

Том 15, 2018, № 1
Vol. 15, 2018, No. 1

ISSN: 1812-5220

Научно-практический журнал

Проблемы анализа риска

Scientific and Practical Journal

Issues of Risk Analysis

Главная тема номера:

Природная и техногенная безопасность

Volume Headline:

Natural and technogenic safety



Официальное издание Экспертного совета МЧС России и Российского научного общества анализа риска
Official Edition of the Expert Council of EMERCOM of Russia and Russian Scientific Society for Risk Analysis

Том 15, 2018, № 1
Vol. 15, 2018, No.1

ISSN: 1812-5220

Научно-практический журнал

Проблемы анализа риска

Scientific and Practical Journal

Issues of Risk Analysis



Общероссийская общественная организация
«Российское научное общество анализа риска»



ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт по проблемам гражданской обороны
и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (ФЦ)



Финансовый издательский дом
«Деловой экспресс»

Редакционный совет:

Воробьев Юрий Леонидович (председатель),

кандидат политических наук, заместитель Председателя Совета Федерации
Федерального Собрания Российской Федерации, председатель Экспертного совета МЧС России

Акимов Валерий Александрович (заместитель председателя),

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ,
главный научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (ФЦ),
заместитель председателя Экспертного совета МЧС России

Шарков Андрей Валентинович,

генеральный директор Акционерного общества «Финансовый издательский дом «Деловой экспресс»

Фалеев Михаил Иванович,

кандидат политических наук, начальник ФКУ «Центр стратегических исследований
гражданской защиты МЧС России»,
президент Российского научного общества анализа риска

Редакционная коллегия:

Быков Андрей Александрович (Главный редактор),

доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ,
вице-президент Российского научного общества анализа риска

Порфирьев Борис Николаевич (заместитель Главного редактора),

академик РАН, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией анализа и прогнозирования
природных и техногенных рисков экономики Института народнохозяйственного прогнозирования РАН

Аверченко Владимир Александрович,

кандидат экономических наук, профессор кафедры «Финансовая стратегия» Московской школы экономики
МГУ им. М. В. Ломоносова, председатель Совета директоров Инвестиционной Группы «Бизнес Центр»

Башкин Владимир Николаевич,

доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН

Елохин Андрей Николаевич,

доктор технических наук, член-корреспондент РАЕН, начальник отдела страхования ПАО «ЛУКОЙЛ»

Живетин Владимир Борисович,

доктор физико-математических наук, профессор, ректор Института проблем риска

Колесников Евгений Юрьевич,

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Поволжского государственного
технологического университета, Председатель Российского научного общества анализа риска в Республике Марий Эл

Кременюк Виктор Александрович,

доктор исторических наук, профессор, заместитель директора Института США и Канады РАН

Махутов Николай Андреевич,

член-корреспондент РАН, Председатель Рабочей группы при Президенте РАН по анализу риска
и проблем безопасности, главный научный сотрудник Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН

Мельников Александр Викторович,

доктор физико-математических наук, профессор, факультет математических
и статистических наук, Университет провинции Альберта, Эдмонтон, Канада

Ревич Борис Александрович,

доктор медицинских наук, руководитель лаборатории прогнозирования качества окружающей среды
и здоровья населения Института народнохозяйственного прогнозирования РАН

Родионова Марина Евгеньевна,

кандидат социологических наук, PhD, профессор Российской Академии Естествознания, доцент Департамента социологии,
заместитель директора по планированию и организации НИР Финансового университета при Правительстве Российской
Федерации

Соложенцев Евгений Дмитриевич,

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заведующий лабораторией интегрированных систем
автоматизированного проектирования Института проблем машиноведения РАН

Сорогин Алексей Анатольевич,

кандидат технических наук, директор по специальным проектам
Акционерного общества «Финансовый издательский дом «Деловой экспресс»

Сорокин Дмитрий Евгеньевич,

член-корреспондент РАН, доктор экономических наук, профессор,
первый заместитель директора Института экономики РАН

Сосунов Игорь Владимирович,

кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (ФЦ)

Табakov Валерий Алексеевич,

кандидат экономических наук, PhD и DBA в области делового администрирования, член Совета директоров, председатель
правления Инвестиционной Группы «Бизнес Центр», Президент Группы компаний ИКТ

Колонка редактора

- 4 Комплексная безопасность населения и территорий от чрезвычайных ситуаций
М. И. Фалеев,
Президент Общероссийской общественной организации «Российское научное общество анализа риска»,
член редакционного совета

Природная и техногенная безопасность

- 6 Современные подходы к мониторингу состояния промышленной безопасности опасных производственных объектов
Д. В. Пономаренко, ПАО «Газпром», г. Санкт-Петербург
В. В. Лесных, А. В. Бочков, ООО «НИИГазэкономика», г. Москва
- 18 Комплексная оценка риска возникновения аварии на опасных производственных объектах на основе аппарата нечетких множеств и логико-вероятностного подхода
А. В. Рыбаков, А. Д. Сорокин, В. В. Кочетков, Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки
Е. В. Арефьева, ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России, г. Москва
- 26 О достоверном оперативном прогнозе цунами
Ю. П. Королев, А. В. Лоскутов, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск
- 34 Система аналитических показателей для стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий
В. В. Ничепорчук, Т. Г. Пенькова, ИВМ СО РАН, г. Красноярск
- 42 Базовые риски природно-техногенной безопасности Красноярской промышленной агломерации
В. В. Москвичев, Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Красноярск
О. В. Тасейко, Институт вычислительных технологий СО РАН, Сибирский государственный университет науки и технологии им. Решетнева, г. Красноярск
У. С. Иванова, Д. А. Черных, Институт вычислительных технологий СО РАН, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
- 48 Проблемы когнитивных искажений в оценке готовности муниципальных образований обеспечить устойчивость к чрезвычайным ситуациям
А. А. Кононов, Институт системного анализа ФИЦ «Информатика и управление» РАН, г. Москва
- 54 Котельные как информатизируемые объекты защиты в ракурсе надежности и безопасности структурно-сложных систем
М. В. Шептунов, ФГБОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет» (РГГУ), ФГБОУ ВО «Московский государственный лингвистический университет» (МГЛУ), г. Москва

Моделирование риска

- 64 Моделирование вероятностей состояния объектов по схеме марковских случайных процессов при воздействии поражающих факторов обычных средств поражения
Н. К. Домницкий, Ростовское отделение научного общества РНОАР, г. Ростов-на-Дону
- 74 Математическая модель процесса парообразования при испарении сжиженного газа из пролива
Н. М. Кочетов, Новомосковский институт повышения квалификации руководящих работников химической промышленности, г. Новомосковск Тульской обл.
А. Н. Кочетов, Северо-Западное управление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), г. Санкт-Петербург

Риск пожарный

- 82 Проблемы оповещения и управления эвакуацией людей в задаче определения расчетных величин пожарного риска
Д. В. Шихалев, Р. Ш. Хабибулин, Академия ГПС МЧС России, г. Москва
Е. М. Любимов, С. А. Алексин, ЗАО «Современные программные технологии», г. Нижний Новгород
- 90 Аннотации статей на английском языке
- 94 Инструкция для авторов

Комплексная безопасность населения и территорий от чрезвычайных ситуаций

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

М. И. Фалеев,

Президент Общероссийской общественной организации
«Российское научное общество анализа риска»,
член редакционного совета

События, происходящие в нашей стране и в мире, демонстрируют углубление глобальных проблем, связанных с необходимостью обеспечения комплексной безопасности населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного, техногенного характера. Подтверждение тому мы находим в угрозах, связанных с изменением климата, ростом числа и тяжести природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, а также существующими сложностями в экономической и социальной сферах.

Безусловно, это требует постоянного изучения и мониторинга источников риска для населения и территорий, а также поиска эффективных механизмов управления им.

Именно на это настраивает Указ Президента Российской Федерации № 208 от 13.05.2017 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». Основные направления научных исследований в области защиты населения и территорий до 2030 года определены, это:

- реализация Основ государственной политики Российской Федерации в области гражданской обороны и защиты населения и территорий от бедствий и катастроф на период до 2030 г.;
- соответствующее развитие законодательной, нормативной правовой и методической базы в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах;
- повышение эффективности реализации полномочий органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций;
- научное обеспечение развития систем мониторинга и прогнозирования масштабных чрезвычайных ситуаций и уменьшения опасности бедствий.

вычайных ситуаций и уменьшения опасности бедствий.

Реализация этих направлений в основном отражена в Государственной программе «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций».

Важной вехой стали Международные конференции «Глобальные и национальные стратегии по управлению рисками катастроф и стихийных бедствий» в Москве в 2015 и 2017 гг. В России основополагающим документом являются также Основы государственной политики РФ в области защиты населения и территорий от бедствий и катастроф до 2030 г.

Такими представляются стратегические направления основных научных исследований в сфере защиты населения и территорий от бедствий и катастроф, учитывающие тенденции в природной, технологической, военно-политической и социальной сферах, и опирающиеся на достигнутый уровень и прогноз развития технологий и нормативно-правовой базы в сфере защиты населения и территорий от бедствий и катастроф.

Именно в этой сфере осуществляет свою деятельность Общероссийская общественная организация «Российское научное общество анализа риска».

Цель Российского научного общества анализа риска — объединение усилий ученых и специалистов, работающих в области анализа и оценки риска, всех заинтересованных сторон в интенсификации научных исследований и повышении эффективности практического применения их результатов.

Традиционно одной из важнейших задач общества является формирование отношения к риску, как ценностной категории. Концепция риска должна найти отражение в законотворческой деятельно-

сти, технических регламентах, принципах принятия решений на уровне исполнительной власти, социальных групп и отдельной личности.

Включение категории риска в систему жизненно важных ценностей по существу будет означать повышение ответственности за принимаемые решения, а это — качественно новое отношение к будущему. Речь, по сути, идет о необходимости формирования национального менталитета, соответствующего реалиям современной жизни.

В 2016—2017 гг. Российское научное общество анализа риска выступило соискателем субсидии МЧС России в поддержку социально ориентированных некоммерческих организаций. Исходя из заявленной научно-исследовательской тематики, в результате конкурса мы стали одними из обладателей соответствующего гранта.

В результате кооперации ряда ученых и специалистов, являющихся членами нашего Общества, удалось полностью реализовать плановый научный заказ МЧС России.

Одним из знаковых событий стало проведение 20 октября 2017 г. научно-практической конференции по проблемам безопасности жизнедеятельности «Устойчивость муниципальных образований к чрезвычайным ситуациям», проведенная в рамках глобальной кампании ООН по повышению устойчивости городов к бедствиям «Мой город готовится!».

В обсуждении вопросов приняли участие более 80 ученых и специалистов в области снижения рисков ЧС, в их числе: сотрудники Российской академии наук, представители государственных органов исполнительной власти, администраций муниципальных образований, сотрудники научных и образовательных учреждений. Всего было заслушано 22 доклада.

Как отмечалось на конференции, Россия ежегодно сталкивается с угрозами различного характера. В зоне воздействия поражающих факторов чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в России проживают более 100 млн человек, поэтому вопросы управления рисками являются более чем актуальными.

При этом подчеркивалось, что одной из важнейших задач Общества является формирование отношения к рискам.

В этом направлении меняется и политика международного сообщества, это было зафиксировано

Сендайской рамочной программой по снижению риска бедствий на 2015—2030 гг.: муниципальные образования всегда ближе к месту потенциального возникновения ЧС, поэтому и полномочия решения этих проблем должны быть у них.

Об успешном опыте Москвы в контроле и снижении риска возникновения чрезвычайных ситуаций и в обеспечении безопасности жизнедеятельности населения рассказала коллегам из научного сообщества в своем докладе председатель Комиссии по безопасности Московской городской думы, доктор технических наук, профессор Инна Святенко. По ее словам, в рамках программы «Безопасный город» при помощи специальной методики вычислены все критические объекты с потенциально высокими рисками возникновения ЧС.

Член делегации Государства Израиль, директор департамента исследований Национального агентства по управлению чрезвычайными ситуациями страны Александр Альгшулер выступил с докладом о том, как идет создание уникального комплексного исследовательского центра по подготовке к кризисными ситуациями.

Базовым международным документом в области национальной системы оценки и контроля рисков является Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015—2030 гг.

Результатом научно-практической конференции стала согласованная ее участниками резолюция.

В ней члены научного сообщества утвердили перечень основных задач по установлению единой методологии, правил и процедур, позволяющих оценить уровень риска для территорий проживания населения Российской Федерации.

Научно-практический журнал «Проблемы анализа риска» предлагает вашему вниманию основные материалы научно-практической конференции «Устойчивость муниципальных образований Российской Федерации к чрезвычайным ситуациям».

Наше Общество приглашает ученых и специалистов принять участие в совместной работе по достижению прикладной значимости, максимальной полезности в решении вопросов управления рисками на местах.

Выражаю уверенность в том, что наше научное сообщество и впредь будет продолжать исследования в социально значимой области борьбы с бедствиями в тесном взаимодействии с МЧС России.

УДК 303.732.4: 614.8

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

Современные подходы к мониторингу состояния промышленной безопасности опасных производственных объектов¹

Д. В. Пономаренко,ПАО «Газпром»,
г. Санкт-Петербург**В. В. Лесных,****А. В. Бочков,**
ООО «НИИгазэкономика»,
г. Москва

Аннотация

В статье обсуждаются общие подходы к построению системы мониторинга состояния промышленной безопасности опасных производственных объектов (ОПО). Обобщаются подходы, допущения и методы решения ключевых задач создания систем мониторинга в компаниях нефтегазового сектора и закладываются основы для построения сбалансированной системы показателей состояния промышленной безопасности на ОПО, а также разработки специализированного математического и программного обеспечения управления промышленной безопасностью. Предложена единая методическая основа создания системы мониторинга за состоянием промышленной безопасности на ОПО, которая позволяет выполнить обязательные требования Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) в области дистанционного контроля с учетом практических интересов организаций, эксплуатирующих ОПО, существенно повысить в них уровень культуры безопасности и подготовить научно-методическое обоснование их дальнейшего взаимодействия с Ростехнадзором в области организации оперативного дистанционного контроля (надзора) промышленной безопасности.

Ключевые слова: риск, наблюдение, мониторинг, реактивные показатели, проактивные показатели, оценка, прогнозирование, контроль, промышленная безопасность, опасный производственный объект.

Содержание

Введение

1. Ключевые задачи мониторинга
2. Общая концепция системы мониторинга
3. Проблемы построения системы показателей, характеризующих безопасность производственного процесса
4. Предложения по решению основных задач мониторинга

Заключение

Литература

¹ В публикации использованы материалы доклада Радионовой С.Г., Пономаренко Д.В., Лесных В.В., Бочкова А.В., Ковалева С.А. «Концепция построения дистанционной системы мониторинга состояния промышленной безопасности опасных производственных объектов» на 15-м Юбилейном Международном форуме по промышленной безопасности, 30 мая — 2 июня, 2017, СПб. Секция «Обеспечение надежной эксплуатации сложных производственных комплексов. Опыт применения современных автоматизированных систем на примере предприятий газовой промышленности» // Научно-технический вестник, № 3, 2017. СПб.: Группа компаний «Городской центр экспертиз», 2017. С. 218—223.

Введение

Опасные производственные объекты представляют собой сложные технические комплексы, на которых, в соответствии с проектной и нормативной документацией, поддерживаются в предусмотренном диапазоне параметров технологические режимы. Эффективное управление сложной технической системой, прогнозирование отклонений от номинальных режимов, предупреждение отказов, инцидентов и аварий возможно только на основе сбора и анализа непрерывного потока информации о ее состоянии, а также знаний о совокупности процессов, протекающих в ней.

На сегодняшний день наиболее важным инструментом наблюдения, анализа и прогнозирования, а также определяющим фактором в принятии обоснованных и наиболее эффективных управленческих решений является система мониторинга. Система мониторинга создается на базе автоматизации управления технологическими процессами (АСУ ТП) и является элементом интеллектуализации управления техническим комплексом (обеспечивает необходимые исходные данные для поддержания необходимого уровня надежности и безопасности комплекса). Все ведущие мировые нефтегазовые компании уделяют повышенное внимание автоматизации и интеллектуализации управления промышленными комплексами, создавая компьютерные модели процессов, протекающих в них (для примера, количество цифровых (имеющих компьютерные модели процессов «пласт-поверхность») скважин превысило 15 000 (из них в России — более 2000), цифровых месторождений более 250 (из них в России — 26, в том числе 2 безлюдных месторождения)), АСУ ТП с разной степенью интеллектуализации применяется практически на всех газоконденсатных месторождениях. В условиях широкого применения автоматизации и интеллектуализации управления промышленными комплексами по направлениям деятельности компаний нефтегазового сектора необходимо дальнейшее совершенствование в них системы обеспечения промышленной безопасности с функциями оперативного контроля.

На федеральном уровне также большое внимание уделяется вопросам совершенствования оперативного дистанционного контроля (надзора) промышленной безопасности на ОПО нефтегазового

комплекса. Данные вопросы неоднократно рассматривались на ряде заседаний Правительственной комиссии по вопросам развития ТЭК, воспроизводства минерально-сырьевой базы и повышения энергетической эффективности экономики (в частности, заседание от 25.02.2014, п. 1.8 Протокола), что нашло отражение в [1—3]. Приказом Ростехнадзора [4] в Федеральные нормы [5] внесены изменения, касающиеся обеспечения функционирования системы дистанционного контроля технологических процессов на опасных производственных объектах, обеспечивающих разведку, освоение и эксплуатацию недр. Данные изменения в полной мере вступили в действие с 01.01.2017.

Несмотря на то что к настоящему моменту времени напрямую требования в части организации системы дистанционного контроля на ОПО других сфер деятельности, кроме газоразведки и газодобычи, со стороны Ростехнадзора не выдвигаются, вопросы организации элементов системы мониторинга состояния промышленной безопасности на эксплуатируемых ОПО сохраняют высокую актуальность. Особенную остроту данной проблеме добавляет то обстоятельство, что единого понимания и методического подхода к ее решению не сформировано ни на федеральном уровне управления, ни на уровне предприятий нефтегазового комплекса.

1. Ключевые задачи мониторинга

В общем виде создание системы мониторинга подразумевает решение четырех взаимосвязанных задач [6]:

- **наблюдение** — заключается в получении и распространении информации, обработке и предоставлении ее пользователям (данная функция выступает в качестве интегрирующей, позволяет сформировать базу данных для анализа, оценки и прогнозирования состояния объекта мониторинга и его развития);
- **анализ и оценка** — предполагает анализ собранной информации, раскрытие причинно-следственных связей, сравнение принятых индикаторов и показателей с установленными нормативами;
- **прогнозирование** — связано с возможностью на основе качественной мониторинговой информации достоверно представить общую картину развития наблюдаемого явления, объекта или системы в перспективе и, таким образом, научно обосновать

ванно разработать ближайшие и более отдаленные по исполнению планы преобразования того или иного процесса, управления им;

- **контроль** — заключается в постоянном отслеживании полученных результатов принятия управленческих решений, сравнении их с допустимыми отклонениями контрольных показателей, а также организации и проверке исполнения запланированных мероприятий и задач.

Включение аналитической составляющей в систему мониторинга является обоснованным и правомерным [6]. Более того, анализ выступает наиболее значимым элементом мониторинга, т. к. мониторинг — это не только фиксация фактов, зеркальное отражение происходящих процессов, но и аналитика, оценка, позволяющая формировать выводы и предложения, выстраивать прогнозы, планы, сценарии развития и т. п. Прогностическая же составляющая является исходной для функций контроля, планирования и управления.

2. Общая концепция системы мониторинга

Основой современных систем мониторинга промышленной безопасности является **концепция управления производственными рисками** [7], суть которой заключается в формировании на государственном и корпоративном уровне механизмов, методов и инструментов, с помощью которых работодатели и работники могут, во-первых, объективно оценивать существующие риски и влиять на условия труда на рабочих местах и, во-вторых, быть мотивированы к этому. При этом во главу угла ставится реализация эффективных предупредительных мероприятий с целью снижения аварийности и недопущения случаев производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

Традиционные **реактивные показатели** уровня промышленной безопасности имеют ограниченную ценность в том, что касается возможности сопоставления результатов различных дочерних обществ и организаций. Реактивные показатели характеризуют события (инцидент, авария, несчастный случай и прочие происшествия), которые уже произошли. Эти показатели основаны на сборе статистики и анализе случившихся происшествий и их последствий. Главные их недостатки — высокая

чувствительность к расхождениям в определениях и процессах организации работ по промышленной безопасности и их полная фокусировка на прошлых результатах.

Использование **проактивных показателей** позволяет прогнозировать развитие ситуации, которая может потенциально привести к опасным событиям для здоровья и жизни работников, остановке производства, нанесению ущерба имуществу и окружающей среде. Проактивные показатели — показатели, направленные на идентификацию рисков в области промышленной безопасности посредством анализа событий с незначительными последствиями (ущербом) или отсутствием таковых, базируются на принципе минимизации предпосылок к происшествиям с целью предотвращения самих происшествий.

Используя проактивный подход, компании, эксплуатирующие ОПО, вследствие достижения наилучших показателей в области промышленной безопасности, могут извлечь выгоду из сокращения издержек в таких областях, как судебные тяжбы, страхование, ущерб от несчастных случаев и простой на производстве. И хотя эти издержки могут быть значительными сами по себе, долгосрочные финансовые последствия имиджевых потерь нередко бывают еще более серьезными в том, например, что касается упущенной прибыли и снижения курса акций компании.

Внедрение риск-ориентированного подхода в управлении промышленной безопасностью ОПО нефтегазового комплекса необходимо проводить поэтапно.

Этап I. Наблюдение. Основой системы мониторинга является сбор данных для последующего анализа и оценки состояния промышленной безопасности ОПО и выявления трендов развития (прототип подобной системы, например, внедрен в практику работы ПАО «Газпром» в виде системы мониторинга и анализа представляемых дочерними обществами данных о натуральных и экономических показателях, характеризующих внеплановые потери).

Этап II. Оценка. Разработка подсистемы анализа и оценки состояния промышленной безопасности, факторов риска, т. е., по сути, внедрение т. н. системы раннего оповещения, основанной на расчете количественных и качественных признаков. После раз-

работки данной подсистемы возможно осуществить переход к предварительному решению прогнозной задачи системы мониторинга — выявлению тенденций развития процесса и определению возможных путей (способов) влияния на факторы, обуславливающие состояние промышленной безопасности на ОПО и в дочерних обществах в целом (по сути, этот подход представляет собой попытку реализовать управление рисками промышленной безопасности с позиций «до», а не «после» события, т. е. реализует упомянутый ранее проактивный подход).

Этап III. Прогнозирование. Разработка и внедрение подсистемы прогноза состояния промышленной безопасности, основанной на расчете количественных и качественных ретроспективных показателей и индикаторов промышленной безопасности с применением методологии т. н. систем раннего оповещения.

Особое внимание необходимо уделить влиянию факторов риска на систему сбалансированных по-

казателей промышленной безопасности, поскольку прогнозирование по единичным показателям не дает целостной картины тенденций развития и состояния системы мониторинга (этот подход заключается в построении и использовании в планировании системы ключевых показателей эффективности (КПЭ) и совокупности стратегических целевых показателей (СЦП) деятельности Общества на среднесрочную перспективу, однако в настоящее время в системе показателей слабо представлены показатели, характеризующие состояние промышленной безопасности в дочерних обществах компаний нефтегазового сектора, и практически отсутствуют проактивные показатели).

В общем случае риск-ориентированный подход охватывает как вероятностные методы моделирования аварийных процессов и событий в области охраны труда, так и детерминистские методы. Использование вероятностных и детерминированных оценок заняло значительное место в исследованиях



* Под несоответствием понимается отклонение от положений Регламента по эксплуатации, паспорта технического устройства, инструкции, проектной и нормативной документации.

** Под несоответствием понимается отклонение от положений нормативных документов по охране труда.

Рисунок. Пирамида событий Хайнриха

по повышению безопасности и по совершенствованию эксплуатационных процедур. Однако опыт использования в атомной промышленности сугубо вероятностного анализа безопасности (по сути — однокритериального инструмента) показал, что этот подход охватывает не все необходимые аспекты обеспечения безопасности. Риск в области промышленной безопасности следует рассматривать как многокомпонентный вектор, набор параметров которого может меняться в зависимости от анализируемого уровня пирамиды событий Хайнриха [8] (см. рисунок).

Следовательно, для каждого уровня пирамиды необходимо обосновать вектор параметров, критерии оценки и разработать соответствующий методический аппарат на основе вероятностных, детерминированных и других методов. Реальная оценка уровня промышленной безопасности на основе использования риск-ориентированного подхода невозможна без достаточно информативной базы относительно количественных и качественных характеристик факторов риска и, с другой стороны, данных о состоянии объектов и технологических процессов на них, которые испытывают влияние этих факторов риска.

Оценка риска всегда имеет целью определение его количественных показателей, что дает возможность использования ее не только для оценки состояния промышленной безопасности, но и для обоснования экономической эффективности мероприятий, экономических расчетов необходимого возмещения или компенсаций потерянного здоровья рабочим и ущерба окружающей среде, когда появляется вопрос соотношения затраты — польза.

3. Проблемы построения системы показателей, характеризующих безопасность производственного процесса

Проблема построения полной системы индикаторов производственной безопасности ОПО (в том смысле, который вкладывает в это понятие ПАО «Газпром») не имеет однозначного решения до настоящего времени.

В конкурентной рыночной среде компании должны оптимально работать, если они хотят вы-

жить в долгосрочной перспективе и стать лучшими в отрасли. В 1990-х гг. в работах, посвященных исследованию вопросов управления производством, был введен термин «управление эффективностью».

На практике управление эффективностью становится очевидным при выборе репрезентативных индикаторов (показателей), которые реалистично отражают состояние рабочей среды и производственные процессы и используются для получения информации об оптимальной ситуации.

С 1990-х гг. и до настоящего времени одним из основных показателей технологической безопасности считался ключевой показатель безопасности в обрабатывающей промышленности — LTIF — частота инцидентов с потерей времени [9—12]. LTIF представляет собой количество дней отсутствия на работе из-за аварии, отнесенных к миллиону отработанных часов. Улучшения в показателях безопасности были эквивалентны улучшению значений LTIF. Например, в «Шелл» между 1957 и 1994 гг. снизили показатель практически на порядок. То же самое внимание на LTIF было представлено во многих других компаниях в обрабатывающей промышленности. Поэтому многие компании в конце 1990-х гг. продвигали т. н. подход с нулевой аварийностью, что оказалось неверно.

Очевидно, что нарушения процессов, ускоряющие сценарии крупных аварий, могут также приводить к сценариям несчастных случаев на производстве, что означает, что безопасность на производстве и безопасность процесса могут быть взаимосвязаны. Хотя из-за принятой разницы между происхождением и путями крупных аварий и несчастных случаев на производстве показатели LTIF не могут рассматриваться как индикаторы безопасности процесса, они могут применяться (и применяются) для анализа состояния охраны труда, промышленной и пожарной безопасности на производстве.

Иногда в комплексе с LTIF используется показатель LTIFR (англ. Lost time injury frequency rate — коэффициент частоты травм с временной потерей трудоспособности) и показатель LTAFR (англ. Lost time accident frequency rate — коэффициент частоты несчастных случаев), которые в мировой практике признаны как основные индикаторы эффективности работы компаний в области охраны труда и промышленной безопасности. Последний пока-

затель, отражающий соотношение числа смертельных случаев, травм с временной потерей трудоспособности и легких травм без потери трудоспособности, ориентирован на выявление рисков легкого травматизма, что позволяет эффективно проводить профилактику более серьезных инцидентов. Анализ представленной информации показывает, что в практике ПАО «Газпром» эти два показателя в настоящее время не применяются.

В 1990-х гг. произошел ряд крупных аварий в отраслях с высоким уровнем риска [13] вследствие взрывов резервуаров с опасным веществом во время сварки, радиоактивных выбросов, отключения реакторов, избыточного давления в резервуарах для хранения, неисправности трубопроводов, разрушения металлов при экстремальных температурных колебаниях и т. д. [14, 15]. Большинство компаний были и до сих пор неспособны распознавать так называемые слабые сигналы или отклонения процесса с потенциально значимыми последствиями, поэтому естественным образом возникает два очевидных вопроса.

1. Можно ли так обработать показатели безопасности, чтобы понять и оценить уровни безопасности процессов или бизнеса, как текущих, так и будущих?

2. Если да, то какие показатели для этого применимы?

Серьезные несчастные случаи никогда не являются результатом одной ошибки или неисправности, а представляют собой комплекс взаимосвязанных событий, которые инициированы событиями в технологической, организационной и управленческой области.

Компании нуждаются в простых, понятных и коммуникабельных индикаторах, подобных индикатору LTIF, фиксирующему потерянное рабочее время (а значит, и потенциальную прибыль). Хотя стоит отметить, что несмотря на то что индикатор LTIF чувствителен к серьезным формам занижения информации о потерянных временных авариях, неверно использовать его в качестве индикатора безопасности процесса, о чем свидетельствуют многочисленные сообщения о расследованиях крупных аварий [16—17].

В профессиональной литературе в отношении показателей безопасности процесса часто упомина-

ются три модели: модель пирамиды Хайнриха [18, 19], классическая модель швейцарского сыра [20] и так называемая модель бабочки [21, 22].

Поэтапное реформирование безопасности, публикация британского консорциума компаний из нефти и газа [23], изменила модель Shell Hearts and Minds [24] и касается конкретных индикаторов для трех уровней их «модели зрелости безопасности».

Британский комитет по безопасности и охране труда дает рекомендации для экспертов по вопросам управления и безопасности, основанные на практике британской химической промышленности для разработки, отбора и внедрения индикаторов процесса для основных технологических рисков, включая дорожную карту. Важным является своевременное выявление недостатков (проактивные показатели) в системе управления рисками, а не столько мониторинг отказов (реактивные индикаторы). Система управления безопасностью процесса должна сначала идентифицировать основные сценарии аварий, тогда для каждого сценария выбираются барьеры, так называемые системы управления рисками (RCS). Наконец, каждый критический процесс RCS необходимо связать с реактивными и проактивными показателями, обеспечивая двойную уверенность

Международная ассоциация производителей нефти и газа OGP выпустила отчет OGP № 456 [25], содержащий рекомендуемые практики по ключевым показателям эффективности, следуя предыдущему отчету OGP № 415 [26] «Целостность активов», и относится как к руководящим принципам HSE, так и к ANSI/API RP754 [27]. OGP связывает ведущий индикатор с превентивными барьерами и реактивным индикатором от ограничительных барьеров. Для так называемых критических барьеров предлагается сочетание индикатора проактивного и реактивного сопротивления для проверки прочности барьера. Реактивный индикатор мог обнаружить дефекты барьеров, как это было рекомендовано HSE. Однако различие между проактивными и реактивными индикаторами в докладе не всегда однозначно определено.

Выбор индикатора должен соответствовать организации. Шаг изменения безопасности также обуславливает условия для адекватных, эффектив-

ных и полезных индикаторов безопасности: они должны быть доступны и привязаны к системе управления безопасностью, которая должна быть объективной и измеримой и приводить к контрольным действиям.

В профессиональной литературе индикаторы в первую очередь имеют описательную функцию. Они используются для отслеживания прогресса с течением времени внутри компании или для сравнения результатов между компаниями, так называемым эталоном.

Модели и теории безопасности могут служить руководством для формирования показателей безопасности процесса. Поиск индикаторов безопасности процесса должен начинаться с выбора основных сценариев аварий, например, верхних 15 или 20 наиболее типичных сценариев, выбранных как инженерами-технологами, так и руководителями предприятий и операторами. Этот выбор будет вводиться для типа сеанса HAZOP, чтобы выявлять барьеры, существующие для каждого сценария, включая системы поддержки управления и действия управления, связанные с этими системами.

Показатели безопасности, связанные с качеством барьеров, сценариями и эффектами принятия решений, по-видимому, являются наиболее очевидными. Логично, что это приведет к появлению индикаторов безопасности, технологических процессов и компаний.

Задача состоит в том, чтобы определить индикаторы, которые дают представление о качестве барьеров и разработке сценариев. Будущие международные правила, такие как обновления законодательства Seveso, возможно, позволят индикаторам безопасности процесса оставаться в центре внимания.

4. Предложения по решению основных задач мониторинга

Рассмотрим перечисленные выше задачи мониторинга состояния промышленной безопасности ОПО более подробно.

4.1. Задача наблюдения

В рамках долгосрочного сотрудничества компаний нефтегазового сектора и Ростехнадзора предусматривается на базе создаваемых опытных площадок системы дистанционного контроля (надзора) про-

мышленной безопасности на ОПО рассмотреть вопросы организации систем контроля, автоматического и дистанционного управления технологическими процессами, сигнализации и противоаварийной защиты, системы наблюдения, оповещения, связи и поддержки действий при ЧС, аварии или инциденте и оперативного взаимодействия с Ростехнадзором. Компании нефтегазового сектора совместно с Российской корпорацией средств связи (РКСС) подготовили предложения по дистанционному непрерывному мониторингу состояния производственных объектов в реальном режиме времени, определили параметры диспетчерского контроля, подлежащие передаче в Ростехнадзор. Также в рамках этого сотрудничества предполагается рассмотреть вопросы создания системы дистанционного контроля промышленной безопасности на ОПО газотранспортных предприятий на примере дочерних обществ и организаций компаний на базе имеющегося нормативно-методического обеспечения, программных и информационных комплексов.

Из обсуждаемой концепции следует, что наблюдаемые параметры должны не только быть связанными с возможными негативными ситуациями на ОПО, но и характеризовать эффективность производственного процесса. Кроме того, непосредственно в компаниях нефтегазового сектора задача мониторинга должна ставиться шире и включать в себя дополнительно ряд показателей, характеризующих состояние промышленной безопасности в Обществе. Основными показателями качества системы обеспечения промышленной безопасности могут быть различные числовые характеристики случайных или нечетких величин, например, ущерб (вред) от аварий, затраты на предупреждение аварийности и травматизма и др. На практике под критериями промышленной безопасности, в широком понимании этого термина, подразумевают все требования промышленной безопасности и охраны труда, предъявляемые к функционированию производственных объектов в соответствии с нормативными документами, поскольку именно по результатам оценки того, в какой мере выполняются или не выполняются те или иные требования, делают вывод об уровне безопасности [30, ст. 9]. Огромное количество таких критериев сформулировано

в нормативных документах, посвященных проектированию, строительству и эксплуатации производственных объектов как важнейшим стадиям их жизненного цикла, на которых закладываются параметры безопасности, обеспечиваемые соответствующими конструктивно-технологическими и медико-социальными решениями. Важно определить соответствие реальных значений показателей промышленной безопасности заложенным в документации критериям безопасности.

Поскольку достоверность статистических данных по несоответствиям может изменяться в зависимости от изменений в производственной схеме, существует много потенциальных проблем, ведущих к снижению достоверности и актуальности информации. В связи с этим может оказаться полезным опыт Международной организации охраны труда. Разработанные этой организацией критерии отбора данных помогают идентифицировать потенциальные несоответствия и повышать практическую пригодность статистического учета нарушений требований промышленной безопасности, несчастных случаев на производстве, аварий и инцидентов.

4.2. Задача анализа

Как уже упоминалось выше, система индикаторов и показателей промышленной безопасности должна опираться на уровни пирамиды событий промышленной безопасности (пирамиды Хайнриха). Все принятые в системе мониторинга проактивные и реактивные показатели должны быть привязаны к одному из уровней пирамиды, с тем чтобы в будущем создать предпосылки для проведения интегральной оценки и прогноза состояния промышленной безопасности в компаниях, эксплуатирующих ОПО в целом. Первоочередное внимание необходимо уделить вопросу регистрации событий, относящихся к уровню 0 и уровню 1 пирамиды Хайнриха. Если для регистрации событий, относящихся к уровням 2—4, есть соответствующие нормативные документы Ростехнадзора и внутрикорпоративная нормативная документация, то для регистрации событий, относящихся к уровням 0 и 1, таких документов нет. Необходимо провести классификацию и установить шкалу для измерения потока событий на низших уровнях

пирамиды событий промышленной безопасности на основе ретроспективного анализа фактических данных, собираемых системой дистанционного контроля.

Для установления кризисного и допустимого уровней значений принятых индикаторов и показателей на ОПО эффективен т. н. статистический принцип, согласно которому по данным многолетней динамики изменения, например, годовых или квартальных значений показателей определяется среднее (теоретическое или прогнозное) значение и среднее квадратическое отклонение (доверительный интервал) [31]. Реальное или прогнозируемое значение показателя (индикатора), попадающее в односигмовую (зеленую) зону, считается допустимым. Попадание значения показателя (индикатора) в двусигмовую зону (желтая) определяется как внештатная (предкризисная) ситуация. Попадание значения показателя (индикатора) в зону, превышающую двусигмовый интервал (красная область), определяется как кризисная ситуация. Применение на практике таких критериальных уровней необходимо сочетать с критериями устойчивости показателя. Поэтому представляется целесообразным, по крайней мере, для обобщенных показателей первого и второго уровней при определении приемлемых и критических (кризисных) ситуаций учитывать и динамические характеристики с помощью, например, разбиения всего спектра значений обобщенного показателя первого верхнего уровня на несколько областей возможных значений. Хотя полученная таким образом система не может претендовать на универсальный критерий диагностирования ситуации (в частности, уровня промышленной безопасности в целом), но ее создание будет шагом вперед с точки зрения совершенствования количественных и качественных критериев оценки.

4.3. Задача оценки

Реализация описанных выше подходов наблюдения и анализа приведет к ситуации, когда текущее состояние промышленной безопасности ОПО будет характеризоваться несколькими сотнями показателей — «светофоров». На этапе решения задачи оценки необходимо установить связи анализируемых показателей промышленной безопасности с показателями высокого уровня (например, СЦП)

и степени их влияния на достижение целевых значений СЦП, утвержденных руководством компании.

Из-за дискретной природы инцидентов и аварий, их относительно небольшого количества даже в рамках ПАО «Газпром» использование аппарата анализа данных, основанного на классических законах больших чисел, для решения данной задачи некорректно, т. к. сходимости по вероятности в реальности практически никогда не наблюдается, за исключением статистики, накопленной в системах массового обслуживания (контроль сборочных операций на конвейерах, казино, страхование мелких инцидентов, бытовой и производственный травматизм, медицина и т. п.). Также очевидно, что, поскольку истинные законы распределения анализируемых случайных процессов и, главное, факторы, их определяющие, будут непрерывно корректироваться (любая высокотехнологичная система изменяется быстрее, чем накапливается адекватная статистика [32]), необходимо использовать критерии «свободные от распределений» [33]. В частности, например, в качестве критериев достижения прогностической цели следует взять не величины отклонений модельных и реальных данных, а критерии, используемые в методах классификации и распознавания образов. Например, в качестве измерения точности прогноза можно использовать величины ошибок предсказания первого и второго родов для различных классов и типов ситуаций, причем, если удастся, в зависимости от классов физического объекта и от значения параметров прогнозного фона.

