УДК 519.862.6

С.И. Носков [1], Ю.А. Бычков [1]

[1] Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Аннотация. В статье приведена классификация чрезвычайных ситуаций, а также проанализированы статистические данные Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий за 2016-2019 гг. Рассмотрены основные задачи сотрудников аварийно-спасательной службы. Проанализированы научные работы по математическому моделированию: чрезвычайных ситуаций; размещения пожарно-спасательных депо в городах и сельской местности Российской Федерации на базе компьютерной имитационной системы «КОСМАС»; фронта пламени; построения оптимальной выборки огнетушителей; системы поддержки принятия решений при управлении пожаротушением. Выявлены закономерности развития и перспективные направления применения методов математического моделирования чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: безопасность, чрезвычайная ситуация, математическое моделирование, регрессионный анализ, вероятностный подход.

S.I. Noskov [1], Y.A. Bychkov [1]

[1] Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk, Russian Federation

APPLICATION OF METHODS OF MATHEMATICAL MODELING FOR ANALYSIS OF EMERGENCIES

Abstract. The article provides a classification of emergencies and analyzes the statistical data of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of the Consequences of Natural Disasters for 2016-2019. The main tasks and the primary goal of the employees of the emergency rescue service are considered. Literary sources on mathematical modeling are analyzed: emergency situations; placement of fire and rescue depots in cities and rural areas of the Russian Federation on the basis of the «KOSMAS» computer simulation system; flame front; building an optimal sample of fire extinguishers; decision support systems for fire extinguishing management. Regularities of development and perspective directions of application of methods of mathematical modeling are revealed.

Keywords: safety, emergency, mathematical modeling, regression analysis, probabilistic approach.

Введение. Термин «безопасность» многогранен, существует большое количество его определений. В широком смысле безопасность – состояние защищённости жизненно важных интересов личности, общества, государства от внутренних и внешних угроз, либо способность предмета, явления или процесса сохраняться при разрушающих воздействиях [1]. В соответствии с [2] безопасность – состояние защищенности прав граждан, природных объектов, окружающей среды и материальных ценностей от последствий несчастных случаев, аварий и катастроф на промышленных объектах.

Опираясь на [1,2], видимо, следует полагать, что безопасность необходимо рассматривать как непрерывный многофакторный процесс, для изучения которого можно эффективно использовать методы математического моделирования, поскольку они получили широкое распространение и признание в научном сообществе как инструмент анализа сложных процессов и систем различной природы. Мощным средством такого анализа является анализ данных, который основывается на методах современной прикладной статистики. Обязательным условием для эффективного применения такого подхода к моделированию процессов и объектов сложной структуры является формализованное описание процесса или объекта в прошлом с использованием статистической и (или) экспериментально полученной информации. Процесс прогнозирования изучаемых факторов

будет заключаться в варьировании значений входных переменных в рамках предполагаемых сценариев с последующим расчетом значений выходных переменных модели.

Классификация чрезвычайных ситуаций. Чрезвычайная ситуация (ЧС) — это обстановка на определённой территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [3].

Классификация чрезвычайных ситуаций может быть описана следующим образом.

а). По характеру источников возникновения:

- природные – возникают в результате проявления стихийных сил природы (землетрясения, цунами, сели, извержения и т.п.);
- техногенные – происхождение связано с техническими объектами (взрывы, пожары, аварии с выбросом экологически опасных веществ, обрушение зданий, транспортные катастрофы, и т.п.);
- экологические – связаны с аномальным изменением состояния природы (загрязнение биосферы, разрушение озонового слоя, кислотные дожди и т.п.);
- биолого-социальные – возникающие в результате действия событий, происходящих в обществе (конфликты между государствами, терроризм, насилие и т.п.), а также эпидемии, эпизоотии, эпифитотии.

б). По сфере возникновения:

- террористического характера;
- гуманитарного характера;
- природного характера;
- техногенного характера.

в). По масштабу и размеру ущерба. В основе классификации ЧС по масштабу и размеру ущерба лежат величина территории, на которой распространяется ЧС, число пострадавших и размер ущерба. По масштабу и размеру ущерба чрезвычайные ситуации могут быть классифицированы в соответствии с таблицей 1 [4].

Таблица 1.

Классификация ЧС по масштабу и размерам ущерба

Класс (уровень)	Кол-во пострадавших	Размер материального ущерба	Граница действия поражающих факторов
Локальные	не более 10 человек	не более 240 тысяч рублей	не выходит за пределы территории объекта
Муниципальные	не более 50 человек	не более 12 миллионов рублей	не выходит за пределы территории одного поселения или внутригородской территории города федерального значения
Межмуниципальные	не более 50 человек	не более 12 миллионов рублей	затрагивает территорию двух и более поселений, внутригородских территорий города федерального значения или межселенную территорию
Региональные	свыше 50 человек, но не более 500 человек	свыше 12 миллионов рублей, но не более 1,2 миллиардов рублей	не выходит за пределы территории одного субъекта Российской Федерации
Межрегиональные	свыше 50 человек, но не более 500 человек	свыше 12 миллионов рублей, но не более 1,2 миллиардов рублей	затрагивает территорию двух и более субъектов Российской Федерации
Федеральные	свыше 500 человек	свыше 1,2 миллиардов рублей	Территория РФ

Опираясь на статистические данные [5], можно сделать вывод, что наиболее распространёнными чрезвычайными ситуациями в России являются техногенные. На рис. 1 отображены статистические данные по количеству чрезвычайных ситуаций в России за 2018-2019 гг.

