляющая скорости равна нулю, а продольная не меняется по длине трубы.

Предполагается, что теплофизические свойства жидкости не зависят от температуры и что диссипация энергии за счет вязкого трения и работа сил давления пренебрежимо малы. В этих условиях стационарное уравнение энергии имеет вид:

$$c * \rho * v_z * \partial T / \partial z = \lambda * [(1/R * \partial / \partial R * (R * \partial T / \partial R)) + \partial^2 T / \partial z^2]. \quad (4)$$

Если пренебречь переносом теплоты вдоль трубы, то уравнение (4) примет вид параболического уравнения в частных производных:

$$c \cdot \rho \cdot v_z \cdot \partial T / \partial z = (\lambda / R) \cdot \partial / \partial R (R \cdot \partial T / \partial R).$$

Граничные условия можно записать так:

- на оси трубы условие симметрии: $\partial T / \partial R|_{R=0} = 0$;
- на стенке трубы ($r = R$) задается либо распределение температуры: $T(r, z)|_{r=R} = T_w(z)$, либо распределение плотности теплового потока: $\lambda \cdot \partial T / \partial R|_{r=R} = Q_w(z)$;
- во входном сечении трубы ($z = 0$) задается температура входящего потока: $T(r, z)|_{z=0} = T_{вх}$.

На выходе из трубы граничное условие не ставится, так как принято: $\partial^2 T / \partial z^2 = 0$.

После определения температурного поля можно в любом сечении трубы определить локальные коэффициенты теплоотдачи:

$$\alpha(z) = [\lambda \cdot \partial T / \partial R|_{r=R}] / [T_{r=R} - T_{ср}(z)],$$

где $T_{ср}(z)$ – среднерасходная температура жидкости в сечении z .

Полученная система уравнений имеет трехдиагональную матрицу и может быть решена методом прогонки «поперек трубы».

На основе разработанной математической модели была создана компьютерная модель, реализованная в виде программы для ЭВМ, с помощью которой были выполнены вычислительные эксперименты с целью расчета двумерного температурного поля жидкости по длине трубы. В результате расчетов в каждом сечении по длине трубы получены значения температур жидкости в пяти точках на радиусе от $R_1 = 1 \cdot dR$ до $R_5 = 5 \cdot dR$.

Окно программы расчета двумерного температурного поля жидкости при течении в трубе, а также результаты расчета приведены на рис. 3, 4.