Таким образом, необходимо введение критерия принятия решения. В качестве такого критерия можно использовать статистическую характеристику оцениваемого состояния, показывающую нормированное на единицу «расстояние» текущего состояния от «границы раздела» ранее наблюдаемых и оцененных (как штатные или нештатные) состояний — меру угрозы (риск) недостижения заданных значений. Только на основе корректного первичного анализа многолетней статистики можно будет дать заключение о наиболее предпочтительных методах интегральной оценки промышленной безопасности на ОПО, в дочерних обществах и в компаниях в целом. При этом основное внимание следует уделить не оценке вероятности возникновения

аварийных ситуаций, а состоянию промышленной безопасности на рабочих местах и участках технологических процессов.

4.4. Задача прогнозирования

Проблема анализа промышленной безопасности как объекта прогнозирования является отражением более общей проблемы анализа систем. В каждом конкретном случае способ и результаты анализа должны определяться целями исследования и характером изучаемого объекта. От этапа к этапу любое прогнозное исследование должно непрерывно уточняться: осуществляется детализация структуры изучаемого объекта и оптимизация структуры описания прогнозного фона, адекватная статистика, необходимо использовать критерии «свободные от распределений». Можно в качестве критериев достижения прогностической цели брать не величины отклонений модельных и реальных данных, а критерии, применяемые в методах классификации и распознавания образов. Например, в качестве измерения точности прогноза можно использовать величины ошибок предсказания первого и второго родов для различных классов и типов аварийных ситуаций, причем, если удастся, то в зависимости от классов физического объекта и от значения параметров прогнозного фона.

Задачу прогнозирования предпочтительнее разбить на задачи трех уровней [34]:

- **макропрогнозирование** основных годовых тенденций изменения индикаторов промышленной безопасности с учетом влияния результатов работ в области диагностических обследований, технического состояния, ремонтных работ, внедрения АСУ ТП, мероприятий по промышленной, пожарной безопасности и охране труда;
- **мезопрогнозирование** квартальных (сезонных) колебаний в динамике состояния промышленной безопасности на различных ОПО и дочернего общества в целом с учетом объема выполнения плановых работ, особенностей природно-климатических и иных условий;
- **микрпрогнозирование** возможных, сроком не более месяца, колебаний состояния промышленной безопасности в пределах участков, цехов, установок ОПО, связанных с промышленной безопасностью опасных работ, техническим состоянием оборудования, кадровыми проблемами и т. п.

4.5. Задача контроля

Контроль объекта мониторинга должен быть организован таким образом, чтобы можно было вовремя провести управленческие решения, если состояние объекта приближается к опасной зоне. Данная задача распадается на ряд подзадач, так как в вертикально интегрированных компаниях есть несколько центров принятия решений на разных уровнях управления. Перспективными при решении данной задачи могут оказаться методы оценки надежности достижения целевых показателей [35, 36] и методы группового анализа [37, 38] (последние более предпочтительны, т.к. позволяют строить траектории изменения показателей без учета «диффузионных» составляющих и, как следствие, могут служить базовым элементом для наращивания совокупностей, показателей и индикаторов в будущей разветвленной системе мониторинга).

Заключение

Непрерывное совершенствование Ростехнадзором контроля за соблюдением требований промышленной безопасности на ОПО в рамках единой концепции способствует минимизации риска причинения вреда имуществу, окружающей среде и людям.

В настоящее время идет проработка пилотного варианта Системы дистанционного контроля промышленной безопасности опасных производственных объектов, в которую вошли, с одной стороны, Ситуационно-аналитический центр Ростехнадзора, Региональный ситуационный центр на базе Нижне-Волжского управления Ростехнадзора и, с другой стороны, объекты ООО «Газпром добыча Астрахань», ПАО «СИБУР Холдинг» и ООО «Лукойл-Нижневолокнефть». Система, в рамках пилотного проекта, реализуется компанией «Российская корпорация средств связи» (ЗАО «РКСС») по собственной инициативе, без использования бюджетных средств. Программа подразумевает подключение к АСУ ТП, которая присутствует на всех ОПО первого и второго класса опасности.

Формирование системы показателей промышленной безопасности для участков, цехов, установок и ОПО в соответствии с единой концепцией является необходимым условием для решения

задачи наблюдения за состоянием промышленной безопасности в компаниях нефтегазового сектора. Важнейшей подзадачей, рассмотрением которой оставлено за рамками настоящей статьи, является определение тех показателей промышленной безопасности по видам деятельности, которые подлежат передаче в Ростехнадзор в соответствии с принятыми нормативно-правовыми актами, и корректировка нормативных документов для решения главной задачи мониторинга за ОПО.

Конечной целью создания системы дистанционного контроля (надзора) за состоянием промышленной безопасности является построение такой прогностической модели динамики ситуаций на ОПО, которая позволит с помощью вычислительных экспериментов и подбора приемлемых параметров уменьшать степень неопределенности вероятностей событий и их масштабов, т. е. получать прогнозную информацию за счет выявления скрытых закономерностей в данных, указывающих либо на изменения состояния объекта, либо на закономерности изменений параметров внешней среды, существенно влияющей на его функционирование.

Осуществление дистанционного контроля органами Ростехнадзора за деятельностью ОПО — это перспективное направление надзорной деятельности, которое, безусловно, потребует немалых инвестиций от собственников ОПО. Но когда речь идет о безопасности, сохранении здоровья и жизни людей, вопрос приоритетности финансирования очевиден, и это понимается и осознается всеми участниками проекта.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 01.04.2016 № 559-р «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по совершенствованию контрольно-надзорной деятельности в Российской Федерации на 2016—2017 годы».
2. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 300 «О государственной программе Российской Федерации «Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах».
3. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25.03.2015 № 1

- «Об организации выполнения Плана мероприятий по созданию оперативного дистанционного контроля (надзора) промышленной безопасности на объектах нефтегазового комплекса» (Подпрограмма 3 «Развитие системы обеспечения промышленной безопасности»).
4. Приказ Ростехнадзора от 12.01.2015 №1 «О внесении изменений в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности».
 5. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности».
 6. Современные технологии управления-2014 // Сборник материалов научной конференции (под ред. А.Я. Кибанова). Россия, Москва, 14—15 июня 2014 г. М.: МЦНИП, 2014. 2154 с.
 7. Хенли Э.Дж., Кумamoto X. Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.
 8. Heinrich H.W. (1959). *Industrial accident prevention: a scientific approach* (4th ed.). McGraw-Hill. quoted in Grimaldi, John V.; Simonds, Rollin H. (1973). *Safety management*. Homewood, Ill: R.D. Irwin. P. 211. ISBN 0-256-01564-3.
 9. Hale A. Why safety indicators? *Saf.* 2009. *Sci.* 47 (4), 479e480.
 10. Harms-Ringdahl L. Dimensions in safety indicators. *Saf.* 2009. *Sci.* 47 (4), 481e482.
 11. Knijff P., Allford L., Schmelzer P. Process safety leading indicators. A prespective from Europe. *Process Saf.* 2013. *Prog.* 32 (4), 332e336.
 12. Leveson N. A systems approach to risk management through leading safety indicators. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2015. 136, 17e34.
 13. Kletz T. *Lessons from Disasters, How Organizations Have No Memory and Accidents Recur*. Institution of Chemical Engineers, UK. 1993.
 4. Guillaume E. *Identifying and Responding to Weak Signals to Improve Learning from Experiences in High-risk Industry*. Proefschrift Technische Universiteit Delft. Boxpress BV, Oirschot. 2011.
 5. Hopkins A. *Lessons from Longford, the Esso Gas Plant Explosion*. CCH Australia Ltd, Sidney. 2000.
 16. Tarrants W. A definition of the safety measurement problem. *J. Saf.* 1970. *Res.* 2 (3), 106 e108.
 17. Øien K., Utne I., Tinmannsvik R., Massaiu S. Building safety indicators II applications. *Saf.* 2011b. *Sci.* 49, 162e171.
 18. Knegtering B., Pasma H. Safety of the process industry in the 21st century: a changing need of process safety management for changing industry. *J. Loss Prev.* 2009. *Process Ind.* 22, 162e168.
 19. OGP, 2011. *Process Safety, Recommended Practice on Key Performance Indicators*. Report nr 456, November, London.
 20. ANSI/API, 2010. *Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petro- chemical Industries*, first ed. ANSI/API RP 754.
 21. CCPS, 2010. *Guidance for Process Safety Metrics*. AIChE, New Jersey.
 22. OGP, 2011. *Process Safety, Recommended Practice on Key Performance Indicators*. Report nr 456, November, London.
 23. UK Oil and Gas Industry, 2012. *Step Change in Safety, Leading Performance Indicators, Guidance for Effective Use* (Aberdeen).
 24. Parker D., Lawrie M., Hudson P. A framework for understanding the development of organisational safety culture. *Saf.* 2006. *Sci.* 44 (7), 551e562.
 25. OGP, 2011. *Process Safety, Recommended Practice on Key Performance Indicators*. Report nr 456, November, London.
 26. OGP, 2008. *Asset Integrity the Key to Managing Major Incident Risks*. Report nr 415.
 27. ANSI/API, 2010. *Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries*, first ed. ANSI/API RP 754.
 28. Sedgwick. *Stewart Experience with Developing Process Safety KPI's Within Scottish Power*. 2010. www.energyinst.org/filegrab/?ref/4653&f/44.Sedgwick&Stewart.pdf
 29. Knijff P., Allford L., Schmelzer P. Process safety leading indicators. A prespective from Europe. *Process Saf.* 2013. *Prog.* 32 (4), 332e336.
 30. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 №116-ФЗ (ред. от 07.03.2017).
 31. Барсуков А.Н., Быков А.А., Лесных В.В. Формирование системы индикаторов и показателей внештатных и кризисных ситуаций на объектах ЕСГ // в сб. *Промышленная и экологическая безопасность объектов газовой промышленности: Сб. науч. тр. М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2008. 482 с. С. 76—86.*
 32. Сахал Д. *Научно-технический прогресс. Модели, методы, оценки*. М.: Финансы и статистика, 1984. 367 с.
 33. Хампель Ф., Рончетти Э., Рауссеу П., Штаэль В. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния. М.: Мир, 1989. 512 с.
 34. Бочков А.В., Пономаренко Д.В. *Научно-методические основы мониторинга и прогнозирования состояния производственной безопасности ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2017. № 3 (749). С. 20—30.*

35. Бабунашвили М.К., Бермант М.А., Руссман И.Б. Оперативное управление в организационных системах // Экономика и математические методы. 1971. Том 7. Вып. 3. С. 32—40.
36. Берколайко М.З., Долгих Ю.В., Иванова К.Г. Трудности в смысле И.Б. Руссмана и оценка надежности управления // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2008. № 2. С. 78—84.
37. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. М.: Наука, 1974. 256 с.
38. Жигирев Н.Н. Человеко-машинные процедуры распределения ресурсов в развивающихся системах. Дисс. канд. техн. наук. М.: МИФИ, 1987.

Сведения об авторах

Пономаренко Дмитрий Владимирович: заместитель начальника Департамента — начальник Управления ПАО «Газпром»

Количество публикаций: более 10 научных работ

Область научных интересов: промышленная и производственная безопасность, бизнес-проектирование, анализ и оценка рисков

Контактная информация:

Адрес: 196105, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 156, БЦ «Электро»

Тел.: +7 (812) 413-73-10

E-mail: D.Ponomarenko@adm.gazprom.ru

Лесных Валерий Витальевич: доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, директор центра анализа рисков ООО «НИИгазэкономика», ведущий научный сотрудник НИУ «Высшая школа экономики»

Количество публикаций: более 200 научных работ, включая монографии

Область научных интересов: анализ и управление рисками в энергетике, энергетическая безопасность, производственная безопасность, страхование

Контактная информация:

Адрес: 105066, г. Москва, ул. Старая Басманная, д. 20, стр. 8

Тел.: +7 (916) 234-40-32

E-mail: V.Lesnykh@econom.gazprom.ru

Бочков Александр Владимирович: кандидат технических наук, заместитель директора центра анализа рисков ООО «НИИгазэкономика»

Количество публикаций: более 50 научных работ и 3 монографии

Область научных интересов: анализ и оценка риска, ситуационный анализ и управление, системный анализ и исследование операций, уязвимость и живучесть крупномасштабных энергетических систем

Контактная информация:

Адрес: 105066, г. Москва, ул. Старая Басманная, д. 20, стр. 8

Тел.: +7 (916) 234-40-32

E-mail: A.Bochkov@econom.gazprom.ru

УДК 614.8:502.36

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

Комплексная оценка риска возникновения аварии на опасных производственных объектах на основе аппарата нечетких множеств и логико-вероятностного подхода

А. В. Рыбаков,
А. Д. Сорокин,
В. В. Кочетков,
Академия гражданской защиты
МЧС России,
г. Химки

Е. В. Арефьева,
ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России,
г. Москва

Аннотация

В статье изложен алгоритм, позволяющий комплексно оценивать риск возникновения аварии и состояние объекта по совокупности показателей мониторинга. Предлагаемый подход позволяет выявить совместное действие опасных факторов, которые могут быть обнаружены на объекте, учесть отклонения всех контролируемых показателей, а также отклонения в пределах, близких к допустимым. Возможно учитывать показания значительного числа датчиков. В автоматизированном режиме алгоритм может быть применим для обработки большого количества наблюдаемых параметров, установленных на технологическом оборудовании и конструктивных элементах объекта.

Ключевые слова: комплексный показатель мониторинга, риск аварии, опасный производственный объект, безопасность, нечеткие множества, логико-возможностное моделирование.

Содержание

Введение
1. Постановка задачи
2. Решение задачи
3. Пример
Заключение
Литература

Введение

Существуют два основных пути обеспечения безопасности на опасных производственных объектах. Во-первых, это предотвращение нарушений нормальных режимов функционирования производственного процесса, эксплуатации помещений. При этом предотвращение в широком смысле этого слова может означать принятие комплекса мер: обеспечение необходимой прочности изделий, безотказности работы элементов технологических схем, предупреждение разладок и разрегулировок, исключение нерасчетных режимов и эксплуатационных условий, защита от вредного воздействия внешних факторов и эксплуатационных нагрузок и, конечно, предотвращение отказов и сбоев в работе операторов. Во-вторых, предотвращение дальнейшего развития уже возникших

нарушений нормальных режимов функционирования, исключение случаев перерастания таких нарушений в аварийные и катастрофические ситуации. В свою очередь, предупреждение подобных ситуаций неразрывно связано с качественным проведением мониторинга состояний и базовых параметров объекта.

Как правило, количество используемого оборудования на опасных производственных объектах (далее — ОПО) очень велико, в связи с чем комплексный мониторинг правильности его работы для своевременного выявления предаварийной ситуации и, как следствие, безопасности всего объекта, представляется очень сложным процессом. Под мониторингом состояний и базовых параметров ОПО понимается мониторинг состояний опасного вещества, технологических систем, систем жизнеобеспечения, состояний систем безопасности ОПО на основе сигналов датчиков, установленных на объекте. Процесс обработки данных мониторинга и их анализа осложняется еще и тем, что различные датчики, обеспечивающие мониторинг работы отдельных узлов объекта, имеют разные единицы измерения и градацию шкал опасного и безопасного функционирования, разную чувствительность к изменению ситуации, что затрудняет своевременное выявление предаварийных ситуаций.

Существующие на данный момент подходы к оценке состояния ОПО и систем, обеспечивающих безопасность, схожи между собой тем, что рассматривают объект отдельно по каждому дестабилизирующему фактору. По этой причине нет возможности в короткие сроки оперативно получать полную картину состояния объекта в каждый отдельный момент времени, а также оперативно получать прогноз возможных последствий и аварийных ситуаций (в т. ч. с визуальным моделированием) и выработкой управленческих решений по парированию возможных угрожающих ситуаций. Как показывает анализ ЧС техногенного характера на ОПО [1], развитие аварийной ситуации может быть спровоцировано отклонением не только одного контролируемого показателя, но и отклонениями в допустимых пределах совокупности наблюдаемых параметров.

Таким образом, к аварийной ситуации (особенно при значительном износе оборудования) может

привести состояние, характеризующееся значениями измеряемых параметров, каждый из которых находится близко к критическим значениям, но в пределах нормы (поэтому и не отражается на приборах как опасный сигнал).

Отсюда возникает задача: разработать комплексный показатель мониторинга состояния ОПО (по ключевым показателям), который позволил бы учесть показания всех наблюдаемых параметров не в отдельности по каждому, а в совместном рассмотрении и влиянии каждого (с весовым коэффициентом) на безопасное состояние объекта, технологическое оборудование и производственный процесс.

1. Постановка задачи

Пусть S — множество датчиков в системе мониторинга ОПО, измеряющих разные величины, а SS — комплексный показатель мониторинга, объединяющий в одном показателе все показания со всех типов датчиков (датчики, которые измеряют как одинаковые, так и разные физические параметры).

Каждый тип датчика S_i отображает показатель измеряемой им величины в пределах определенного множества значений,

$$V^i = \{a_1^i, a_2^i, \dots, a_b^i, a_{l+1}^i, a_{l+2}^i, \dots, a_m^i, a_{m+1}^i, a_{m+2}^i, \dots, a_n^i\}.$$

Каждое из данных значений является элементом одного из трех множеств состояний измеряемой величины: штатное —

$$S_i^N = \{a_1^i, a_2^i, \dots, a_b^i\},$$

предельное —

$$S_i^L = \{a_{l+1}^i, a_{l+2}^i, \dots, a_{l+m}^i\}$$

и критическое —

$$S_i^C = \{a_{m+1}^i, a_{m+2}^i, \dots, a_n^i\};$$

данные множества являются подмножествами множества состояний типов датчиков — S_i^{cond} .

Комплексный показатель мониторинга SS находится в пределах определенного множества значений,

$$V^{SS} = \{a_1^{SS}, a_2^{SS}, \dots, a_l^{SS}, a_{l+1}^{SS}, a_{l+2}^{SS}, \dots, a_m^{SS}, a_{m+1}^{SS}, a_{m+2}^{SS}, \dots, a_n^{SS}\}.$$

Каждое из данных значений является элементом одного из трех множеств состояний комплексного показателя мониторинга ОПО: штатное —

$$SS^N = \{a_1^{SS}, a_2^{SS}, \dots, a_m^{SS}\},$$

предельное —

$$SS^L = \{a_{l+1}^{SS}, a_{l+2}^{SS}, \dots, a_m^{SS}\}$$

и критическое —

$$SS^C = \{a_{m+1}^{SS}, a_{m+2}^{SS}, \dots, a_n^{SS}\}.$$

Для предупреждения возникновения чрезвычайной ситуации на опасном производственном объекте необходимо найти такие значения различных типов датчиков S_i^N , при которых комплексный показатель мониторинга SS находился бы в предельном SS^L или критичном состоянии SS^C (например, $S_i^N \cap S_{i+1}^N = S^L$, $S_i^N \cap S_{i+1}^N = S^C$).

2. Решение задачи

Для разработки комплексного показателя мониторинга возможно применение методов теории вероятностей путем построения многомерной функции распределения. Но такой подход имеет ряд существенных недостатков. Так, для построения функции распределения нужен значительный объем статистических данных о возможных причинах аварий и показаниях отклонений датчиков от штатного режима функционирования. Кроме этого, такие модели применимы для небольшого количества рассматриваемых датчиков (от 2 до 10). Зачастую статистические данные по техногенным ЧС отсутствуют, а если есть, то выборка незначительная и неоднородная, поэтому методы теории вероятностей становятся малоприменимыми для нахождения комплексного показателя мониторинга ОПО [2].

Другой подход основан на методах теории нечетких множеств и, в частности, теоретико-возможностном подходе [3, 4] для получения логической функции, значение которой будет описывать состояние объекта на основе автоматического перевода значений параметров мониторинга оборудования и объекта в соответствующие шкалы для выведения комплексного показателя.

Введем для каждого типа датчиков S_i лингвистическую переменную L_i . Термами T_i^{ii} данной лингви-

стической переменной L_i являются состояния датчиков: T_i^N (штатное), T_i^L (предельное) и T_i^C (критичное) для датчика S_i .

Функции принадлежности $\mu_i^{ii}(x)$ определяются по алгоритму, изложенному в работе [5]. Далее для каждого S_i^{cond} вычисляется степень принадлежности. Затем вычисляются общие значения a^{ii} для отсечения областей у функций принадлежности $\mu_i^{ii}(x)$ при помощи логико-возможностного подхода [6].

$$\begin{aligned} a^{ii} = & [\mu_i^{ii}(x) \wedge \mu_{i+1}^{ii}(x) \wedge \dots \wedge \mu_n^{ii}(x)] \vee \\ & \vee [\mu_i^{ii}(x) \wedge \mu_{i+1}^{ii}(x) \wedge \dots \wedge \mu_n^{ii}(x)] \vee \\ & \vee [\mu_i^{ii}(x) \wedge \mu_{i+1}^{ii}(x) \wedge \dots \wedge \mu_n^{ii}(x)], \end{aligned} \quad (1)$$

где x — значение, отображаемое S_i .

Как отмечалось выше, разные типы датчиков S_i отображают измеряемые ими значения в разных единицах и диапазонах значений. Для того чтобы сопоставлять значения S_i друг с другом, необходимо привести их показания к единому диапазону и единице измерения, т. е. нормировать их шкалу показаний.

Нормирование проводится посредством линейного преобразования:

$$y(x) = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (2)$$

где x — значение показателя, отображаемого датчиком S_i , а x_{\min} и x_{\max} — минимально и максимально возможные значения показаний датчика.

На следующем этапе вычисляются три минимальные функции $\mu_{\min}^{ii}(x)$ среди функций принадлежности $\mu_i^{ii}(x)$ для каждого состояния S_i .

$$\mu_{\min}^{ii}(x) = \min(\mu_i^{ii}(x), \mu_{i+1}^{ii}(x) \dots \mu_n^{ii}(x)). \quad (3)$$

После нахождения минимальных функций $\mu_{\min}^{ii}(x)$ у них «отрезаются» все области, значения которых больше a^{ii} . Получившиеся области значений объединяются на координатной плоскости в одну фигуру, у которой находится центр тяжести. По оси абсцисс размечается общая шкала для трех разных состояний S_i ; берутся минимальные значения диапазонов значений состояний S_i .

Значение центра тяжести проецируется на ось абсцисс, и таким образом определяется состояние,

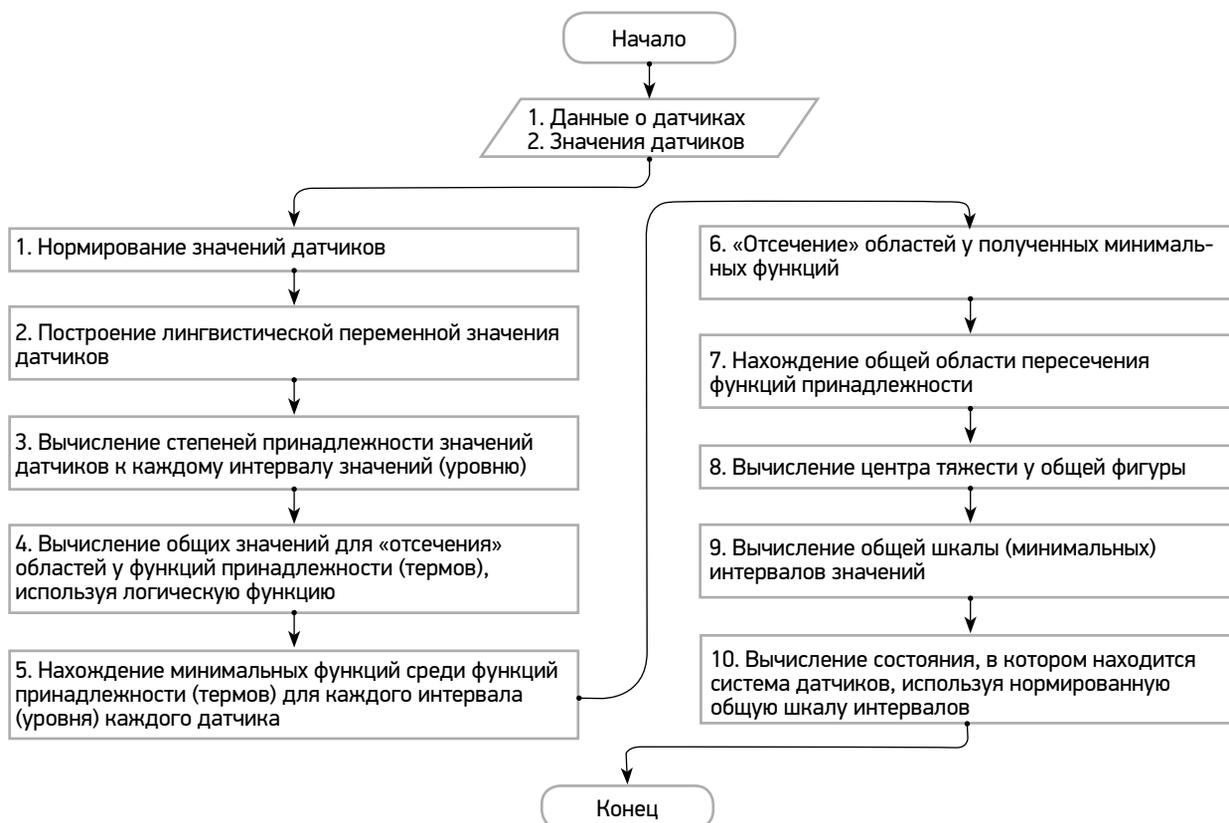


Рис. 1. Алгоритм определения комплексного показателя состояния ОПО

Входные данные

	Название	Знач.	Единицы измерения	Интервалы	Уровень
▶	Датчик температуры вещества в оборудовании и трубог	55,023	С	0..45..70..100	Предельный
	Стабилизатор напряжения	366,042	В	342..361..399..418	Предельный
	Датчик загазованности	1,1	%	0..1..3..5	Предельный
	Система мониторинга коррозии	0,09	мм/год	0..0,08..0,1..0,2	Предельный
	Датчик измерения вибрации. Виброскорость	58	мм/с	0..50..70..100	Предельный
	Датчик измерения вибрации. Виброускорение	45	мм/с ²	0,1..40..50..100	Предельный
*					

Моделировать показатели датчиков

v1.3.0.0

Рис. 2. Информация по типам датчиков

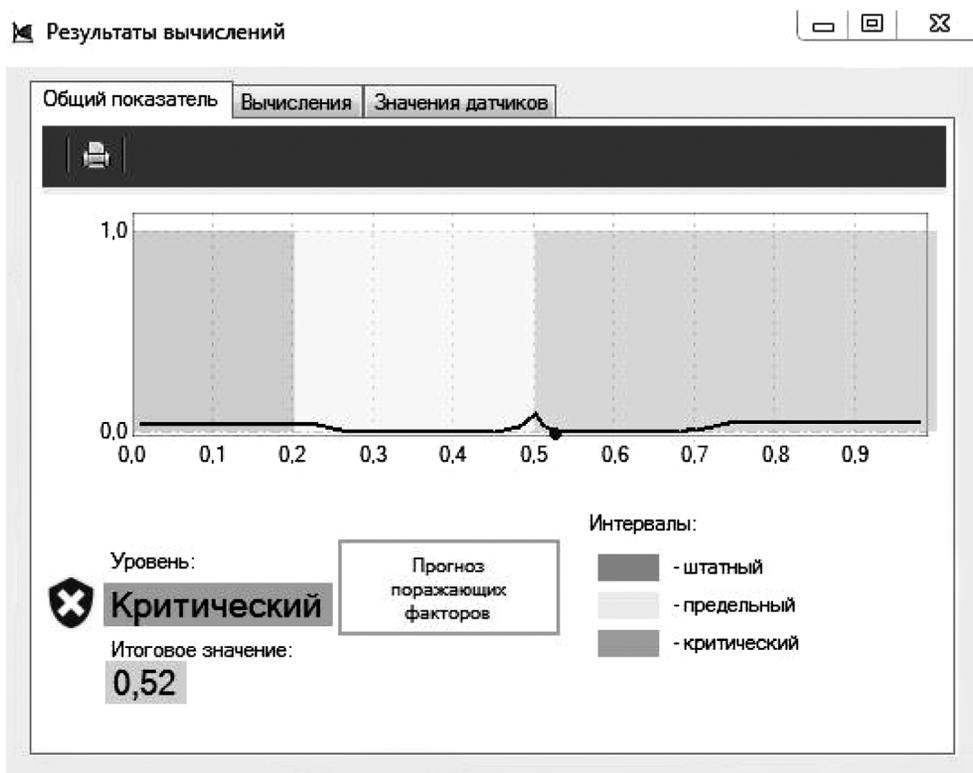


Рис. 3. Значение комплексного показателя мониторинга

которое соответствует состоянию системы мониторинга опасного производственного объекта, используя нормированную общую шкалу показаний. Это значение является комплексным показателем мониторинга.

Вышеописанные действия описаны в алгоритме, приведенном на рис. 1.

3. Пример

В качестве примера будет рассмотрен объект с шестью типами датчиков. На рис. 2 приведены названия типов датчиков, их показания, единицы измерения, интервалы значений и уровень (состояние), к которому сейчас принадлежит отображаемое значение (штатный, предельный или критичный).

Используя значения из рис. 2, вышеописанный алгоритм выдает значение комплексного показателя мониторинга, равное 0,52 (рис. 3). Данное значение находится в интервале критичных значений. Это означает, что весь объект мониторинга находится в критичном состоянии.

Рассмотрим более подробно вышеописанный алгоритм. Первым шагом в алгоритме является построение лингвистических переменных для каждого типа датчика. В качестве примера опишем данную переменную для датчика загазованности $L_{\text{заг}}$. $L_{\text{заг}} = \langle A, T, X, U \rangle$, где A — название лингвистической переменной: датчик загазованности, T — множество состояний данного типа датчика: $T_{\text{заг}}^N$ (штатное), $T_{\text{заг}}^L$ (предельное) и $T_{\text{заг}}^C$ (критичное), X — область определения (от 0 до 5), U — множество функций принадлежности:

$$\mu_{\text{заг}}^N(x) = \frac{1}{1 + e^{0,908(x-7,037)}}; \mu_{\text{заг}}^L = e^{-\frac{(x-17,70)^2}{0,461}};$$

$$\mu_{\text{заг}}^C(x) = \frac{1}{1 + e^{-2,139(x-23,89)}}.$$

Лингвистические переменные для остальных типов датчиков записываются аналогично, отличаться будут только названием лингвистической переменной и областью определения.

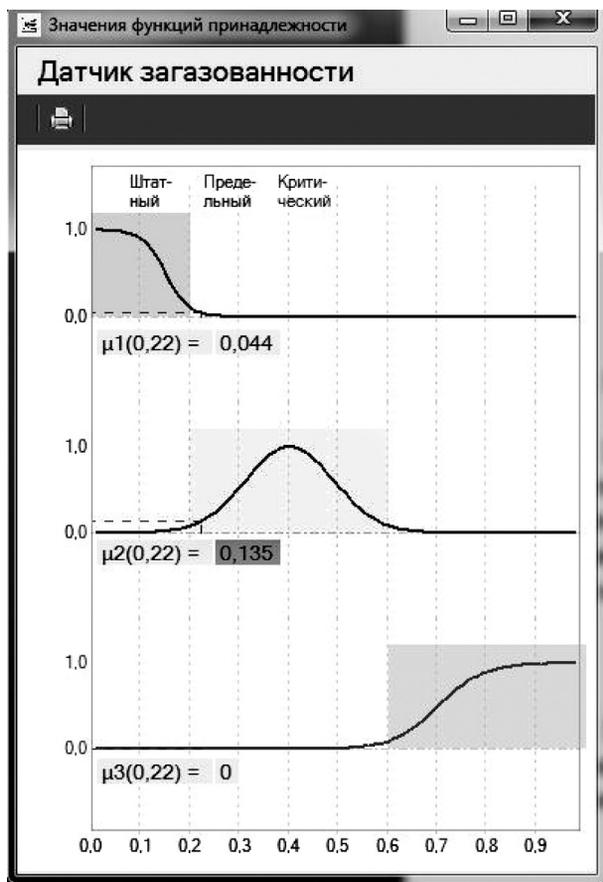


Рис. 4. Степень принадлежности показания датчика загазованности

После описания лингвистических переменных вычисляется степень принадлежности значений типов датчиков к каждому интервалу (состояний) датчика, причем ось абсцисс отображает значения в нормированном виде посредством линейного преобразования по формуле (2). На рис. 4 изображены графики функций принадлежности $L_{\text{заг}}$.

Следующим шагом вычисляются значения a^{ii} для «отсечения» областей у функций принадлежности $\mu_i^{ii}(x)$ с использованием логико-вероятностного подхода. Рассмотрим данный шаг для трех типов датчика: температуры, загазованности и вибрации. Значения функций принадлежности для данных типов датчиков отображены в табл. 1.

Далее вычисляется a^N по формуле (1), а промежуточный этап вычисления отображен в табл. 2.

Значения функций принадлежности для датчиков температуры, загазованности и вибрации Таблица 1

Датчик	$\mu^N(x)$	$\mu^L(x)$	$\mu^C(x)$
Температуры	0,015	0,947	0,002
Загазованности	0,044	0,135	0
Вибрации	0,027	0,923	0,004

Промежуточный этап вычисления a^N Таблица 2

$\mu_{\text{тем}}^N$	$\mu_{\text{заг}}^N$	$\mu_{\text{вibr}}^N$	$\min(\mu_i^N)$
0,015	0,044	0,027	0,015
0,015	0,044	0,973	0,015
0,015	0,956	0,027	0,015
0,015	0,956	0,973	0,015
0,985	0,044	0,027	0,027
0,985	0,044	0,973	0,044
0,985	0,956	0,027	0,027

Значения a^{ii} Таблица 3

Количество датчиков	a^N	a^L	a^C
Три	0,044	0,865	0,004
Шесть	0,044	0,752	0,045

В первой строке записаны значения функций принадлежности к нормальному состоянию ($\mu_i^N(x)$). Следующие строки записываются с инверсией для каждого значения, перебираются все возможные варианты, за исключением инверсий всех значений в одной строке. Так, во второй строке вместо $\mu_{\text{вibr}}^N(x)$ записана инверсия $\mu_{\text{вibr}}^N(x)$ (вместо 0,027 записано 0,973). После нахождения минимумов всех строк (последний столбец) вычисляется a^N . Для этого находится максимальное значение из последнего столбца, $a^N = 0,044$.

Значения a^{ii} для трех типов датчиков (табл. 1) и шести типов датчиков (рис. 2) приведены в табл. 3.

После нахождения a^{ii} вычисляются три минимальные функции $\mu_{\text{min}}^{ii}(x)$ среди функций принадлежности $\mu_i^{ii}(x)$ для каждого состояния S_i по фор-

муле (3). Затем у $\mu_{\min}^{ii}(x)$ «отсекаются» все области, значения которых больше a^{ii} . Получившиеся области значений объединяются на координатной плоскости в одну фигуру, у которой находится центр тяжести.

Перед нахождением центра тяжести необходимо преобразовать получившуюся фигуру в многоугольник. Для этого производится дискретизация с шагом 0,01, после чего получается многоугольник, который содержит 102 вершины. Данное число вершин позволяет получить многоугольник, достаточно приближенный к оригинальной фигуре. У получившегося многоугольника, определенного n вершинами $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_{n-1}, y_{n-1})$, центром тяжести является точка (C_x, C_y) [7], где

$$C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i);$$

$$C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i);$$

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i).$$

По оси абсцисс размечается общая шкала для трех разных состояний S_p , берутся минимальные значения диапазонов значений состояний S_i . Например, у $S_{\text{темп}}$ диапазоном нормальных значений является диапазон в пределах от 0 до 45, а для $S_{\text{заг}}$ — от 0 до 1 (рис. 2). Нормированный диапазон значений для $S_{\text{темп}}$ — от 0 до 0,45, для $S_{\text{заг}}$ — от 0 до 0,2. Тогда интервал нормального диапазона на общей шкале будет от 0 до 0,2.

Комплексный показатель мониторинга состояния ОПО вычисляется проецированием на ось абсцисс значения центра тяжести (рис. 2).

Заключение

Таким образом, нахождение комплексного показателя систем мониторинга ОПО по вышеописанному алгоритму позволит комплексно оценить риск возникновения аварии, кроме этого:

- выявить совместное действие опасных факторов, которые могут быть обнаружены на объекте,

комплексно оценивать показания различных датчиков, что позволит заблаговременно принять меры и предотвратить развитие аварийной ситуации, спровоцированной совокупностью предопасных состояний;

- учесть отклонения всех контролируемых показателей, а также отклонения значений показателей в пределах, близких к допустимым;

- учитывать показания значительного числа датчиков с возможностью оперативной автоматизированной обработки большого количества наблюдаемых параметров, установленных на технологическом оборудовании и конструктивных элементах объекта.

Литература

1. Уроки, извлеченные из аварий [Электронный ресурс] // Ростехнадзор — URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/oil/lessons/> (Дата обращения: 07.11.2016).
2. Королев В.Ю., Арефьева Е.В., Рыбаков А.В., Лазовский Р.А. Прогнозирование рисков техногенных чрезвычайных ситуаций на основе оценки вероятностей ущербов в результате чрезвычайных ситуаций, рассматриваемых как неоднородный поток экстремальных событий. // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2015. № 3. С. 73—78.
3. Рыбаков А.В., Арефьева Е.В. Модель комплексного состояния мониторинга состояния объектов нефтехранения // Нефтяное хозяйство, 2015. № 9. С. 116—120.
4. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2004. 432 с.
5. Леоненко А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.
6. Матюшкин Д.И., Рыбаков А.В. О комплексном мониторинге состояния пожаровзрывоопасного объекта // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2014. № 4. С. 113—117.
7. Calculating the area and centroid of a polygon [Электронный ресурс] // Paul Bourke URL: <http://paulbourke.net/geometry/polygonmesh/> (Дата обращения: 07.11.2016).

Сведения об авторах

Рыбаков Анатолий Валерьевич: доктор технических наук, доцент Академии гражданской защиты МЧС России, начальник лаборатории информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС
Количество публикаций: 85

Область научных интересов: математическое моделирование сложных процессов, защита в чрезвычайных ситуациях

Контактная информация:

Адрес: 141435, г. Химки, ул. Соколовская, д. 1

Тел.: +7 (929) 631-34-95

E-mail: anatoll_rubakov@mail.ru

Сорокин Андрей Дмитриевич: оператор лаборатории информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС Академии гражданской защиты МЧС России

Количество публикаций: 2

Область научных интересов: оценка риска, управление качеством, безопасность в чрезвычайных ситуациях

Контактная информация:

Адрес: 141435, г. Химки, ул. Соколовская, д. 1

Тел.: +7 (916) 876-99-96

E-mail: dalwe@yandex.ru

Кочетков Виктор Вячеславович: оператор лаборатории информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС Академии гражданской защиты МЧС России

Количество публикаций: 1

Область научных интересов: оценка риска, информационные системы, безопасность в чрезвычайных ситуациях

Контактная информация:

Адрес: 141435, г. Химки, ул. Соколовская, д. 1

Тел.: +7 (915) 392-54-91

E-mail: victor.development@yandex.ru

Арефьева Елена Валентиновна: доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник НИЦ ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России

Количество публикаций: 95

Область научных интересов: анализ и оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций, математическое моделирование опасных природных процессов и их последствий

Контактная информация:

Адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7

Тел.: +7 (495) 400-90-11

E-mail: elaref@mail.ru

УДК 551.466.62+550.344.42

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

О достоверном оперативном прогнозе цунами

Ю. П. Королев,
А. В. Лоскутов,
Институт морской геологии
и геофизики ДВО РАН,
г. Южно-Сахалинск

Аннотация

Одним из негативных факторов, влияющих на нормальное функционирование муниципальных образований на побережье Дальнего Востока, являются ложные тревоги цунами. К настоящему времени из общего числа тревог ложные составляют не менее 75%. Ложные тревоги наносят ущерб, связанный с остановкой производства, другой деятельности в прибрежной зоне, эвакуацией населения, выводом судов в открытое море.