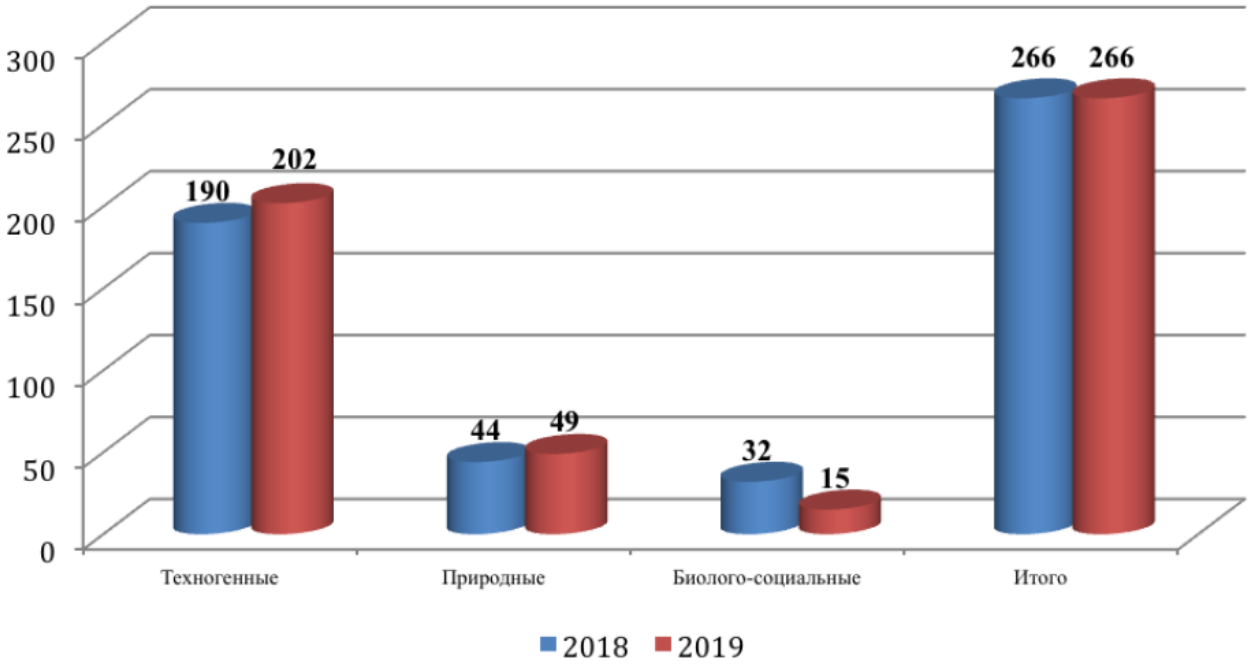

Рис. 1. Количество чрезвычайных ситуаций на территории Российской Федерации 2018-2019 гг.

Из рис. 1 следует, что количество ЧС техногенного характера составляет более 70% от всех ЧС в России (71,4% для 2018 г. и 75,9% для 2019 г.).

Обращаясь к статистическим данным субъектов Российской Федерации, можно также проследить тенденцию к превалирующему количеству ЧС техногенного характера. В соответствии с данными МЧС России за последние четыре года на территории Иркутской области произошло 26 чрезвычайных ситуаций (рис. 2) из которых 22 относятся к техногенным, что составляет 84,6%.