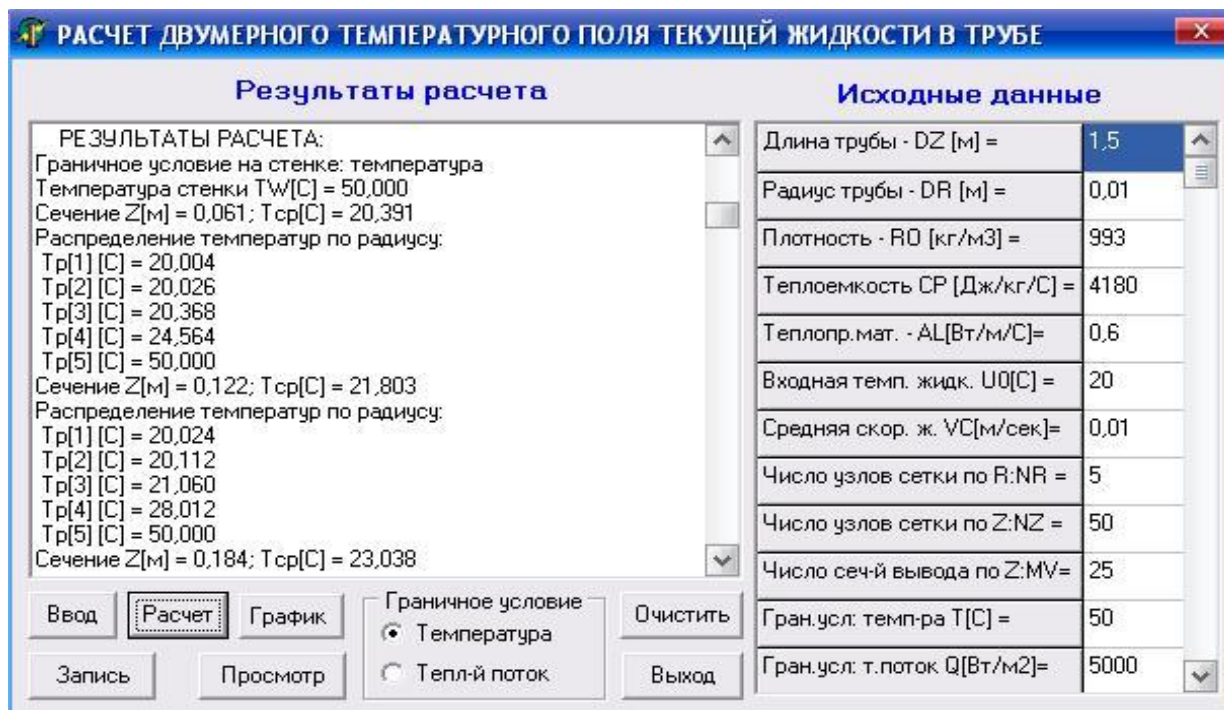


Рис. 3. Окно программы расчета двумерного температурного поля

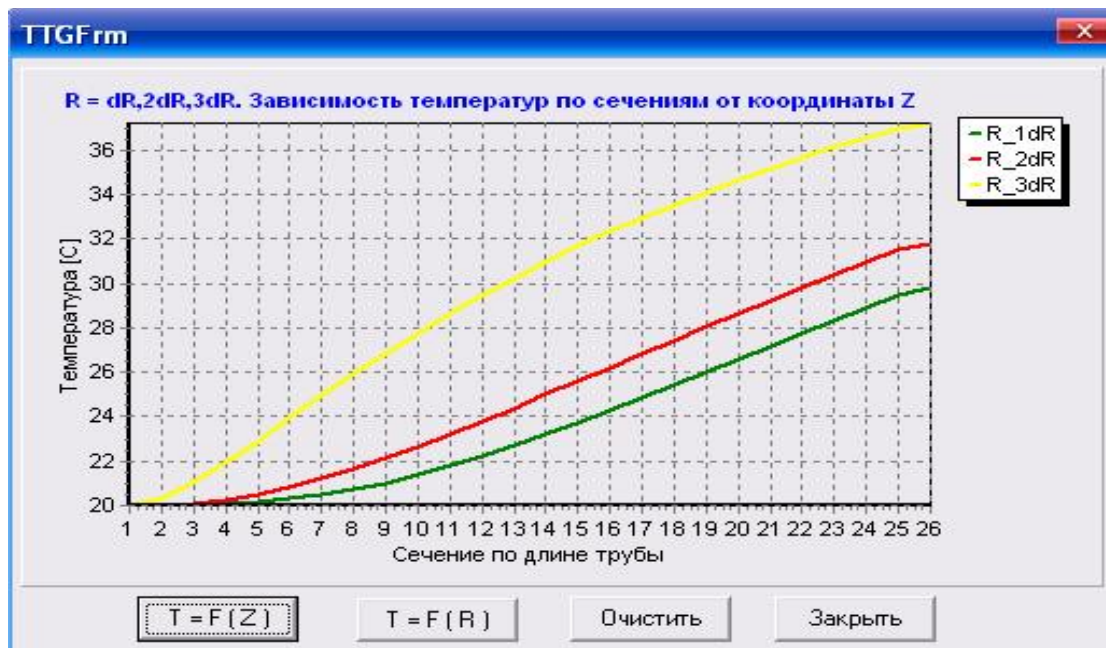


Рис. 4. Зависимость температур жидкости по длине трубы

В каждом сечении по длине трубы на рис. 4 приведены значения трех температур: на радиусе $R_1 = 1 \cdot dR$ (линия зеленого цвета), на радиусе $R_2 = 2 \cdot dR$ (линия красного цвета) и на радиусе $R_3 = 3 \cdot dR$ (линия желтого цвета).