Проблема заключается в том, чтобы службы предупреждения о цунами объявляли тревоги с разумной заблаговременностью только в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную опасность, и сопровождали информацией о времени прихода первой, максимальной волны, их амплитудах, а также об ожидаемом времени окончания цунами.

Целью работы являлось исследование возможности заблаговременного прогноза цунами вблизи побережья по данным глубоководных донных станций, расположенных в открытом океане, без привлечения детальной сейсмологической информации о землетрясениях.

В численном эксперименте моделировался процесс оперативного прогнозирования Симуширских цунами 2006 и 2007 гг. вблизи побережья Курильских островов и о. Хоккайдо.

Для расчета волновых форм цунами вблизи побережья применялся способ оперативного прогноза цунами, позволяющий по данным о цунами в открытом океане в режиме реального времени с достаточной заблаговременностью рассчитывать волновую форму цунами в заданных пунктах побережья.

Показано, что возможен заблаговременный (за 0,5—1,5 часа до прихода первой волны) прогноз цунами 2006 и 2007 гг. для северных и южных Курильских островов.

Способ может стать инструментом, который позволит существенно уменьшить количество ложных тревог.

Ключевые слова: цунами, краткосрочный прогноз, оперативный прогноз, тревога цунами, ложная тревога цунами, измерения уровня океана, численное моделирование, глубоководные донные станции, DART.

Содержание

- Введение
- 1. Цель и задачи
- 2. Предварительная информация
- 3. Описание эксперимента
- 4. Результаты
- Заключение
- Литература

Введение

Цунами относится к числу серьезных стихийных бедствий, наносящих большой ущерб, нередко с человеческими жертвами.

Очевидно, что цунами невозможно предотвратить, но можно предупредить население об опасности. В настоящее время основным способом предупреждения о цунами является сейсмологический, или магнитудно-географический, разработанный в середине прошлого века. Действующие достаточно давно службы предупреждения о цунами практически не допускают пропусков, своевременно предупреждая о возможной опасности. Среди тревог цунами значительную часть составляют так называемые ложные тревоги, когда цунами проявляется крайне незначительно, не причиняя никакого материального ущерба. К настоящему времени из общего числа тревог ложные составляют не менее 75% [1]. Ложные тревоги цунами сопровождаются остановкой производства, другой деятельности в прибрежной зоне, эвакуацией населения в безопасные районы, выводом судов на рейд или в открытое море.

Достоверность, адекватность тревог цунами является главной проблемой оперативного прогноза. По оцененной в оперативном режиме магнитуде землетрясения тревога объявляется на побережьях большой протяженности без информации об ожидаемых высотах волн. Высоты цунами на одних участках побережья могут быть значительными, на других — несущественными. В таких случаях тревога является оправданной для одних и ложной для других участков. Примерами таких тревог в России являются тревоги во время Симуширских цунами 2006 и 2007 гг. Тревога цунами в соответствии с магнитудным критерием в 2006 г. на Курильских островах была объявлена за 1 час 44 мин до прихода волны в Южно-Курильск, длительность тревоги составила около 2 часов (в 2007 г. 1 час 57 мин и около 3 часов соответственно) [2]. Эти цунами сопровождались заплесками до 20 м на ближайших к очагу незаселенных центральных Курильских островах, в то время как на южных Курильских островах максимальные амплитуды составляли 40—70 см [3, 4] и не представляли опасности. Тревоги, объявленные на всех островах, сопровождались эвакуацией населения, экстренным выходом судов на рейд или в открытое море. Эти тревоги, согласно регламенту, расцениваются как

оправдавшиеся, однако для северных и южных Курил они фактически оказались ложными. Наличие таких ситуаций не свидетельствует о некачественной работе службы предупреждения, а лишь в очередной раз подтверждает несовершенство магнитудно-географического метода прогноза цунами [2].

Ложные тревоги цунами, объявляемые зачастую с излишней заблаговременностью, хоть и не наносят прямого ущерба, но создают неоправданные стрессовые ситуации для населения, приносят значительный материальный ущерб, связанный с остановкой производства на опасных местах, эвакуацией населения, выводом судов в открытое море. Причем всякого рода деятельность в прибрежной полосе останавливается на несколько часов.

Серьезной проблемой является недоверие населения к тревогам цунами и их игнорирование, вызванные большим количеством ложных тревог. Это явилось одной из причин большого числа жертв во время цунами Тохоку 2011 г.

Проблема заключается в том, чтобы службы предупреждения объявляли не только обоснованные общие тревоги, но и дифференцированные по степени опасности для конкретных участков побережий. Идеально тревога цунами должна объявляться с разумной заблаговременностью только в тех пунктах, в которых цунами представляет реальную опасность, и сопровождаться информацией о времени прихода первой волны, максимальной волны, их амплитудах, а также об ожидаемом времени окончания цунами (отбой тревоги цунами) [2, 5, 6].

Гидрофизические способы прогнозирования цунами не зависят от точности определения магнитуды. Достоверной для оценки степени опасности цунами является информация о сформировавшемся цунами, получаемая в океане глубоководными донными станциями системы DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis — оценка и сообщение о цунами в океане) [7].

1. Цель и задачи

Целью работы являлось исследование возможности заблаговременного прогноза цунами вблизи побережья по данным глубоководных донных станций системы DART, расположенных в открытом океане, без привлечения сейсмологической информации о землетрясениях.

Задачами, которые решались в работе, являлись расчет (ретроспективный прогноз) формы цунами вблизи побережья Курильских островов и острова Хоккайдо по восстановленным данным ближайшей к очагу станции DART 21419, расположенной восточнее Курило-Камчатского желоба, во время событий 2006 и 2007 гг.; сопоставление прогноза с прямым расчетом цунами на основе данных о детальном смещении океанского дна в очаге; оценка заблаговременности выработки прогноза; оценка применимости способа оперативного прогноза цунами.

В итоге дается ответ на вопрос: возможен ли оперативный прогноз в случае повторения ситуаций 2006, 2007 гг.

2. Предварительная информация

На рис. 1 представлена расчетная схема эксперимента с указанием местоположений эпицентров землетрясений, станции DART 21419 и пунктов, для которых выполнялись расчеты.

Ввиду того, что станция DART 21419 не зарегистрировала цунами 2006 и 2007 гг., форма цунами в этой точке рассчитывалась (восстанавливалась) по данным более далекой станции DART 21414, время пробега цунами до которой составляло около 2 часов. Положение станции выходит за рамки схемы рис. 1, ее координаты $48^{\circ}58'3''$ с.ш., $178^{\circ}13'8''$ в.д.

Выбор пунктов прогноза обусловлен наличием в этих пунктах реальных записей цунами.

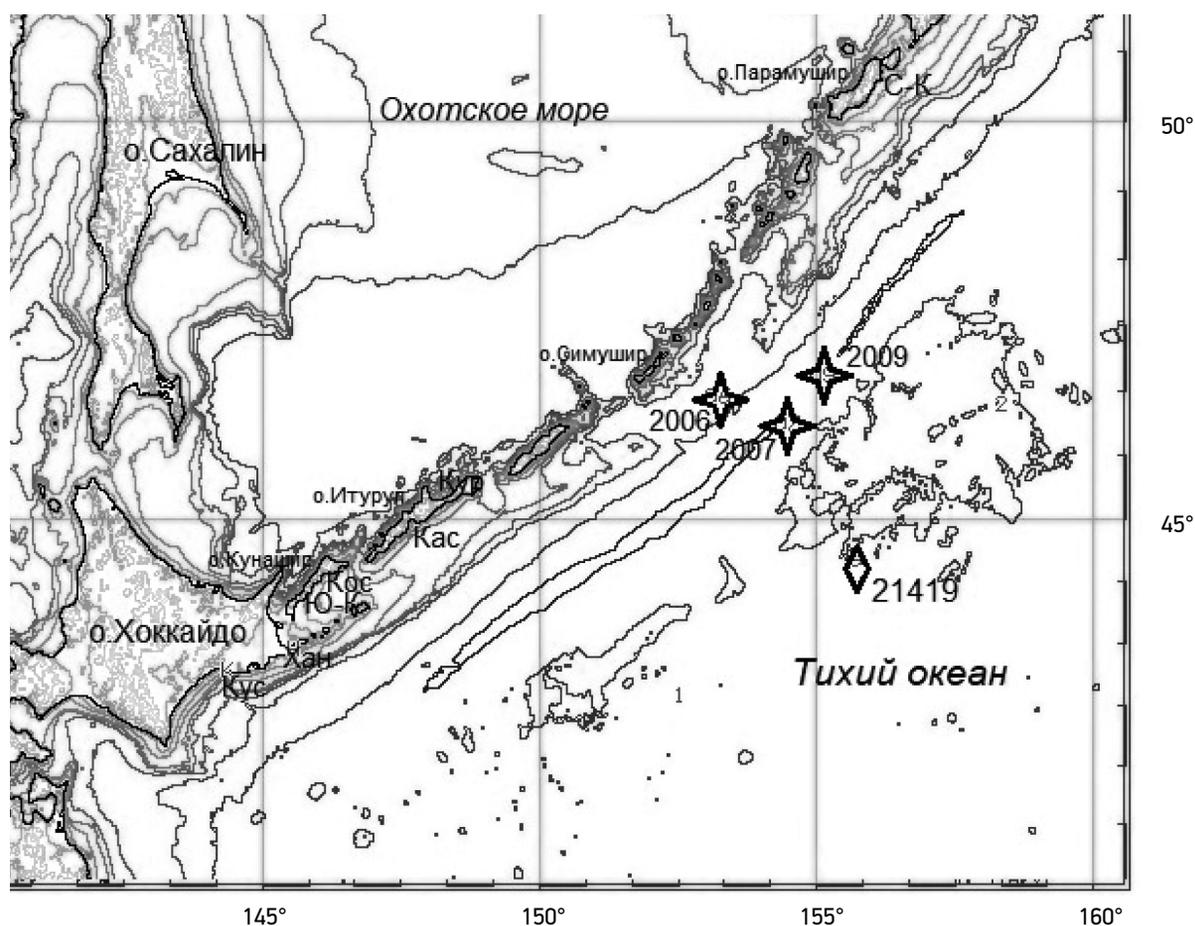


Рис. 1. Расчетная схема численного эксперимента. Звездочками обозначены эпицентры землетрясений, ромбом — положение станции системы DART. На схеме обозначено: Хан — Ханасаки, Кур — Курильск, Ю-К — Южно-Курильск, Кос — бух. Космодемьянская, Кас — зал. Касатка, Кур — Курильск, С-К — Северо-Курильск

Для расчета волновых форм цунами вблизи побережья применялся способ оперативного прогноза цунами [6]. Способ позволяет по данным о цунами в открытом океане в режиме реального времени с достаточной заблаговременностью рассчитывать волновую форму цунами в заданных пунктах побережья.

Способ не зависит от магнитуды землетрясения, более того, учитывает такие дополнительные факторы, как сопутствующие землетрясению подводные оползни. Для выполнения прогноза от сейсмологической подсистемы необходима информация только о координатах эпицентра землетрясения. Способ позволяет по ограниченной информации о цунами в открытом океане (первый полупериод/первый период волны) давать прогноз ожидаемого цунами достаточно большой длительности, оценить длительность возможной тревоги цунами. Учитываются возможные вторичные волны значительной амплитуды, нередко приходящие с задержкой в несколько часов. На основании прогноза тревога цунами может подаваться только для пунктов, для которых существует реальная угроза. Способ применим к прогнозу как ближних (локальных) [2], так и дальних (трансокеанских) [8] цунами.

Способ применялся ранее для моделирования процесса оперативного прогнозирования цунами 2006 и 2007 гг. в открытом океане по данным станции DART 21414 [5]. Получено хорошее соответствие расчетных и зарегистрированных форм волн. При этом точки (станции системы DART), для которых выполнялся расчет, находились дальше от очага цунами, чем станция DART 21414. При моделировании цунами 2007 г. в открытом океане правильно рассчитывалась начальная, отрицательная, фаза цунами. Ввиду отсутствия на момент написания ра-

боты [5] зарегистрированных данных моделирование для побережий и пунктов Курильских островов не выполнялось.

3. Описание эксперимента

Эксперимент состоял в расчете способом оперативного прогноза формы цунами вблизи побережья Курильских островов и острова Хоккайдо по восстановленным данным станции DART 21419, ближайшей к очагу, пробег цунами до которой составлял 15 мин (по первому гребню) в 2006 г. и 20 мин (по первой впадине) в 2007 г.

Независимо от расчетов способом оперативного прогноза было выполнено прямое моделирование цунами 2006 г. с использованием детального смещения океанского дна в очаге. Для моделирования распространения цунами в океане использовалась модель глобального рельефа — SRTM15. Данные массива представляют собой регулярную сетку в географических координатах с разрешением 15 угловых секунд.

Для расчета применялся вариант кода TUNAMI [9] для сферической Земли с распараллеливанием на GPU-процессоре. В качестве начальных условий в расчет вводилось начальное смещение поверхности океана в очаге цунами, оцениваемое с помощью инверсии сейсмических волн [10] и расчета косейсмических деформаций в очаге по формулам Окады [11].

Производилось сравнение результатов прямого моделирования, результатов прогноза и немногочисленных натуральных данных о цунами.

На рис. 2 представлен результат прямого расчета формы цунами 2006 г. на станции DART 21419 и восстановленные способом оперативного прогноза по данным станции DART 21414 формы цунами 2006 и 2007 гг. на станции DART 21419.



Рис. 2. Восстановленная волновая форма и форма, полученная прямым расчетом, цунами 2006 и 2007 гг. на станции DART 21419

Восстановленные формы цунами правильно показывают начальную фазу волн: положительную для 2006 г. и отрицательную для 2007 г. По этим данным длительностью 30 мин от начала землетрясений 2006 и 2007 гг. в дальнейшем выполнялся расчет (прогноз) форм цунами вблизи побережий. Длительности сигналов выбраны из соображений оперативности прогноза. В дальнейшем под термином «прогноз» понимается расчет цунами по восстановленной форме цунами в точке DART 21419 способом оперативного прогноза цунами.

Как видно из рис. 2, форма цунами, полученная прямым расчетом, имеет более крутой фронт, нежели восстановленная. Аналогичный эффект наблюдался при моделировании цунами Тохоку 2011 г. [12].

4. Результаты

4.1. Прогноз формы Симуширских цунами 2006 и 2007 гг.

Выполнены прогноз и прямой расчет формы цунами 2006 и 2007 гг. вблизи побережий северных, южных Курильских островов и о. Хоккайдо. Прогноз и прямой расчет выполнены в точках на расстояни-

ях 1,0—2,0 км от берега. Некоторые результаты, для которых имелась возможность сравнения с реальными записями, представлены на рис. 3.

Для Ханасаки и Кусиро в обоих событиях головные волны прогнозированной формы хорошо совпадают с формами зарегистрированных цунами. В целом структуры, амплитуды прогнозированных и зарегистрированных форм совпадают, причем правильно прогнозируется начальная фаза волны. Необходимости объявлять тревогу в этих пунктах не было.

Совпадения зарегистрированной формы волны с прогнозом и результатом прямого расчета для Южно-Курильска не наблюдается как в случае 2006 г., так и в случае 2007 г. Расчетные амплитуды волн превышают амплитуды реальных цунами. Объяснений несовпадения для Южно-Курильска в настоящее время нет. Однако даже завышенные оценки амплитуд позволяют определить ожидаемые цунами в этом пункте как неопасные.

Сопоставление результатов прямого расчета и прогноза для других пунктов Курильских островов, в которых регистрация не проводилась, представлено на рис. 4.

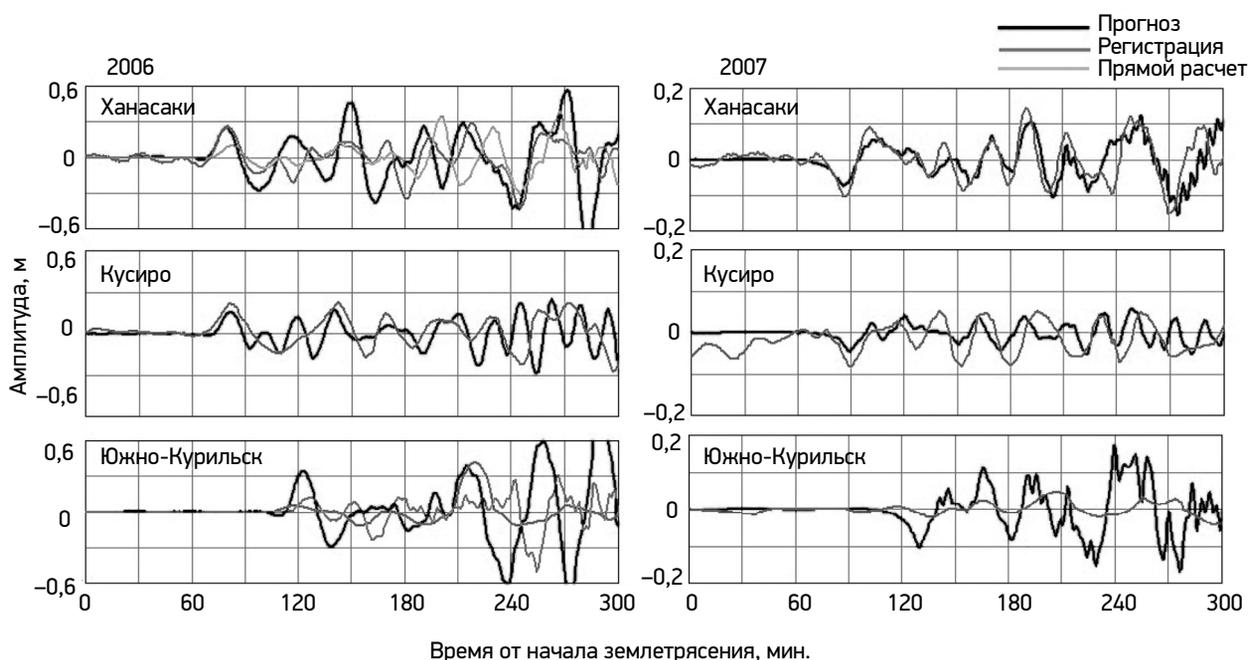


Рис. 3. Сравнение зарегистрированной формы и результатов прямого расчета и прогноза по восстановленным данным на станции DART 21419 цунами 2006 и 2007 гг.

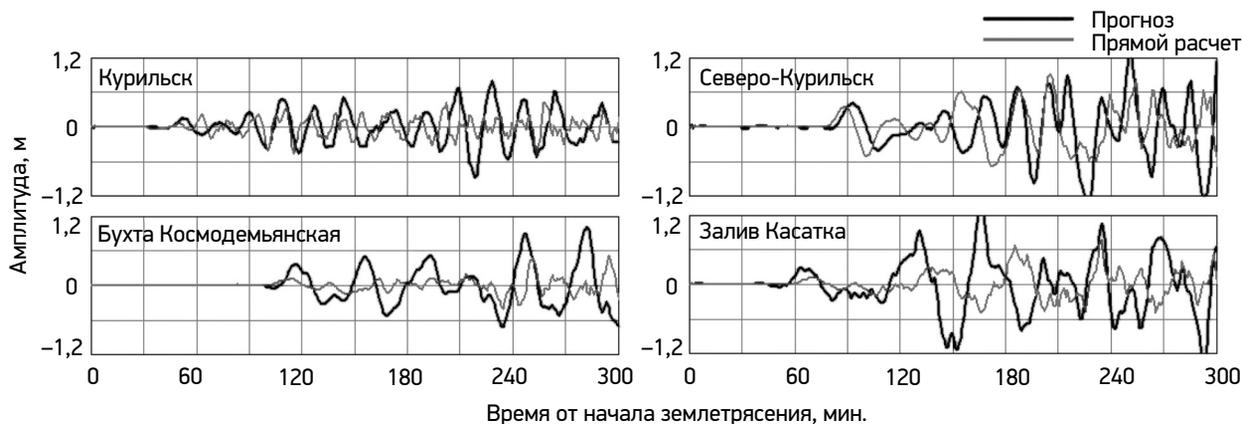


Рис. 4. Сравнение результатов прямого расчета и прогноза по восстановленным данным станции DART 21419 цунами 2006 г.

Получено неплохое соответствие прямого расчета и прогноза цунами для Курильска (о. Итуруп) и Северо-Курильска (о. Парамушир). Для бухты Космодемьянская (о. Кунашир) и залива Касатка (о. Итуруп) прогноз дает завышенные амплитуды по сравнению с прямым расчетом. К сожалению, ни регистрации, ни визуальных наблюдений в этих пунктах не велось, сравнить результаты расчетов с фактическими цунами не представляется возможным.

4.2. Заблаговременность прогноза

В численном эксперименте оценена заблаговременность прогноза для пунктов Курильских островов.

Момент времени выработки прогноза определяется временем пробега цунами до пункта регистрации в открытом море плюс время распознавания цунами по данным регистрации (первый полупериод — первый период длительностью 15—30 мин). В условиях эксперимента при пробеге цунами 2006 г. до станции DART 21419 15 мин (при цунами 2007 г. — 20 мин) момент времени выработки прогноза (по первому периоду цунами на станции DART 21419) после начала землетрясения равен 31 мин для 2006 г. и 36 мин для 2007 г.

Заблаговременность прогноза — разность между временем добегания цунами до населенного пункта и временем выработки прогноза — должна гарантировать своевременную подачу тревоги, эвакуацию населения в безопасные места и выход судов в открытое море. Время пробега цунами до защи-

щаемого пункта определяется как момент прихода гребня или впадины первой волны.

В условиях эксперимента заблаговременность прогноза цунами для Южно-Курильска составляет около 1,5 часа, для Северо-Курильска — около 1 часа. Для Буревестника (залив Касатка о. Итуруп) заблаговременность составляет 34 мин, для Курильска — около 20 мин. Для этих населенных пунктов, кроме Курильска, как представляется, времени вполне достаточно для принятия решения об объявлении тревоги цунами и при необходимости проведения эвакуации населения и вывода судов в открытое море.

Заключение

В настоящее время службами предупреждения о цунами в Тихом океане внедряется новый регламент оценки опасности цунами [13], который основан на предварительных расчетах с использованием упрощенной модели источника. Приблизительно оцениваются максимальные амплитуды волн на некотором расстоянии от побережья и в соответствии с известным законом Грина вблизи берега на глубинах до 1 м. Побережье российского Дальнего Востока входит в зону ответственности Северо-западного тихоокеанского консультативного центра цунами (NWPTAC). Прогноз дается для крупных регионов, позволяет лишь ориентировочно оценить опасность возникшего цунами. Детальный прогноз по отдельным островам, тем более по населенным

пунктам на островах, не дается. Принятие решения об объявлении тревоги цунами возлагается на региональные центры. Региональные центры предупреждения о цунами, ответственные за объявление тревоги, должны, видимо, самостоятельно разрабатывать способы детального прогнозирования цунами в своем районе.

Определение понятия «оперативный прогноз цунами» было дано в Глоссарии цунами, разработанном Межправительственной океанографической комиссией (МОК) ЮНЕСКО (IOC UNESCO) лишь в 2013 г.: «Количественная оценка характеристик и степени опасности цунами, выполняемая заблаговременно. Характеристики, которые могут быть предсказаны, включают время прибытия первой волны, время прихода максимальной волны, амплитуды максимальных волн и продолжительность опасности цунами» [14].

Вышеописанный регламент в силу грубых оценок, расчетов, основанных на предположениях о механизме землетрясения, не отвечает определению МОК ЮНЕСКО.

Способ оперативного прогноза цунами, примененный в работе, в отличие от регламента, полностью соответствует определению МОК ЮНЕСКО при условии оперативного получения информации от станций измерения уровня океана (например, системы DART). Способ дает полную информацию об ожидаемом цунами.

Численный эксперимент показал, что при условии регистрации цунами станцией DART 21419 и оперативного получения информации возможен заблаговременный (за 0,5—1,5 часа до прихода первой волны) прогноз цунами 2006 и 2007 гг. для северных и южных Курильских островов. Для центральных Курильских островов при землетрясениях в том же районе никакой гидрофизический способ не может быть применим, для этих островов тревога цунами должна объявляться в соответствии с действующим в настоящее время регламентом (магнитудным критерием).

Предлагаемый способ может быть использован как региональными, так и локальными службами, если последние имеют возможность принимать первичную сейсмологическую информацию и данные глубоководных уровенных станций в режиме реального времени.

Предлагаемый способ не заменит существующий сейсмологический (магнитудный) способ прогноза цунами, но обеспечит достоверность, обоснованность объявления тревоги цунами. Предварительный, выработанный по магнитудному признаку, прогноз (предупреждение) цунами может быть подтвержден или отвергнут на основании расчетов по данным уровенных станций для каждого конкретного пункта. В случае подтверждения опасности цунами тревога должна подаваться в пункте, в котором цунами представляет реальную угрозу, с оптимальной для этого пункта заблаговременностью.

Способ может стать инструментом, который позволит существенно уменьшить количество ложных тревог и тем самым обеспечить нормальное функционирование всех служб муниципальных образований, бесперебойную работу предприятий и исключить связанный с ними неоправданный ущерб, повысить доверие населения к тревогам цунами.

Литература

1. Гусяков В.К. Магнитудно-географический критерий прогнозирования цунами: анализ практики применения за 1958—2009 гг. // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 3. С. 5—21.
2. Королев Ю.П., Ивельская Т.Н. Совершенствование оперативного прогноза цунами и тревоги цунами. Анализ последних цунами // Проблемы анализа риска. 2012. Т. 9. № 2. С. 76—91.
3. Левин Б.В., Кайстренко В.М., Рыбин А.В. и др. Проявления цунами 15 ноября 2006 г. на центральных Курильских островах и результаты моделирования высот заплесков // Докл. Академии наук. 2008. Т. 419. № 1. С. 118—122.
4. MacInnes B. T., Pinagina T. K., Bourgeois J. et al. Field Survey and Geological Effects of the 15 November 2006 Kuril Tsunami in the Middle Kuril Islands // Pure Appl. Geophys. 2009. 166. P. 9—36. (DOI 10.1007/s00024-008-0428-3).
5. Королев Ю.П. О гидрофизическом способе оперативного прогноза цунами // Проблемы анализа риска. 2011. Т. 8. № 2. С. 32—47.
6. Korolev Yu. P. An approximate method of short-term tsunami forecast and the hindcasting of some recent events // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011. V. 11. P. 3081—3091. (Doi:10.5194/nhess-11-3081-2011).

7. NOAA Center for Tsunami Research. URL: <http://nctr.pmel.noaa.gov/> (Дата обращения: 27.03.2017).
8. Королев Ю.П., Храмушин В.Н. Об оперативном прогнозе цунами 1 апреля 2014 г. вблизи побережья Курильских островов // *Метеорология и гидрология*. 2016. №4. С. 86—91.
9. Imamura F. Tsunami numerical simulation with the staggered leap-frog scheme (numerical code of TUNAMI-N1 and N2) // *Disaster Control Research Center, Tohoku University*. 1995.
10. Hayes G. Finite fault model. Updated result of the March 11, 2011 Mw 9.0 earthquake offshore Honshu, Japan // *USGS. Earthquake Hazards Program*. URL: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2011/%20usc0001xgp/finite_fault.php. (accessed: 15.05.2017).
11. Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space // *Bul. Seis. Soc. Am.* 1985. Vol. 75. №4. P. 1135—1154.
12. Shevchenko G., Ivelskaya T. and Loskutov A. Characteristics of the 2011 Great Tohoku Tsunami on the Russian Far East Coast: Deep-Water and Coastal Observations // *Pure Appl. Geophys.* 2013. 171(12). P. 3329—3350. (DOI 10.1007/s00024-013-0727-1).
13. Users Guide for the Pacific Tsunami Warning Center Enhanced Products for the Pacific Tsunami Warning System. *IOC Technical Series. N 105, Rev. ed. UNESCO/IOC*. 2014.
14. Intergovernmental Oceanographic Commission. Rev. Ed. 2013. *Tsunami Glossary*, 2013. Paris, UNESCO. *IOC Technical Series. N 85. (IOC/2008/TS/85rev)*. URL: http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=10442 (Дата обращения: 27.03.2017).

Сведения об авторах

Королев Юрий Павлович: кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории цунами Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН)

Количество публикаций: 87 публикаций, в том числе 3 монографии в соавторстве, 3 авторских свидетельства на изобретения

Область научных интересов: физика океана, волновые процессы в океане, математическое моделирование в естественных науках, динамика идеальной жидкости, математическая физика

Контактная информация:

Адрес: 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 16

Тел.: +7 (4242) 796-154

E-mail: y.korolev@imgg.ru, Yu_P_K@mail.ru

Лоскутов Артем Владимирович: кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории цунами Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН)

Количество публикаций: 37

Область научных интересов: анализ и выявление физических закономерностей цунами по данным глубоководных и прибрежных регистраторов

Контактная информация:

Адрес: 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 16

Тел.: +7 (4242) 796-154

E-mail: loskutov-imgg@yandex.ru

УДК 614.8.01:502/504:004

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

Система аналитических показателей для стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий

В. В. Ничепорчук,
Т. Г. Пенькова,
ИВМ СО РАН,
г. Красноярск

Аннотация

Предложена иерархическая система аналитических показателей для стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий на различных уровнях управления (субъектного, муниципального и местного). С применением технологий хранилищ данных и оперативной аналитической обработки рассчитаны многомерные показатели состояния безопасности территорий Красноярского края. Разработанная система показателей позволяет в дальнейшем реализовать методы интегрального оценивания состояния территорий в целом и по отдельным обстановкам.

Ключевые слова: аналитические показатели, стратегический контроль, природно-техногенная безопасность, территориальное управление.

Содержание

Введение

1. Информационные ресурсы стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий
 2. Система аналитических показателей природно-техногенной безопасности территорий Красноярского края
- Заключение
Литература

Введение

Обеспечение безопасности населения является одной из приоритетных задач территориального управления [1—3]. Успешность мероприятий по снижению рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера во многом определяется адекватной оценкой текущей обстановки и своевременным принятием обоснованных решений на всех уровнях управления. Исследования показывают, что управление уровнем безопасности территорий должно осуществляться по двум основным направлениям: оперативному и стратегическому [4, 5]. Оперативное управление обеспечивает постоянный контроль параметров состояния опасных объектов и окружающей среды, выявление предпосылок к возникновению ЧС; направлено на организацию превентивных мероприятий по предотвращению возможных аварий или смягчение тяжести их последствий. В свою очередь стратегическое управление ориентировано на глобальное снижение риска на территории; обеспечивает сбор, хранение и всесторонний анализ данных безопасности; направлено на планирование мероприятий и разработку рекомендаций по уменьшению риска, совершенство-

вание организационной структуры подразделений, отвечающих за ликвидацию последствий ЧС.

Для решения задач повышения безопасности населения и территорий активно внедряются системы оперативного управления [6, 7]. На сегодняшний день созданы обширные сети мониторинга потенциальных источников ЧС, развернуты сети метеостанций и сейсмостанций, внедряются датчики контроля параметров функционирования на различных объектах хозяйствования, используются системы видеомониторинга. Кроме инструментальных средств мониторинга развиваются и теоретические исследования в области стратегического управления безопасностью. В России и в мире ведется большое количество исследований по разработке методов анализа рисков, методов оценивания текущего состояния и прогнозирования развития ситуаций. Много работ посвящено контролю природной и техногенной безопасности территорий, в том числе исследованию метеорологической и гидрологической напряженности территории Томской области [8]; исследованию биоклиматических показателей Волгоградской области [9]; исследованию рисков экологической обстановки Краснодарского края [10]; исследованию состояния гидротехнических сооружений [11]. Однако существующие решения управления территориальной безопасностью, как правило, ориентированы на отдельные сферы: метеорологическую, гидрологическую, сейсмическую, радиационную и т. д. Такая фрагментарность не позволяет оценивать состояние природно-техногенной безопасности территорий в целом. Необходимо рассматривать сферы мониторинга комплексно и формировать интегральную оценку состояния безопасности территорий с возможностью детализации по отдельным обстановкам. При этом качество получаемых оценок во многом зависит от системы используемых показателей. В связи с этим формирование эффективной системы показателей природно-техногенной безопасности становится одной из ключевых задач информационной поддержки стратегического управления.

В данной работе предложена иерархическая система аналитических показателей стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий, сформированная на основе анализа многолетних данных оперативного мониторинга чрезвычайных ситуаций и формализации данных паспортов территорий Красноярского края [12—14].

1. Информационные ресурсы стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий

Показатели стратегического контроля природно-техногенной безопасности формируются на основе анализа накопленных статистических и отчетных данных ведомственных систем мониторинга, а также нормативно-правовых документов МЧС России и других федеральных ведомств, ведущих мониторинг опасных событий [15]. Отраслевые приказы, методики и рекомендации определяют порядок и формы учета ситуаций и происшествий, имеющих последствия в виде смерти, травмирования людей и материального ущерба. Также подлежат учету ситуации, связанные с ухудшением жизнедеятельности населения (например, аварии на системах жилищно-коммунального хозяйства) и природные явления, масштаб которых может вызвать негативные последствия для нормальной жизнедеятельности населения, нарушить функционирование объектов и коммуникаций.

Показатели природно-техногенной безопасности территорий характеризуют события техногенного характера, события природного характера и результаты мониторинга окружающей среды, представляющие потенциальную угрозу безопасности территорий. В зависимости от решаемых задач управления территориальной безопасностью состав показателей может быть расширен данными экологического, санитарно-эпидемического и других видов мониторинга.

С целью формирования системы показателей стратегического контроля природно-техногенной безопасности собраны, обработаны и проанализированы следующие оперативные базы данных ведомственных структур.

1. Чрезвычайные ситуации и происшествия. Ведется органами управления МЧС России в соответствии с Приказом МЧС РФ от 08.07.2004 № 329 «О критериях чрезвычайных ситуаций». Документ устанавливает критерии отнесения ситуации к ЧС для всех типов опасных событий, возможных на территории Российской Федерации. Например, согласно документу, к ЧС относятся события, повлекшие смерть двух и более человек или травмирование четырех и более человек; события меньшего масштаба идентифицируются как происшествия.

2. Техногенные и бытовые пожары. Ведется органами управления МЧС России (до 2002 года МВД)

в соответствии с Приказом МВД РФ от 30.06.1994 № 332 (ред. от 07.07.1995) «Об утверждении документов по государственному учету пожаров и последствий от них в Российской Федерации». Учитываются все случаи возгорания техногенного характера.

3. *Дорожно-транспортные происшествия.* Ведется органами управления МВД России и Министерства транспорта России в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 29.06.1995 № 647 (ред. от 04.09.2012) «Об утверждении Правил учета дорожно-транспортных происшествий».

4. *Аварии жилищно-коммунального хозяйства.* Ведется оперативными дежурными сменами ЕДДС муниципальных образований и региональными министерствами (управлениями) ЖКХ. Учитываются ситуации, связанные с аварийными (внеплановыми) отключениями систем электро-, водо-, тепло-, газоснабжения, а также аварии на системах канализации.

5. *Затопления территорий.* Ведется органами управления Минприроды России — бассейновыми водохозяйственными управлениями. Учитываются все случаи превышения уровней воды в водотоках и водоемах, а также склоновые, сопровождающиеся ущербами для населения и объектов экономики. Эти же ведомства ответственны за ведение *данных по режимам работы гидроэлектростанций*, включающих мониторинг расходов сброса и наполнения водохранилищ.

6. *Природные пожары.* Ведется территориальными органами Рослесхоза РФ (лесопожарными центрами) на основании данных наземного, авиационного и космического мониторинга.

7. *Сейсмособытия.* Ведется сейсмологической службой РАН и международными организациями (USGS и др.). Учитываются природные сейсмособытия (землетрясения) и техногенные промышленные взрывы.

8. *Радиационная обстановка.* Ведется подразделениями Росатома в зонах расположения предприятий атомной промышленности. В Красноярском крае работает сегмент системы наблюдений АКСПО. Посты контроля радиационной обстановки, оборудованные датчиками гамма-излучения и автоматическими метеостанциями, принадлежат ФГБУ «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СУГМС)», Управлению Роспотребнадзора по Красноярскому

краю, Министерству природных ресурсов и экологии края, ФГУП «Горно-химический комбинат». С 2011 года работают посты радиационно-химического мониторинга Главного управления МЧС России по Красноярскому краю.

9. *Метеорологические наблюдения.* Регистрация данных осуществляется метеорологическими станциями СУГМС и постами экологического мониторинга Министерства природных ресурсов. Кроме того, подразделениями Росгидромета ведется база данных опасных метеорологических явлений (ОМЯ). Критерии ОМЯ утверждены РД 52.04.563-2013 «Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями».

10. *Гидрологические наблюдения.* Регистрация данных осуществляется на водомерных постах СУГМС и временных постах наблюдений, организуемых ЕДДС муниципальных образований в период прохождения весеннего половодья.

Таким образом, система показателей стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий формируется на основе интеграции комплекса информационных ресурсов мониторинга обстановки, опасных событий и характеристик территорий (рис. 1). Центральное место в интеграции занимает контроль чрезвычайных ситуаций и происшествий. Основные системообразующие элементы — общероссийский классификатор территорий (ОКАТО), классификаторы видов и масштабов событий. Учитывая тот факт, что для большинства событий определение масштаба, выраженного в виде материального ущерба, затруднительно, при формировании показателей используются временные (продолжительность события или явления) и пространственные характеристики (площадь зоны действия поражающих факторов ЧС, расстояние до защищаемых объектов и др.). Данные о характеристиках территорий формируются на основе статистической и отчетной информации, представленной в государственных докладах и на веб-ресурсах [16].

Предлагается следующая иерархическая система показателей контроля природно-техногенной безопасности территорий.

- **Метеорологическая обстановка:**

- количество событий «Аномально холодная погода»;
- количество событий «Сильная жара»;



Рис. 1. Состав информационных ресурсов стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий

- количество событий «Аномально жаркая погода»;
- количество событий «Очень сильный ветер»;
- количество событий «Метель»;
- количество событий «Ливневый дождь»;
- количество событий «Продолжительный сильный дождь»;
- количество событий «Ливневый снег»;
- количество событий «Резкий суточный перепад температуры»;
- количество событий «Гроза».
- **Гидрологическая обстановка:**
 - количество событий «Превышение допустимого уровня воды в реке»;
 - количество событий «Ледовый затор (зажор)»;
 - количество событий «Продолжительный ледостав (ледоход)»;
 - количество событий «Объемы сброса ГЭС выше (ниже) установленных».
- **Паводковая обстановка:**
 - количество случаев затоплений жилого сектора;
 - количество случаев затоплений производственных объектов и инфраструктуры;
 - процент гидротехнических сооружений в предаварийном и аварийном состояниях.