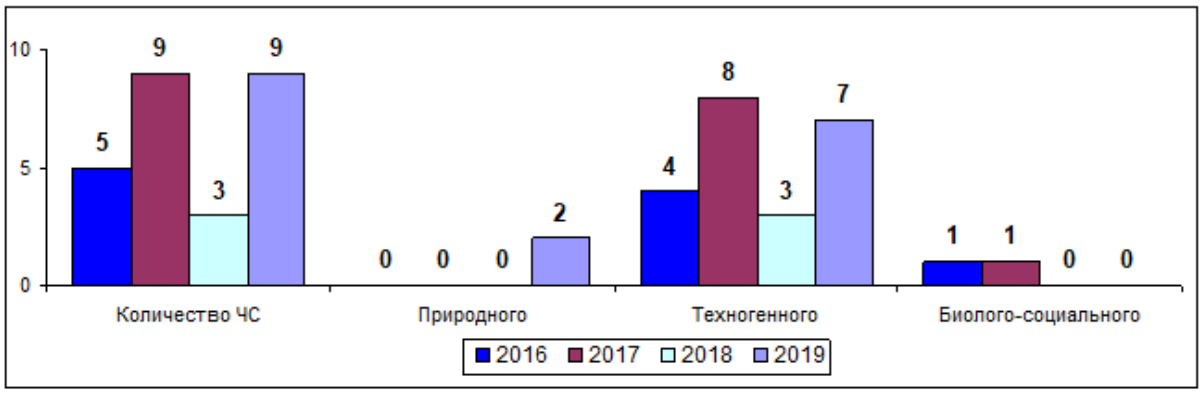

Рис. 2. Количество чрезвычайных ситуаций на территории Иркутской области за 2016-2019 гг.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать однозначный вывод о том, что чрезвычайные ситуации техногенного характера превалируют на территории Российской Федерации. Иркутская область не является исключением из этого правила.

Целесообразно рассмотреть основные задачи сотрудников МЧС России при аварийно-спасательных работах на месте возникновения техногенных ЧС:

- поиск пострадавших;
- определение масштабов, степени и характера повреждений зданий и сооружений;

- определение мест аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях, угрожающих жизни пострадавших и затрудняющих проведение спасательных работ;
- отключение поврежденных участков магистральных и разводных коммунально-энергетических и технологических сетей;
- расчистка магистральных маршрутов движения;
- расчистка подъездных путей к объекту ведения работ;
- расчистка площадок для расстановки техники на объекте ведения работ;
- обрушение (укрепление) строительных конструкций зданий и сооружений, угрожающих обвалом или затрудняющих проведение спасательных работ;
- фиксация завалов от смещения;
- высвобождение пострадавших (погибших) из-под завалов;
- оказание пострадавшим первой медицинской помощи и врачебной помощи на месте;
- эвакуация пострадавших в стационарные лечебные учреждения;
- оборудование мест для свалки строительного мусора;
- регистрация погибших (или их захоронение).

Основная задача сотрудников аварийно-спасательной службы заключается в спасении гражданского населения при возникновении ЧС. Для её выполнения приходится принимать управленческие решения, позволяющие быстро и качественно выполнить поставленные задачи с учетом временной ограниченности. Общепризнанным средством повышения эффективности деятельности аварийно-спасательных служб является применение методов математического моделирования.

Подходы к моделированию при анализе и прогнозировании чрезвычайных ситуаций. Существует несколько подходов к математическому моделированию чрезвычайных ситуаций, основными из которых следует, видимо, считать:

- вероятностный подход;
- подход, основанный на методах анализа данных.

В рамках вероятностного подхода следует обратить внимание на работы [6-11]. В них авторы рассматривают процесс построения и применения соответствующих математических моделей для анализа чрезвычайных ситуаций.

Так, в работе [6] авторы применяют достаточно простую математическую модель вероятностного типа для эффективного анализа сложных процессов и управления ими. В статье [7] рассматриваются и анализируются этапы моделирования чрезвычайных ситуаций различного происхождения и характера. В результате авторы предлагают схему построения математической модели ЧС.

В работе [8] представлен анализ задач аварийно-спасательных служб при ликвидации очага поражения; приведён обзор состояния и перспектив развития современных систем оперативно-диспетчерского управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее – РСЧС); разработаны логико-лингвистические и графовые модели сложных чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; построены математические модели, позволяющие оценить степень выполнения плана намеченных мероприятий на текущий момент времени; определены мероприятия, препятствующие успешному осуществлению разработанного плана и оценена возможность выполнения плана при различных условиях, характеризующих неконтролируемые воздействия окружающей среды; предложены математические модели для определения ущерба от чрезвычайной ситуации; разработан алгоритм решения задачи методом динамического программирования.

В [9] авторами разработаны информационные ресурсы (далее – ИР) поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде, построенные с учетом теоретических основ управления рисками реализации деструктивного события, состоящего в нехватке ресурсов в баллоне дыхательного аппарата. ИР поддержки управления безопасностью позволяют использовать в качестве исходных данных как сохранённые

результаты мониторинга показателей безопасности, так и результаты, полученные в режиме реального времени при выполнении работ в непригодной для дыхания среде (далее – НДС) от телеметрических систем. Достоинством ИР является возможность получения, сохранения и цифровой обработки данных, относящихся к определенному виду работы, что в дальнейшем позволит синтезировать большой объем данных в единую информационно-управляющую систему безопасной работы газодымозащитников.

В [10] авторы моделируют распространение пламени по горизонтальной поверхности полиметилметакрилат с помощью двумерной сопряженной ламинарной модели горения, учитывающей одностадийные реакции в газовой и конденсированной фазах. Авторы для моделирования распространения пламени по вертикальной поверхности полиметилметакрилат используют экономичную модель в программном пакете FDS. Следует отметить, что разработанная авторами модель качественно описывает такие параметры, как массовая скорость горения, скорость распространения пламени, а также распределение температуры и концентраций веществ вблизи фронта пламени.