Вывод

Рассмотрены компьютерные модели расчета теплопроводности в стержне постоянного сечения, изменения температуры жидкости по длине трубы и расчета двумерного температурного поля жидкости при течении в трубе.

Первые две компьютерные модели реализованы средствами электронной таблицы Excel, в которой проведены расчеты, позволившие получить значения изменения температуры по длине стержня и изменения температурного напора между жидкостью и стенкой по длине трубы.

Третья компьютерная модель разработана в среде Delphi и реализована в виде программы для ЭВМ, с помощью которой проведены компьютерные эксперименты по расчету двумерного температурного поля жидкости при течении в трубе. В результате расчетов, выполненных с использованием метода прогонки «поперек трубы», получены значения температур жидкости по длине трубы, причем в каждом сечении по длине трубы получены значения температур жидкости в пяти узловых точках.

Список источников

1. Теплотехника. Практический курс / Г.А. Круглов [и др.]. М.: Лань, 2017.
2. Дерюгин В.В., Васильев В.Ф., Уляшева В.М. Тепломассообмен. М.: Лань, 2018.
3. Логинов В.С., Юхнов В.Е. Практикум по основам теплотехники. М.: Лань, 2019.
4. Christian W. Technische Wärmelehre. Leipzig, 2014.
5. Eckert E., Drake R. Heat and Mass Transfer. London, 2015.
6. Technische Thermodynamik. Dresden: Verlag Theodor Steinkopf, 2015.
7. Jakob M. Heat Transfer. New York and London, 2016.
8. Christian W. Technische Wärmelehre. Leipzig, 2014.
9. Лабинский А.Ю. К вопросу разработки средств имитационного моделирования // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 3. С. 145–153.
10. Лабинский А.Ю. Компьютерное моделирование: монография. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2021.

References

1. Teplotekhnika. Prakticheskij kurs / G.A. Kruglov [i dr.]. M.: Lan', 2017.
2. Deryugin V.V., Vasil'ev V.F., Ulyasheva V.M. Teplomassoobmen. M.: Lan', 2018.
3. Loginov V.S., Yuhnov V.E. Praktikum po osnovam teplotekhniki. M.: Lan', 2019.
4. Christian W. Technische Wärmelehre. Leipzig, 2014.
5. Eckert E., Drake R. Heat and Mass Transfer. London, 2015.
6. Technische Thermodynamik. Dresden: Verlag Theodor Steinkopf, 2015.
7. Jakob M. Heat Transfer. New York and London, 2016.
8. Christian W. Technische Wärmelehre. Leipzig, 2014.
9. Labinskij A.Yu. K voprosu razrabotki sredstv imitacionnogo modelirovaniya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 3. S. 145–153.
10. Labinskij A.Yu. Komp'yuternoe modelirovanie: monografiya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2021.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 14.02.2023

Принята к публикации: 10.03.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 14.02.2023

Accepted for publication: 10.03.2023

Информация об авторах:

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

Information about the authors:

Labinsky Alexander Yu., associate 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), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: labynsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>

АВТОРАМ ЖУРНАЛА «ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ (ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)»

К публикации принимаются оригинальные исследовательские и обзорные аналитические статьи, отвечающие профилю журнала, представляющие результаты завершеного научного исследования, выполненного на актуальную тему, обладающие научной новизной, имеющие практическое значение и теоретическое обоснование, оформленные в соответствии с требованиями.

Статья не должна быть ранее опубликованной и не поданной для рассмотрения в другие журналы. Все статьи проходят проверку в системе «Антиплагиат».

Статьи **обучающихся магистратуры, курсантов и студентов** принимаются **только в соавторстве с научным руководителем**.