- **Сейсмическая обстановка:**
 - количество сейсмособытий магнитудой более 3 баллов;
 - количество сейсмособытий магнитудой более 5 баллов.
- **Радиационная обстановка:**
 - количество событий «Эксп. доза гамма-излучения от 20 до 40 мкР/час»;
 - количество событий «Эксп. доза гамма-излучения свыше 40 мкР/час».
- **Лесопожарная обстановка:**
 - количество лесных пожаров на 1 кв. км леса;
 - количество нелесных пожаров на 1 кв. км территории;
 - количество верховых пожаров на 1 кв. км леса;
 - количество низовых пожаров на 1 кв. км леса;
 - количество крупных (более 100 га) пожаров на 1 кв. км леса;
 - процент от площади территории, пройденной пожарами;
 - количество природных пожаров вблизи населенных пунктов (менее 5 км).
- **Пожарная обстановка:**
 - количество бытовых и производственных пожаров на 10 000 населения;

- количество пожаров с погибшими на 10 000 населения;
- количество пожаров с пострадавшими на 10 000 населения.
- **Обстановка на объектах техносферы:**
 - количество аварийных ситуаций на производственных объектах;
 - количество аварий на объектах ведения горных работ;
 - количество аварий на магистральных нефте- и газопроводах.
- **Транспортная обстановка:**
 - количество аварий на автомобильном транспорте на 100 км автодороги;
 - количество аварий на железнодорожном транспорте на 100 км магистрали;
 - количество аварий на авиационном транспорте на 100 кв. км территории;
 - количество аварий на водном транспорте на 100 км водных путей.
- **Обстановка на объектах ЖКХ:**
 - количество аварий на системах электроснабжения на 10 000 населения;
 - количество аварий на системах теплоснабжения на 10 000 населения;
 - количество аварий на системах водоснабжения на 10 000 населения;
 - количество аварий на канализационных системах на 10 000 населения.

Иерархическая организация показателей позволяет в дальнейшем реализовать методы интегрального оценивания состояния территорий в целом и по отдельным обстановкам. Относительные показатели формируются путем нормирования значений по площади, численности населения территории или числу объектов, расположенных на территории, что обеспечивает возможность проведения адекватного сравнительного анализа территорий. Учитывая географические особенности территорий, распределение значений по ряду показателей будет неравномерное, однако это позволяет выделить территории с дополнительной напряженностью. Например, показатель безопасности на нефте- и газопроводах характерен для территорий центральной части, Эвенкии и Арктической зоны Красноярского края, а показатель опасных гидрологических явлений антропогенного происхождения характерен для территорий, на которых рас-

положены гидротехнические сооружения. Состав показателей может расширяться и актуализироваться в соответствии с задачами территориального управления и возможностями межведомственного информационного обмена.

2. Система аналитических показателей природно-техногенной безопасности территорий Красноярского края

На основе технологий хранилища данных (Data Warehouse) и оперативной аналитической обработки (On-line Analytical Processing, OLAP) реализовано централизованное хранение данных для формирования показателей природно-техногенной безопасности Красноярского края. Технология хранилищ данных обеспечивает консолидацию, долговременное хранение данных и возможность применения современных средств анализа [12]. Технология OLAP предоставляет гибкий инструмент для манипулирования и визуализации многомерных данных, позволяет реализовать сложные запросы построения аналитических показателей [17].

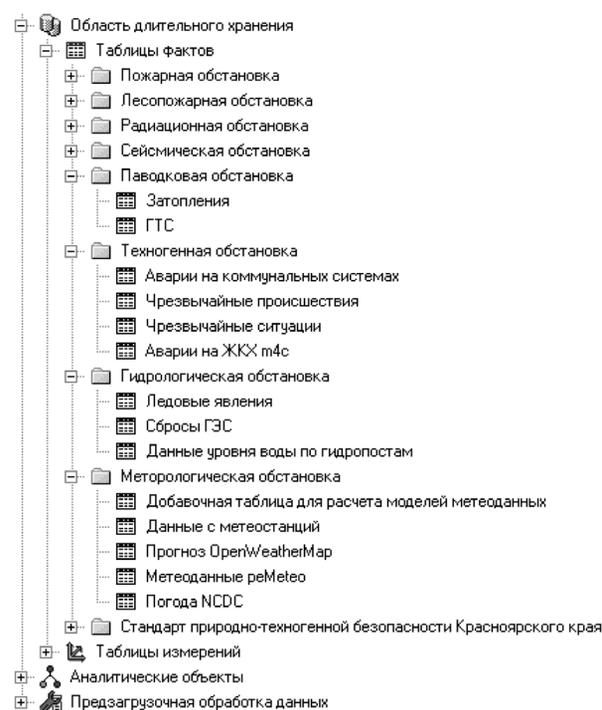


Рис. 2. Фрагмент дерева объектов области длительного хранения централизованного хранилища

Дата записи	Температура	Минимальная тем	Максимальная тем	Давление	Влажность	Скорость ветра	Наименование об
21.06.2016 18:53:41	21	21	21	1020	21	4	clear sky
21.06.2016 18:53:41	17	17	17	1021	29	5	clear sky
21.06.2016 18:53:41	15	15	15	1021	38	4	clear sky
21.06.2016 18:53:41	20	20	21	1008	53	1	few clouds
21.06.2016 18:53:41	16	16	17	1009	71	1	scattered clouds
21.06.2016 18:53:41	13	13	13	1009	85	1	clear sky
21.06.2016 18:53:41	12	12	12	1009	83	1	broken clouds
21.06.2016 18:53:41	17	17	17	1009	78	1	scattered clouds
21.06.2016 18:53:41	22	22	22	1009	58	2	scattered clouds
21.06.2016 18:53:41	23	23	23	1008	53	1	broken clouds
21.06.2016 18:53:41	23	23	23	1008	51	2	clear sky
21.06.2016 18:53:41	23	23	23	1007	54	1	clear sky
21.06.2016 18:53:41	18	18	18	1007	70	1	few clouds
21.06.2016 18:53:41	15	15	15	1006	78	1	scattered clouds
21.06.2016 18:53:41	15	15	15	1006	83	1	broken clouds
21.06.2016 18:53:41	19	19	19	1006	71	1	broken clouds
21.06.2016 18:53:41	21	21	21	1006	61	1	broken clouds

Рис. 3. Пример таблицы фактов по данным метеорологической обстановки

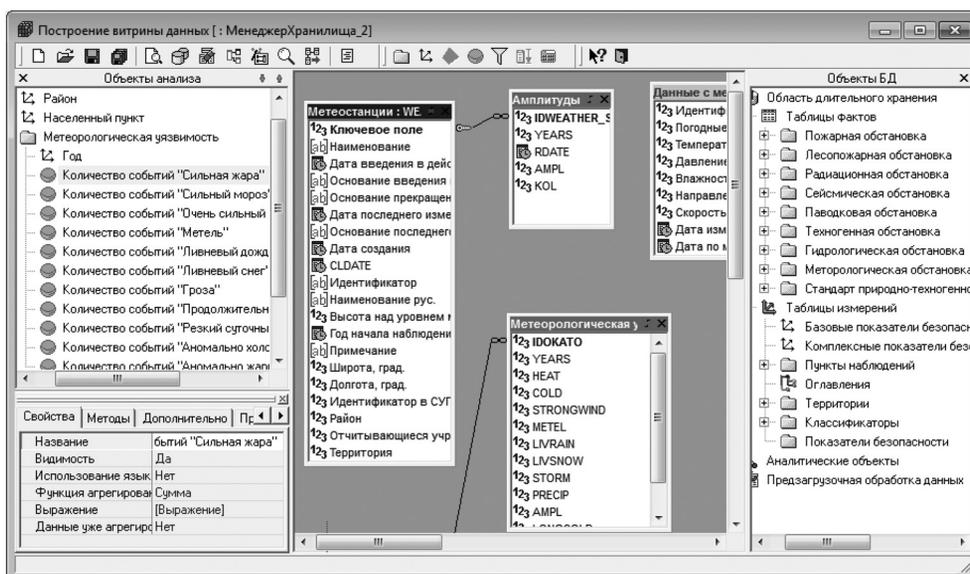


Рис. 4. OLAP-средства формирования запросов на примере витрины данных метеорологической обстановки

С помощью средств управления хранилищем данных выполнена загрузка данных из ведомственных баз данных, созданы и наполнены классификаторы и справочники. На рис. 2 представлен фрагмент дерева объектов области длительного хранения централизованного хранилища, сгруппированных по видам обстановок (пожарная, радиационная, сейсмическая, паводковая, радиационная и др.). На рис. 3 показан пример таблицы фактов, содержащей исходные данные по метеорологической обстановке.

С помощью средств OLAP рассчитаны аналитические показатели природно-техногенной безопасности территорий. На рис. 4 представлены средства построения OLAP-моделей аналитических показателей — формирование витрины данных. В область построения витрины данных из источника данных выбираются таблицы, на основе которых строится запрос, и устанавливаются связи. Затем из каждой таблицы выбираются нужные поля и задаются условия. После выполнения аналитических операций автоматически формируется SQL-запрос,

Район	Год	Количество событий "Сильный мороз"	Количество событий "Аномально холодная погода"	Количество событий "Очень сильный ветер"	Количество событий "Ливневый дождь"	Количество событий "Гроза"	Количество событий "Резкий суточный перепад температуры"
Енисейский район	2003			1			178
	2004						151
	2005			1			76
	2006	91	11	8	157	66	178
	2007				202	27	104
	2008	9	3		191	38	107
	2009	20	7		101	29	134
	2011					1	25
	2012	4	11	44		59	315
	2013	2			2		333
	2014	21	6	4		15	182
Ермаковский район	1948						81
	1949						78
	1950						107
	1951						103
	1952	1					65
	1952						7
	1952						

Рис. 5. Кросс-таблица с аналитическими показателями метеорологической обстановки

результат выполнения которого представляется пользователю в виде таблицы, сохраняется в базу и может использоваться как источник данных для других моделей, а также для дальнейшей аналитической обработки.

На рис. 5 представлен результат выполнения аналитических запросов в виде кросс-таблицы. На рисунке показаны результаты расчета аналитических показателей метеорологической обстановки по годам в разрезе муниципальных образований Красноярского края.

Сформированная система аналитических показателей позволяет контролировать состояние природно-техногенной безопасности территорий на различных уровнях детализации. Разработанные средства хранения и обработки мониторинговых данных обеспечивают информационную поддержку стратегического управления и возможность комплексно оценивать состояние безопасности территорий.

Заключение

На основе исследования данных ведомственных систем оперативного мониторинга и отраслевой нормативной документации предложена иерархическая система аналитических показателей стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий. Выполнена систематизация и консо-

лидация многолетних данных в единое хранилище. С применением технологии оперативной аналитической обработки рассчитаны многомерные показатели состояния безопасности территорий в динамике по годам и различным видам обстановок.

Последующие этапы работы связаны с реализацией методов интегрального аналитического оценивания состояния природно-техногенной безопасности территорий на основе разработанной системы показателей стратегического контроля и применения территориально-ориентированных многомерных нормативов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-00014.

Литература

1. Махутов Н.А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука, 2017. 724 с.
2. Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий (пособие для руководителей организаций). Монография. Под общей редакцией Фалеева М.И. / РНОАР. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. 270 с.
3. Osipov V.I., Larionov V.I., Burova V.N., Frolova N.I., Sushchev S.P. Methodology of natural risk assessment in Russia. Natural hazards. № 8, 2017. Vol. 88. P. 17—41.

4. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. М.: Лаборатория базовых знаний. 2013. 288 с.
5. Москвичёв В.В., Бычков И.В., Потапов В.П., Тасейко О.В., Шокин Ю.И. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью // Вестник РАН. 2017. Т. 87. № 8. С. 696—705.
6. Penkova T., Nicheporchuk V., Metus A. Comprehensive operational control of the natural and anthropogenic territory safety based on analytical indicators // LNAI Lecture Notes in Artificial Intelligence. 2017. Part I, Vol. 10313. P. 263—270.
7. Фалеев М.И., Малышев В.П., Макиев Ю.Д. Раннее предупреждение о чрезвычайных ситуациях / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2015. 232 с.
8. Невидимова О.Г., Янкович Е.П. Исследование природно-климатических опасностей с использованием ГИС-технологий // Геоинформационные технологии и математические модели для мониторинга и управления экологическими и социально-экономическими системами. 2011. С. 169—174.
9. Сергеева Г.А. Оценка биоклиматических условий Волгоградской области по индексу патогенности метеорологической ситуации // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы современной гидрометеорологии и геоэкологии», Ростов-на-Дону. 2007. С. 115—121.
10. Яйли Е.А., Музалевский А.А. Методология и способ оценки качества компонентов природной среды урбанизированных территорий на основе индикаторов, индексов и риска // Экологические системы и приборы. 2006. № 12. С. 23—29.
11. Махутов Н.А., Москвичев В.В., Гаденин М.М., Лепихин А.М., Черняев А.П. Формирование нормативной базы безопасности и защищенности ГЭС Сибири от тяжелых катастроф // Проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2011. № 4. С. 28—39.
12. Бадмаева К.В., Пенькова Т.Г., Ничепорчук В.В. Проектирование специализированного хранилища данных для мониторинга чрезвычайных ситуаций // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2011. № 5(38). С. 14—18.
13. Ничепорчук В.В., Пенькова Т.Г. Паспорт территории — динамический инструмент анализа опасностей // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2014. № 1. С. 3—8.
14. Пенькова Т.Г., Ничепорчук В.В. Комплексный анализ природно-техногенной безопасности территорий Красноярского края на основе методов интеллектуальной обработки данных // Мониторинг. Наука и технологии. 2016. № 2 (27). С. 64—71.
15. Приказ МЧС России №94 от 4 марта 2011 г. «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».
16. Автоматизированная система мониторинга муниципальных образований Красноярского края [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://aismmo.ru> (Дата обращения 30.10.2017).
17. Penkova T.G., Korobko A.V., Nicheporchuk V.V., Nozhenkova L. F. On-line Control of the State of Technosphere and Environment Objects in Krasnoyarsk region // International Journal of Knowledge-Based and Intelligent Engineering Systems. 2016. Vol. 20. № 2. P. 65—74.

Сведения об авторах

Ничепорчук Валерий Васильевич: кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМ СО РАН)

Количество публикаций: 140

Область научных интересов: геоинформационные системы, комплексный мониторинг чрезвычайных ситуаций, интеллектуальный анализ данных, системы поддержки принятия решений

Контактная информация:

Адрес: 660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 44

Тел.: +7 (391) 290-74-53

E-mail: valera@icm.krasn.ru

Пенькова Татьяна Геннадьевна: кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМ СО РАН)

Количество публикаций: 77

Область научных интересов: методы и системы искусственного интеллекта в поддержке принятия решений, методы аналитической обработки больших объемов данных

Контактная информация:

Адрес: 660036, г. Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 44

Тел.: +7 (391) 249-53-56

E-mail: penkova_t@icm.krasn.ru

УДК 629.039.58.505.005

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

Базовые риски природно-техногенной безопасности Красноярской промышленной агломерации

В. В. Москвичев,Институт вычислительных технологий СО РАН,
г. Красноярск**О. В. Тасейно,**Институт вычислительных технологий СО РАН,
Сибирский государственный университет науки и технологии им. Решетнева,
г. Красноярск**У. С. Иванова,****Д. А. Черных,**
Институт вычислительных технологий СО РАН,
Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск

Аннотация

В работе рассматриваются подходы к анализу рисков, позволяющих оценивать возможности устойчивого развития промышленного региона как единой социально-природно-техногенной системы. В качестве базовых индивидуальных рисков выбраны потенциальные и реализованные риски заболеваемости и гибели населения региона от воздействия факторов окружающей среды, включая возникновение разного рода чрезвычайных ситуаций, воздействие загрязнения воздуха и климатических факторов. Основой для оценки рисков является информация, получаемая действующими федеральными и региональными системами мониторинга. Показано, что наибольшим превышением приемлемых уровней риска характеризуются риски гибели от воздействия ЧС техногенного характера и индивидуальные неканцерогенные риски от загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: социально-природно-техногенная система, индивидуальные стратегические риски, приемлемый уровень риска.

Содержание

Введение

1. Базовые индивидуальные риски природно-техногенной безопасности

2. Подходы к оценке индивидуальных рисков

3. Динамика базовых индивидуальных рисков

Заключение

Литература

Введение

Устойчивое развитие регионов и страны в целом в значительной мере определяется проблемами природно-техногенной безопасности, при этом наблюдается многофакторность угроз, взаимно влияющих друг на друга и обусловленных природными, техногенными и социальными факторами. Чрезвычайные ситуации приводят к одному или совокупности следующих последствий: ухудшению состояния окружающей среды, гибели человека или отклонению здоровья от среднестатистического значения, материальным потерям [1, 2].

Реализация комплексного подхода к достижению безопасности регионального развития предопределяется решением ряда научных и организационных задач. Актуальными становятся задачи по разработке направлений устойчивого развития муниципальных образований, регионов и страны на основе управления рисками [3, 4]. Техногенные системы, природные процессы, территориальные образования подвержены воздействию характерных видов риска, которые необходимо целенаправленно идентифицировать и принимать необходимые меры, направленные на защиту и смягчение последствий в случае реализации опасности. Особенностью предлагаемого подхода является представление про-

мышленного региона в виде единой социально-природно-техногенной (С-П-Т) системы, прогноз развития которой осуществляется с использованием оценок индивидуальных и социально-экономических стратегических рисков на базе информационной системы территориального управления рисками и безопасностью [5]. В работе рассматриваются методы и результаты оценки стратегических индивидуальных рисков развития С-П-Т системы Красноярского края.

1. Базовые индивидуальные риски природно-техногенной безопасности

Выбор базовых территориальных рисков основывается на информации, получаемой из действующих федеральных и региональных систем мониторинга. Исходя из основных мониторинговых показателей были выбраны компоненты индивидуальных рисков, представленных на рис. 1. В состав базовых рисков индивидуального развития включены наиболее важные с точки зрения показателей заболеваемости и смертности населения, которые можно оценить количественно.

Базовые риски условно подразделяются на две основные группы. Потенциальные риски являются результатом прогностической оценки вероятности неблагоприятного исхода развивающейся (еще не закончившейся) ситуации. Реализованные риски оцениваются на базе статистических показателей, регистрирующих свершившиеся события, например, гибель людей в результате аварии или заболеваемость в результате воздействия негативных факторов профессиональной деятельности.

2. Подходы к оценке индивидуальных рисков

Индивидуальный риск ЧС связан с деятельностью отдельного человека или возникает, если он подвергается риску в составе части общества (проживание в экологически неблагоприятных регионах или вблизи источников повышенной опасности, профессиональные группы и т.д.), и применяется для установления количественных значений с целью управления административными территориями [6]:

$$R = N_{\text{П}} / N_{\text{Н}}, \quad (1)$$



Рис. 1. Классификация базовых рисков

где N_{Π} — число погибших за год при определенном виде ЧС и происшествии на заданной территории; $N_{\text{Н}}$ — количество населения, проживающего на данной территории.

При формировании рисков здоровью основным фактором является атмосферный воздух. Загрязнение воздуха — одна из причин заболеваемости и смертности населения, более 80% городского населения подвергаются воздействию загрязненной воздушной среды. Статистически значимая заболеваемость населения от загрязнения воздуха установлена для заболеваний бронхитами, эмфиземой легких, пневмонией, ОРЗ и рядом других [7]. Расчет рисков от загрязнения атмосферного воздуха обычно выполняется отдельно для веществ, обладающих канцерогенным и неканцерогенным действием.

Расчет индивидуального канцерогенного риска осуществляется с использованием данных о величине экспозиции и значениях факторов канцерогенного потенциала (фактор наклона, единичный риск) [8]. Как правило, для канцерогенных химических веществ дополнительная вероятность развития рака у индивидуума на всем протяжении жизни оценивается с учетом среднесуточной дозы в течение жизни:

$$R_{\text{канцер}} = LADD \cdot SF, \quad (2)$$

где $LADD$ — среднесуточная доза в течение жизни, г/(кг·день); SF — фактор наклона, (мг/(кг·день))⁻¹.

При оценке канцерогенных рисков используют средние суточные дозы, усредненные с учетом ожидаемой средней продолжительности жизни человека (70 лет). Стандартное уравнение для расчета $LADD$ (мг/(кг·день)) имеет следующий вид:

$$LADD = [C \cdot CR \cdot ED \cdot EF] / [BW \cdot AT \cdot 365], \quad (3)$$

где C — концентрация вещества в загрязненной среде, мг/л, мг/куб. м, мг/кг; CR — скорость поступления воздействующей среды (воздуха), куб. м/день; ED — продолжительность воздействия, лет; EF — частота воздействия, дней/год; BW — масса тела человека, кг; AT — период усреднения экспозиции (для канцерогенов $AT = 70$ лет); 365 — число дней в году.

Расчет риска здоровью при ингаляционном воздействии неканцерогенных веществ выполнялся по формуле [7]:

$$R_{\text{неканцер}} = 1 - \exp \left[-0,174 \cdot \left(\frac{C_{\text{с.г.}}}{\text{ПДК}_{\text{с.с.}}} \right)^b / K_3 \right], \quad (4)$$

где $C_{\text{с.г.}}$ — среднегодовая концентрация, мкг·м⁻³; $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ — предельно допустимая среднесуточная концентрация, мкг·м⁻³; b — коэффициент, учитывающий особенности токсикологических свойств вещества; K_3 — коэффициент запаса.

3. Динамика базовых индивидуальных рисков

Красноярский край является одним из крупных промышленных регионов РФ, в котором более 700 потенциально опасных объектов с функционально сложными и высокоопасными системами производства [9, 10], характеризующимися как явными (риски возникновения аварий и катастроф), так и скрытыми (загрязнение окружающей среды) угрозами жизни и здоровью населения. По статистическим данным в крае выделяется более 80 видов ЧС, при этом повторяемость местных и региональных природных ЧС в крае не превышает 3—5 событий в год и находится на среднем уровне по Российской Федерации. В то же время повторяемость ЧС межрегионального и федерального уровней оказывается выше среднероссийской и достигает 0,8 события в год. Повторяемость ЧС техногенного характера находится в пределах 5—10 событий в год. При этом основная доля ЧС относится к локальному и муниципальному уровням [1].

Расчеты риска ЧС основываются на статистических показателях официальной базы данных АИУС РСЧС. К гибели людей на территории Красноярского края могут приводить ЧС техногенного и биолого-социального характера (рис. 2).

К ЧС биолого-социального характера относятся эпидемии инфекционных и паразитарных заболеваний, приводящие к гибели людей. Наиболее значимы в этом смысле воздушно-капельные инфекции, паразитарные болезни, кишечные инфекции, социально обусловленные заболевания и природно-очаговые заболевания.

Индивидуальный риск ЧС биолого-социального характера для территории края не превышает приемлемого уровня $1 \cdot 10^{-5}$. Под приемлемым уровнем понимают риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных факторов.

Высокий уровень индивидуального риска в 2005 г. связан с возрастанием в этот период количества ЧС с человеческими жертвами. Среди наиболее значимых событий: крушение самолета АН-2, совершавшего рейс по маршруту Ванавара — Тура, в результате чего погибло 9 человек, автотранспорт-

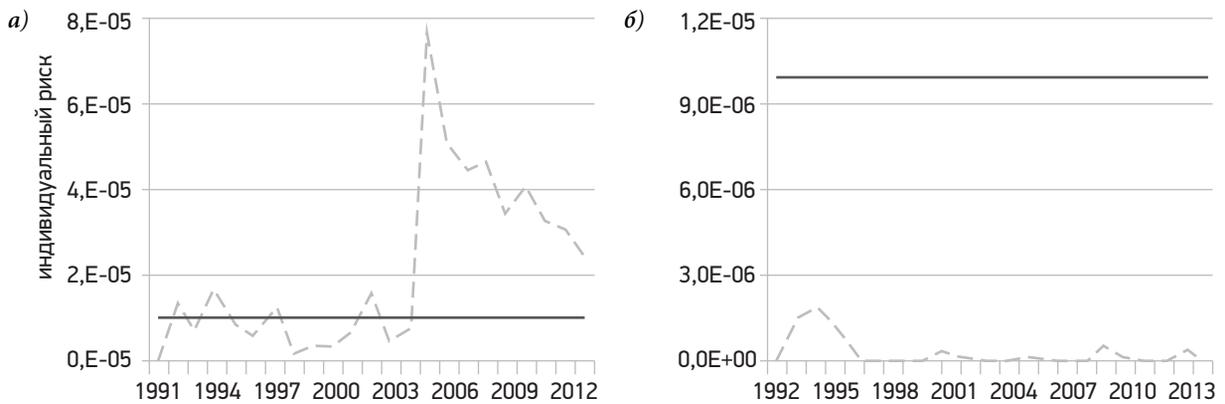


Рис.2. Динамика индивидуальных рисков гибели от воздействия чрезвычайных ситуаций для населения Красноярского края: а) техногенного характера; б) биолого-социального характера (прямой линией отмечен допустимый уровень риска)

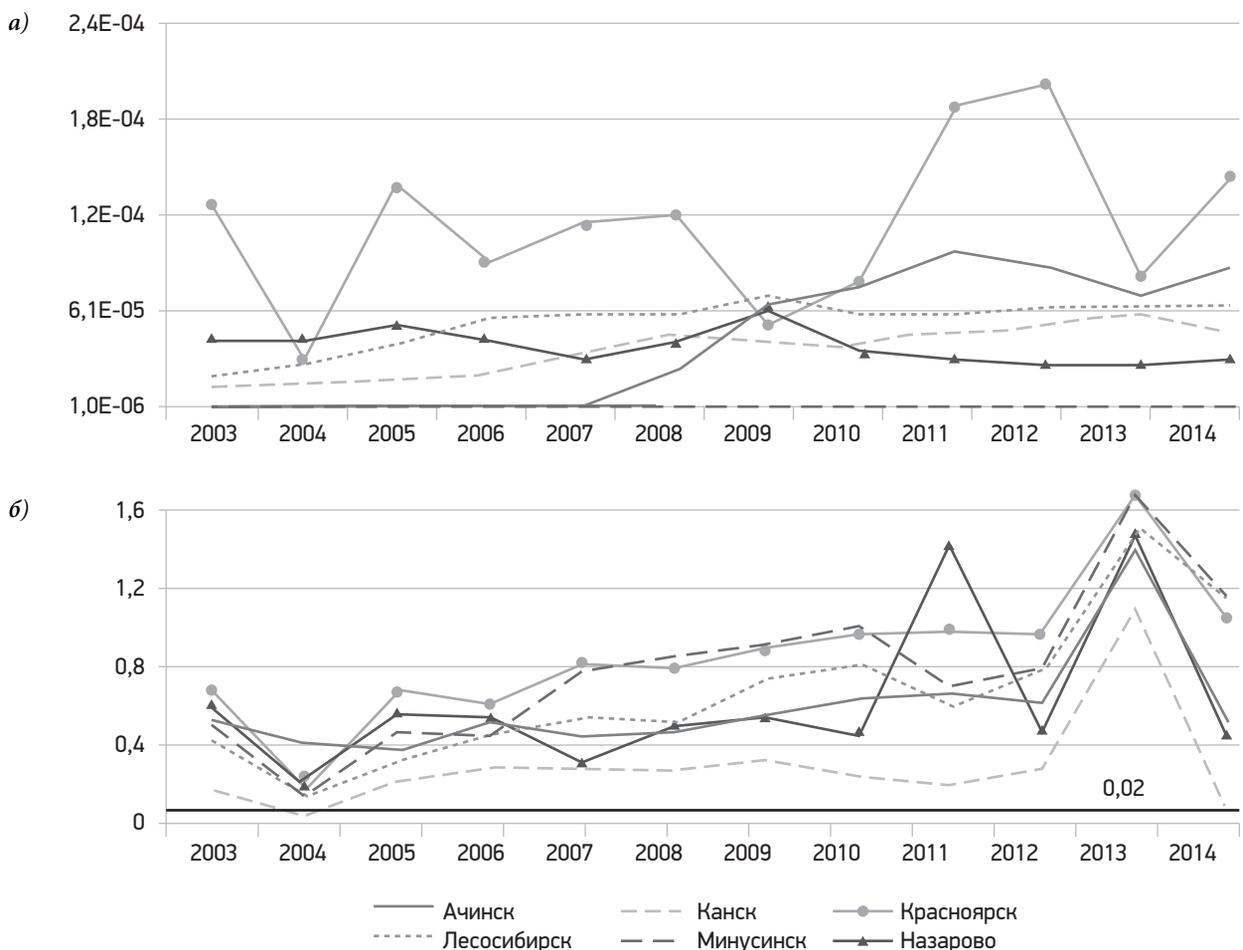


Рис. 3. Динамика индивидуальных рисков для здоровья населения от загрязнения атмосферного воздуха в городах Красноярского края: а) канцерогенные индивидуальные риски (допустимый уровень равен $1 \cdot 10^{-6}$); б) неканцерогенные индивидуальные риски (прямой линией обозначен допустимый уровень [7])

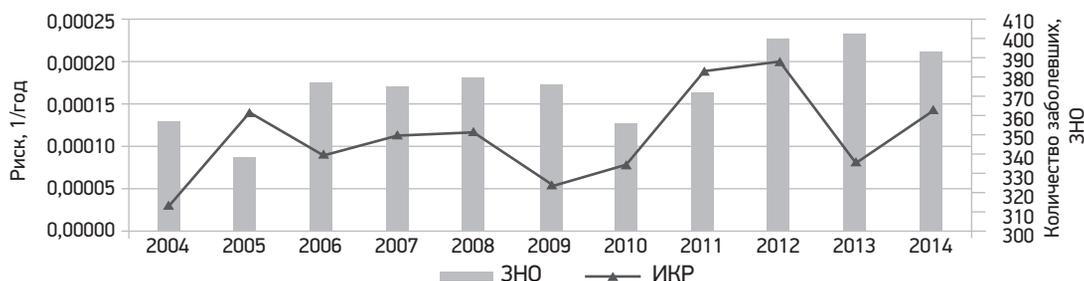


Рис. 4. Динамика индивидуальных канцерогенных рисков (ИКР) и заболеваемость злокачественными новообразованиями (ЗНО) (на 100 тысяч населения) в г. Красноярске в период с 2003 по 2014 г.

ная авария, которая привела к гибели 5 человек, опрокидывание пассажирского судна в результате перегрузки, вследствие чего погибло 14 человек, также в этом году зафиксировано более 80 пожаров, на которых в среднем погибло около 160 человек.

В Красноярском крае действуют 26 стационарных постов наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха государственной наблюдательной сети и 6 постов региональной сети. Наблюдения за качеством атмосферного воздуха в городах края выполняют ФГБУ «Среднесибирское УГМС», территориальные отделы Управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю в рамках социально-гигиенического мониторинга, КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (ЦРМПиООС), промышленные предприятия [11]. Динамика канцерогенных и неканцерогенных индивидуальных рисков для населения городов Красноярского края от загрязнения атмосферного воздуха представлена на рис. 3.

Анализ уровней заболеваемости злокачественными новообразованиями не согласуется с расчетными уровнями канцерогенных рисков (рис. 4) [12]. Одна из причин таких расхождений в том, что в официальной методике расчета канцерогенных рисков не учитывается ряд важных показателей, влияющих на фактические уровни заболеваемости, например возрастная структура населения. При этом загрязнение атмосферного воздуха всего лишь один из факторов, влияющих на онкологическую заболеваемость населения крупного промышленного центра. Для более полной оценки расчетных канцерогенных рисков следует учитывать, например, такие виды воздействия на здоровье населения, как загрязнение питьевой воды, совокупность факторов образа жизни, в т. ч. курение и т. д.

Заключение

При складывающейся неблагоприятной ситуации с загрязнением атмосферного воздуха на территории Красноярского края возможно увеличение смертности населения, развитие онкологических заболеваний, заболеваний органов дыхания, центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы, органов кроветворения, зрения и репродуктивной системы. Развитие промышленных регионов должно осуществляться без ущерба для будущих поколений. При этом риски для человека и окружающей среды должны быть минимальны. Наличие стратегически важных и потенциально опасных объектов в Красноярском крае влечет за собой риск возникновения явных и скрытых чрезвычайных ситуаций. Следует учитывать, что безопасность и защищенность объектов повышенного риска от чрезвычайных ситуаций не в полной мере соответствует современным требованиям. Ненулевая концепция риска отражает тот факт, что невозможно полностью предотвратить и исключить возникновение техногенных аварий, природных катастроф и других чрезвычайных ситуаций, возможно лишь снизить их количество, уменьшить ущерб от их последствий путем мониторинга, анализа и снижения рисков развития. Для оценки комплексной безопасности территориальных образований большое внимание должно уделяться разработке и использованию критериев и методов анализа рисков, поскольку существующие на данный момент методики не в полной мере позволяют оценить сложные многофакторные процессы формирования рисков.

Литература

1. Левкевич В.Е. и др. Безопасность и риски устойчивого развития территорий: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. 224 с.

2. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций. М.: Знание, 2015. 864 с.
3. Махутов Н. А., Абросимов Н. В., Гаденин М. М. / Обеспечение безопасности — приоритетное направление в области фундаментальных и прикладных исследований // Экологические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. № 3 (27). С. 46—71.
4. Махутов Н. А., Кузык Б. Н., Абросимов Н. В. Научные основы прогнозирования и прогнозные показатели социально-экономического и научно-технологического развития России до 2030 года с использованием критериев стратегических рисков. М.: ИНЭС. 2011. 137 с.
5. Москвичев В. В., Бычков И. В., Потапов В. П., Тасейко О. В., Шокин Ю. И. Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью // Вестник Российской академии наук. 2017. № 8. С. 696—705.
6. МР 2-4-71-40. «По порядку разработки, проверки, оценки и корректировки электронных паспортов территорий (объектов). Методические рекомендации» (утв. Министерством РФ по гражданской обороне, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий 15.07.2016).
7. Фрумин Г. Т. Оценка риска для здоровья населения Санкт-Петербурга при ингаляционном воздействии взвешенных веществ и бенз(а)пирена // Безопасность жизнедеятельности. 2011. № 2. С. 38—41.
8. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Руководство. Р 2.1.10.1920-04 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 05.03.2004).
9. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности // Красноярский край. М.: Знание. 2001. 576 с.
10. Москвичев В. В., Воронов С. П., Закревский М. П., Лепихин А. М., Ничепорчук В. В., Ноженкова Л. Ф., Тридворнов А. В., Черняев А. П. Техногенные риски с учетом территориальных особенностей Красноярского края // Препринт № 4. Красноярск: ИВМ СО РАН. 2004. 60 с.
11. Государственные доклады «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2003—2014 гг.».
12. Министерство здравоохранения Красноярского края. Письмо № 71/2200118309 от 05.06.2017. Общая заболеваемость населения Красноярского края по городам.

Сведения об авторах

Москвичев Владимир Викторович: Институт вычислительных технологий СО РАН
Количество публикаций: 457
Область научных интересов: природно-техногенная безопасность населения и объектов экономики
Контактная информация:
Адрес: 660049, г. Красноярск, проспект Мира, д. 53
Тел.: +7 (391) 227-29-12
E-mail: krasn@ict.nsc.ru

Тасейко Ольга Викторовна: Институт вычислительных технологий СО РАН, Сибирский государственный университет науки и технологии им. Решетнева
Количество публикаций: 76
Область научных интересов: математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды
Контактная информация:
Адрес: 660049, г. Красноярск, проспект Мира, д. 53/660037, г. Красноярск, проспект им. Газеты «Красноярский рабочий», д. 31
Тел.: +7 (923) 280-52-10
E-mail: taseiko@gmail.com

Иванова Ульяна Сергеевна: Институт вычислительных технологий СО РАН, Сибирский федеральный университет
Количество публикаций: 7
Область научных интересов: методы и средства сбора, обработки и анализа статистической информации
Контактная информация:
Адрес: 660049, г. Красноярск, проспект Мира, д. 53/660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79
Тел.: +7 (923) 281-94-64
E-mail: ulyana-ivanova@inbox.ru

Черных Дарья Александровна: Институт вычислительных технологий СО РАН, Сибирский федеральный университет
Количество публикаций: 13
Область научных интересов: методы и средства сбора, обработки и анализа статистической информации; воздействие антропогенных изменений окружающей среды на здоровье и социально-трудовой потенциал населения
Контактная информация:
Адрес: 660049, г. Красноярск, проспект Мира, д. 53/660041, г. Красноярск, пр. Свободный, д. 79
Тел.: +7 (983) 284-98-90
E-mail: dachernykh93@gmail.com

УДК 351

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

Проблемы когнитивных искажений в оценке готовности муниципальных образований обеспечить устойчивость к чрезвычайным ситуациям

А. А. Кононов,
Институт системного
анализа ФИЦ «Информатика
и управление» РАН,
г. Москва

Аннотация

Простого выполнения требований официальной нормативной базы для обеспечения готовности муниципальных образований к возможным ЧС недостаточно. Необходим постоянный детализированный контроль за полнотой модели угроз и за имеющимися недостатками и уязвимостями. Только это поможет избежать возникновения когнитивных искажений в оценке имеющихся рисков и угроз и в устойчивости к ЧС.

Ключевые слова: когнитивные искажения, критериальное моделирование, устойчивость к ЧС, чрезвычайные ситуации, индикативная оценка рисков.

Содержание

Введение
1. Формальная схема описания проблемы
2. Когнитивные искажения
Заключение
Литература

Введение

При обеспечении защищенности от ЧС больших территориальных систем, таких как муниципальные образования, простого выполнения требований официальной нормативной базы, определяемой законодательством и регуляторами, может оказаться недостаточно, и, более того, если ограничиться только этими нормативными положениями, то могут возникнуть иллюзии (когнитивные искажения) безопасности при наличии большого числа неконтролируемых недостатков и уязвимостей, которые и могут стать причиной чрезвычайных ситуаций, аварий и катастроф или недостаточной готовности к предупреждению ЧС и ликвидации их последствий [1].

Основными причинами такого положения являются следующие: официальная нормативная база может не успевать за меняющимися условиями существования территорий, защищенность которых она регламентирует; кроме того, официальные нормативные документы могут не учитывать всех особенностей каждой конкретной территории. В результате могут появляться не предусмотренные этими документами угрозы и уязвимости [2].

Многие недостатки и уязвимости существуют в организациях, расположенных на территории муниципального образования, ввиду недостатка средств

на их полное устранение. В таких ситуациях очень часто идут по пути сокрытия фактов наличия недостатков. Это также порождает когнитивные искажения в оценках безопасности.

Печальную статистику результатов когнитивных искажений такого рода на примере объектов критической информационной инфраструктуры можно найти в обзоре [3].