В работе [11] показано, что фактическая огнетушащая способность порошковых огнетушителей в ряде случаев не соответствует заявленным показателям, что обусловливается несовершенством сертификационных испытаний. Обоснована необходимость увеличения количества огнетушителей, требуемого для огневых испытаний. На основании этого предложена математическая модель определения рационального объема выборки при проведении огневых испытаний методом последовательного анализа. Существенным достоинством предложенной математической модели является возможность изменения объема выборки огнетушителей в процессе проведения испытаний.

Интерес вызывают работы [12-14], описывающие возможности применения информационных технологий для всестороннего анализа, изучения и построения математических моделей.

Так в [12] описана история создания, дана общая характеристика и приведены функциональные возможности компьютерной имитационной системы (КИС) «КОСМАС». По мнению авторов, основная задача системы заключается в ответе на вопросы следующего типа: «Что произойдет в городе, если: закрыть часть депо (станций) или, наоборот, построить несколько новых депо; изменить границы районов обслуживания; убрать (или добавить) несколько оперативных подразделений (на автоцистернах, машинах скорой помощи и др.); изменить численность и график дежурства персонала?» или «Смогут ли подразделения вовремя прибыть к городскому объекту в нужном количестве и за определенное время?» и на многие другие подобные вопросы. Также в работе приведён обзор случаев применения системы для решения ряда задач:

- анализа работы аварийно-спасательных служб на территории крупных агломераций;
- экспертизы проектных, организационных и управленческих решений, связанных с деятельностью этих служб.

Дальнейшее развитие и практическое применение система «КОСМАС» находит в работах [13-14]. Так, в [13] рассматривается своевременность прибытия пожарно-спасательных подразделений (далее – ПСП) к месту чрезвычайной ситуации. Для этого производится адаптация компьютерной имитационной системы «КОСМАС» к реальным условиям функционирования пожарно-спасательного гарнизона. Модернизация КИС «КОСМАС» была осуществлена посредством разработки имитационной модели процесса функционирования ПСП исследуемого объекта в рамках общей модели функционирования пожарно-спасательного гарнизона города. Адаптация системы, проведенная в рамках данной работы, позволила повысить точность результатов работы КИС «КОСМАС».

Также заслуживает внимания алгоритм оценки возможностей пожарно-спасательного гарнизона по оперативному реагированию на чрезвычайные ситуации, предложенный в [13]. Особенностью такого алгоритма является возможность проводить оценку оперативной деятельности подразделений любого пожарно-спасательного гарнизона при его участии в

ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, а также разрабатывать большой спектр вариантов совершенствования этой работы.

В [14] проведена адаптация компьютерной имитационной системы «КОСМАС», а также разработаны дополнительные моделирующие алгоритмы к ней. В частности, проверена адекватность адаптированной системы «КОСМАС» на реальных данных. Погрешность моделирования по основным статистическим распределениям не превысила 3-5 %. С помощью методов имитационного моделирования определены места наилучшей возможной дислокации подразделений пожарно-спасательного гарнизонов на территории населенных пунктов.

Возможности применения математического моделирования для оценки рисков и прогнозирования развития чрезвычайных ситуаций достаточно полно описаны в работах [15-19]. В них приводятся и анализируются статистические данные, выявляются вероятностно-статистические закономерности возникновения пожаров или чрезвычайных ситуаций. Перспективными выглядят возможности применения методов математического моделирования для построения информационных систем мониторинга, поскольку позволяют решить ряд проблем, обусловленных большой размерностью задач и необходимостью учета множества факторов, присущих сложным системам и влияющих на качество принимаемых управленческих решений [19].

В статье [15] рассматриваются возможности применения системы поддержки принятия решений при управление пожаротушением. Данная система позволяет снизить материальный ущерб, количество погибших и пострадавших. Авторы выбрали класс математических моделей поддержки принятия решений, называемых играми с природой. На базе данной модели проведен имитационный эксперимент, который подтвердил работоспособность предложенной технологии поддержки принятия решений в кризисных ситуациях.

В [16] рассмотрены критерии различных стран по отнесению пожаров к различным категориям. При этом выделяются следующие категории пожаров: крупные, особо крупные, катастрофические. Авторы приводят статистические данные за период 1990 – 2002 гг. и анализируют причины возникновения пожаров. Особую ценность представляет предлагаемая вероятностно-статистическая закономерность возникновения и развития пожаров. Данная закономерность, по мнению авторов, позволяет по-новому изучить эти процессы, а также модернизировать существующие и разработать новые меры борьбы с пожарами.

В работе [17] проводится анализ пожарной обстановки, а также изучается оценка пожарных рисков в муниципальных образованиях Калужской области. Методологической основой исследования является здесь теория интегральных пожарных рисков. Авторы выделяют 5 наиболее важных пожарных рисков: риск для человека оказаться в условиях пожара; риск для человека погибнуть при пожаре; риск для человека погибнуть от пожара; риск уничтожения строений при пожаре; риск прямого материального ущерба от пожара.