1. Материалы для публикации представляются в редакцию журнала лично или на электронную почту: pravobchs@igps.ru. Материал должен сопровождаться:

а) статья аспиранта (адъюнкта) или соискателя *отзывом научного руководителя*.

б) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

в) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов с целью их экспертной оценки. Статьи рецензируются в обязательном порядке членами редакционной коллегии журнала. Основная цель рецензирования – предоставить редакции аргументированную информацию для принятия решения об опубликовании материала.

2. Статьи, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь **объем от 8 до 15 страниц**. По согласованию с руководством журнала статьи могут быть приняты и большего объема.

3. Оригинальность статей должна быть не менее 70 %.

4. Текст статьи должен быть обязательно структурирован по разделам:

Введение

В разделе «Введение» проводится анализ состояния исследуемой проблемы по публикациям отечественных и зарубежных источников, на основании которого обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи исследования.

Методы исследования

В разделе описываются применяемые в работе методы исследования, приводятся сведения об объектах исследования, измерительном оборудовании, описываются условия экспериментов и т.д. Возможно указание ссылок на работы с более подробным изложением методов, однако приводимого описания должно быть достаточно для понимания хода исследования.

При использовании стандартных (или известных) методов и процедур лучше сделать ссылки на соответствующие источники, не забывая описать модификации стандартных методов, если таковые имелись. Если же используется собственный новый метод, описание которого нигде ранее не было опубликовано, важно привести все необходимые детали. Если ранее описание метода было опубликовано в известном журнале, можно ограничиться ссылкой.

Допускается и иное название раздела, обусловленное спецификой исследования и подготовленной на его основе статьи, например «Материалы и методы исследования», «Модели и методы исследования», «Теоретические основы и методы расчета».

Результаты исследования и их обсуждение

В разделе в логической последовательности излагаются результаты исследования, которые подтверждаются таблицами, графиками, рисунками. Здесь же проводится анализ и интерпретация полученных результатов, описываются выявленные закономерности, подтверждается достоверность результатов, проводится сопоставление собственных результатов с данными других исследователей.

Заключение

В разделе излагаются основные выводы, подводится итог проделанной работы, обосновывается научная новизна полученных результатов, приводятся научно обоснованные рекомендации по их использованию, определяются основные направления дальнейших исследований в данной области.

Заключение содержит главные идеи основного текста статьи, но не должно повторять формулировок, приведенных в предыдущих разделах.

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников** (из которых **не менее 30 % зарубежных**).

Для **ОБЗОРНЫХ аналитических статей** допускается иная структура статьи:

1. Введение.
2. Аналитическая часть.
3. Заключение.

В разделе «Аналитическая часть» должен быть представлен критический анализ и критическое обобщение актуальной исследовательской проблемы по отечественным и зарубежным научным источникам (**не менее 25 источников**, из которых **не менее 50 % зарубежных**) с оценкой их научной новизны и оригинальности. Результаты критического анализа и обобщения рекомендуется подтверждать сравнительными таблицами, графиками, рисунками. В статье также должны быть отражены дискуссионные (проблематичные) вопросы.

Допускается разбиение разделов «Методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Аналитическая часть» на несколько логически связанных подразделов.

5. Оформление текста:

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;
б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, **интервал 1,5**, без переносов, в одну колонку, **все поля по 2 см**, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны: тип статьи (научная, обзорная, редакционная, дискуссионная, рецензия и т.п.), УДК (универсальная десятичная классификация), **на русском и английском языках** название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); ФИО авторов полностью (**не более трех**); место работы (название учреждения), электронный адрес авторов (без слова e-mail), аннотация, ключевые слова.

Требования к аннотации. Аннотация должна быть краткой, информативной, содержать цель работы, методы исследования, основные положения и результаты исследования (излагаются основные результаты теоретических и/или экспериментальных исследований, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности), выводы с обоснованием научной новизны результатов. Аннотация может включать и другую информацию, уместную с точки зрения авторов, например, рекомендации по применению полученных результатов. Примерный объем аннотации **100–250 слов**.