В качестве решения проблемы предлагается поощрять практику ведения систематического контроля существующих недостатков и уязвимостей на ключевых, с точки зрения защищенности от ЧС, объектах муниципальных образований. Это позволит предупредить появление когнитивных искажений в оценке безопасности на этих объектах, даст возможность руководителям этих объектов выявлять наиболее острые проблемы, а также при первой возможности устранять наиболее опасные недостатки, не забывая об их существовании.

Для решения этой задачи предлагается использовать методологию критериального моделирования [4] и программный комплекс, позволяющий автоматизировать ее применение [5].

1. Формальная схема описания проблемы

Обозначим структурную модель (СМ) как $\vec{S}(t)$, с учетом того, что структура системы может меняться со временем.

Все критериальные модели строятся на основе $\vec{S}(t)$ путем определения множеств критериев по структурным составляющим. По любой из структурных составляющих такое множество может иметь любое количество критериев, в том числе быть пустым.

Под идеальной критериальной моделью (ИКМ) системы будем понимать критериальную модель, лишенную недостатков неадекватности, избыточности, соответствие всем критериям которой будет означать предельно возможную в данных условиях защищенность системы от всех угроз с минимальными или фиксированными предельно возможными затратами.

Идеальная критериальная модель (ИКМ) может меняться с течением времени, по мере появления новых угроз и уязвимостей и новых средств защиты. Обозначим ИКМ как $\hat{K}^M(t)$.

Под заданной критериальной моделью (ЗКМ) будем понимать критериальную модель, используемую в качестве задания к исполнению, обозначим ее как \vec{Z} . Она также может меняться с течением времени, и ее состояние на момент времени t будем обозначать как $\vec{Z}(t)$.

Обозначим процедуру формирования ЗКМ из СМ как $\vec{\Gamma}^K$:

$$\vec{\Gamma}^K: \{\vec{S}(t), \vec{D}^K(t)\} \rightarrow \vec{Z}(t), \quad (1)$$

где $\vec{D}^K(t)$ — каталог критериев по классам объектов структурной модели $\vec{S}(t)$. Как правило, $\vec{D}^K(t)$ — это каталог критериев, включающий все используемые классы объектов с требованиями по их безопасности, прежде всего согласно существующей нормативной базе, но, возможно, также дополненной критериями, выработанными по результатам анализа полноты парирования угроз.

Объективно в каждый момент времени существует множество критериев, которые потенциально определены в $\hat{K}^M(t)$, но отсутствуют в $\vec{Z}(t)$. По сути, они образуют модель проигнорированных в ЗКМ критериев ИКМ, которую можно обозначить как $\Delta\hat{K}^M(t)$ и назвать объективно существующей моделью проигнорированных критериев (ОМПК):

$$\Delta\hat{K}^M(t) = \hat{K}^M(t) - \vec{Z}(t). \quad (2)$$

Проблема состоит в том, что и $\hat{K}^M(t)$, и, соответственно, $\Delta\hat{K}^M(t)$ в силу ограниченных возможностей человеческого интеллекта не могут быть познаны сразу и, более того, постоянно становятся источниками когнитивных искажений в оценках имеющихся проблем безопасности и защищенности от ЧС. И лишь опыт и контроль недостатков позволяют со временем переводить критерии из множества $\Delta\hat{K}^M(t)$ в множество $\vec{Z}(t)$.

2. Когнитивные искажения

Когнитивные искажения (КИ) — это систематические ошибки в представлениях и суждениях о действительности. Они возникают в результате несоответствующих реалиям убеждений, внедренных в когнитивные схемы личности. Когнитивная схема (КС) — это обобщенная форма хранения прошлого опыта в виде стереотипов (знакомого объекта, известной ситуации, привычной последовательности

событий и т.д.). На когнитивных схемах основываются эвристики — процедуры, облегчающие и ускоряющие прием и обработку информации человеком за счет хранящихся в КС типичных характеристик объектов и происходящего [6]. И если устоявшиеся в когнитивных схемах стереотипы оказываются ошибочными, то они приводят к искаженному восприятию реальности, в частности, к неадекватной оценке опасности угроз и рисков, а также мер, которые следует предпринять, чтобы парировать угрозы и снизить риски.

К сожалению, в настоящее время исследована лишь незначительная часть когнитивных искажений — условий их формирования, внедрения, распространения и разрушительных последствий их проявления. В качестве примера такого рода искажений, которые исследовать еще только предстоит, можно привести КИ, связанные с систематическим получением не соответствующей действительности информации, и КИ, связанные с систематическим получением тенденциозно отобранной и тенденциозно представленной информации.

Не меньшую опасность представляют КИ, порождаемые морально устаревшими, но по-прежнему действующими нормативными актами, которые лишь затрудняют работу и приводят к привычке нарушать их, даже в той части, где соблюдение зафиксированных в них требований жизненно важно.

Но неисследованность этих когнитивных искажений вовсе не означает их отсутствия. Напротив, лишь усугубляет их опасность.

Рассмотрим исследованные когнитивные искажения, являющиеся причинами аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций.

Эвристика доступности (Availability heuristic) — склонность считать «более вероятным» то, что проще вспомнить или снабдить примером из памяти [7].

Систематическая ошибка внимания (Attentional bias) — склонность восприятия к зависимости от повторений: если что-то постоянно находится в фокусе внимания, то значимость этого может преувеличиваться в ущерб тому, что от внимания ускользает [8].

Эффект мнимой правды (Illusory truth effect) — склонность верить в правдивость информации, которую многократно предъявляли ранее [9].

Каскад доступной информации (Availability cascade) — самоусиливающийся процесс, в ходе которого коллективная вера во что-то становится все более убедительной за счет нарастающего публичного повторения [10].

Эффект знакомства (Mere exposure effect) — склонность преувеличивать значимость того, что хорошо знакомо, и недооценивать значимость того, что незнакомо или знакомо в меньшей степени [11].

Эффект контекста (Context effect) — значимость чего-то, например, некоторых конкретных мер противодействия угрозам, может преувеличиваться, если оценивается в процессе принятия этих конкретных мер в конкретных условиях парирования угрозы, хотя возможны и другие, более эффективные способы парирования угроз [12].

Забывание без подсказок (Cue-dependent forgetting) — трудности с вспоминанием информации в отсутствие семантических подсказок (ассоциаций), подсказок состояния (эмоционального, физического и умственного) или контекстных подсказок (зависящих от окружения или ситуации) [13].

Отклонение в сторону соответствия эмоциям (Mood-congruent memory bias) — эмоционально насыщенная информация лучше вспоминается в соответствующем ей эмоциональном состоянии (справедливо как для позитивных, так и для негативных эмоций) [14].

Иллюзия частотности (Frequency illusion, Baader — Meinhof Phenomenon), известная также как Феномен Баадера — Майнхоф, или Закон парных случаев, — иллюзия, при которой слово, имя или объект, недавно попавшие во внимание либо впервые предъявленные, снова предъявляются через промежуток времени, кажущийся невероятно коротким, и таким образом значимость этого слова или объекта резко возрастает [15].

Разрыв эмпатии (Empathy gap) — склонность недооценивать влияние или силу вегетативной нервной системы на состояние, предпочтения и поведение себя и других людей (включая голод, жажду, воздействие веществ, физическую боль и сильные эмоции) [16].

Недооценка бездействия (Omission bias) — склонность оценивать вредоносные действия как более плохие или аморальные, чем равноценно вредоносные бездействия [17].

Ошибка базового процента (Base rate fallacy) — склонность игнорировать объективную частоту некоторого события (базовый процент) и фокусироваться на информации, относящейся к случайному частному случаю [18].

Эффект изоляции, или Эффект Ресторффа (Von Restorff effect), — склонность к лучшему запоминанию (завышению значимости) объекта, выделяющегося чем-либо среди ряда других однородных объектов [19].

Наиболее опасным эффектом, порождаемым когнитивными искажениями, является иллюзия неуязвимости (Illusion of invulnerability) [20]. Но именно ее, как и другие угрозы, порождаемые когнитивными искажениями, позволяют развеивать методы критериального моделирования [4], дающие возможность на основе детализированных критериальных моделей выявлять существующие уязвимости и организовать систематический контроль, предполагающий мобилизацию особого внимания к ним (бдительность) вплоть до момента, когда эти уязвимости будут устранены.

Суть предлагаемого решения состоит в построении структурной модели контролируемого объекта управления и определения по каждой структурной составляющей критериев (требований), выполнение которых определяет защищенность объектов от ЧС. Далее периодически рекомендуется проводить оценку выполнения критериев и требований. Как правило, выполнить все требования не удастся. Те требования, которые остаются невыполненными образуют множество недостатков и уязвимостей, и их необходимо контролировать с использованием критериальной модели. Опасность недостатков и уязвимостей при этом отслеживается с помощью аппарата индикативной оценки критериальных рисков [21]. Ведение критериальной модели критически важных объектов муниципальных образований на систематической основе предполагает и периодическую переоценку качества используемых критериальных моделей, оценку их на полноту парирования меняющихся угроз, корректировку критериев по всем составляющим, оценку состояния выполнения требований и критериев парирования угроз по каждой из критических составляющих.

Заключение

Когнитивные искажения в оценке безопасности чрезвычайно распространены в самых разных областях [22], и, по сути, сами представляют собой повсеместно игнорируемую, но чрезвычайно опасную угрозу информационной безопасности [23], которая является причиной большинства аварий и техногенных катастроф, зачастую скрывающихся за такой часто называемой причиной, как человеческий фактор. Хотя, на самом деле, человеческий фактор практически всегда является результатом когнитивных искажений в понимании существующих опасностей. Поэтому столь принципиальна необходимость систематического контроля существующих недостатков и уязвимостей на всех уровнях управления безопасностью, а также на уровне исполнителей, от которых зависит особое внимание к существующим опасностям. И использование критериального моделирования позволяет этого добиться, о чем свидетельствует опыт применения этого метода в банковской сфере страны [24].

Литература

1. Поликарпов А.К., Кононов А.А. Когнитивные искажения как источник аварий и техногенных катастроф // Научно-практический журнал «Студент — инновации России». 2017. №2. С. 62—67.
2. Статистика уязвимостей корпоративных информационных систем // Positive Technologies URL: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/PT-Corporate-vulnerability-2014-rus.pdf> (Дата обращения: 13.10.2017).
3. Сборник исследований по практической безопасности // Positive Technologies URL: www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/Positive-Research-2017-rus.pdf (Дата обращения: 13.10.2017).
4. Кононов А.А., Поликарпов А.К. Методология критериального моделирования для системного анализа и оценки защищенности и уязвимости объектов, процессов и ресурсов на всех стадиях жизненного цикла больших систем // Сборник трудов VII Международной конференции «ИТ-Стандарт 2016» (г. Москва, 6—7 декабря 2016 г.). Самара: TCDprint, 2016. С. 126—133.
5. Система автоматизации управления рисками, аудита, контроля, мониторинга безопасности банковских и других критических систем, инфраструктур и биз-

- нес-процессов. URL: www.srisks.ru (Дата обращения: 13.10.2017).
6. Александров А. А. Интегративная психотерапия. СПб.: Питер. 2009. С. 317.
 7. Esgate Anthony, Groome David. An Introduction to Applied Cognitive Psychology // Psychology Press. 2005. P. 201.
 8. Bar-Haim Yair, Lamy Dominique, Pergamin Lee, Bakermans-Kranenburg Marian J., van IJzendoorn Marinus H. Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study // Psychological Bulletin. 2007. 133 (1): P. 1—24.
 9. Hasher Lynn, Goldstein David, Toppino Thomas. Frequency and the conference of referential validity // Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior. 1977: P. 107—112.
 10. Kuran Timur and Sunstein, Cass. Availability Cascades and Risk Regulation // Stanford Law Review, 1999. Vol. 51. No. 4.
 11. Zajonc R.B. Mere Exposure: A Gateway to the Subliminal // Current Directions in Psychological Science. December 2001. 224 p.
 12. Meyers-Levy Joan, Zhu Rui (Juliet), Jiang Lan. Context Effects from Bodily Sensations: Examining Bodily Sensations Induced by Flooring and the Moderating Role of Product Viewing Distance // Journal of Consumer Research. June 2010. P. 1—14.
 13. Pastorino Ellen E., Doyle-Portillo Susann M. What is Psychology? Essentials // (2nd ed.). Cengage Learning. 2011. P. 228
 14. Lewis P. & Critchley H. Mood-dependent memory // Trends in Cognitive Sciences. 2003. 320 p.
 15. Zwicky Arnold (2005-08-07). Just Between Dr. Language and I. Language Log.
 16. Van Boven Leaf, Loewenstein George, Dunning David, Nordgren Loran F. (2013). "Changing Places: A Dual Judgment Model of Empathy Gaps in Emotional Perspective Taking". In Zanna Mark P.; Olson James M. Advances in Experimental Social Psychology . Academic Press. 2013. P. 117—171.
 17. Spranca Mark, Minsk Elisa, Baron Jonathan. Omission and commission in judgment and choice // Journal of Experimental Social Psychology. 1991. P. 76—105.
 18. Bar-Hillel Maya (1980). The base-rate fallacy in probability judgments // Acta Psychologica. P. 211—233.
 19. Parker Amanda, Wilding Edward, Akerman Colin. The von Restorff Effect in Visual Object Recognition Memory in Humans and Monkeys: The Role of Frontal/Perirhinal Interaction // Journal of Cognitive Neuroscience. 1998. 10 (6): P. 691—703.
 20. Sagarin B.J., Cialdini R.B., Rice W.E. Dispelling the Illusion of Invulnerability: The Motivations and Mechanisms of Resistance to Persuasion // Journal of Personality and Social Psychology. 2002, Vol. 83, №. 3. P. 526—541.
 21. Кононов А. А. Метод расчета индикаторов наличия рисков в иерархических организационных системах // Материалы X mezinárodní vědecko-praktická conference Efektivní nástroje moderních věd — 2014. Díl 30. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura.: Praha. Publishing House Education and Science. Stran. 8—11.
 22. Parsons K., McCormac A., Butavicius M., Ferguson L. Human Factors and Information Security: Individual, Culture and Security Environment. Australia, Edinburgh — Command, Control, Communications and Intelligence Division Defence Science and Technology Organisation. 46 p.
 23. Кононов А. А. Когнитивные искажения как угрозы информационной безопасности и методы их парирования // Современные проблемы и задачи информационной безопасности СИБ-2017: Международная научно-практическая конференция (г. Москва, 18 апреля 2017 г.) [Текст]: Сборник статей / Московский финансово-юридический университет МФЮА. М.: МФЮА, 2017. С. 27—32.
 24. СТО БР ИББС-1.2-2014. Методика оценки соответствия информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации требованиям СТО БР ИББС-1.0-2014 (4-я редакция) М.: Банк России, 2014. 101 с.

Сведения об авторе

Кононов Александр Анатольевич: кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (ИСА ФИЦ ИУ РАН)

Число публикаций: 165

Область научных интересов: разработка методов управления рисками и безопасностью больших систем

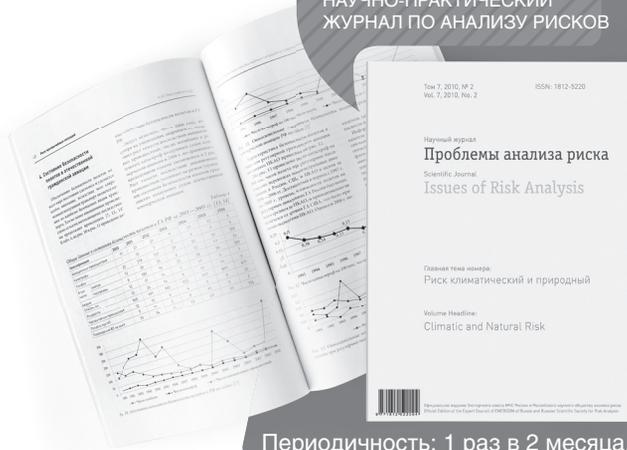
Контактная информация:

Адрес: 117312, г. Москва, проспект 60-летия Октября, д. 9

Тел.: +7 (495) 135-50-43

E-mail: kononov@isa.ru

ВЕДУЩИЙ РОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ ПО АНАЛИЗУ РИСКОВ



Периодичность: 1 раз в 2 месяца.

ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА РИСКА

В издании публикуются междисциплинарные научные и прикладные материалы, посвященные анализу рисков различного происхождения и характера: природного, техногенного, экологического, политического, страхового, финансового и др. Журнал внесен в перечень изданий, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Специалистам-практикам, чья деятельность связана с анализом рисков; специалистам научных организаций; учащимся и преподавателям учебных заведений.

ВНИМАНИЕ, ПОДПИСКА!

ПОДПИСНОЙ КУПОН на 2018 год

Проблемы анализа риска

Индексы: «Роспечать» — 71219, каталог «Пресса России» — 15704.

печатная версия

электронная версия

Количество экземпляров:

Период подписки:

полугодие

год

Вид доставки:

курьером (только по Москве)

почтой (заказным письмом)

Стоимость подписки

печатная версия: 4 500 руб. — за I полугодие; 4 500 руб. — за II полугодие; 9 000 руб. — за год;

электронная версия: 3 600 руб. — за I полугодие; 3 600 руб. — за II полугодие; 7 200 руб. — за год.

Наименование организации

Юридический адрес

Адрес доставки

ИНН/КПП

Телефон (с кодом города)

Факс

ФИО (полностью) сотрудника,
ответственного за подписку

Пожалуйста, заполните все поля подписного купона и пришлите его по факсу (495) 787-52-26.

Также вы можете оформить подписку по телефону: (495) 787-52-26; на сайте: www.dex.ru; по e-mail: journal@dex.ru.

Издательский дом «Деловой экспресс» — многопрофильная издательская компания, работающая на рынке полиграфических услуг с 1993 года.

Что мы делаем

- Создаем корпоративные и ведомственные издания.
- Издаем книги.
- Разрабатываем web-сайты.
- Изготавливаем традиционные бизнес-подарки в необычном исполнении.
- Издаем годовые отчеты и бизнес-полиграфию.
- Придумываем и разрабатываем логотипы и фирменные стили.

«Деловой экспресс» стремится стать лучшим поставщиком полиграфических решений для самых взыскательных клиентов.

Издательский дом

**ДЕЛОВОЙ
ЭКСПРЕСС**

www.dex.ru

УДК 519.8.614.838+510.6.62-7.007.51:004.056.53

Котельные как информатизируемые объекты защиты в ракурсе надежности и безопасности структурно-сложных систем

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018**М. В. Шептунов,**

ФГБОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет» (РГГУ),
ФГБОУ ВО «Московский государственный лингвистический университет» (МГЛУ),
г. Москва

Аннотация

Обсуждаются некоторые вопросы и особенности котельных, в том числе муниципальных образований, с позиции теории безопасности структурно-сложных систем: как объектов защиты от физического и компьютерного (сетевое) несанкционированного доступа (НСД), так и риска аварии, вероятными последствиями которых являются взрыв либо иное состояние котельной, проявляющееся в существенном отклонении от нормального режима функционирования. На основе логических построений сформирован возможный сценарий опасного состояния системы, в котором предполагается НСД одного нарушителя с возможностью сопутствующего ему отказа подсистемы контроля доступа и/или подсистемы охранной сигнализации котельной либо подсистемы защиты информации последней. Получена логико-вероятностная модель, в том числе расчетная формула для риска указанной чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: безотказность, взрыв котельной, логико-вероятностный метод, несанкционированный доступ, ограничение доступа, отказ, подсистема, риск, система обнаружения вторжений.

Содержание

Введение

1. Сценарий опасного состояния
2. Логико-вероятностная модель для оценки риска и повышения надежности и безопасности

Заключение

Литература

Введение

В настоящее время интеграция систем физической и информационной безопасности котельных муниципальных образований, как и других объектов, представляющих интерес в стратегическом плане, является одним из перспективных направлений развития современных интегрированных систем безопасности (ИСБ) предприятия.

Среди ключевых звеньев практически любой современной котельной важно выделить, в том числе, автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. Поскольку АРМ чаще всего создается на базе подключаемых к локальным и глобальной сетям персональных компьютеров, представляя собой наиболее простой

вариант автоматизации рабочих мест котельных, приобретают важность и аспекты защиты не только от физического проникновения на рассматриваемый информатизируемый объект, но и от удаленного сетевого вторжения в ракурсе возможного влияния на технологические процессы в котельных.

Весьма актуальные в ракурсе информационно-телекоммуникационных технологий вопросы рисков использования киберпространства, включая автоматизированные системы управления технологическими процессами, рассматривались в различных источниках, в том числе и на страницах журнала «Проблемы анализа риска» [9 и др.].

Хотя существовали и будут иметь место отдельные задачи, которые успешно и эффективно решаются узкоспециализированными подсистемами, такими как аппаратура и программное обеспечение для защиты периметра, контроля и управления доступом (КУД), теле- и видеонаблюдения, охранной сигнализации, пожарной сигнализации, контроля за утечкой газа (газов), следует отметить возрастающий выбор именно ИСБ, использование которых позволяет не только решить возникающие задачи обеспечения безопасности в комплексе, но и повысить эффективность работы отдельных подсистем, входящих в систему.

Среди основных защищаемых, но уязвимых целей при рассмотрении безопасности котельных следует отметить: персонал предприятия, материальные ресурсы (имущество, высоколиквидное сырье и пр.), информационные ресурсы (информация на носителях и информация, циркулирующая по внутренним каналам компании, и проч.). Кроме существенных организационных мер, принимаемых для котельных, важно отметить и технические меры. Помимо защиты собственно от несанкционированного доступа к системе это и резервирование особо важных компьютеризированных подсистем, и установка оборудования обнаружения и тушения пожара, как и обнаружения утечек воды, и принятие конструктивных мер защиты от хищений, взрывов, и установка резервных источников электропитания, и оснащение помещений замками, теми либо иными разновидностями сигнализации и многое другое.

В определенных случаях ущерб, причиненный одному или нескольким ресурсам, произошедший

либо вследствие аварии, либо в результате злоумышленных или неумышленных действий персонала либо иных лиц может оказаться фатальным для жизнедеятельности предприятия и даже привести к его ликвидации или банкротству, поскольку так или иначе котельные муниципальных образований представляют собою объекты экономики и народного хозяйства.

Будем исходить из того, что нарушитель нормального режима функционирования котельной может быть как обыкновенным хулиганом, так и специально подготовленным профессионалом.

Отметим, что рассматриваемая сфера регулируется в основном федеральным законом [1], статья 7 которого «Требования обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса и требования антитеррористической защищенности объектов топливно-энергетического комплекса» прямо указывает на необходимость защиты от террористических воздействий объектов топливно-энергетического комплекса. В свою очередь, в статьях 9 и 11 «Система физической защиты объектов топливно-энергетического комплекса» и «Обеспечение безопасности информационных систем объектов топливно-энергетического комплекса» того же ФЗ [1] говорится соответственно о системе физической защиты и безопасности информационных систем вышеупомянутых объектов.

Представляется существенным и то, что ряд ключевых понятий, используемых в области управления физическим доступом, играет не менее важную роль в сфере объектов информационной безопасности (например, термины, «идентификация», «идентификатор», «разграничение полномочий»).

Хотя рассмотрение ГОСТов и нормативных документов не является целью данной работы, на всякий случай упомянем, что ряд государственных стандартов, включая международные и межгосударственные, имеет отношение к безопасному функционированию котельных муниципальных образований, среди которых сложно проигнорировать в ракурсе злоумышленных и неумышленных действий тех или иных лиц стандарты [2–6].

В данной работе, не претендующей на полноту исследования различных аспектов функционирования котельных муниципальных образований, цель

ставится следующим образом: рассмотреть лишь некоторые, представляющие принципиально важными в ракурсе безопасного функционирования, вопросы анализа и оценки риска чрезвычайной ситуации для вышеупомянутых информатизируемых объектов топливно-энергетического комплекса.

В общем случае, в ракурсе логико-вероятностного подхода (о котором более подробно см., например, [8]) к формулируемой и решаемой в данной работе научно-практической задаче, выражение для вероятностной функции опасности системы имеет вид:

$$O_c = P\{f(z_1, \dots, z_m) = 1\}, \quad (1)$$

где O_c — вероятность опасности системы;

z_1, \dots, z_m — инициирующие события и условия (ИС, ИУ), причем

$$z_i = \begin{cases} 1, & \text{если ИС (ИУ) } z_i \text{ произошло (возникло),} \\ 0 & \text{— если ИС (ИУ) } z_i \text{ не произошло} \\ & \text{(не возникло).} \end{cases}$$

Аналогично имеют место соотношения

$$O_i = P\{z_i = 1\},$$

$$B_i = P\{z_i' = 1\},$$

где O_i — вероятность опасности от ИС (ИУ) z_i ;

B_i — вероятность безопасности от наличия ИС (ИУ) z_i ;

z_i' — отрицание ИС (ИУ) z_i , где $i = \overline{1, m}$.

Определение 1. Вероятностной функцией (ВФ) называется вероятность истинности функции алгебры логики (ФАЛ)

$$P\{f(z_1, \dots, z_m) = 1\}.$$

Определение 2. Функции алгебры логики, допускающие непосредственный переход к ВФ заменой логических переменных вероятностями, а логических операций — соответствующими арифметическими операциями, называются *формами перехода к замещению* (ФПЗ).

Отметим, что частным случаем ФПЗ является форма перехода к полному замещению (ФППЗ), когда имеет место замещение одновременно всех логических переменных.

Определение 3. Функция, записанная в виде матрицы, в которой конъюнкции обозначены распо-

ложением логических символов в строке, а дизъюнкции — расположением их в столбце, называется *логической матрицей*.

Важно подчеркнуть, что к логической матрице применимы все известные преобразования алгебры логики.

Известно [8 и др.], что переход к ВФ для ФАЛ, представленной в ФППЗ, осуществим по определенным правилам, причем вероятностную функцию для ФАЛ, представленной в произвольной неповторной форме, возможно найти по ее выражению в базисе конъюнкция-отрицание. Последнее получается путем многократного применения правила (закона) де Моргана.

В настоящей работе научно-практическая задача, разбиваемая на две подзадачи, формулируется следующим образом:

- сформировать сценарий опасного состояния, а именно сценарий возникновения чрезвычайной ситуации для котельных муниципальных образований;
- получить на основе логико-вероятностного метода расчетную формулу для числовой оценки риска чрезвычайной ситуации в котельной муниципального образования.

1. Сценарий опасного состояния

За чрезвычайную ситуацию, происходящую с подлежащей далее расчету вероятностью, в данной работе был принят взрыв в котельной (либо иное ее состояние, проявляющееся в существенном отклонении от нормального режима функционирования).

Отметим, что в формируемом здесь сценарии опасного состояния (СОС) системы, а именно упомянутой чрезвычайной ситуации в котельной, предполагается независимость всех фигурирующих в нем инициирующих событий (ИС) и инициирующих условий (ИУ) попарно и в совокупности (включая сложные события z_{27} и z_{29}). Всего из весьма большого перечня возможных по своей сути ИС и ИУ были включены в сценарий опасного состояния 32 ИС и ИУ, в том числе 18 ИС и 14 ИУ, как показано на рисунке.

Данным СОС системы предполагается НСД одного нарушителя в результате преодоления защитной физической «суммарной» преграды (включая возможное проникновение под видом должностного либо иного лица или совместно с ним) с учетом возможности совместимого отказа подсистемы охранной сигнализации и/или контроля и управ-

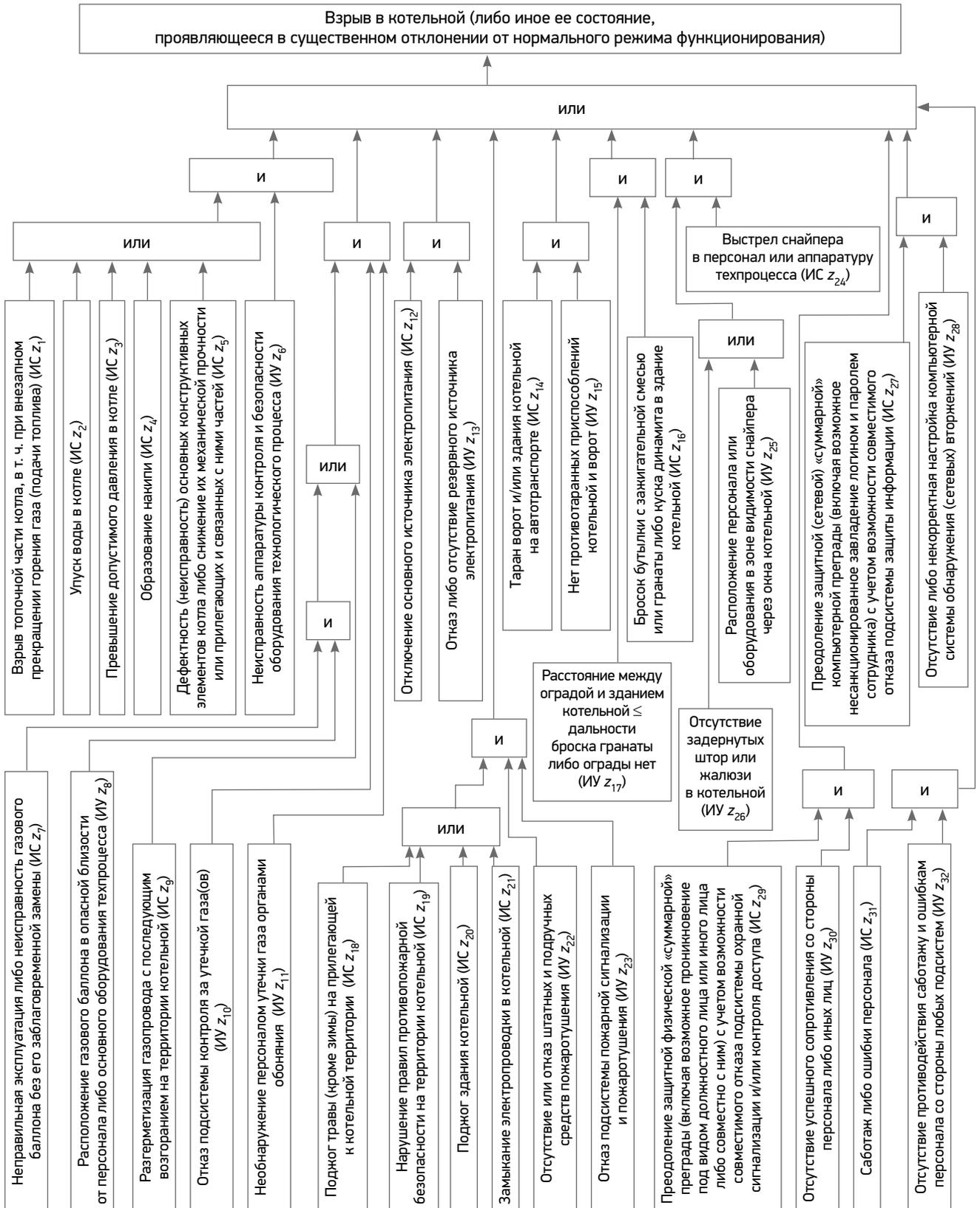


Рисунок. Возможный сценарий опасного состояния котельной

ления доступом (сложное инициирующее событие z_{29}). Аналогично предполагается (удаленный) НСД единственного нарушителя (к АРМ оператора котельной и содержащейся на нем защищаемой информации) в результате преодоления защитной (сетевой) «суммарной» компьютерной преграды (включая возможное несанкционированное завладение логином и паролем сотрудника котельной) с учетом возможности совместимого отказа подсистемы защиты информации котельной (сложное инициирующее событие z_{27}).

Для ИС z_{31} и ИУ z_{32} предполагается, что упомянутые для них ошибки персонала котельной не являются взаимоисключающими.

Отметим, что ИС z_1, \dots, z_5 , как и сопутствующее им ИУ z_6 , фигурирующие в СОС системы, относятся (если формулировать это таким образом) к организационно-техническим неисправностям основного оборудования технологического процесса; к этой же категории можно было бы отнести и ИС z_{31} и ИУ z_{32} . Часть ИС и ИУ, а именно z_{27}, z_{28} , относится к возможностям удаленных (сетевых) атак на котельную, являющуюся информатизируемым объектом. Не оставим без внимания и то, что заметная часть ИС и ИУ, помимо также ощутимой части относящихся к пожаровзрывобезопасности и/или утечек газа (газов) ИС и ИУ, присутствующая в СОС, относится к (локальному) НСД и вопросам надежности как отдельных подсистем, так и системы в целом.

Некоторые принципиальные подробности, относящиеся к рассмотрению отдельных ИС (в частности, к z_{27}, z_{29}) и их происхождению, изложены в следующем разделе статьи.

2. Логико-вероятностная модель для оценки риска и повышения надежности и безопасности

Поскольку сценарий опасного состояния системы получен и рассмотрен в разделе 1 (см. рисунок), возможно записать соответствующую ему логическую матрицу.

Так как последняя, формируемая на основе СОС системы, не содержит повторяющихся переменных, сможем перейти с учетом определений 1—3 и других нужных сведений введения данной работы от ФАЛ к ВФ.

Преобразовывая сначала с помощью закона коммутативности, а также закона де Моргана, записываемого в виде

$$\bigvee_{i=1}^n z_i = \left(\bigwedge_{i=1}^n z'_i \right)'$$

(где штрих означает инверсию), получим:

$$f(z_1, \dots, z_{32}) = \left| \begin{array}{c|c} z_1 & z_6 \\ z_2 & \\ z_3 & \\ z_4 & \\ z_5 & \\ \hline z_7 z_8 & z_{10} z_{11} \\ z_9 & \\ z_{12} z_{13} & \\ z_{14} z_{15} & \\ z_{16} z_{17} & \\ \hline z_{18} & z_{22} z_{23} \\ z_{19} & \\ z_{20} & \\ z_{21} & \\ z_{24} & z_{25} \\ & z_{26} \\ \hline z_{27} z_{28} & \\ z_{29} z_{30} & \\ z_{31} z_{32} & \end{array} \right| =$$

$$\begin{aligned} &= (z_1 \vee z_2 \vee z_3 \vee z_4 \vee z_5) z_6 \vee (z_7 z_8 \vee z_9) z_{10} z_{11} \vee z_{12} z_{13} \vee \\ &\vee z_{14} z_{15} \vee z_{16} z_{17} \vee (z_{18} \vee z_{19} \vee z_{20} \vee z_{21}) z_{22} z_{23} \vee z_{24} (z_{25} \vee z_{26}) \vee \\ &\vee z_{27} z_{28} \vee z_{29} z_{30} \vee z_{31} z_{32} = z_6 (z_1 \vee z_2 \vee z_3 \vee z_4 \vee z_5) \vee \\ &\vee z_{24} (z_{25} \vee z_{26}) \vee z_{22} z_{23} (z_{18} \vee z_{19} \vee z_{20} \vee z_{21}) \vee z_{10} z_{11} (z_9 \vee z_7 z_8) \vee \\ &\vee z_{12} z_{13} \vee z_{14} z_{15} \vee z_{16} z_{17} \vee z_{27} z_{28} \vee z_{29} z_{30} \vee z_{31} z_{32} = \\ &= z_6 (z'_1 z'_2 z'_3 z'_4 z'_5)' \vee z_{24} (z'_{25} z'_{26})' \vee z_{22} z_{23} (z'_{18} z'_{19} z'_{20} z'_{21})' \vee \\ &\vee z_{10} z_{11} [z'_9 (z_7 z_8)']' \vee z_{12} z_{13} \vee z_{14} z_{15} \vee z_{16} z_{17} \vee z_{27} z_{28} \vee \\ &\vee z_{29} z_{30} \vee z_{31} z_{32} = \{ [z_6 (z'_1 z'_2 z'_3 z'_4 z'_5)']' \wedge [z_{24} (z'_{25} z'_{26})']' \wedge \\ &\wedge [z_{22} z_{23} (z'_{18} z'_{19} z'_{20} z'_{21})']' \wedge \{ z_{10} z_{11} [z'_9 (z_7 z_8)']' \} \wedge (z_{12} z_{13})' \wedge \\ &\wedge (z_{14} z_{15})' \wedge (z_{16} z_{17})' \wedge (z_{27} z_{28})' \wedge (z_{29} z_{30})' \wedge (z_{31} z_{32})' \}' \quad (2) \end{aligned}$$

Затем по известным правилам, учитывая, что ФАЛ (2) является бесповторной, перейдем от нее

непосредственно к интересующей вероятностной функции опасного состояния (ФОС) системы:

$$P\{f(z_1, \dots, z_{32}) = 1\} = 1 - \{[1 - O_6(1 - B_1 B_2 B_3 B_4 B_5)] \times [1 - O_{24}(1 - B_{25} B_{26})] \times [1 - O_{22} O_{23}(1 - B_{18} B_{19} B_{20} B_{21})] \times \{1 - O_{10} O_{11}(1 - [B_9(1 - O_7 O_8)])\} \times (1 - O_{12} O_{13}) \times (1 - O_{14} O_{15}) \times (1 - O_{16} O_{17}) \times (1 - O_{27} O_{28}) \times (1 - O_{29} O_{30}) \times (1 - O_{31} O_{32})\}. \quad (3)$$

Результат формальной проверки при подстановке в (3) одинаковых вероятностей $O_i = O_1 = O_2 = \dots = O_{31} = O_{32} = 1$ дает:

$$P\{f(z_1, \dots, z_{32}) = 1\} = 1 - 0 = 1,$$

позволяя утверждать о правильности выполненных ранее преобразований; при вероятностях $O_i = 1$ каждого из соответствующих иницирующих событий и иницирующих условий указанная в сценарии опасного состояния системы чрезвычайная ситуация неизбежно произойдет (с вероятностью $O_c = 1$).

Рассмотрим следующий числовой пример (с условными значениями вероятностей O_i и B_i), а именно пусть: $B_1 = \dots = B_5 = B_9 = B_{18} = \dots = B_{21} = B_{25} = B_{26} = 0,5$; $O_6 = \dots = O_8 = O_{10} = \dots = O_{17} = O_{22} = \dots = O_{24} = O_{27} = \dots = O_{32} = 0,1$. Тогда вычисление (в MS Excel) по формуле (3) дает (с округлением): $O_c \approx 0,2248$.

В данном условном примере интересующая вероятность O_c не является почти равной единице, но и не является почти равной нулю, как не является она равной и значению 0,5.

Естественно, что для как такового расчета риска рассматриваемой чрезвычайной ситуации нам нужны вероятности каждого из ИС и ИУ, входящих в формулу (1), а в рассматриваемом нами случае и в формулу (2). Для их использования могли бы помочь статистические данные (при наличии последних). Нетривиальной и важной задачей представляется определение соответствующих вероятностей опасности для составляющих O_{27} , O_{29} вышеуказанной формулы.

Обозначим прочности (частично) перекрывающих друг друга преград (для многозвенной защиты) в общем случае через $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$. Вероятность преодоления каждой из них (единственным) нарушителем согласно теории вероятностей как противоположное событие может быть выражена как соответствующая разность $(1 - P_1), (1 - P_2), (1 - P_3), \dots, (1 - P_n)$.