В [18] проводится глубокое исследование по оценке эффективности и безопасности сложных технических систем. Наибольший интерес, по мнению авторов, вызывают аспекты, связанные с моделированием и исследованием связей между надежностью, устойчивостью и безопасностью сложных технических систем, а также разработанные методологические принципы оценки их безопасности.

В [19] всесторонне изучаются принципы математического моделирования информационных систем мониторинга сложных технических объектов с целью обеспечения их безопасной эксплуатации. Автор предлагает использовать совокупность арсенала математических моделей в зависимости от уровня иерархии и степени декомпозиции системы.

Можно сделать вывод, что вероятностный подход эффективно используется в значительном количестве научных работ по математическому моделированию чрезвычайных ситуаций.

Альтернативным подходом к математического моделированию ЧС является подход, основанный на методах анализа данных, главным образом регрессионный анализ, так как он позволяет получить высококачественные модели с относительно небольшими временными затратами.

Подход к математическому моделированию обстановки с пожарами на региональном уровне, связанный с применением методов анализа данных, описан в работах [20-25]. При этом строились системы взаимосвязанных уравнений, объединяющих частные характеристики деятельности пожарных подразделений с прямыми и опосредованными последствиями пожаров.

Исследование деятельности региональных служб МЧС по предотвращению на территориях чрезвычайных ситуаций и снижению их негативных последствий с применением регрессионного анализа предполагает широкое применение методов идентификации параметром моделей. При этом могут быть эффективно применены подходы, представленные, в частности, в работах [26-33]. Представляется перспективным также использование нового класса регрессионных моделей – так называемых полносвязных моделей [34-40].

Заключение. В рамках данной статьи были рассмотрены как теоретические, так и прикладные аспекты применения методов математического моделирования для анализа чрезвычайных ситуаций. Проанализированы работы по возможности применения современных информационных технологий для построения математических моделей различной сложности и моделирования природных процессов, связанных с чрезвычайными ситуациями.

Анализ этих работ позволяет сделать вывод, что в данный момент наибольшее распространение получил вероятностный подход. Применение его математического аппарата позволяет решать широкий спектр насущных проблем и актуальных задач математического моделирования ЧС.

Подход, основанный на методах анализа данных, в частности регрессионный анализ, в меньшей степени применяется для решения задач математического моделирования ЧС. Достоинством регрессионного анализа является решение математических задач с высокой точностью и минимальными временными затратами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасность // Гражданская защита: Энциклопедия в 4 томах. Т. IV (Т – Я) (издание третье, переработанное и дополненное); под общей ред. В.А. Пучкова / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. 496 с. илл.

2. ГОСТ Р 12.3.047-2012 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. N 1971-ст. Дата введения 2014-01-01. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200103505 (дата обращения: 08.03.2021). – Текст: электронный.

3. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями на 8 декабря 2020 года): Федеральный закон № 68-ФЗ: [принят Государственной Думой 11 ноября 1994 года]. – Москва, Кремль, официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 08.12.2020, N 000120201208009;

4. О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями на 20 декабря 2019 года): Постановление Правительства Российской Федерации: [принят Государственной Думой от 21 мая 2007года] – Москва, Кремль, Российская газета, N 110, 25.05.2010.

5. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2019 г.: государственный доклад. – М.: МЧС России; ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2020. – 259 с.

6. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Об одной математической модели анализа и управления сложными процессами // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2013. № 3. С. 45-47.

7. Латкин М. А., Степанова М. Н., Васюткина Д. И. Этапы создания математической модели чрезвычайной ситуации // Инновационная наука. 2015. №10. С. 26-29.

8. Математические модели и алгоритмы для автоматизированного управления процессами ликвидации чрезвычайных ситуаций: дис. ... кандидата физико-математических наук: 05.13.01 / Ин-т проблем точ. механики и управ. РАН. Саратов. 2006. С 168.

9. Гринченко Б. Б., Топольский Н. Г., Тараканов Д. В. Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде // Пожаровзрывобезопасность. 2019. №28 (5). С. 51-58.

10. Коробейничев О. П., Герасимов И. Е., Гончикжапов М. Б., Терещенко А. Г., Глазнев Р. К., Трубачев С. А., Шмаков А. Г., Палецкий А. А., Карпов А. И., Шаклеин А. А., Кумар А., Рагхаван В. Экспериментальное исследование и численное моделирование распространения пламени по поверхности пластины ПММА // Пожаровзрывобезопасность. 2019. № 28 (4). С. 15-28.

11. Кожевин Д. Ф., Сорокин И. А., Поляков А. С. О рациональном объеме выборки огнетушителей для проведения сертификационных испытаний на огнетушащую способность // Пожаровзрывобезопасность 2016. № 25 (8). С. 68-74.

12. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Алехин Е. М., Коломиец Ю. И., Вагнер П. Опыт применения компьютерных имитационных систем моделирования деятельности экстренных служб // Пожаровзрывобезопасность. 2016. № 25 (8). С. 6-16.