6. Оформление формул в тексте:

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

7. Оформление рисунков и таблиц:

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в тексте или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);

в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;

г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;

д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

8. Оформление библиографии (списка источников):

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников**, для *обзорных* аналитических статей **не менее 25 источников**.

При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 30 % от общего количества ссылок, для обзорных аналитических статей не менее 50 % .

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Правила оформления списка литературы:

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

Примеры оформления списка источников:

Список источников

1. Кропачева А.В. О некоторых вопросах процедуры введения режима чрезвычайного положения в Российской Федерации // Вестник Университета им. О.Е. Кутафина (МГЮА). 2016. № 5. С. 196–201.

2. Малько А.В. Стимулы и ограничения в праве: теоретико-информационный аспект. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1994. 59 с.

3. Права человека: учеб. / отв. ред. Е.А. Лукашева. 3-е изд., перераб. М.: Норма: ИНФРА-М, 2015. С. 20.

4. Старостин С.А. Управление органами внутренних дел при чрезвычайных ситуациях (правовые и организационные аспекты): автореф. дис. ... д-ра юрид. наук. М.: Акад. управления МВД России, 2000. 33 с.

5. О внесении изменений в статьи 3.5 и 13.15 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях: Федер. закон от 5 апр. 2021 г. № 58-ФЗ. URL: www.pravo.gov.ru (дата обращения: 19.11.2021).

6. О пожарной безопасности: Федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1994. № 35. Ст. 3649.

7. Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах: постановление Правительства Рос. Федерации от 7 окт. 2020 г. № 1614. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

8. Об утверждении Правил тушения лесных пожаров: приказ Мин. природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 8 июля 2014 г. № 313 // Рос. газ. 2014. 15 авг. № 184(6456).

9. Семейкин С.А. Чрезвычайное положение: понятие и проблемы его совершенствования // Чрезвычайное законодательство и борьбы с терроризмом: сб. науч. статей. М.: Акад. управления МВД России, 2003. С. 48–49.

10. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12 дек. 1993 г.) // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: www.pravo.gov.ru (дата обращения: 04.07.2021).

9. Оформление раздела «Информация об авторах»

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона; ученую степень, ученое звание, почетное звание; адрес электронной почты; ORCID для каждого автора (<https://orcid.org/>).

Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.

Вниманию авторов: материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.

Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 614.8

МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО ПОЖАРА

✉ Иванов Сергей Петрович.

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

✉ spi78@mail.ru

Аннотация. 100–250 слов

Ключевые слова: 3–10 слов

Для цитирования: Иванов С.П. Метод оценки эффективности огнезащиты стальных конструкций на объектах нефтегазового комплекса в условиях открытого пожара // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 2 (42). С. 1–2. (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

METHOD FOR ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES ON OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX IN CONDITIONS OF OPEN FIRE

✉ Ivanov Sergey P.

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

✉ spi78@mail.ru

Abstract.

Keywords:

For citation: Ivanov S.P. Method for estimation of the efficiency of fire protection of steel structures on objects of oil and gas complex in conditions of open fire // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. № 2 (42). P. 1–2.

Введение

Текст, текст, текст

Методы исследования

Текст, текст, текст

Результаты исследования и их обсуждение

Текст, текст, текст

Заключение

Текст, текст, текст

Список источников (не менее 10 источников)

References

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 11.02.2022

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 11.02.2022

Информация об авторах:

Иванов Сергей Петрович, заместитель начальника научно-исследовательского института Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

Information about the authors:

Ivanov Sergey P., deputy head of the Research institute of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>



**МЧС РОССИИ
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

**Природные и техногенные риски
(физико-математические и прикладные аспекты)**

№ 1 (45)–2023

Выпускающий редактор
А.В. Домничева

Подписано в печать 30.03.2023. Формат 60×84_{1/8}
Усл.-печ. 15,75 л. Тираж 1000 экз. Зак. № 50

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149