В ракурсе ИС z_{29} , например, этими преградами при наличии на них охранной сигнализации и/или контроля доступа могут быть помимо ворот внешней ограды дверь здания котельной и окна котельной. Считая (еще до рассмотрения всей совокупности независимых ИС и ИУ z_1, \dots, z_{32} , где z_{27}, z_{29} — события сложные, в сценарии опасного состояния и его как такового формирования) факты преодоления этих приведенных в качестве примера для ИС z_{29} преград событиями совместимыми, вероятность преодоления «суммарной» преграды нарушителем запишем в виде

$$P_{нр} = (1 - P_1) \times (1 - P_2) \times (1 - P_3) \times \dots \times (1 - P_i), \quad (4)$$

где $i = \overline{1, n}$; смысл обозначений соответствует вышеуказанному.

Чтобы определить интересующую вероятность O_{29} , имеет смысл до применения данной достаточно общей формулы (4) принимать во внимание справедливость выражения для прочности (т.е. вероятности непреодоления) многозвенной защиты с контролируруемыми преградами для защиты от одного нарушителя [7] (в данном рассматриваемом случае полагалось, как вариант, $P_{нр} = O_{29}$, что аналогично далее можно было бы записать при тех же рассуждениях для O_{27}), а именно прочность контролируемой защиты

$$P_{зик} = P_i = \min \{ (P_{облк1} \times (1 - P_{откк1})), (P_{облк2} \times (1 - P_{откк2})), \dots, (P_{облkn} \times (1 - P_{откkn})), (1 - P_{обх1}), (1 - P_{обх2}), \dots, (1 - P_{обхj}) \}, \quad (5)$$

где $P_{облkn}$ — вероятность обнаружения и блокировки НСД при попытке преодоления нарушителем n -й преграды;

$P_{откkn}$ — вероятность отказа техники при контроле (обнаружении и блокировке НСД) n -й преграды;

$P_{обхj}$ — вероятность обхода преграды по j -му пути.

Иными словами, прочность многозвенной защитной оболочки от единственного нарушителя равна прочности ее слабейшего звена.

Так, например, если одно из (пусть всего двух) окон котельной, являясь контролируемой преградой с вероятностью ее преодоления P_3 , меньшей по отношению к вероятностям преодоления другого окна P_2 и единственной двери здания P_1 , перекрывается внешней оградой здания с вероятностью ее преодоления P_4 , то следует использовать в формуле (4) получаемое таким образом по формуле (5)

минимальное значение, а именно P_3 , при предварительном применении только что указанной формулы, т.е. тогда бы формула (4) с учетом (5) имела бы вид: $P_{\text{нр}} = (1 - P_4) \times (1 - P_3)$.

В свою очередь,

$$P_{\text{обл.к}} = \frac{t_{\text{нр}}}{T_{\text{обл.}}},$$

где $t_{\text{нр}}$ — время преодоления (контролируемой) преграды нарушителем;

$T_{\text{обл.}}$ — время обнаружения и блокировки НСД, из чего вытекает справедливость формулы для вероятности преодоления (отдельной) преграды нарушителем

$$P_{\text{нр}} = 1 - \frac{t_{\text{нр}}}{T_{\text{обл.}}}$$

В наиболее простом (но далеко не единственно возможном для котельной случае) вероятность отказа интересующей подсистемы (учитываемая в формуле (5)) обычно определяется по следующей формуле, также упоминаемой в [7],

$$P_{\text{отк}}(t) = e^{-\lambda t}, \quad (6)$$

где λ — интенсивность отказов группы технических средств, составляющих подсистему (систему) обнаружения и блокировки НСД;

t — рассматриваемый интервал времени функционирования подсистемы (системы) обнаружения и блокировки НСД.

Аналогичным образом имеет смысл поступать для определения другой интересующей вероятности опасности O_{27} .

Отметим, что (в данном рассмотрении простые) события $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ полагаются также (хотя и совместимыми друг с другом, но) независимыми как по отношению друг к другу, так и по отношению к любым ИС и ИУ, фигурирующим в СОС системы (кроме, в свою очередь, соответствующих фигурирующих в СОС сложных событий, например, z_{27} , зависящее от относящихся только к нему простых событий $P_{1z_{27}}, P_{2z_{27}}, \dots, P_{nz_{27}}$, и z_{29} , зависящее от относящихся только к нему простых событий $P_{1z_{29}}, P_{2z_{29}}, \dots, P_{nz_{29}}$).

Подразумевается, что для соответствующих случаев резервирования подсистем могут и должны использоваться более сложные (по сравнению с формулой (6)) адекватные им совокупности формул показателей теории надежности.

Для анализа и управления риском (и в том числе для решения вопросов о резервировании, не являющихся основным предметом рассмотрения данной статьи) имеют смысл рассчитываемые критерии: значимость того или иного элемента (либо имеющейся подсистемы) системы и соответствующий вес его (ее) в последней. Как известно, критерий «веса» характеризует положение элемента (либо, как вариант, подсистемы) в структуре системы и не зависит от надежностных показателей, а «значимость» элемента определяется не только местом элемента (либо, как вариант, подсистемы) в структуре системы, но и надежностью всех других элементов, кроме самого x_i .

«Вес» интересующего элемента x_i в системе возможно рассчитать по известной формуле

$$g_{x_i} = \sum_{j=1}^k 2^{-(r_j-1)} - \sum_{j=1}^l 2^{-(r_j-1)},$$

где k, r_j — число и ранг ортогональных конъюнкций, содержащих аргумент x_i ;

l, r_j — число и ранг ортогональных конъюнкций, содержащих отрицание элемента x_i (где штрих означает инверсию), — имея выражение (2), записанное в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ). Нередко для этой цели используют алгоритм ортогонализации, сводя ДНФ к ОДНФ [8].

Если значения вероятностей, входящих в формулу для расчета риска, неизвестны, то соответственно структурную значимость элемента x_i можно определить, взяв частную производную

$$B(i) = \frac{\partial R_c}{\partial R_i} \Big|_{R_1 = \dots = R_m = 0,5},$$

с подстановкой вероятностей безотказной работы всех элементов, равных значению 0,5, в выражение для надежностной значимости аргумента x_i

$$B(i \setminus R) = \frac{\partial R_c}{\partial R_i},$$

где $R_c = f(R_1, \dots, R_m)$ — вероятность безотказной работы системы, зависящая и от вероятности безотказной работы i -го элемента R_i , где $i = \overline{1, m}$ (когда вероятности безотказной работы для каждого элемента системы известны, возможно применить непосредственно последнее общего вида выражение).

Напомним, что соотношение вида $R_c = 1 - Q_c$ (а в соответствующих нашему случаю обозначениях с учетом (3) $B_c = 1 - O_c$) связывает вероятность безотказной (безопасной) работы системы с вероятностью отказа (опасности) системы.

Следует также отметить, что не представляют особых трудностей расчеты и для лиц, не являющихся профессиональными программистами, в имеющемся почти на каждой персональной ЭВМ MS Excel с его строкой формул; как по данной логико-вероятностной модели риска, так и для такого рода структурных моделей близких по сущности объектов — даже если в них появятся повторные инициирующие события и/или условия.

Заключение

Итак, *научная новизна* данной работы состоит в следующем:

- сформирован путем логических построений сценарий опасного состояния для котельных, в том числе муниципальных образований;
- получена на основе логико-вероятностного метода расчетная формула числовой оценки риска чрезвычайной ситуации котельных муниципальных образований.

Практическая ценность работы заключается:

- в принципиальной возможности числовой оценки риска чрезвычайной ситуации в котельной муниципального образования по полученной расчетной формуле;
- при выяснении степени влияния каждого из инициирующих событий и инициирующих условий на вероятность рассматриваемой чрезвычайной ситуации в возможности снизить риск последней за счет снижения вероятностей наиболее опасных из них как техническими, так и организационными мероприятиями.

Следует отметить, что поскольку изначально в данной работе предполагалась наряду с преодолением защитной физической «суммарной» преграды возможность совместимого отказа подсистемы охранной сигнализации и/или контроля и управления доступом (в сценарии опасного состояния фигурирует сложное инициирующее событие z_{29} , являющееся независимым по отношению к каждому из всех других присутствующих в данном сценарии 32 ИС и ИУ; аналогично для сложного ИС z_{27} ,

все ИС и ИУ z_1, \dots, z_{32} предполагаются независимыми попарно и в совокупности), представляет интерес в плане дальнейших исследований каждая из двух возможных последующих постановок научно-практических задач:

- 1) максимизация надежности соответствующей подсистемы при задаваемом уровне финансовых ограничений на стоимость данной подсистемы
либо
- 2) минимизация стоимости соответствующей подсистемы при требуемом уровне надежности данной подсистемы.

Обе они, внося свой вклад в уменьшение риска чрезвычайной ситуации в целом в котельной, могут иметь значение также и для предусматривавшегося изначально наряду с преодолением защитной (сетевой) компьютерной преграды возможного случая совместимого отказа подсистемы защиты информации (сложное ИС z_{27} по аналогии с ИС z_{29}). Актуальны обе указанные задачи и соответственно для подсистемы пожарной сигнализации и подсистемы контроля за утечкой газа (газов) в котельных.

Эти задачи могут быть успешно решены хорошо разработанными на сегодняшний день методами классической теории надежности, а именно для разновидностей подсистем: резервированных невосстанавливаемых, резервированных восстанавливаемых (подсистем либо систем).

Основная часть данной работы была выполнена автором в Финансовом университете после (успешной) аттестации в должности доцента и продолжена в период пребывания слушателем курсов повышения квалификации НИУ «Высшая школа экономики».

Автор признателен организаторам Всероссийской научно-практической конференции «Устойчивость муниципальных образований к чрезвычайным ситуациям» за предоставленную возможность публикации в качестве дополняющего материала данной работы в журнале.

Литература

1. Федеральный закон от 21 июля 2011 г. № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» (с изменениями и дополнениями).
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27002-2012 «Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения без-

опасности. Свод норм и правил менеджмента информационной безопасности».

3. ГОСТ Р 51241-2008 «Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний».
4. ГОСТ Р 54831-2011 «Системы контроля и управления доступом. Устройства преграждающие управляемые. Общие технические требования. Методы испытаний».
5. ГОСТ 26342-84 «Средства охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Типы, основные параметры и размеры».
6. ГОСТ 27990-88 «Средства охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Общие технические требования».
7. Мельников В.В. Безопасность информации в автоматизированных системах. М.: Финансы и статистика, 2003. 368 с.
8. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000. 248 с.
9. Соколов Ю.И. Новый вид рисков — риски киберпространства // Проблемы анализа риска. 2016. Т. 3. № 6. С. 6—21.

Сведения об авторе

Шептунов Максим Валерьевич: кандидат технических наук, доцент, член Ученого совета факультета «Международная информационная безопасность» ФГБОУ ВО «Московский государственный лингвистический университет (МГЛУ), доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет» (РГГУ)

Количество публикаций: св. 60 учебно-методических и научных работ, в т. ч. глава в двух коллективных монографиях, в одной из которых являлся зам. руководителя авторского коллектива, более 20 вышеупомянутых работ — учебные (учебно-методические) издания

Область научных интересов: исследование операций, управление в социально-экономических и технических системах, дискретный анализ и анализ риска

Контактная информация:

Адрес: 129347, Москва, ул. Проходчиков, 5-23

Тел.: +7 (915) 297-22-75

E-mail: triumph403@yandex.ru

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

«РОССИЙСКОЕ КОНКУРЕНТНОЕ ПРАВО И ЭКОНОМИКА»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-60362 от 29.12.2014 г.

Ведущий научно-практический журнал в области конкурентного права и антимонопольного регулирования, выпускаемый ФАС России совместно с издательским домом «Деловой экспресс».

На страницах издания публикуются актуальные материалы, посвященные вопросам антимонопольного регулирования и защиты конкуренции: информация о деятельности ФАС России и развитии антимонопольного законодательства; анализ правоприменительной и судебной практик; результаты научных исследований в области конкурентного права и связанных с ним экономических вопросов; обобщение опыта эффективной организации работы антимонопольной службы и др. Также в журнале освещаются круглые столы, конференции, дискуссии по вопросам в сфере конкурентного права, аспекты международного сотрудничества. Особое внимание журнал уделяет практической применимости публикуемых материалов.

Издание адресовано сотрудникам антимонопольных органов, специалистам-практикам, представителям бизнес-сообщества, консультантам, специалистам научных организаций, учащимся и преподавателям учебных заведений, а также широкому кругу заинтересованных читателей.

Разъясняя государственную политику в области защиты конкуренции, журнал призван содействовать повышению уровня правовой культуры, а также осуществлять обратную связь с читателями, выявляя их мнения о состоянии конкуренции в Российской Федерации.

Издание зарегистрировано в РИНЦ и готовится к включению в перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России (ВАК) для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

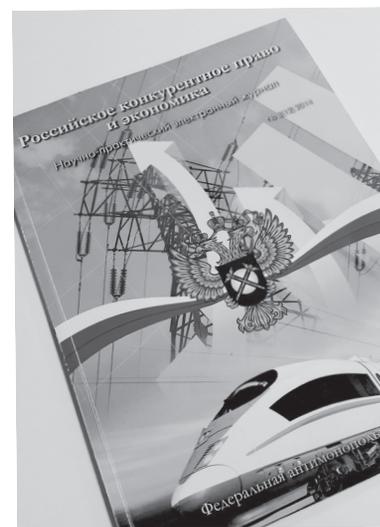
Издается в печатном и электронном виде с периодичностью раз в квартал.

УЧРЕДИТЕЛИ:

- Федеральное государственное автономное учреждение «Учебно-методический центр ФАС России» (г. Казань)
- Акционерное общество «Финансовый издательский дом «Деловой экспресс»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Максимов Сергей Васильевич,
доктор юридических наук, профессор, заведующий сектором уголовного права, криминологии и проблем правосудия Института государства и права РАН, помощник руководителя ФАС России



Издается: с 2011 года
Периодичность: ежеквартально
Распространение: подписка
Язык: русский
Издатель: АО ФИД «Деловой экспресс»
Телефон: (495) 787-52-26
Индекс «Пресса России»: 43225
Сайты: www.fas.gov.ru
www.dex.ru

ОСНОВНЫЕ РУБРИКИ:

- Антимонопольное законодательство
- Антимонопольное регулирование
- Антимонопольный контроль
- Региональная практика
- Судебная практика

РЕКЛАМА В ЖУРНАЛЕ:

Размещение рекламы в журнале «Российское конкурентное право и экономика» позволяет напрямую обращаться к целевой аудитории и в то же время дает возможность рассказать о технологиях, мероприятиях, услугах и продукции.

Информацию о стоимости размещения рекламного модуля в журнале можно узнать

- по телефону (495) 787-52-26
- или написать на почту journal@dex.ru.

ТЕРРИТОРИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ:

Управления ФАС России, Государственная дума РФ, администрации субъектов РФ, комитеты и комиссии союза предпринимателей и промышленников России, государственные и муниципальные предприятия, ректораты и библиотеки вузов, руководители ведущих российских компаний и частные лица.

Стоимость подписки на 2018 год

Печатная версия	900 руб. — за полугодие;	1800 руб. — за год
Электронная версия	500 руб. — за полугодие;	1000 руб. — за год

УДК 614.8

Моделирование вероятностей состояния объектов по схеме марковских случайных процессов при воздействии поражающих факторов обычных средств поражения

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

Н. К. Домницкий,
Ростовское отделение
научного общества РНОАР,
г. Ростов-на-Дону

Аннотация

В статье описываются оценочные математические модели на основе применения однородных и неоднородных марковских цепей переходных вероятностей состояния объектов, подвергшихся воздействию последовательных поражающих факторов обычных средств поражения. Также проведен анализ полученных результатов последовательных ударов по объектам при применении математического моделирования.

Ключевые слова: вероятности поражения объектов; однородные и неоднородные марковские цепи; матрицы переходных вероятностей состояния объектов.

Содержание

Введение

1. Определение вероятностей состояния объектов при воздействии поражающих факторов обычных средств поражения
2. Допущения, методика моделирования и последовательность подготовки исходных данных для расчетов поражения объектов
3. Определение вероятностей состояния объектов по схеме марковских матриц переходных состояний при воздействии поражающих факторов обычных средств поражения
4. Примеры расчетов вероятностей состояния объектов по модели марковских цепей переходных состояний при воздействии обычных средств поражения

Заключение

Литература

Введение

Одним из методов математического моделирования для оценки результатов воздействия в виде поражающих факторов обычных средств поражения на здания (сооружения) могут быть переходные вероятности (P_{ij}) матриц систем марковских случайных процессов. В марковских случайных процессах для каждого момента времени вероятность любого состояния системы (сооружения) в будущем зависит от того, в каком состоянии система была перед очередным ударом, и не зависит от того, когда и каким образом система пришла в это состояние.

Это свойство марковских процессов применимо и для оценки состояния объектов при последовательных ударах обычных средств поражения.

В данной статье рассматривается моделирование оценки вероятностей состояния объектов при воздействии поражающих факторов обычных средств поражения (далее — СП) по схеме марковских случайных процессов. То есть оценочные математические модели строятся на основе применения однородных и неоднородных марковских цепей переходных вероятностей (P_{ij}) состояния объектов происходящих от шага к шагу последовательных ударов. Такой оценочный метод поражения объектов здесь предлагается применять совместно с методикой расчетов, использованной в ГОСТ Р 42.2.01-2014 Гражданская оборона. Рассмотренный метод позволяет выполнять прогнозирование рисков поражения объектов тыла от ударов СП в системе гражданской обороны.

1. Определение вероятностей состояния объектов при воздействии поражающих факторов обычных средств поражения

Моделирование вероятностной оценки исхода фугасного воздействия СП на здания (сооружения) основывается на свойствах закономерности явлений случайных величин при последовательных ударах, образующих цепи Маркова.

Математические модели, образующие марковские случайные процессы от шага к шагу последовательных ударов, могут давать прогнозную оценку вероятностей состояния объектов, поражаемых современными СП.

На рис. 1 представлен объект, подвергнутый воздействию воздушной ударной волны СП (ΔP_{ϕ}), который в зависимости от расстояний и прочности его элементов может получить разные типы поражений (состояний): S_0 — слабое, S_C — среднее, S_B — сильное, S_A — полное. При любом k -шаге ударов типы поражений S_0, S_C, S_B, S_A образуют полную группу событий и являются несовместными. При этом состояния объектов (S) оцениваются соответственно вероятностями P_1, P_2, P_3, P_4 . Сумма величин вероятностей состояния объекта $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1$, что означает достоверное событие состояние объекта. Для таких расчетов вероятностей разработан ГОСТ Р 42.2.01-2014, утвержденный и введенный в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 августа 2014 г. № 964-ст.

Вероятности различной степени разрушения зданий (сооружений) P_1, P_2, P_3, P_4 зависят от величины обобщенного показателя устойчивости ξ . Показатель ξ — отношение давления во фронте воздушной ударной волны к степени разрушения составных частей объекта. Здесь ΔP_{ϕ} — давление фронта ударной волны на расстоянии, которое

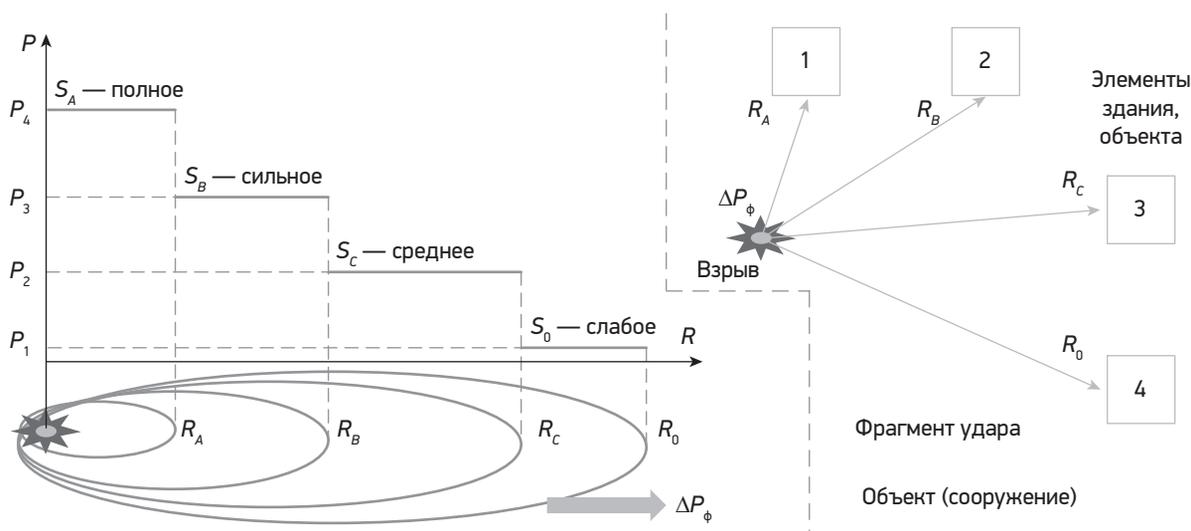


Рис. 1. Вероятности состояний типов поражений объектов (сооружений)

можно рассчитать, например, по методике, разработанной МГТУ им. Н.Э. Баумана [4] (расчеты в табл. 2), $\Delta P_{\text{Фзд}}$ — динамическая нагрузка, вызывающая сильное или полное разрушение типовых объектов, определяется по таблице 4.2 (ГОСТ Р 42.2.01-2014). По величине показателя устойчивости (ξ) на графике рис. 2 ГОСТ Р 42.2.01-2014 определяются вероятности степени разрушения зданий (P_1, P_2, P_3, P_4).

Вероятности P_1, P_2, P_3, P_4 (рис. 2) обозначают соответственно: слабую (неразрушение), среднюю, сильную и полную степени разрушения объектов. Полное разрушение характеризуется разрушением и обрушением от 50 до 100% объема зданий, сильное — разрушением от 30 до 50% объема зданий, среднее — до 30%, часть помещений здания пригодна для использования. Слабое разрушение характеризуется разрушением второстепенных элементов здания (оконных, дверных заполнений и перегородок), при этом здание после небольшого ремонта может быть использовано. Вероятность выхода из строя здания (сооружения) (P) рассчитывается как сумма вероятностей получения степени разрушения, при которой прекращается функционирование здания. Так, вероятность выхода из строя здания (сооружения) составляет: $P = P_3 + P_4$, где P_3, P_4 — вероятности получения сильной и полной степени разрушения или повреждения. Вероятности степени разрушения зданий (P_1, P_2, P_3, P_4), найденные с помощью графика рис. 2

(или табл. 1), необходимы будут для составления матриц переходных вероятностей (P_{ij}) состояния объектов марковских цепей.

Рассчитанные значения избыточного давления $\Delta P_{\text{Ф}}$ взрывчатого вещества тротила по методике [4] представлены в табл. 2.

Представленные в табл. 2 значения избыточного давления во фронте воздушной ударной волны ($\Delta P_{\text{Ф}}$) могут несколько отличаться при расчетах по другим методикам в зависимости от условий взрывов. Однако они дают представление о порядке величин ударной волны в заданных условиях [4].

2. Допущения, методика моделирования и последовательность подготовки исходных данных для расчетов поражения объектов

Основа допущения при моделировании поражения объектов по схеме марковского процесса, протекающего в физической системе: чтобы в любой момент времени вероятность состояния системы в будущем зависела только от состояния системы в текущий момент и не зависела от того, каким образом процесс развивался в прошлом.

Здесь основой математического моделирования степени поражения зданий (сооружений) является определение переходных вероятностей (P_{ij}) матриц по схеме марковских случайных процессов при последовательных воздействиях от шага к шагу

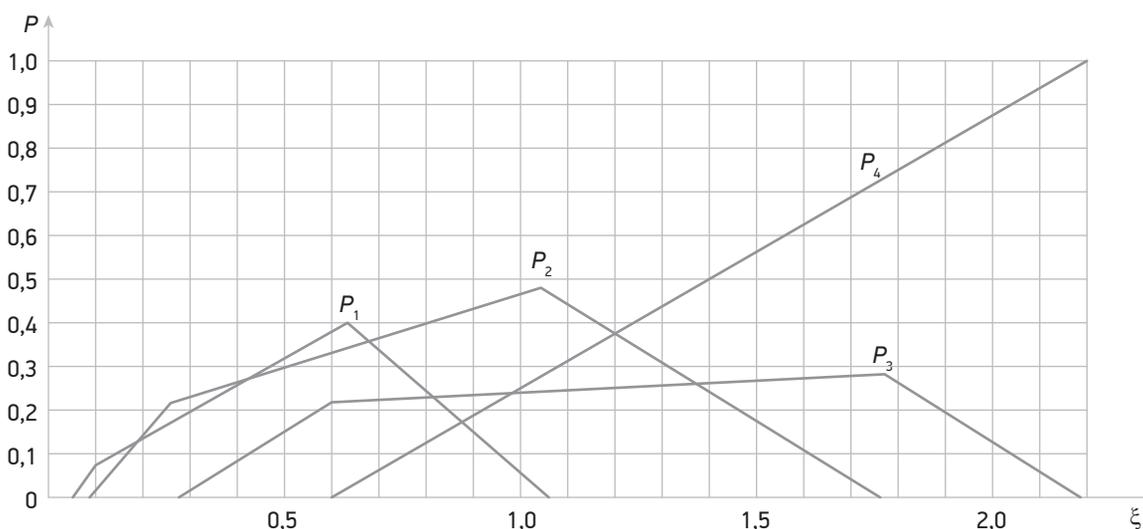


Рис. 2. Вероятность различной степени разрушения здания (сооружения) в зависимости от величины показателя устойчивости, ξ (ГОСТ Р 42.2.01-2014)

Вероятности различной степени разрушения здания (сооружения) в зависимости от величины показателя устойчивости, ξ (из рис. 2)

Таблица 1

$\xi = 1,25 \frac{\Delta P_{\phi}}{\Delta P_{\text{фэд}}}$	0 (слабое)	С (среднее)	В (сильное)	А (полное)	Сумма вероятн.
	P_1	P_2	P_3	P_4	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4$
0,5	0,32	0,3	0,16	0,0	$1 - 0,78 = 0,22$ н/пораж
0,75	0,3	0,38	0,22	0,1	1,0
1,0	0,06	0,46	0,23	0,25	1,0
1,25	0,0	0,34	0,25	0,41	1,0
1,5	0,0	0,18	0,27	0,55	1,0

Значения избыточного давления во фронте воздушной ударной волны (ΔP_{ϕ})

Таблица 2

Вес ВВ, боеприпаса (тротил), кг	Удаление от центра прогнозируемого взрыва R (м)										
	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
50	835	161	70	42	22	14	11				
100	1520	274	112	63	31	20	14				
135	1985	342	137	76	37	23	17				
220	3071	509	197	107	49	30	21	16			
250	3450	563	216	116	53	32	23	17			
320	4327	691	260	137	61	36	25	19			
360	4827	763	285	150	66	39	27	21			
450	5918	923	339	177	76	45	31	23			
500	6553	1009	368	190	81	47	32	24			
750	9557	1435	513	258	107	61	41	30	24		
900	11 330	1685	594	297	121	68	45	33	26	21	
1000	12 503	1848	648	322	130	73	48	35	27	22	19

фугасных ударов по объектам. Методику последовательности моделирования по схеме марковских процессов (марковских цепей) для решения поставленной задачи следует соблюдать следующим образом:

1. Установить исследуемое свойство объектов при воздействии по ним СП.

В данном случае свойство — это состояния объектов, определяемые в виде степени их поражения или непоражения. Здесь исчерпывающей характеристикой поведения системы будет совокупность найденных вероятностей P_1, P_2, P_3, P_4 состояния поражения объектов (рис. 2).

2. Установить начальное состояние объекта.

Начальное состояние объекта — это степени разрушения (неразрушения) составных частей

объекта, которые зависят от значения избыточного давления (ΔP_{ϕ}) во фронте воздушной ударной волны взрыва СП и характеристик прочности конструкций объекта. Степени разрушения объектов при ударах оцениваются значениями вероятностей P_1, P_2, P_3, P_4 (ГОСТ Р 42.2.01-2014).

3. Определить конечное число возможных состояний системы и правомерности моделирования по схеме дискретных марковских процессов.

Возможные четыре состояния вероятностей объекта: слабые (неразрушение) — P_1 , средние — P_2 , сильные — P_3 и полные — P_4 , как представляющие степени разрушения объектов. Здесь схема дискретных марковских процессов устанавливает, что если в ходе процесса действует на объект

последовательность множества независимо действующих между собой величин случайных факторов, то одной результирующей закономерностью будет в целом появление последовательностей зависимых от них случайных величин, образующих цепи Маркова. То есть события в будущем зависят от того, в каком состоянии система была перед очередным ударом, и не зависят от того, когда и каким образом система пришла в это состояние. Это означает правомерность моделирования.

4. Составить граф состояний поражения объекта при последовательных воздействиях поражающих факторов СП (представлен на рис. 3) [1].

Граф состояний поражения объекта необходим для составления матрицы переходных вероятностей.

5. Составить матрицу переходных вероятностей состояний объекта (P_{ij}) с помощью графа поражения объекта.

Вероятности перехода за один шаг в цепях Маркова задаются матрицей [1]. Здесь под шагом понимается нанесение последовательно (1, 2, 3, ..., n) ударов по зданию (сооружению) СП с определением при этом вероятностей степени поражения P_1, P_2, P_3, P_4 . Полученная матрица переходных вероятностей (P_{ij}) при ударах образует последовательность цепи Маркова и полную группу из четырех несовместных событий согласно графу (рис. 3).

6. По рекуррентной зависимости определить искомые вероятности, используя матрицы переходных вероятностей состояний объекта [3].

Вероятности состояний, в которых окажется объект после k -го шага ударов, определяются по рекуррентным формулам полной вероятности [3]:

для однородных марковских цепей:

$$P_i(k) = \sum_{j=1}^n P_j(k-1) P_{ij}, \quad (1)$$

где $P_j(k-1)$ — вероятность состояния объекта после $(k-1)$ -го шага (удара);

для неоднородных марковских цепей:

$$P_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n P_j(k-1) P_{ij}^{(k)}, \quad (2)$$

где $P_{ij}^{(k)}$ — условная вероятность перехода объекта из состояния S_i в состояние S_j на k -м шаге. То есть в расчетах матрицы вероятностей перехода $P_{ij}^{(k)}$ состояний объектов меняются от удара к удару (подробно в примере 2).

Кроме того, для расчетов по математической модели оценки степени поражения объектов необходимо вначале сформировать исходные данные:

- обобщенный показатель устойчивости ξ объекта;
- вероятности степени поражения объекта P_1, P_2, P_3, P_4 .

Для этого необходимо определить величину ударной волны (ΔP_Φ). Некоторые значения (ΔP_Φ) представлены в табл. 2. Поражающее действие ударной волны на объекты ΔP_Φ (кПа) зависит от массы заряда ВВ в тротиловом эквиваленте, условий взрыва и расстояния R от центра взрыва до объекта. Здесь возможно применение методики расчета, разработанной МГТУ им. Н.Э. Баумана [4]. Степени разрушения составных частей зданий (сооружений) при различных значениях избыточного давления $\Delta P_{\text{фзд}}$ (кПа) представлены для типовых объектов в табл. 4.2 ГОСТ Р 42.2.01-201. Найденные вероятности P_1, P_2, P_3, P_4 используются для составления графа модели разрушения объекта.

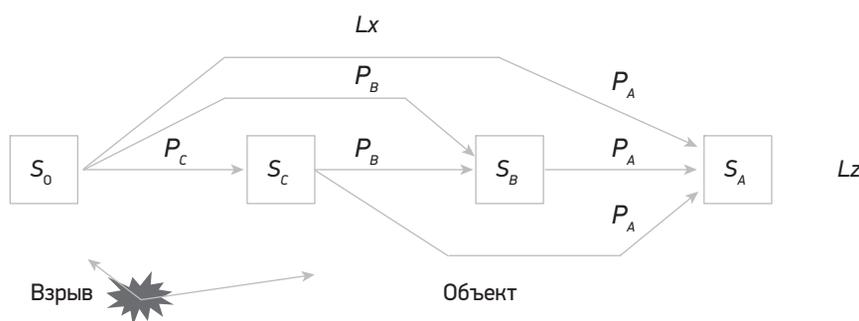


Рис. 3. Модель поражения объекта при последовательных ударах СП

3. Определение вероятностей состояния объектов по схеме марковских матриц переходных состояний при воздействии поражающих факторов обычных средств поражения

Для оценки поражений зданий (сооружений) при последовательных ударах необходимо составить граф перехода состояний для четырех состояний, который представлен на рис. 3 [1], где переходные вероятности марковской цепи P_A, P_B, P_C означают достоверное событие поражения объекта хотя бы по одному типу. На рис. 3 объект S , который функционировал (S_0) и соответственным образом подвергся ударам обычных средств поражения, что привело его в некоторое состояние, характеризующееся определенными степенями поражения: S_0 — слабое (не поражен), S_C — среднее, S_B — сильное, S_A — полное.

Следует определить, в каком состоянии будет находиться объект в случае повторения нескольких различных ударов СП. Для решения этой задачи по заданному графу состояний объекта (рис. 3) составляется матрица переходов. Матрицы переходных состояний объекта могут строиться для однородных и неоднородных марковских цепей переходных вероятностей (P_{ij}). В однородной марковской цепи переходные вероятности задаются одной матрицей, которая от шага (удара) к шагу не меняется. В неоднородных марковских цепях на каждый k -шаг последовательных разнотипных ударов составляется отдельная матрица вероятностей перехода P_{ij}^k . Рассмотрим объект, который находился в исходном состоянии S_0 и после нанесения

удара получил четыре типа поражения. Требуется определить матрицу переходных вероятностей (P_{ij}) состояний объекта однородных марковских цепей в случае последовательных ударов. Матрица составляется на основе величин P_1, P_2, P_3, P_4 . Порядок составления матрицы представлен в табл. 3.

Матрица вероятностей перехода (P_{ij}) состояний объекта строится как матрица четвертого порядка, поэтому, соответственно, система имеет 4 возможных состояния. Приведем пример составления матрицы:

1. По графику рис. 2 для отношения обобщенного показателя устойчивости ξ (зависит от отношений $\Delta P_\phi / \Delta P_{\text{фзд}}$) определяются вероятности степени разрушений зданий (сооружений) P_1, P_2, P_3, P_4 [2]. Например, примем, что $\xi = 1,25 \frac{P_\phi}{P_{\text{фзд}}} = 0,75$. (Далее на этом примере проведены расчеты.)

2. Вписываем в первую строку матрицы в табл. 3 значения вероятностей (P_1, P_2, P_3, P_4 — согласно табл. 1) при $\xi = 0,75$ соответственно: P_1 будет $P_{11} = 0,3$; P_2 — на позиции $P_{12} = 0,38$; далее P_3 — на $P_{13} = 0,22$; P_4 — на $P_{14} = 0,1$.

Для каждого состояния объекта сумма вероятностей всех переходов (исходящих стрелок) из него в другие состояния должна быть всегда равна 1.

3. С помощью графа модели рис. 3 поражения объекта при последовательных ударах СП заполняются строки матрицы в табл. 3 установленным образом:

- проводим условно линию из строки S_C вдоль строки P_{21} и пересекаем столбец P_{11} линии S_0 . На пересечении ставим ноль ($P_{21} = 0$), так как по рис. 3

Формирование матрицы вероятностей перехода сооружения в различные степени разрушения при повторении поражающих факторов

Таблица 3

Типы поражения объекта при $\xi = 1,25 \frac{P_\phi}{P_{\text{фзд}}} = 0,75$					Сумма вероятностей перехода
	В S_0 (сл)	В S_C (ср)	В S_B (сил)	В S_A (пол)	
Из S_0	P_{11} 0,3	P_{12} 0,38	P_{13} 0,22	P_{14} 0,1	$P_{11} = 1 - 0,38 - 0,22 - 0,1 = 0,3$ $0,3 + 0,38 + 0,22 + 0,1 = 1$
Из S_C	P_{21} 0	P_{22} 0,68	P_{23} 0,22	P_{24} 0,1	$P_{22} = 1 - 0 - 0,22 - 0,1 = 0,68$ $0 + 0,68 + 0,22 + 0,1 = 1$
Из S_B	P_{31} 0	P_{32} 0	P_{33} 0,9	P_{34} 0,1	$P_{33} = 1 - 0 - 0 - 0,1 = 0,9$ $0 + 0 + 0,9 + 0,1 = 1$
Из S_A	P_{41} 0	P_{42} 0	P_{43} 0	P_{44} 1,0	$P_{44} = 1 - 0 - 0 - 0 = 1$ $0 + 0 + 0 + 1 = 1$

система не может переходить обратно из S_C в S_0 (против направления стрелки);

- далее пропускаем позицию P_{22} (также далее и позиции P_{11}, P_{33}, P_{44}) и на пересечении линий S_C и S_B проставляем $P_{23} = 0,22$, на пересечении линий S_C и S_A проставляем $P_{24} = 0,1$, так как по рис. 3 стрелки совпадают с направлением перехода (если обратно — 0). Таким способом заполняются строки S_B, S_A . Последняя строка матрицы заполняется нулями (система не может переходить обратно), кроме последней позиции, равной $P_{44} = 1$.

Значения на позициях $P_{11}, P_{22}, P_{33}, P_{44}$ (вероятности по диагонали матрицы выделены синим цветом) получаются путем дополнения, чтобы суммы в строках были равны единице. Такие вычисления приведены в табл. 3.

Заметим, что вероятности задаются так, что сумма вероятностей перехода из некоторого состояния в остальные всегда равна единице. Составленные таким образом матрицы вероятностей переходов состояний объектов могут применяться для расчетов в условиях последовательных ударов СП. Подробно расчеты моделей поражения объектов рассмотрены далее на примерах.

4. Примеры расчетов вероятностей состояния объектов по модели марковских цепей переходных состояний при воздействии обычных средств поражения

Оценочная математическая модель поражения объектов основывается на применении переходных матриц вероятностей (P_{ij}) состояний объектов в форме однородных и неоднородных марковских цепей последовательных ударов СП. Здесь рассмотрим два случая решения примеров для однородных и неоднородных марковских цепей.

4.1. Случай решения модели для однородной марковской цепи

Пример 1. Производится по условному зданию три однотипных удара. Каждый из ударов создает давление волны $\Delta P_{\phi} = 48$ кПа, воздействуя на здание, обладающее типовой прочностью от поражения — «полное» [2] $\Delta P_{\phiзд} = 80$ кПа. При этом величина обобщенного показателя устойчивости $\xi = 0,75$. Здание может переходить в четыре состояния S_0, S_C, S_B, S_A . До первого удара объект не поврежден и вероят-

ность его поражения равна $P_1(0) = 1$. После первого удара при величине обобщенного показателя устойчивости $\xi = 0,75$ вероятности состояний здания будут равны значениям в табл. 1 (или рис. 2). Решить поставленную задачу: зная переходные вероятности $P(i = 1)$, найти вероятности $P(j = 3)$ перехода системы из состояния (i) в состояние (j) за 3 шага (удара).

Решение. Здесь исходные данные позволяют сразу составить матрицу вероятностей (P_{ij}) перехода здания (сооружения) в различные степени разрушения при нанесении последовательных поражающих факторов СП.

Из табл. 1 при $\xi = 0,75$ для первого удара получим вероятности $P_1 = 0,3; P_2 = 0,38; P_3 = 0,22; P_4 = 0,1$, которые будут составлять первую строку матрицы.