13. Захаров И. А. Информационно-аналитическая поддержка управления пожарно-спасательными подразделениями при реагировании на крупные пожары: дис. ... кандидата технических наук: 05.13.10 / Акад. гос. противопожарной службы МЧС России. М., 2018. С 129.

14. Белов В. А. Проектирование гарнизонов пожарной охраны на основе технологий имитационного моделирования: дис. ... кандидата технических наук: 05.13.10 / Академия ГПС МЧС России. М., 2010. С 149.

15. Вилисов В. Я. Моделирование уровня риска решений, принимаемых при управлении ликвидацией пожаров // Пожаровзрывобезопасность 2019. № 28 (3) С. 36-49.

16. Брушлинский Н. Н., Клепко Е. А., Соколов С. В. Риски крупных пожаров: динамика и прогнозирование // Пожаровзрывобезопасность. 2005. № 14 (4). С. 76-83.

17. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Клепко Е. А., Попков С. Ю. Оценка пожарных рисков в муниципальных образованиях калужской области // Технологии техносферной безопасности. 2011. № 2 (36). С. 7.

18. Нгуен Куанг Тхыонг Методы и модели надежности, эффективности и безопасности сложных технических систем в конфликтных ситуациях: автореферат дис. ... доктора технических наук: 05.13.16 / Тверской гос. университет. Тверь. 1999. С. 34.

19. Калинина Е. С. Вопросы математического моделирования в задачах безопасности сложных технических систем // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 4 (24). С. 12-16.

20. Носков С. И., Удилов В. П. Управление системой обеспечения пожарной безопасности на региональном уровне. Иркутск, 2003.

21. Носков С. И. Приложение математических моделей к анализу эколого-экономических систем Новосибирск, 1988.

22. Носков С. И., Подушко В. Г., Удилов В. П. Газификация сельской местности: целевое программирование пожарной безопасности. Тюмень, 1999.

23. Носков С. И., Удилов В. П., Филипушков С. В., Потороченко Н. А. Проблемы математического моделирования в пожарной охране // Проблемы борьбы с преступностью в современных условиях. Мат-лы Межд. научно-практической конф.- Иркутск. 1995. т.4.

24. Носков С. И., Удилов В. П, Сиянов А. А., Филипушков С. В. Оценка пожарной опасности и безопасности административно- территориальных единиц // Проблемы борьбы с преступностью в современных условиях. Мат-лы Межд. научно-практической конф. Иркутск. 1995. т.4.

25. Носков С. И., Удилов В. П., Потороченко Н. А. Исследование динамики гибели людей на пожарах в России математическими методами // Проблемы борьбы с преступностью в современных условиях. Мат-лы Межд. научно-практической конф.- Иркутск.- 1995.- т.4.

26. Носков С. И. Технология моделирования объектов с нестабильным функционированием и неопределенностью в данных. Иркутск, 1996.

27. Носков С. И., Баенхаева А. В. Множественное оценивание параметров линейного регрессионого уравнения. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 133-138.

28. Головченко В. Б., Носков С. И. Оценивание параметров эконометрической модели по статистической и экспертной информации // Автоматика и телемеханика. 1991. №4. С.123-132.

29. Носков С. И., Врублевский И. П. Регрессионная модель динамики эксплуатационных показателей функционирования железнодорожного транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 2 (50). С. 192-197.

30. Lakeyev A. V., Noskov S. I. A description of the set of solutions of a linear equation with interval defined operator and right-hand side // Doklady Mathematics. 1993. Т. 47. № 3. С. 518.

31. Базилевский М.П., Носков С.И. Алгоритм формирования множества регрессионных моделей с помощью преобразования зависимой переменной // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. № 3. С. 159-160.

32. Базилевский М.П., Носков С.И. Алгоритм построения линейно-мультипликативной регрессии // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 1 (29). С. 88-92.

33. Носков С. И., Протопопов В. А. Оценка уровня уязвимости объектов транспортной инфраструктуры: формализованный подход // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 4 (32). С. 241-244.

34. Базилевский М. П. Синтез модели парной линейной регрессии и простейшей EIV-модели // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. №1 (24). С. 170-182.

35. Базилевский М. П. Исследование двухфакторной модели полносвязной линейной регрессии // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. №2 (25). С. 80-96.

36. Базилевский М. П. Сведение задачи отбора информативных регрессоров при оценивании линейной регрессионной модели по методу наименьших квадратов к задаче частично-булевого линейного программирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. №1 (20). С. 108-117.

37. Базилевский М. П. Оценивание параметров простейшей модели полносвязной линейной регрессии // Достижения и приложения современной информатики, математики и физики: материалы VII Всероссийской научно-практической заочной конференции. 2018. С. 179-184.

38. Базилевский М. П. Отбор информативных регрессоров с учетом мультиколлинеарности между ними в регрессионных моделях как задача частично-булевого линейного программирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. №2 (21). С. 104-118.

39. Базилевский М. П. Отбор оптимального числа информативных регрессоров по скорректированному коэффициенту детерминации в регрессионных моделях как задача

частично целочисленного линейного программирования // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. №2. С. 41-54.

40. Базилевский М. П. Многокритериальный подход к построению двухфакторных полносвязных регрессий на примере моделирования ВВП России // Вестник воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии. 2020. №1. С. 99-109.

REFERENCES

1. Security // Civil protection: Encyclopedia in 4 volumes. T. IV (T - I) (third edition, revised and enlarged); under the general ed. V.A. Puchkova / EMERCOM of Russia. Moscow: FGBU VNII GOChS (FC), 2015.496 p. ill.

2. GOST R 12.3.047-2012 Occupational Safety Standards System (SSBT). Fire safety of technological processes. General requirements. Control methods. Approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of December 27, 2012 N 1971-st. Date of introduction 2014-01-01. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200103505 (date of access: 03/08/2021). - Text: electronic.

3. On the protection of the population and territories from natural and man-made emergencies (as amended on December 8, 2020): Federal Law No. 68-FZ: [adopted by the State Duma on November 11, 1994]. - Moscow, the Kremlin, the official Internet portal of legal information www.pravo.gov.ru, 08.12.2020, N 000120201208009;

4. On the classification of natural and man-made emergencies (as amended on December 20, 2019): Resolution of the Government of the Russian Federation: [adopted by the State Duma on May 21, 2007] - Moscow, Kremlin, Rossiyskaya Gazeta, N 110, 25.05.2010.

5. On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2019: state report. - M.: EMERCOM of Russia; FGBU VNII GOChS (FC), 2020 .-- 259 p.6. Brushlinskiy NN, Sokolov SV About one mathematical model of analysis and management of complex processes // Fire and emergency situations: prevention, elimination. 2013. No. 3. S. 45-47.

7. Latkin MA, Stepanova MN, Vasyutkina DI Stages of creating a mathematical model of an emergency situation // Innovative Science. 2015. No. 10. S. 26-29.

8. Mathematical models and algorithms for automated control of emergency response processes: dis. ... Candidate of physical and mathematical sciences: 05.13.01 / Institute of problems toch. mechanics and controls. RAS. Saratov. 2006.C 168.

9. Grinchenko BB, Topolskiy NG, Tarakanov DV Information resources for support of safety management of work in an environment unsuitable for breathing // Pozharovzryvobezopasnost. 2019. No. 28 (5). S. 51-58.

10. Korobeinichev O. P., Gerasimov I. E., Gonchikzhapov M. B., Tereshchenko A. G., Glaznev R. K., Trubachev S. A., Shmakov A. G., Paletsky A. A., Karpov A.I., Shaklein A.A., Kumar A., Raghavan V. Experimental study and numerical modeling of flame propagation over the surface of the PMMA plate // Pozharovzryvobezopasnost. 2019. No. 28 (4). S. 15-28.

11. Kozhevin DF, Sorokin IA, Polyakov AS About the rational sample size of fire extinguishers for certification tests for fire extinguishing ability // Pozharovzryvobezopasnost 2016. No. 25 (8). S. 68-74.

12. Brushlinskiy NN, Sokolov SV, Alekhin EM, Kolomiets Yu. I., Wagner P. Experience in the use of computer simulation systems for modeling the activities of emergency services // Pozharovzryvobezopasnost. 2016. No. 25 (8). S. 6-16.

13. Zakharov IA Information and analytical support for the management of fire and rescue units in response to large fires: dis. ... candidate of technical sciences: 05.13.10 / Acad. state fire service EMERCOM of Russia. M., 2018.P 129.

14. Belov VA Designing of garrisons of fire protection on the basis of simulation modeling technologies: dis. ... candidate of technical sciences: 05.13.10 / Academy of State Fire Service EMERCOM of Russia. M., 2010.S. 149.

15. Vilisov V. Ya. Modeling the level of risk of decisions made in the management of fire extinguishing // Fire and explosion safety 2019. No. 28 (3) P. 36-49.

16. Brushlinskiy NN, Klepko EA, Sokolov SV Risks of large fires: dynamics and forecasting // Pozharovzryvobezopasnost. 2005. No. 14 (4). S. 76-83.

17. Brushlinsky NN, Sokolov SV, Klepko EA, Popkov S. Yu. Assessment of fire risks in municipalities of the Kaluga region // Technologies of technosphere safety. 2011. No. 2 (36). P. 7.

18. Nguyen Quang Thuong Methods and models of reliability, efficiency and safety of complex technical systems in conflict situations: abstract of dis. ... Doctors of technical sciences: 05.13.16 / Tver state. university. Tver. 1999.S. 34.

19. Kalinina ES Questions of mathematical modeling in problems of safety of complex technical systems // Natural and technogenic risks (physical, mathematical and applied aspects). 2017. No. 4 (24). S. 12-16.