Матрица составляется по графу модели поражения при последовательном воздействии СП (рис. 3 или 4). Здесь граф для четырех состояний объекта будет всегда однообразным (п.3). Для удобства граф событий последовательных ударов представим в виде рис. 4 (аналогичен рис. 3 п.3).

Матрица составлена по табл. 3.

Матрица переходов

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} S_0 & S_C & S_B & S_A \\ 0,3 & 0,38 & 0,22 & 0,1 \\ 0 & 0,68 & 0,22 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0,9 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Так как до первого удара здание не поражено, то вероятность его поражения равна $P_1(0) = 1$.

После первого удара вероятности состояний здания будут равны значениям в соответствии с первой строкой матрицы.

$P_1(1) = 0,3; P_2(1) = 0,38; P_3(1) = 0,22; P_4(1) = 0,1$ (после 1-го удара).

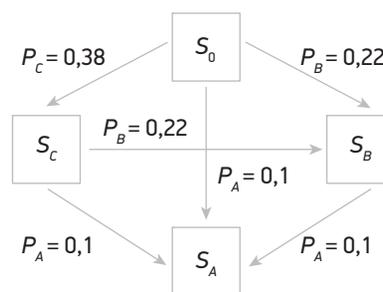


Рис. 4. Граф модели поражения объекта

Таблица 4

Тип поражения		$\xi = 0,5$			$\xi = 0,75$			$\xi = 1,0$			$\xi = 1,25$		
		P(1)	P(2)	P(3)	P(1)	P(2)	P(3)	P(1)	P(2)	P(3)	P(1)	P(2)	P(3)
Сл. S_0	P_1	0,54	0,29	0,16	0,3	0,09	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ср. S_C	P_2	0,3	0,41	0,44	0,38	0,37	0,29	0,46	0,27	0,27	0,34	0,12	0,04
С S_B	P_3	0,16	0,3	0,4	0,22	0,35	0,41	0,23	0,29	0,29	0,25	0,24	0,18
П S_A	P_4	0	0	0	0,1	0,19	0,27	0,25	0,44	0,58	0,41	0,64	0,78

Примечание. Сл. — слабое (не поражен); Ср. — среднее; С — сильное; П — полное

Используя формулу полной вероятности (1), находим вероятности состояний элементов здания после второго удара P(2):

$$P_1(2) = P_1(1) P_{11} = 0,3 \times 0,3 = 0,09;$$

$$P_2(2) = P_1(1) P_{12} + P_2(1) P_{22} = 0,3 \times 0,38 + 0,38 \times 0,68 = 0,3724 \approx 0,37;$$

$$P_3(2) = P_1(1) P_{13} + P_2(1) P_{23} + P_3(1) P_{33} = 0,3 \times 0,22 + 0,38 \times 0,22 + 0,22 \times 0,9 = 0,3476 \approx 0,35;$$

$$P_4(2) = P_1(1) P_{14} + P_2(1) P_{24} + P_3(1) P_{34} + P_4(1) P_{44} = 0,3 \times 0,1 + 0,38 \times 0,1 + 0,22 \times 0,1 + 0,1 \times 1 = 0,19;$$

$$P_1(2) + P_2(2) + P_3(2) + P_4(2) = 0,09 + 0,3724 + 0,3476 + 0,19 = 1;$$

$$P_1(2) = 0,09; P_2(2) = 0,3724; P_3(2) = 0,3476; P_4(2) = 0,19 \text{ (после 2-го удара).}$$

Вероятности состояний после третьего удара по формуле (1) будут:

$$P_1(3) = P_1(2) P_{11} = 0,09 \times 0,3 = 0,027 \approx 0,03;$$

$$P_2(3) = P_1(2) P_{12} + P_2(2) P_{22} = 0,09 \times 0,38 + 0,3724 \times 0,68 = 0,287432 \approx 0,29;$$

$$P_3(3) = P_1(2) P_{13} + P_2(2) P_{23} + P_3(2) P_{33} = 0,09 \times 0,22 + 0,3724 \times 0,22 + 0,3476 \times 0,9 = 0,414568 \approx 0,41;$$

$$P_4(3) = P_1(2) P_{14} + P_2(2) P_{24} + P_3(2) P_{34} + P_4(2) P_{44} = 0,09 \times 0,1 + 0,3724 \times 0,1 + 0,3476 \times 0,1 + 0,19 \times 1 = 0,271 \approx 0,27;$$

$$P_1(3) + P_2(3) + P_3(3) + P_4(3) = 0,027 + 0,287432 + 0,414568 + 0,271 = 1;$$

$$P_1(3) = 0,027; P_2(3) = 0,287432; P_3(3) = 0,414568; P_4(3) = 0,271 \text{ (после 3-го удара).}$$

После трех ударов получили вероятности исходов состояний здания:

- не повреждено (слабое) $P_1(3) \approx 0,03$;
- среднее повреждение $P_2(3) \approx 0,29$;
- сильное повреждение $P_3(3) \approx 0,41$;
- полное повреждение $P_4(3) \approx 0,27$.

Сумма вероятностей $P_3(3) + P_4(3) = 0,41 + 0,27 = 0,68$ — объект поражен.

Результаты расчетов исходов вероятностей состояний (P_i) объектов для величин обобщенных показателей устойчивости $\xi = 0,5; 0,75; 1,0; 1,25$ при трех однотипных ударах представлены в табл. 4.

4.2. Случай решения модели для неоднородной марковской цепи

Пример 2. Производится три разных по мощности удара по объекту. При этом обобщенные показатели устойчивости объекта для трех ударов $\xi = 0,75; 1,0; 1,25$. Элементы объекта находятся в четырех состояниях S_0, S_C, S_B, S_A , при этом вероятности перехода для трех последовательных ударов различны и заданы последовательно тремя матрицами $P_{ij}^1, P_{ij}^2, P_{ij}^3$:

$$\xi_1 = 1,25 \frac{P_\Phi}{P_{\text{фзд}}} = 0,75$$

$$P_{ij}^1 = \begin{vmatrix} 0,3 & 0,38 & 0,22 & 0,1 \\ 0 & 0,68 & 0,22 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0,9 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\xi_2 = 1,25 \frac{P_\Phi}{P_{\text{фзд}}} = 1,0$$

$$P_{ij}^2 = \begin{vmatrix} 0,06 & 0,46 & 0,23 & 0,25 \\ 0 & 0,52 & 0,23 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0,75 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\xi_3 = 1,25 \frac{P_\Phi}{P_{\text{фзд}}} = 1,25$$

$$P_{ij}^3 = \begin{vmatrix} 0 & 0,34 & 0,26 & 0,4 \\ 0 & 0,34 & 0,26 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0,6 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

В начальный момент элементы объекта находятся в состоянии S_0, S_C, S_B, S_A в соответствии с данными матрицы P_{ij}^1 . Найти вероятности состояний объекта после трех ударов $P(3)$.

Решение. Матрицы составлены по исходным данным согласно методике, пп. 2, 3.

Так как до первого удара здание не поражено, то вероятность его поражения равна $P_1(0) = 1$.

Вероятности состояний после первого удара будут взяты из первой строки матрицы P_{ij}^1 :
 $P_1(1) = 0,3$; $P_2(1) = 0,38$; $P_3(1) = 0,22$; $P_4(1) = 0,1$
 (после 1-го удара).

Используя формулу полной вероятности (2), находим вероятности состояний элементов здания после второго удара $P(2)$, используя данные строк матрицы P_{ij}^2 .

$$P_1(2) = P_1(1) P_{11}^2 = 0,3 \times 0,06 = 0,018 \approx 0,1;$$

$$P_2(2) = P_1(1) P_{12}^2 + P_2(1) = 0,3 \times 0,46 + 0,38 \times 0,52 = 0,3356 \approx 0,34;$$

$$P_3(2) = P_1(1) P_{13}^2 + P_2(1) + P_3(1) P_{33}^2 = 0,3 \times 0,23 + 0,38 \times 0,23 + 0,22 \times 0,75 = 0,3214 \approx 0,32;$$

$$P_4(2) = P_1(1) P_{14}^2 + P_2(1) P_{24}^2 + P_3(1) P_{34}^2 + P_4(1) P_{44}^2 = 0,3 \times 0,25 + 0,38 \times 0,25 + 0,22 \times 0,25 + 0,1 \times 1 = 0,325 \approx 0,33;$$

$$P_1(2) + P_2(2) + P_3(2) + P_4(2) = 0,018 + 0,3356 + 0,3214 + 0,325 = 1 \text{ (сумма вероятн.)}$$

Для третьего удара по формуле (2) и матрицы P_{ij}^3 получим вероятности:

$$P_1(2) = 0,018; P_2(2) = 0,3356; P_3(2) = 0,3214;$$

$$P_4(2) = 0,325 \text{ (после 2-го удара);}$$

$$P_1(3) = P_1(2) P_{11}^3 = 0,018 \times 0,0 = 0,0;$$

$$P_2(3) = P_1(2) P_{12}^3 + P_2(2) P_{22}^3 = 0,018 \times 0,34 + 0,3356 \times 0,34 = 0,120224 \approx 0,12;$$

$$P_3(3) = P_1(2) P_{13}^3 + P_2(2) P_{23}^3 + P_3(2) P_{33}^3 = 0,018 \times 0,26 + 0,3356 \times 0,26 + 0,3214 \times 0,6 = 0,284776 \approx 0,28;$$

$$P_4(3) = P_1(2) P_{14}^3 + P_2(2) P_{24}^3 + P_3(2) P_{34}^3 + P_4(2) = 0,018 \times 0,4 + 0,3356 \times 0,4 + 0,3214 \times 0,4 + 0,325 \times 1 = 0,595 \approx 0,6.$$

Итак, вероятности состояний объекта после трех ударов будут:

$$P_1(3) + P_2(3) + P_3(3) + P_4(3) = 0,0 + 0,120224 + 0,284776 + 0,595 = 1 \text{ (сумма вероятн.)}$$

$$P_1(3) = 0; P_2(3) = 0,120224; P_3(3) = 0,284776; P_4(3) = 0,595 \text{ (после 3-го удара)}$$

После трех ударов получили вероятности исходов состояний здания:

- не повреждено (слабое) $P_1(3) \approx 0,0$;

- среднее повреждение $P_2(3) \approx 0,12$;
- сильное повреждение $P_3(3) \approx 0,28$;
- полное повреждение $P_4(3) \approx 0,6$.

Сумма вероятностей $P_3(3) + P_4(3) = 0,28 + 0,6 = 0,88$ — объект поражен.

Результаты расчетов исходов вероятностей состояний (P_i) объектов для величин обобщенных показателей устойчивости $\xi = 0,5; 0,75; 1,0; 1,25$ и трех разнотипных комбинированных ударов представлены в табл. 5, 6.

Заключение

В данной статье рассмотрено моделирование оценки вероятностей состояния объектов при последовательных воздействиях факторов обычных средств поражения по схеме марковских случайных процессов. Причем оценочные математические модели строились совместно с учетом методики расчетов ГОСТ Р 42.2.01-2014 Гражданская оборона, по которым вначале формировались исходные вероятности состояния объектов (P_1, P_2, P_3, P_4) как определяющие степени разрушения составных частей объекта, а затем по ним составлялись матрицы переходных вероятностей (P_{ij}) состояния объектов, необходимых для оценки результатов последовательных ударов СП. На основе полученных решений математического моделирования можно отметить следующие особенности полученных вероятностей поражения объектов:

1. Расчетные вероятности состояния объектов (P_i) для величин обобщенных показателей их устойчивости $\xi = 0,5; 0,75; 1,0; 1,25$ при последовательных однотипных ударах СП (в однородных цепях) показали закономерность повышения вероятностей их поражения (табл. 4). Причем перераспределение вероятностей поражения наблюдается в сторону увеличения полного поражения (P_4) от 0 до 0,78 и снижения вероятностей для остальных типов поражений.

2. Результаты расчетов исходов вероятностей состояний объектов для величин обобщенных показателей их устойчивости $\xi = 0,5; 0,75; 1,0$ при трех комбинациях последовательных ударов (в неоднородных цепях), представленных в табл. 5, показали $P(3)$ одинаковые результаты величин вероятностей поражения $P_1 = 0,01; P_2 = 0,28; P_3 = 0,38; P_4 = 0,33$. Такие же закономерности результатов одинаковых ве-

Таблица 5

Тип поражения		$\xi = 0,5 - 0,75 - 1$			$\xi = 0,75 - 1 - 0,5$			$\xi = 1 - 0,5 - 0,75$			$\xi = 1 - 0,75 - 0,5$		
		$P(1)$	$P(2)$	$P(3)$									
Сл. S_0	P_1	0,54	0,16	0,01	0,3	0,02	0,01	0,06	0,03	0,01	0,06	0,02	0,01
Ср. S_C	P_2	0,3	0,41	0,28	0,38	0,34	0,28	0,46	0,41	0,28	0,46	0,34	0,28
С S_B	P_3	0,16	0,33	0,38	0,22	0,32	0,38	0,23	0,31	0,38	0,23	0,32	0,38
П S_A	P_4	0	0,1	0,33	0,1	0,32	0,33	0,25	0,25	0,33	0,25	0,32	0,33

Примечание. Сл. — слабое (не поражен); Ср. — среднее; С — сильное; П — полное.

Таблица 6

Тип поражения		$\xi = 0,75 - 1 - 1,25$			$\xi = 1 - 1,25 - 0,75$			$\xi = 1,25 - 0,75 - 1$			$\xi = 1,25 - 1 - 0,75$		
		$P(1)$	$P(2)$	$P(3)$									
Сл. S_0	P_1	0,3	0,01	0,00	0,06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,00
Ср. S_C	P_2	0,38	0,34	0,12	0,46	0,18	0,12	0,34	0,23	0,12	0,34	0,18	0,12
С S_B	P_3	0,22	0,32	0,28	0,23	0,27	0,28	0,25	0,31	0,28	0,25	0,27	0,28
П S_A	P_4	0,1	0,33	0,6	0,25	0,55	0,6	0,41	0,46	0,6	0,41	0,55	0,6

Примечание. Сл. — слабое (не поражен); Ср. — среднее; С — сильное; П — полное.

личин вероятностей дали расчеты для обобщенных показателей устойчивости $\xi = 0,75; 1,0; 1,25$ при их трех комбинациях в табл. 6 — $P_1 = 0,01; P_2 = 0,12; P_3 = 0,28; P_4 = 0,6$ (в колонках $P(3)$ табл. 5, 6). Таким образом, от применения комбинирования последовательности разных по мощности ударов по объектам при одном и том же количестве шагов (ударов) вероятности поражения по величине не меняются.

3. Применяя метод расчетов ГОСТ Р 42.2.01-2014 Гражданская оборона и моделирование оценки вероятностей по схеме марковских случайных процессов, рассмотренных в работе, можно определять состояние рисков поражения объектов при нанесении по ним многократных последовательных ударов.

Литература

1. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методика оценки ущерба при имитационном моделировании огневого поражения объектов. Вооружение и экономика. № 5 (21). 2012 г. С. 13—21. (Электронный научный журнал).
2. ГОСТ Р 42.2.01-2014 Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия

поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчета. П. 4.10.

3. Абчук В.А., Матвейчук Ф.А., Томашевский Л.П. Справочник по исследованию операций. М.: Воениздат, 1979. С. 297—303.
4. Оценка последствий взрыва. АРЛИ спецтехника (формулы ВВ). Материалы факультета военного обучения МГТУ им. Н.Э. Баумана. http://arli-st.ru/article/article_11.html

Сведения об авторе

Домницкий Николай Константинович: член Общероссийской общественной организации «Российское научное общество анализа риска»

Количество публикаций: 8

Область научных интересов: оценка рисков состояний объектов в условиях применения обычных средств поражения

Контактная информация:

Адрес: 344012, г. Ростов-на-Дону, ул. Федора Звякина, д. 33, кв. 49

Телефон: +7 (918) 586-06-93

E-mail: yufvniigochs@mail.ru

УДК 621.642.8

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

Математическая модель процесса парообразования при испарении сжиженного газа из пролива

Н. М. Кочетов,

Новомосковский институт повышения квалификации руководящих работников химической промышленности, г. Новомосковск
Тулской обл.

А. Н. Кочетов,

Северо-Западное управление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), г. Санкт-Петербург

Аннотация

В статье представлен анализ существующих моделей испарения сжиженных газов. В основу математической модели заложено уравнение энергетического баланса жидкости пролива при испарении. Дано решение уравнения, описывающего изменение температуры жидкости в процессе ее испарения.

Ключевые слова: испарение, кипение, парообразование, тепловой баланс, давление насыщенных паров.

Содержание

Введение

1. Теплообмен пролива жидкости с окружающей средой
2. Обзор существующих моделей испарения
3. Модель процесса испарения сжиженного газа

Заключение

Литература

Введение

Аварии на объектах химического профиля чреваты тяжелыми последствиями, связанными с поражением людей, разрушением промышленных зданий и уроном для окружающей среды. Выбросы могут вызвать взрывы, пожары и быть источником токсического поражения. Особую опасность представляют объекты, использующие сжиженные газы, вследствие высокой интенсивности испарения с образованием токсичных или взрывоопасных облаков.

Переход жидкости в газообразное состояние имеет следующие стадии: мгновенное вскипание жидкости, кипение пролива, а затем испарение жидкой фазы с поверхности пролива.

Сжиженный газ, находящийся под давлением при соответствующей температуре T , переходит в новое состояние термодинамического равновесия: его температура становится равной температуре кипения T_K при атмосферном давлении. В результате происходит выделение энергии, которая идет на вскипание жидкости с образованием паровой фазы. Для определения этой массы

паров (ΔM) используется уравнение энергетического баланса, которое в адиабатическом приближении выглядит:

$$C \cdot M \cdot T = r \cdot \Delta M + C(M - \Delta M) \cdot T_K, \quad (1)$$

где C — теплоемкость сжиженного газа; M — исходная масса сжиженного газа; r — удельная теплота парообразования сжиженного газа при температуре кипения и атмосферном давлении.

Оставшаяся жидкость, находящаяся при температуре кипения, продолжает кипеть за счет теплопритока от окружающей среды и определяется на этом этапе главным образом тепловым притоком от грунта.

Интенсивность парообразования в этом случае пропорциональна скорости теплопритока от грунта $q_{ГР}(t)$.

Решение уравнения одномерной нестационарной теплопроводности твердого тела дает известную зависимость теплового потока от грунта с учетом длительности протекания процесса и физических свойств подстилающей поверхности:

$$q_{ГР}(t) = \frac{\xi}{\sqrt{\pi \cdot t}} \cdot \Delta T, \quad (2)$$

где ξ — показатель тепловой активности грунта; ΔT — разность температур между поверхностью грунта ($T_{ГР}$) и жидкостью, находящейся при температуре кипения T_K . Данная зависимость широко используется в материалах Ростехнадзора с 1988 г. [1].

Когда тепловой поток грунта перестает компенсировать затраты энергии на парообразование при кипении, наступает режим испарения, протекающий с изменением температуры жидкости [2—6]. Равенство теплового потока от грунта $q_{ГР}(t)$ и необходимых затрат энергии на парообразование при испарении $q_{И}$ позволяет узнать эффективную длительность кипения жидкости. Знание длительности процесса кипения из пролива [7, 8, 15] дает возможность оценить долю этой стадии в образовании опасного облака.

На сегодня действующие отечественные методики расчета интенсивности парообразования из пролива сжиженных газов [10—12] не учитывают в начале переход режима кипения в режим испарения, а затем понижение температуры жидкой фазы

в процессе ее испарения. Расчет ведут с использованием постоянных значений давления насыщенных паров, т.е. при температуре кипения жидкости. Как показано в работах [3, 9], пренебрежение этими факторами завышает результат в несколько раз. Все это обуславливает необходимость проведения численного моделирования процессов парообразования при кипении и испарении сжиженного газа из пролива на базе законов термодинамики и молекулярной физики.

1. Теплообмен пролива жидкости с окружающей средой

Как уже отмечалось выше, при выбросе сжиженного газа часть его диспергируется и мгновенно испаряется вследствие высвобождения внутренней энергии. Оставшаяся часть с температурой кипения T_K при атмосферном давлении разливается на твердой поверхности и проходит режим кипения, а затем режим испарения за счет тепла окружающей среды.

Теплообмен пролива с окружающей средой осуществляется через две границы раздела: «жидкость — воздушная среда» и «жидкость — грунт».

Тепловые потоки, влияющие на процесс парообразования из пролива к жидкости из воздушной среды, обусловлены:

- конвективным тепловым потоком воздушной среды q_a ;
 - коротковолновым излучением Солнца q_s ;
 - длинноволновым излучением из атмосферы q_{ar} ,
- а также потерей тепла вследствие также длинноволнового излучения поверхности пролива жидкости q_p .

Через поверхность раздела «жидкость — грунт» поступает тепло от «горячей» поверхности грунта $q_{ГР}$.

Схема основных тепловых потоков, влияющих на процесс парообразования, представлена на рис. 1.

Тепловой поток из атмосферы можно оценить, используя уравнение Ньютона — Рихмана:

$$q_a = \alpha_v \cdot (T_v - T_{ж}), \quad (3)$$

где α_v — коэффициент теплоотдачи; T_v и $T_{ж}$ — соответственно абсолютные температуры воздушной среды и жидкости пролива.

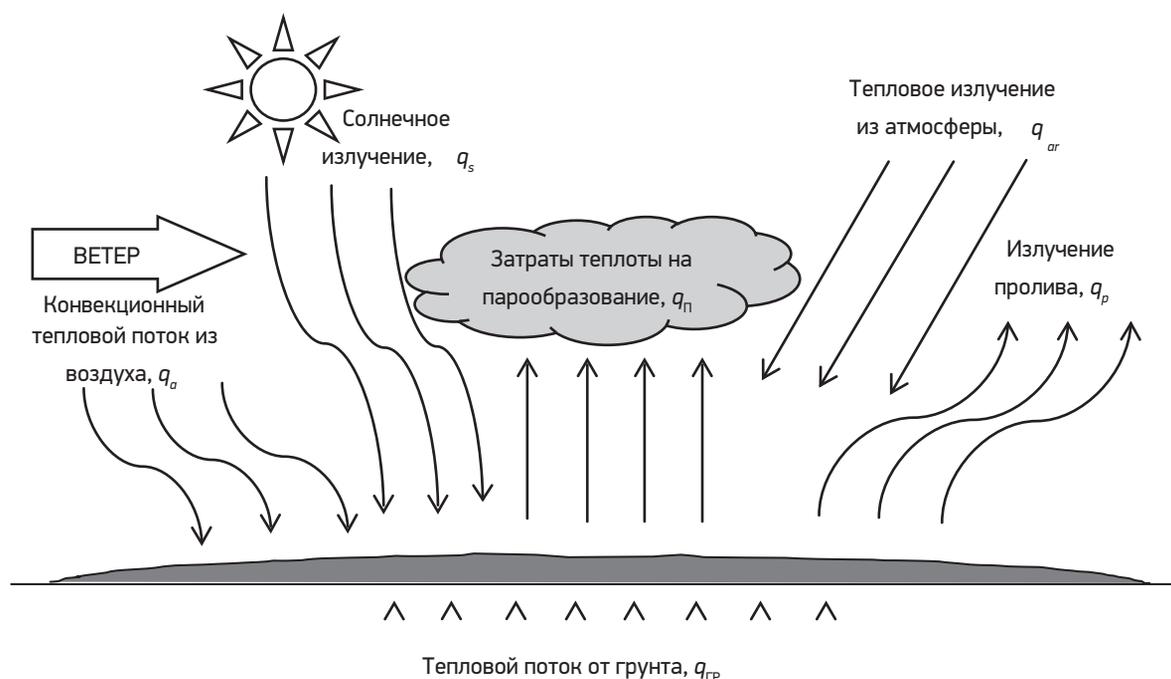


Рис. 1. Схема тепловых потоков

Поток коротковолнового излучения от Солнца q_s , зависящий от географического местоположения объекта (высоты солнцестояния, широты местности), коэффициента облачности, изменяющегося от 0 до 10, от временных параметров (от времени года и суток), можно оценить, используя [13].

Длинноволновое излучение атмосферы q_{ar} и потери тепла вследствие также длинноволнового излучения поверхности жидкости пролива подчиняются закону Стефана — Больцмана, согласно которому тепловые потоки являются функцией абсолютных температур:

$$\begin{aligned} q_{ar} &= (1 - r) \cdot f \cdot \sigma \cdot T_a^4; \\ q_p &= e \cdot \sigma \cdot T_{ж}^4, \end{aligned} \quad (4)$$

где σ — постоянная Стефана — Больцмана

$$\left(\sigma = 2,04 \cdot 10^{-7} \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{р} \cdot \text{К}^4} \right);$$

r — коэффициент отражения жидкости длинноволнового излучения; f — коэффициент излучения атмосферы; e — степень черноты жидкости пролива.

Их влияние на процесс парообразования пренебрежимо мало.

Согласно известному соотношению (2), где $\sqrt{\xi} = \rho_{гр} \cdot c_{гр} \cdot \lambda_{гр}$ — показатель тепловой активности грунта ($\rho_{гр}$ — плотность, $c_{гр}$ — теплоемкость, $\lambda_{гр}$ — теплопроводность грунта), интенсивность теплопритока от грунта ($q_{гр}$) является функцией его физических свойств и в соответствии с решением одномерной теплопроводности затухает со временем ($q_{гр} \sim t^{-0,5}$).

Уравнение, описывающее суммарный поток тепла к слою жидкости из окружающей среды, имеет вид [4—6]:

$$q_{гр} + q_a + q_s - q_{ar} + q_p = q_{п}, \quad (5)$$

где $q_{п}$ — затраты на парообразование.

Представленный баланс выглядит несколько странно, т.к. тепловые потоки q_a , q_s , q_{ar} , q_p имеют постоянную скорость поступления во времени, тогда как поток от грунта затухает со временем.

Это уравнение справедливо для режима кипения жидкости, когда суммарный приток $\sum q(t) \geq I_K(t) r_{ж}$, где $I_K(t)$ — интенсивность парообразования в теку-

щий момент времени; $r_{ж}$ — удельная теплота парообразования жидкости.

В случае наступления режима испарения жидкости тепловые потоки q_a, q_s, q_p начинают зависеть от температуры жидкости, которая понижается со временем протекания процесса испарения.

Написание баланса для режима испарения жидкости из пролива усложняется, так как затраты на парообразование $I_K(t) \cdot r_{ж}$ будут состоять из притока тепла от окружающей среды $\sum q(t)$ и потерь собственной внутренней энергии $q_{вн}$, которая зависит от температуры и скорости отвода паров жидкости воздушным потоком, т.е. будем иметь:

$$q_{п}(t) = \sum q(t) + q_{вн}(t) = I_K(t) \cdot r_{ж}. \quad (6)$$

Теперь тепловые потоки $q_{ГП}, q_a, q_s, q_{ар}, q_p$ будут влиять только на скорость понижения температуры жидкости.

Режим кипения заканчивается, как только теплопритока от окружающей среды $\sum q(t)$ станет не хватать на поддержание жидкости при температуре кипения, а затем не будет достаточно для образования и выхода пара из жидкости; наступает режим испарения. Это условие и является критерием смены режима кипения ([15], где подробно рассмотрен этот вопрос). При этом скорость парообразования становится равной интенсивности при испарении. Из условия равенства скоростей парообразования можно оценить длительность режима кипения:

$$\sqrt{\frac{\rho_{ГП} \cdot c_{ГП} \cdot \lambda_{ГП}}{\pi \cdot t}} \cdot \frac{T_{ГП} - T_{ж}}{r_{ж}} = 10^{-6} \cdot \eta \cdot P_H \cdot \sqrt{\mu}, \quad (7)$$

где P_H — давление насыщенных паров жидкости при температуре ее кипения; η — коэффициент, учитывающий скорость воздушного потока; μ — молекулярная масса вещества.

Авторы [3, 14] рекомендуют в качестве условия перехода к режиму испарения использовать не расход тепла на парообразование при испарении жидкости, а затраты тепла на диффузионный поток, определенный с помощью пристеночных функций из условия, что мольная доля пара на межфазной границе равна единице. Это утверждение вызывает сомнение, так как оно не отвечает физической сущности давно известных и хорошо изученных процессов парообразования при кипении и ис-

парении жидкости. Режим кипения зависит только от количества подведенного к жидкости тепла [1, 2, 7, 15].

Анализ, проведенный в работах [2, 3, 5, 6], о влиянии тепловых потоков из окружающей среды показал, что доминирующим фактором является теплоприток от грунта.

Влиянием теплового потока солнечной радиации q_s на интенсивность режима испарения можно пренебречь вследствие сильной зависимости от погодных условий, времени суток и малых значений. Среднесуточное значение потока солнечного излучения в ~ 70 раз меньше солнечной постоянной, равной 1367 Вт/м^2 .

Что касается теплового потока из атмосферы q_a для сжиженных газов, то здесь движение воздушного потока над зеркалом пролива приводит к его смешению с холодным паром испаряющейся жидкости, снижая температуру воздушного потока, и, соответственно, к падению притока тепла к зеркалу жидкости. Согласно [16] повышение температуры воздушного потока в интервале от 20 до $200 \text{ }^\circ\text{C}$ незначительно увеличивает скорость испарения жидкого аммиака. Тепловой поток в работе [3] рекомендуют вычислять с помощью пристеночных функций, которые, к сожалению, не учитывают этого фактора.

В результате резко упрощается уравнение теплового баланса (5), который соблюдается во времени за счет пропорционального снижения интенсивности парообразования:

$$q_{ГП}(t) = q_K(t) = I_K(t) \cdot r_{ж}. \quad (8)$$

Баланс позволяет оценить скорость парообразования во времени при кипении жидкости:

$$I_K(t) = \sqrt{\frac{\rho_{ГП} \cdot c_{ГП} \cdot \lambda_{ГП}}{\pi \cdot t_K}} \cdot \frac{T_{ГП} - T_{ж}}{r_{ж}}. \quad (9)$$

2. Обзор существующих моделей испарения

Вопросу моделирования процесса испарения сжиженных газов посвящен ряд работ [3—6, 14], в которых в основу модели положено уравнение температуры баланса пролива жидкости. Изменение температуры жидкости рекомендуют рассчитывать, решая уравнение:

$$\frac{dT_{\text{ж}}}{dt} = \frac{q_a + q_{\text{ГР}} + q_s - q_e - q_{\text{ар}} - I_{\text{и}} \cdot r_{\text{ж}}}{c_{\text{ж}} \cdot m_{\text{ж}}}, \quad (10)$$

где $c_{\text{ж}}$ — удельная теплоемкость жидкости пролива; $m_{\text{ж}}$ — масса жидкости, отнесенная к площади поверхности пролива.

После суммирования тепловых потоков уравнение приобретает вид:

$$\frac{dT_{\text{ж}}}{dt} = \frac{\sum q(t) - I_{\text{и}}(t) \cdot r_{\text{ж}}}{c_{\text{ж}} \cdot m_{\text{ж}}}. \quad (11)$$

Для обеспечения работоспособности представленного уравнения необходимо выяснить условие, отвечающее режиму испарения жидкости, так как оно указывает, что понижение температуры жидкости имеет место и при режиме кипения жидкости. Режим испарения наступает, когда $\sum q(t) \leq I_{\text{и}}(t) \cdot r_{\text{ж}}$, что подтверждает выводы [7, 15].

Главный недостаток математической модели по расчету изменения температуры жидкости в режиме испарения — не учитывается уменьшение массы жидкости $m_{\text{ж}}$, которое возможно вплоть до полного испарения с течением времени.

В уравнении (10) кроме расходов энергии на парообразование при испарении $I_{\text{и}} \cdot r_{\text{ж}}$ рекомендуют [5] учитывать и потери тепла с образовавшимися парами $c_{\text{ж}} \cdot T \cdot I_{\text{и}}$, что вызывает сомнение.

В то же время [14] учитывает тепловой поток из объема жидкости к поверхности пролива, так как считает, что при испарении аммиачной воды изменение массы испаряющегося компонента зависит как от интенсивности массового потока с поверхности пролива в атмосферу, так и от скорости массового потока компонента из основного объема жидкости на ее поверхность (см. (1)). Здесь явно нарушается физическая сущность закона неразрывности массового потока. Скорость процесса массопередачи определяется лимитирующей стадией. Поэтому представленный материал требует доказательства, что лимитирующей стадией является скорость отвода паров с поверхности пролива, а не диффузионный процесс переноса компонента из объема жидкости к ее поверхности. В проливе, т.е. в «стоячей воде», полное перемешивание жидкости не имеет места.

Для оценки применимости рекомендуемой модели испарения в работе [14] используются данные, представленные на рис. 3 и 4. При испарении аммиачной воды в течение первого часа происходит резкое снижение температуры жидкости до минус 7 °С, а затем идет ее повышение до исходной температуры плюс 12 °С. В этом случае, соответственно, и скорость парообразования будет падать, а затем возрастать вследствие падения и роста давления насыщенных паров жидкости. Парообразование при испарении жидкости протекает за счет потери внутренней энергии и, естественно, с понижением температуры и скорости процессов, что подтверждают данные на рис. 3а и 4а, где скорость парообразования постепенно понижается.

В работе [3] при проверке достоверности математической модели парообразования из пролива представлены данные сжиженных азота (рис. 3.1 и 3.2), метана (рис. 3.3) и аммиака (рис. 1.4) без учета возможности влияния воздушного потока с окружающей среды на режим парообразования. При этом отсутствуют значения критериев, подтверждающих режимы исследуемых протекающих процессов.

Для сжиженного хлора (рис. 4.24) парообразование протекает в режиме кипения при скорости 1 м/с, а при скорости 5 м/с отсутствует этот режим, т.е. после образования пролива наступает режим испарения.

Аналогичная картина и при проливе сжиженного бутана на бетон (рис. 4.2): при скоростях ветра 2 и 3 м/с температура жидкости начинает снижаться через 100 и 60 сек. соответственно. Материал, рассчитанный по предлагаемой модели [3], указывает на наличие двух последовательно протекающих режимов парообразования. К сожалению, при этом везде отсутствуют значения необходимых критериев, подтверждающих режим парообразования.

Согласно данным рис. 4.17 и 5.14, при всех скоростях и ветре от 1 до 5 м/с падение температуры сжиженного аммиака происходит сразу после образования пролива, т.е. парообразование из пролива идет в режиме испарения. В то же время данные рис. 1.4 утверждают, что имеет место только режим кипения. Следовательно, методика дает два разных результата для одних и тех же условий эксперимента. О какой достоверности модели может идти речь?

3. Модель процесса испарения сжиженного газа

Рассмотрим поведение жидкости пролива с учетом доминирующего теплового потока от грунта. За малый промежуток времени Δt происходит испарение массы жидкости ΔM и расходуется энергия $q_{гр}(t) = r_{ж} \cdot \Delta M(t)$. Эта энергия компенсируется за счет теплового потока от грунта $q_{гр}(t)$ и внутренней энергии остывания, т. е. оставшейся массы жидкости $c_{ж} [(M - \Delta M(t)) \cdot (T_{к} - T_{ж}(t))]$. Согласно закону сохранения энергии для массы жидкости, отнесенной к единице поверхности испарения S , следует:

$$r_{ж} \cdot \Delta M(t) = c_{ж} \left[\frac{M}{S} - \Delta M(t) \cdot (T_{к} - T_{ж}(t)) \right] + q_{гр}(t).$$

Откуда и получаем интегро-дифференциальную зависимость изменения температуры поверхностного слоя жидкости при испарении жидкости:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{r_{ж} \cdot \Delta M(t) - q_{гр}(t)}{c_{ж} \left[\frac{M}{S} - \int_0^t \Delta M(t) \cdot dt \right]}. \quad (12)$$

При этом интенсивность испарения оценивается:

$$\Delta M(t) = I_{и}(t) = k \cdot \eta \cdot P_{н}(t) \cdot \sqrt{\mu}, \quad (13)$$

где k — коэффициент приведения размерности уравнения к системе СИ; η — коэффициент, учитывающий влияние скорости воздушного потока [10]; $P_{н}(t)$ — давление насыщенных паров в зависимости от температуры жидкости, где используется уравнение Клапейрона — Клаузиуса:

$$P_{н}(t) = P_{н} \cdot \exp \left[\frac{r_{ж} \cdot \mu}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_{к}} - \frac{1}{T(t)} \right) \right], \quad (14)$$

а тепловой поток от грунта оценивается согласно зависимости:

$$q_{гр}(t) = \sqrt{\frac{\rho_{гр} \cdot c_{гр} \cdot \lambda_{гр}}{\pi}} \cdot \frac{T_{гр} - T_{ж}}{\sqrt{t}}. \quad (15)$$

Результаты решения уравнения (12) представлены на рис. 2, где показано поведение пролива сжиженного аммиака на бетонную поверхность с температурой 20 °С при скоростях воздушного

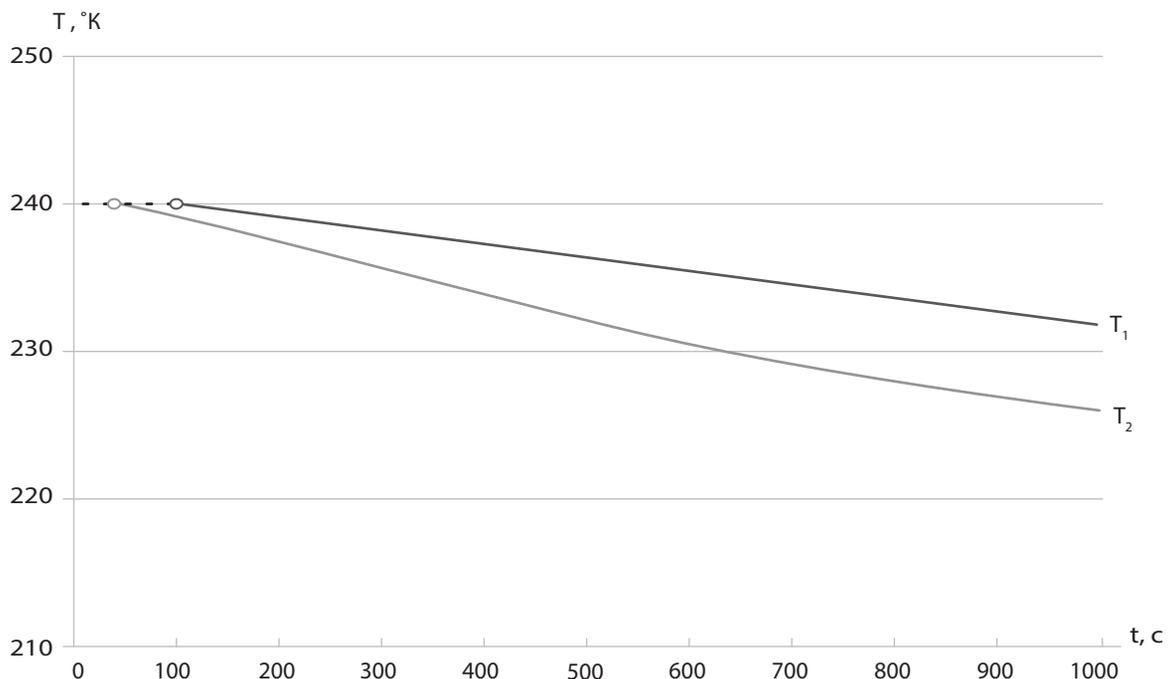


Рис. 2. Изменение температур (T_1 и T_2) пролива сжиженного аммиака на бетонную поверхность во времени соответственно при скоростях воздушного потока 1 м/с и 2 м/с

потока 1 м/с и 2 м/с. Режим кипения, протекающий при температуре минус 33,4 °С, наступает сразу после образования пролива и длится до падения интенсивности теплового потока от грунта до необходимых затрат внутренней энергии на парообразование в зависимости от скорости воздушного потока. Следовательно, согласно уравнению (7), длительность режима кипения — 115 сек. при скорости воздушного потока 1 м/с и 55 сек. при скорости 2 м/с.