20. Noskov SI, Udilov VP Management of the fire safety system at the regional level. Irkutsk, 2003.

21. Noskov SI Application of mathematical models to the analysis of ecological and economic systems Novosibirsk, 1988.

22. Noskov S. I., Podushko V. G., Udilov V. P. Gasification of rural areas: targeted programming of fire safety. Tyumen, 1999.

23. Noskov S. I., Udilov V. P., Filipushkov S. V., Potorochenko N. A. Problems of mathematical modeling in fire protection // Problems of combating crime in modern conditions. Materials Int. scientific and practical conference - Irkutsk. 1995.v.4.

24. Noskov S. I., Udilov V. P, Siyanov A. A., Filipushkov S. V. Assessment of fire hazard and safety of administrative-territorial units // Problems of combating crime in modern conditions. Materials Int. scientific and practical conf. Irkutsk. 1995.v.4.

25. Noskov S. I., Udilov V. P., Potorochenko N. A. Research of the dynamics of the death of people on fires in Russia by mathematical methods // Problems of combating crime in modern conditions. Materials Int. scientific and practical conference - Irkutsk. - 1995. - v. 4.

26. Noskov SI Technology of modeling objects with unstable functioning and uncertainty in data. Irkutsk, 1996.

27. Noskov SI, Baenkhaeva AV Multiple estimation of parameters of a linear regression equation. // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2016. No. 3 (51). S. 133-138.

28. Golovchenko VB, Noskov SI Estimation of the parameters of an econometric model based on statistical and expert information // Automation and Telemechanics. 1991. No. 4. S.123-132.

29. Noskov SI, Vrublevsky IP Regression model of the dynamics of operational indicators of the functioning of railway transport // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2016. No. 2 (50). S. 192-197.

30. Lakeyev A. V., Noskov S. I. A description of the set of solutions of a linear equation with interval defined operator and right-hand side // Doklady Mathematics. 1993. T. 47. No. 3. S. 518.

31. Bazilevsky M. P., Noskov S. I. Algorithm for the formation of a set of regression models using the transformation of the dependent variable // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2011. No. 3. S. 159-160.

32. Bazilevsky M. P., Noskov S. I. Algorithm for constructing linear multiplicative regression // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2011. No. 1 (29). S. 88-92.

33. Noskov SI, Protopopov VA Assessment of the level of vulnerability of transport infrastructure: a formalized approach // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2011. No. 4 (32). S. 241-244.

34. Bazilevsky MP Synthesis of a pair linear regression model and the simplest EIV-model // Modeling, optimization and information technologies. 2019. No. 1 (24). S. 170-182.

35. Bazilevsky MP Research of a two-factor model of fully connected linear regression // Modeling, optimization and information technologies. 2019. No. 2 (25). S. 80-96.

36. Bazilevsky MP Reduction of the problem of selection of informative regressors in the estimation of a linear regression model by the method of least squares to a problem of partial-Boolean linear programming // Modeling, optimization and information technologies. 2018. No. 1 (20). S. 108-117.

37. Bazilevsky MP Estimation of the parameters of the simplest model of fully connected linear regression // Achievements and applications of modern informatics, mathematics and physics: materials of the VII All-Russian scientific and practical correspondence conference. 2018.S. 179-184.

38. Bazilevsky MP Selection of informative regressors taking into account the multicollinearity between them in regression models as a partial Boolean linear programming problem // Modeling, optimization and information technologies. 2018. No. 2 (21). S. 104-118.

39. Bazilevsky MP Selection of the optimal number of informative regressors by the adjusted coefficient of determination in regression models as a problem of partially integer linear programming // Applied Mathematics and Control Issues. 2020. No. 2. S. 41-54.

40. Bazilevsky MP Multicriteria approach to the construction of two-factor fully connected regressions on the example of modeling Russia's GDP // Bulletin of Voronezh State University. Series: systems analysis and information technology. 2020. No. 1. S. 99-109.

Информация об авторах

Сергей Иванович Носков – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: noskov_s@irgups.ru

Бычков Юрий Александрович – аспирант кафедры «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: bychkov_ya@internet.ru.

Information about authors

Sergey Ivanovich Noskov – Doctor of Technical Science, Professor, the Subdepartment Information systems and information security, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: noskov_s@irgups.ru

Bychkov Yuri Aleksandrovich - postgraduate student of the department Information Systems and Information Protection, Irkutsk State University of Railways, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: bychkov_ya@internet.ru.

Для цитирования

Носков С.И., Бычков Ю.А. Применение методов математического моделирования для анализа чрезвычайных ситуаций // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2021. – №2 (10). – С. 13-24 – DOI: 10.26731/2658-3704.2021.2(10).13-24 – Режим доступа: http://ismm-irgups.ru/toma/210-2021, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 29.04.2021)

For citations

Noskov S.I., Bychkov Y.A. Application of methods of mathematical modeling for the analysis of emergency situations // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2021. No. 2. P.13-24. DOI: 10.26731/2658-3704.2021.2(10).13-24 [Accessed 29/04/21]