В процессе испарения сжиженного газа имеет место изменение во времени соотношения поступающего теплопритока от окружающей среды и недостающего расхода внутренней энергии на парообразование. При этом наблюдается плавное понижение температуры жидкости в процессе протекания парообразования вследствие снижения интенсивности теплового потока от грунта (см. уравнение (2) и соответственно постепенного увеличения доли внутренней энергии на парообразование. Скорость понижения температуры жидкости зависит от скорости падения величины этого соотношения.

Однако авторы модели [3, рис. 5.14] утверждают, что при всех скоростях воздушного потока наступает резкое, практически вертикальное падение температуры сжиженного аммиака, сразу же после образования пролива, т.е. парообразование из пролива идет в режиме испарения. При этом авторы снова не представили параметры рекомендуемого критерия $J_{g \max}$, подтверждающего данный режим парообразования. Анализ причин такого протекания режима испарения из пролива также отсутствует.

Естественно, в случае учета тепловых потоков солнечной радиации, воздушного потока будет происходить более медленное снижение температуры жидкости пролива. С понижением температуры жидкости при ее испарении происходит снижение и массовой скорости образования паров. В случае определения влияния тепла воздушного потока на процесс испарения в моделях [4, 5] с помощью уравнения Ньютона — Рихмана (3) необходимо учитывать температуру воздушного потока после перемешивания с парами жидкости.

Заключение

Представлен анализ существующих моделей испарения сжиженных газов из пролива. Основным фактором, обуславливающим охлаждение жидкости в процессе испарения, является теплообмен с подстилающей твердой поверхностью. На базе закона сохранения энергии с учетом доминирующего теплового потока от грунта предложено уравнение, решение которого позволяет оценить изменение температуры жидкости в процессе ее испарения.

Литература

1. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожарных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. М., Металлургия, 1988, утвержденные Госгортехнадзором СССР 06.10.1988.
2. Кочетов Н.М. Моделирование процесса парообразования сжиженных газов при их аварийном разливе // Проблемы анализа риска. Том 6. 2009. № 3. С. 64—71.
3. Старовойтова Е.В., Галеев А.Д., Поникаров С.И. Основы прогнозирования последствий аварийных залповых выбросов сжиженных газов. Монография. Казань: ИНИТУ, 2013. С. 156.
4. Peter I. Kawamura, Mackay Donald. The evaporation of volatile liquids // Journal of Hazardous Materials Original Research Article, Volume 15, Issue 3, 1987. P. 343—364.
5. Хлуденев С.А. и др. Некоторые аспекты кинетики испарения опасных веществ с поверхности аварийных проливов // Бурение и нефть. 2010. № 5. С. 55—58.
6. Воротилин В.П., Горбулин В.Д. Математическое моделирование испарения сжиженного газа при аварийном разливе на открытых пространствах // Химическая промышленность. 1992. № 6. С. 354—359.
7. Кочетов Н.М. О методиках оценки потенциальной опасности при проектировании технологических процессов // Проблемы анализа риска. Том 6. 2009. № 2. С. 64—71.
8. Богач В.В. и др. Об эффективной длительности процессов испарения. Вестник Казанского технологического университета. 2015. Том 12 (18). С. 44.
9. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распространение в воздухе. М.: Химия. 1991. С. 368.
10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезо-

пасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденные Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.03.2013 №96 (взамен ПБ от 05.05.2003 №09-540-03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденных Постановлением Госгортехнадзора России от 05.05.2003 №29).

11. Руководство по безопасности «Методика моделирования распространения аварий выбросов опасных веществ», утвержденное Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.04.2015 №158 (взамен РД 03-26-2007 «Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ», утвержденному Приказом Ростехнадзора от 14.12.2007 №859).
12. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта», утвержденные Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.07.2013 №306.
13. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985.
14. Салин А.А. Методика прогнозирования последствий аварийных проливов бинарных растворов. Автореферат диссертации на соискание кандидата технических наук: 05.26.2003. Казань. 2013. 20 с.
15. Кочетов Н.М., Кочетов А.Н. Об эффективной длительности процесса парообразования при кипении жидкости из пролива // Проблемы анализа риска. Том 13. 2016. №5. С. 12—19.

16. D. Burgess, J.N. Murphy, M.G. Zabetakis, H.E. Perlee. Volume of flammable mixture resulting from the atmospheric dispersion of a leak or spill // Journal of Hazardous Materials Original Research Article. Fifteenth Symposium International Combustion. The Toshi Center Hall Tokyo, Japan. Volume 15, Issue 1, 1974. P. 289—303.

Сведения об авторах

Кочетов Николай Михайлович: кандидат технических наук, доцент, Новомосковский институт повышения квалификации (НИПК)

Количество публикаций: более 100, из них 3 учебно-методических. Соавтор 2 нормативных документов в области промышленной безопасности

Область научных интересов: экологическая и промышленная безопасность

Контактная информация:

Адрес: 301650, Тульская обл., г. Новомосковск, ул. Комсомольская, д. 35, кв. 52

Тел.: +7 (962) 273-96-99

E-mail: galnik1947@yandex.ru

Кочетов Александр Николаевич: Северо-Западное управление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор)

Количество публикаций: более 30

Область научных интересов: нормативно-правовое регулирование в области обеспечения промышленной и экологической безопасности территорий

Контактная информация:

Адрес: 195276, г. Санкт-Петербург, пр. Просвещения, д. 68-1-53

Тел.: +7 (965) 749-43-60

E-mail: himstroy212@mail.ru

УДК: 614.84

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2018

Проблемы оповещения и управления эвакуацией людей в задаче определения расчетных величин пожарного риска

Д. В. Шихалев,
Р. Ш. Хабибулин,
Академия ГПС МЧС России,
г. Москва

Е. М. Любимов,
С. А. Алексин,
ЗАО «Современные
программные технологии»,
г. Нижний Новгород

Аннотация

В статье рассмотрены требования пожарной безопасности к системам оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Проведен анализ существующих программных продуктов, направленных на реализацию и моделирование функционирования системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Установлено, что требования, касающиеся оповещения и управления эвакуацией, изложенные в методике оценки величин пожарного риска, в настоящее время подтвердить путем моделирования невозможно. Анализируются причины сложившейся ситуации и предлагается решение данной проблемы.

Ключевые слова: пожар, моделирование, управление эвакуацией, алгоритмы управления, система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

Содержание

Введение

1. Анализ требований пожарной безопасности к системам оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре
 2. Анализ существующих программных продуктов, направленных на реализацию и моделирование функционирования системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре
 3. Обсуждение полученных результатов, выводы и направления дальнейшей работы
- Заключение
Литература

Введение

Анализ статистических данных [1] и информации о крупных пожарах в зданиях торговых центров [2] показал наличие ряда проблем, связанных с организацией эвакуации при пожаре, в частности, в действиях посетителей и обслуживающего персонала, которые, как известно [3—6], носят неоднородный характер. При поступлении информации о пожаре люди, как правило, приступают к эвакуации. Однако имеют место случаи, когда они склонны к игнорированию сигнала о пожаре либо к ожиданию подтверждающих признаков пожара (задымление, массовая эвакуация, повышение температуры и др.). Важным фактором в поведении человека при пожаре является его представление о внутренней планировке здания. В случае если внутри здания применены сложные архитектурные конструкции и план этажа здания труден для понимания, это непременно

оказывает негативное влияние на эвакуируемых и повышает их уровень стресса, который возникает во время эвакуации [7].

Организация эвакуации посетителей из здания возлагается на персонал, который должен информировать о необходимости покинуть здание и расположении ближайших эвакуационных выходов. В то же время ряд работ свидетельствует о проблемах в данной области. В эксперименте [8] персоналу торгового центра предлагалось назвать по памяти эвакуационные выходы или места, где расположены указатели путей эвакуации, после чего полученные данные были сравнены с результатами ответа посетителей ТЦ на аналогичные вопросы. Результаты показывают, что представления об эвакуационных путях и выходах у персонала и у посетителей разные. Персонал в основном называл выходы, с которыми посетители незнакомы. Такие выходы расположены, как правило, рядом с рабочими местами персонала (вероятнее всего, это выходы, ежедневно используемые сотрудниками для выхода из здания). Таким образом, при пожаре могут возникнуть затруднительные ситуации, когда персонал будет указывать на эвакуационные выходы, незнакомые посетителям.

В работах [9, 10] проведен анализ поведения персонала торговых центров при пожаре и процесса эвакуации людей из высотных зданий, в результате чего было установлено, что поведение служащих было несхожим с поведением эвакуируемых при поступлении различных сигналов о пожаре. Действия, вызванные при обнаружении дыма и срабатывании сирены пожарной сигнализации (по сравнению с действиями, вызванными при обнаружении пламени), в большей мере направлены на исследование ситуации. Опираясь также на другие полученные данные, авторы заключили, что служащие не строго ассоциируют дым с пожаром.

Таким образом, с одной стороны, посетители ожидают от персонала указаний к действиям по эвакуации из здания, а с другой — персонал не всегда может объективно оценить текущую ситуацию и указать безопасное направление движения. Поэтому зачастую персонал склонен к анализу ситуации при поступлении сигнала «пожар», что в свою очередь отражает факт дефицита информации.

Устранение факта дефицита информации в большой степени возлагается на систему оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) [11], которая предназначена для своевременного информирования людей о возникновении пожара, необходимости эвакуироваться, путях и очередности эвакуации.

Таким образом, несмотря на то, что существуют системы оповещения и управления эвакуацией и разработаны различные управляющие процессом эвакуации элементы, эвакуируемые склонны к игнорированию информационных указателей направления движения.

Вышеуказанные проблемы ставят необходимость тщательного исследования системы оповещения и управления эвакуацией.

1. Анализ требований пожарной безопасности к системам оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре

Система оповещения и управления эвакуацией — комплекс организационных мероприятий и технических средств, предназначенный для своевременного сообщения людям информации о возникновении пожара, необходимости эвакуироваться, путях и очередности эвакуации [11].

Первое упоминание об оповещении и управлении эвакуацией датировано концом 1980-х годов. В период с конца 80-х годов по настоящее время менялись требования, нормы, документы, регламентирующие построение СОУЭ, разрабатывались и вводились рекомендации [12], руководства [13], пособия [14], нормы пожарной безопасности [15, 16], закон [17] и свод правил [11]. В настоящее время документом, который определяет требования в области построения СОУЭ, является свод правил СП 3.13130.2009 «Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре».

Таким образом, на СОУЭ как на один из функциональных элементов системы обеспечения пожарной безопасности (СОПБ) объекта защиты распространяются требования действующего законодательства Российской Федерации [11, 17, 18]. Рассмотрим данные требования.

В статьях 3, 5 нормативного акта [17] дано определение СОПБ, представлены ее элементы

и функции, а также указано на необходимость ее наличия на каждом объекте защиты. Целями создания такой системы являются предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита имущества при пожаре. СОУЭ включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты и комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.

В статьях 51, 52, 81, 82 [17] обозначены цели, задачи системы противопожарной защиты и ее основные функции, общие требования, предъявляемые к СОУЭ, требования, предъявляемые к функциональным характеристикам систем противопожарной защиты, общие требования пожарной безопасности к СОУЭ. Определены способы, с помощью которых должно осуществляться оповещение и управление эвакуацией людей. В частности, для управления эвакуацией предусмотрен пункт 2, который предполагает управление с помощью трансляции специально разработанных текстов о необходимости эвакуации, путях эвакуации, направлении движения и других действиях, обеспечивающих безопасность людей и предотвращение паники при пожаре. Однако данное мероприятие будет неэффективно, если фактическое местоположение очага пожара не совпадает с очагом пожара, принятым в качестве расчетного для разработки текстов [19, 20].

В нормативном документе по пожарной безопасности [11] определены требования пожарной безопасности к СОУЭ, способам светового, звукового и речевого оповещения, приводится классификация СОУЭ, а также требования по оснащению зданий и сооружений различными ее типами.

Рассмотрев требования пожарной безопасности к системам оповещения и управления эвакуацией, делаем вывод, что существуют различные средства и способы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Однако эвакуируемые склонны к игнорированию этих средств, возможно, ввиду либо их неэффективности, либо некорректной реализации данных функций в уже существующих СОУЭ. Рассмотрим, каким образом возможно подтвердить правильность и обоснованность принятия существующих средств управления (указатели направления движения, речевые инструкции, динамические указатели).

На основании Федерального закона [17] пожарная безопасность объекта считается обеспеченной, если выполнены в полном объеме требования технических регламентов и пожарный риск не превышает допустимых значений. Технический регламент [17], в части касающейся СОУЭ, устанавливает лишь общие требования, т.е. указывает на необходимость такой системы, ее цели, задачи и функции.

Расчет величин пожарного риска осуществляется на основании методики, изложенной в приказе [21]. Определение расчетных величин пожарного риска заключается в расчете индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в здании. Индивидуальный пожарный риск отвечает требованию, если расчетная величина индивидуального пожарного риска (Q_B^H) не превышает нормативное значение (Q_B), равное $1 \cdot 10^{-6}$.

Расчетная величина индивидуального пожарного риска для i -го сценария пожара в зданиях рассчитывается по формуле:

$$Q_{B,i} = Q_{n,i} \cdot (1 - K_{АП,i}) \cdot P_{ПР,i} \cdot (1 - P_{э,i}) \cdot (1 - K_{П.З,i}), \quad (1)$$

где $Q_{n,i}$ — частота возникновения пожара в здании в течение года, определяемая на основании статистических данных;

$K_{АП,i}$ — коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения (далее — АУП) требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$P_{ПР,i}$ — вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения;

$P_{э,i}$ — вероятность эвакуации людей;

$K_{П.З,i}$ — коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Рассмотрев переменные в формуле (1), делаем вывод, что наличие СОУЭ влияет на два параметра: вероятность эвакуации людей и коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты. Рассмотрим данные коэффициенты.

Вероятность эвакуации людей принимается равной 0,999, если время блокирования эвакуационных путей одним из ОФП, умноженное на коэффициент 0,8, больше времени эвакуации. Время эвакуации

людей из помещений и зданий определяется на основе моделирования движения людей до выхода наружу одним из следующих способов:

- упрощенно-аналитическая модель;
- индивидуально-поточная модель;
- имитационно-стохастическая модель.

Выбор способа определения расчетного времени эвакуации производится с учетом специфических особенностей объемно-планировочных решений здания, а также особенностей (однородности) людей, находящихся в нем.

Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, рассчитывается по формуле:

$$K_{ПЗ,i} = 1 - (1 - K_{обн,i} \cdot K_{СОУЭ,i}) \cdot (1 - K_{обн,i} \cdot K_{ПДЗ,i}), \quad (2)$$

где $K_{обн,i}$ — коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{СОУЭ,i}$ — коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$K_{ПДЗ,i}$ — коэффициент, учитывающий соответствие системы противоподымной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Если расчетная величина индивидуального пожарного риска превышает нормативное значение, в здании следует предусмотреть дополнительные противопожарные мероприятия, направленные на снижение величины пожарного риска. К числу таких мероприятий относится, в том числе, устройство систем оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа.

При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия устройства системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа следует выполнить расчет по оценке параметра с учетом перераспределения потоков эвакуирующихся и изменения схемы эвакуации в зависимости от сценариев

возникновения и развития пожара и алгоритма функционирования системы оповещения людей о пожаре и управлением эвакуации людей.

Рассмотрев требования пожарной безопасности к системам оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, методику определения расчетных величин пожарного риска, делаем вывод, что для подтверждения принятых проектных решений в системе оповещения и управления эвакуацией людей необходимо проводить моделирование эвакуации людей при пожаре.

Перейдем к рассмотрению программных комплексов по моделированию эвакуации людей на предмет наличия функций перераспределения потоков эвакуирующихся и изменения схемы эвакуации в зависимости от сценариев возникновения и развития пожара, а также реализации алгоритма функционирования СОУЭ.

2. Анализ существующих программных продуктов, направленных на реализацию и моделирование функционирования системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре

При компьютерном моделировании эвакуации людей при пожаре программный комплекс должен осуществлять перераспределение эвакуационных потоков в зависимости от сценария развития пожара и алгоритма функционирования СОУЭ. Сигналы к изменению маршрутов движения должны подаваться непосредственно компьютерной программой.

Для эффективного перераспределения эвакуационных потоков в зависимости от сценария развития пожара и алгоритма функционирования СОУЭ необходимо получать данные о распределении людей и значении ОФП в здании. Эта информация позволит выбрать оптимальный сценарий управления эвакуацией. Таким образом, сначала необходимо подобрать модель движения людей, которая позволит рассматривать эвакуируемого как единичного субъекта, на которого возможно оказать управленческое воздействие.

В настоящее время разработано большое количество моделей движения людей во время эвакуации при пожаре.

Нельзя определенно сказать, что одна модель лучше другой. Каждая из моделей предназначена для решения определенного класса задач. При необходимости учета комплексных сценариев эвакуации следует применять модели, которые рассматривают человека как индивида с определенным набором свойств, и основаны на том, что динамика всех эвакуируемых формируется движением каждого индивида. К таким моделям относятся индивидуально-поточные модели [24].

Проведем анализ существующих программных комплексов моделирования эвакуации, в которых реализована индивидуально-поточная модель движения, на предмет возможности подтверждения принятых проектных решений в области оповещения и управления эвакуацией.

Анализ публикаций [25—26] позволил выявить программные продукты, где для моделирования процесса эвакуации применяется индивидуально-поточная модель движения.

Анализ программных продуктов проведен по наличию следующих функциональных возможностей:

- возможность реализации различных алгоритмов работы СОУЭ. То есть установление каждому эвакуируемому (группе эвакуируемых) времени начала эвакуации (время, когда человек (группа) будет оповещен о необходимости начала эвакуации);
- возможность каждому индивиду определить маршрут, по которому он должен эвакуироваться наружу или в безопасную зону;

- возможность в ходе эвакуации изменять сценарий эвакуации в зависимости от динамики развития пожара;

- возможность в удобной форме представить информацию о выбранном алгоритме работы СОУЭ, особенностях процесса эвакуации и динамики развития пожара, а также фактической работе СОУЭ в процессе эвакуации.

Анализ показал, что в каждой программе имеется возможность реализации различных алгоритмов работы СОУЭ и определения маршрута движения для каждого индивида.

Однако необходимо констатировать, что рассмотренные программные продукты (за исключением *JuPedSim*) не позволяют изменять сценарий эвакуации непосредственно в ходе моделирования.

3. Обсуждение полученных результатов, выводы и направления дальнейшей работы

Рассмотрев требования пожарной безопасности к системам оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре и методику определения расчетных величин пожарного риска, авторы сделали вывод, что для подтверждения принятых проектных решений в системе оповещения и управления эвакуацией людей необходимо проведение моделирования эвакуации людей при пожаре.

По рассмотрении программных комплексов по моделированию эвакуации людей при пожаре установлено, что в настоящее время отсутствуют

Функциональные возможности программных комплексов по моделированию эвакуации людей

Таблица

№ п/п	Программа	Реализация различных алгоритмов работы СОУЭ	Маршрут движения для каждого индивида	Изменение сценария в ходе эвакуации	Удобное представление данных о сценарии развития эвакуации	Тип распространения	Страна-разработчик	Наличие графического интерфейса
1	Эватек	+	+	—	—	Коммерческое	Россия	+
2	Pathfinder	+	+	—	—	Коммерческое	США	+
3	Fenix+	+	+	—	—	Коммерческое	Россия	+
4	JuPedSim	+	+	+	—	Некоммерческое	Германия	—
5	FDS+Evac	+	+	—	—	Некоммерческое	Интернациональная разработка (преимущественно США)	—

программные продукты, разработанные в России, позволяющие:

- изменять сценарий эвакуации в ходе моделирования;
- определить алгоритм работы СОУЭ в зависимости от динамики развития пожара.

Кроме того, ни одна из программ не позволяет рассмотреть ситуации, когда процесс эвакуации будет координировать человек посредством речевого оповещения.

Таким образом, противоречие заключается в том, что существует система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, однако эвакуируемые склонны к игнорированию информационных указателей направления движения. Этому способствует отсутствие возможности подтверждения принятых проектных решений в области размещения различных управляющих элементов системы СОУЭ путем моделирования эвакуации с применением соответствующих программных продуктов.

Казалось бы, очевидной причиной этому явлению служит отсутствие данных о поведении людей при пожаре, алгоритмов и моделей выбора маршрутов эвакуации. Однако публикации исследователей говорят об обратном.

Заключение

Опубликовано большое количество работ, посвященных исследованию поведения людей при пожарах [27—30], рассматривающих различные аспекты: выбор маршрута движения, поведение в начальной стадии эвакуации, влияние эвакуационных знаков на процесс принятия решений, исследование реакций людей на различные ситуации, складывающиеся в ходе эвакуации при пожаре и др. Разработаны [31—33] различные алгоритмы и модели выбора маршрутов движения непосредственно в ходе процесса эвакуации, проведена оценка их эффективности и разработаны технологии их интеграции в существующие СОУЭ.

Таким образом, имеются все предпосылки для программной реализации функций перераспределения потоков эвакуирующихся и изменения сценария эвакуации в зависимости от динамики развития пожара и реализации алгоритма функционирования СОУЭ в целях оценки принятых проектных решений.

В ходе дальнейшего исследования планируется разработка специального модуля для моделирования управления эвакуацией людей при пожаре на базе программы для расчета пожарного риска *Fenix+*. Разрабатываемый модуль будет реализовывать следующие функции:

- возможность изменения сценария эвакуации в ходе моделирования;
- возможность определения различных алгоритмов выбора маршрута движения людей во время эвакуации при пожаре с учетом особенностей поведения людей и их реакции на управляющие воздействия;
- формирование подробной документации о реализованном сценарии эвакуации, при котором обеспечивается нормативное значение пожарного риска.

В результате реализации данных функций будет готов полноценный конструктор СОУЭ, который позволит оценить различные алгоритмы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, а также существующие и вновь принятые проектные решения в области систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: статистический сборник / Под общ. ред. А.В. Матюшина. М.: ВНИИПО, 2016. 137 с.
2. Шихалев Д.В., Хабибулин Р.Ш. Системы управления эвакуацией в зданиях торгово-развлекательных центров // Пожаровзрывобезопасность. 2013. № 6. С. 61—65.
3. Zhao C.M. et al. Investigation of Pre-evacuation Human Behavior under Fire Situations Based on 2000—2002 Newspaper Reports on Fire Occurrences in Hong Kong: scientific report. International institute for applied systems analysis, 2005. 7 p.
4. Liang J. Analysis on people's evacuating behavior during the building fire // Fire Science and Technology. 2009. Vol. 28. № 11. P. 866—869.
5. N. Oberije' et al. Fire in euroborg football stadium: analysis of human behavior // Proceedings of the Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire. Cambridge, 2009. P. 323—334.
6. Самошин Д.А. Применение концепции «Человек-Среда-Пожар» для понимания поведения персонала

- торговых комплексов при пожаре: дис. ... докт. фил. / Самошин Дмитрий Александрович. О., 2004. 187 с.
7. M. Kobes et al. Building safety and human behaviour in fire: a literature review // *Fire Safety Journal*. 2010. Vol. 45. № 1. P. 1—11.
 8. Carattin E. Wayfinding architectural criteria for the design of complex environments in emergency scenarios // *Advanced research workshop proceedings*. Santander. 2011. P. 209—222.
 9. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Анализ процесса эвакуации людей из высотных зданий // *Жилищное строительство*. 2008. № 8. С. 24—26.
 10. Шилдс Д. и др. Поведение персонала торговых комплексов при пожаре. Часть II. Действия в смоделированной ситуации «пожар в торговом комплексе» // *Пожаровзрывобезопасность*. 2005. № 1. С. 44—55.
 11. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]: свод правил (утв. Приказом МЧС России от 25.03.2009 № 173) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2014. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
 12. Рекомендации по устройству систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях и сооружениях. М.: ВНИИПО МВД СССР, 1984. 19 с.
 13. Временное руководство по проектированию систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре объектов народного хозяйства. РНД 73-45-89. Новосибирск: «Спецавтоматика», 1989. 154 с.
 14. Пособие к СНиП 2.08.02-89. Пособие по проектированию систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в общественных зданиях [Электронный ресурс]: Пособие к строительным нормам и правилам (утв. постановлением Госстроя СССР от 16 мая 1989 г. № 78) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2014. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
 15. Нормы пожарной безопасности НПБ 104-95 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» [Электронный ресурс]: нормы пожарной безопасности (утв. Главным государственным инспектором РФ по пожарному надзору, введены в действие приказом ГУГПС МВД РФ от 18 августа 1995 г. № 22) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2014. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
 16. Нормы пожарной безопасности НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» [Электронный ресурс]: нормы пожарной безопасности (утв. Министром МЧС РФ, введены в действие приказом МЧС РФ от 20 июня 2003 г. № 323) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2014. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
 17. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федер. закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2013. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
 18. Правила противопожарного режима в Российской Федерации [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рос. Федерации от 25 апреля 2012 г. № 390: (в ред. от 17 фев. 2014 г.) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2014. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
 19. Колодкин В.М., Чирков Б.В. Снижение пожарного риска в зданиях с массовым пребыванием людей // *Проблемы анализа риска*. 2015. № 1. С. 52—59.
 20. Колодкин В.М., Варламов Д.В., Яценко А.А. Современные технологии расчета и управления пожарными рисками в зданиях и сооружениях // *Проблемы анализа риска*. 2013. № 5. С. 22—27.
 21. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 (зарегистрировано в Минюсте РФ 06.08.2009 № 14486): (в ред. от 12.12.2011) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. Электрон. Дан. М., 2014. Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
 22. Chraïbi M. Validated force-based modeling of pedestrian dynamics: PhD thesis / Forschungszentrum Jülich, 2012.
 23. Hoogendorn S.P., Bovy P., Daamen W. Microscopic pedestrian wayfinding and dynamics modeling // *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. 2002. P. 123—154.
 24. Холщевников В.В. и др. Эвакуация и поведение людей при пожарах: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. 262 с.
 25. Самошин Д.А. Современные программные комплексы для моделирования процесса эвакуации // *Пожарная безопасность в строительстве*. 2011. № 1. С. 62—65.

26. Холщевников В.В., Парфененко А.П. Сопоставление различных моделей движения людских потоков и результатов программно-вычислительных комплексов // Пожаровзрывобезопасность. 2015. № 5. С. 68—75.
27. Schroeder B. et al. Knowledge- and Perception-Based Route Choice Modelling in Case of Fire // 6th International Symposium on Human Behaviour in Fire. 2015. P. 327—338.
28. Olander J. et al. Dissuasive exit signage for building fire evacuation // Applied Ergonomics. 2017. Vol. 59, Part A. P. 84—93.
29. Haghani M., Sarvi M. Human exit choice in crowded built environments: Investigating underlying behavioral differences between normal egress and emergency evacuations // Fire Safety Journal. 2016. Vol. 85. P. 1—9.
30. Galea E.R. et al. Evacuation response behaviour of occupants in a large theatre during a live performance // Fire and Materials. 2017. Special issue paper. P. 1—26.
31. Шихалев Д.В. Информационно-аналитическая поддержка управления эвакуацией при пожаре в торговых центрах: дис. ... канд. техн. наук / Шихалев Денис Владимирович. М., 2015. 175 с.
32. Колодкин В.М., Чирков Б.В., Ваштиев В.К. Модель движения людских потоков для управления эвакуацией при пожаре в здании // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2015. № 3. С. 430—438.
33. Валеев С.С., Кондратьева Н.В., Янгирова А.Ф. Иерархическая система поддержки принятия решений при эвакуации людей из здания в критических ситуациях // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2014. № 1. С. 161—166.

Сведения об авторах

Шихалев Денис Владимирович: кандидат технических наук, научный сотрудник учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий, Академия ГПС МЧС России
Количество публикаций: 33, в т. ч. монографий, учебных изданий
Область научных интересов: информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений

Контактная информация:

Адрес: 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, д. 4
Тел.: +7 (916) 034-44-25
E-mail: evacsystem@gmail.com

Хабибулин Ренат Шамильевич: кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России

Количество публикаций: 57, в т. ч. монографий, учебных изданий

Область научных интересов: информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений

Контактная информация:

Адрес: 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, д. 4
Тел.: +7 (910) 417-80-38
E-mail: kh-r@yandex.ru

Любимов Евгений Михайлович: технический директор, ЗАО «Современные программные технологии»

Количество публикаций: 2, в т. ч. монографий, учебных изданий

Область научных интересов: информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений

Контактная информация:

Адрес: 603086, г. Нижний Новгород, улица Стрелка, д. 4а
Тел.: +7 (831) 429-07-43
E-mail: e.lyubimov@mst.su

Алексин Сергей Аркадьевич: генеральный директор, ЗАО «Современные программные технологии»

Количество публикаций: 3, в т. ч. монографий, учебных изданий

Область научных интересов: информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений

Контактная информация:

Адрес: 603086, г. Нижний Новгород, улица Стрелка, д. 4а
Тел.: +7 (831) 429-07-43
E-mail: e.lyubimov@mst.su

Аннотации статей на английском языке

MODERN APPROACH TO MONITORING OF INDUSTRIAL SAFETY FOR HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES

D. V. Ponomarenko, PC Gazprom, St-Petersburg

V. V. Lesnykh, A. V. Bochkov, LLS Nllgazeconomika, Moscow

Annotation. The article discusses general approaches to the construction of a monitoring system for the state of industrial safety of hazardous industrial facilities (GCO). The approaches, assumptions and methods for solving key tasks in the creation of monitoring systems in oil and gas companies are generalized and laying the foundations for the construction of a balanced system of indices of industrial safety at GCO, as well as the development of specialized mathematical and software for industrial safety management. A uniform methodological basis for the creation of a monitoring system for the state of industrial safety at the GCO is provided, which allows fulfilling the mandatory requirements of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor) in the field of remote monitoring, taking into account the practical interests of organizations operating GCO, significantly increase the level of culture in them safety and prepare a scientific and methodological justification for their further interaction with Rostekhnadzor in the field of operational organization (remote control) of industrial safety.

Keywords: risk, monitoring, reactive indicators, proactive indicators, assessment, forecasting, control, industrial safety, hazardous production facility.

INTEGRATED ACCIDENT RISK ASSESSMENT FOR HAZARDOUS INDUSTRIAL FACILITIES BASED ON FUZZY LOGIC AND LOGIC-PROBABILITY APPROACH

A. V. Rybakov, A. D. Sorokin, V. V. Kochetkov, Civil Defence Academy of EMERCOM of Russia, Khimki

E. V. Arev'eva, All-Russian Scientific Research Institute of Civil Defence and Emergency Management (Federal Science and High Technology Centre) of EMERCOM of Russia, Moscow

Annotation. The article describes the algorithm to comprehensively assessing the risk of accident and the state of the object on the set of monitoring indicators. The proposed approach makes it possible to identify the combined effect of the hazards that can be found at the site, consider rejection of all controlled parameters, as well as deviations in the range close to acceptable. Perhaps take into account the testimony of a large number of sensors. In automatic mode, the algorithm can be applied for the treatment of a large number of monitored parameters, set on the process equipment and facility design elements.

Keywords: comprehensive monitoring indicator, the state of hazardous production facilities, security, fuzzy logic, possibilistic logic-simulation.

ON THE RELIABLE SHORT-TERM TSUNAMI FORECAST

Yu. P. Korolev, A. V. Loskutov, Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk

Annotation. One of the negative factors affecting the normal functioning of municipalities on the coast of the Far East are the false tsunami alarms. To date, false alarms make up at least 75% out of the total number of alarms. False alarms cause damage related to the shutdown of production, other activities in the coastal zone, the evacuation of the population, the withdrawal of vessels to the open sea.

The problem is that the tsunami warning services would announce alarms with reasonable lead time only at those points where the tsunami is of a real threat and is accompanied by information on the arrival time of the first, maximum wave, their amplitudes, and the expected time of the tsunami's end.

The aim of the study was to study the possibility of an early tsunami forecast near the coast using data of deep-sea bottom stations located in the open ocean, without involving detailed seismological information on earthquakes.

In the numerical experiment the process of short-term forecasting of the 2006 and 2007 Simushir tsunamis was simulated near the coast of the Kuril Islands and Hokkaido Is.

To calculate the wave forms of tsunami near the coast, a method of short-term tsunami forecasting was used, which allows to calculate tsunami waveforms at given points near the coast using tsunami data in the open ocean in a real-time mode in advance.

It is shown that the 2006 and 2007 tsunamis forecast is possible in advance (0.5 to 1.5 hours before the first wave arrival) for the northern and southern Kuril Islands.

The method can become a tool that will significantly reduce the number of false alarms.

Keywords: tsunami, short-term forecast, operational forecast, tsunami alarm, false tsunami alarm, ocean level measurements, numerical simulation, deep-sea bottom stations, DART.

THE SYSTEM OF ANALYTICAL INDICATORS FOR STRATEGIC CONTROL OF THE NATURAL AND TECHNOGENIC TERRITORY SAFETY

V. V. Nicheporchuk, T. G. Penkova, ISM SB RAS, Krasnoyarsk

Annotation. This paper presents a hierarchical system of analytical indicators for strategic control of natural and technogenic territory safety at various levels of management: regional, municipal and local. Based on Data Warehousing and On-line analytical processing technologies, the multidimensional indicators of the Krasnoyarsk territory safety have been calculated. The proposed system of indicators allows in the future to implement the methods for comprehensive assessment of the state of territories both in general and in individual situations.

Keywords: analytical indicators, strategic control, natural and technogenic safety, territory management.

BASIC RISKS OF NATURAL AND TECHNOGENIC SAFETY IN KRASNOYARSK REGION

V. V. Moskvichev, Institute of Computational Technologies SB RAS, Krasnoyarsk

O. V. Taseiko, Institute of Computational Technologies SB RAS, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

U. S. Ivanova, D. A. Chernykh, Institute of Computational Technologies SB RAS, Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Annotation. This work considers approaches to risks assessment allowing to estimate sustainable development of industrial region as an uniform social-natural-technogenic system. Basic individual risks are divided on the potential and realized risks of morbidity and death of region's population. These risks connect to influence of environmental factors such as various emergency, air pollution and climatic variability. These risks are influenced by the environmental factors such as various emergency, air pollution and climatic variability. Risks assessment are based on the information obtained by federal and regional monitoring systems. It is shown that individual non-cancerogenic Risk assessments caused by air pollution and death risks caused by technogenic emergency are exceed the acceptable levels significantly.

Keywords: social-natural-technogenic system, individual strategic risks, acceptable risk level.

PROBLEMS OF COGNITIVE BIASES IN THE ASSESSMENT OF READINESS OF MUNICIPALITIES TO PROVIDE RESILIENCE TO EMERGENCIES

A. A. Kononov, Institute for Systems Analysis of Federal Research Center "Computer Science and Control" of RAS, Moscow

Annotation. Only implementation of official regulatory framework requirements is not enough to be ensure in the readiness of municipal formations for possible emergencies. For this it requires constant detailed monitoring of completeness of the threats model and existing deficiencies and vulnerabilities. Only this will help to avoid cognitive biases in the assessment of existing risks and threats and to achieve resilience to emergencies.

Keywords: cognitive biases, criterial modeling, resilience to emergencies, indicative risk assessment, threats model, vulnerabilities.

BOILER-HOUSES AS THE COMPUTERIZED OBJECTS OF PROTECTION AT FORESHORTENING OF RELIABILITY AND SAFETY OF STRUCTURAL-COMPLEX SYSTEMS

M. V. Sheptunov, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Russian State University for the Humanities" (RSUH), Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Moscow State Linguistic University" (MSLU), Moscow

Annotation. Some questions and features of boiler-houses, including of municipal formations, as objects of protection from the physical and computer (network) unauthorized access (uaA) are discussed from the position of the theory of safety of structural-complex systems as risk of failure, probable consequences of which are explosion or other status of boiler-house becoming apparent in intrinsic deviation from normal mode of functioning. On the basis of logic constructions the possible script of dangerous status of the system has been formed, in which it is presumed an uaA of the single infringer with accompanying (to it) eventuality of failure of subsystem of the access control and/or subsystems of the alarm system of boiler-house or subsystem of protection of the information of latter. The probabilistic-logic model, including calculation formula for the risk of the emergency, has been obtained.

Keywords: non-failure operation, explosion of boiler-house, logical-probabilistic method, unauthorized access, restriction of access, failure, subsystem, risk, system of detection of intrusions.

MODELING THE PROBABILITY OF THE STATE OF OBJECTS ACCORDING TO THE SCHEME OF MARKOV RANDOM PROCESSES OF EXPOSED TO DAMAGING FACTORS OF CONVENTIONAL WEAPONS

N. K. Domnitsky, Rostov's Branch of the Russian Scientific Society of Risk Analyses, Rostov-on-Don

Annotation. This article describes the evaluation of a mathematical model based on the use of homogeneous and inhomogeneous Markov chains transition probabilities of the state of the objects affected by consistent factors affecting conventional weapons. Also the analysis of obtained results consistent attacks on targets in the application of mathematical modeling.

Keywords: the probability of destruction of objects; homogeneous and inhomogeneous Markov chains; the matrix of transition probabilities of the state of the objects.

MATHEMATICAL MODEL OF VAPOR FORMATION PROCESS DURING THE VAPORIZATION OF LIQUEFIED GAS FROM THE SPILL

N. M. Kochetov, Novomoskovsk Institute of Improvement of Professional Skill

A. N. Kochetov, North-West Management of Federal Service on Ecological, Technological and Nuclear Supervision, St-Petersburg

Annotation. The article presents the analysis of the existing evaporation models of liquefied gases. The basis of the mathematical model laid the equation of the energy balance of the liquid from a spill during vaporization. Presented the solution of the equations describing the temperature change of the liquid in the evaporation process.

Keywords: evaporation, boiling, vaporization, heat balance, saturated vapor pressure.

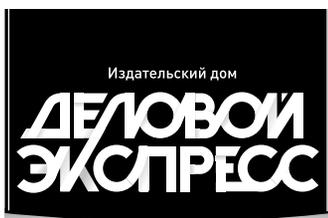
PROBLEMS OF ALERTING AND EVACUATION MANAGEMENT OF PEOPLE IN THE TASK OF FIRE RISK ASSESSMENT

D.V. Shikhalev, R. Sh. Khabibulin, State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Moscow

E. M. Lyubimov, S. A. Aleksin, Closed Joint Stock Company "Modern Software Technologies", Nizhny Novgorod

Annotation. The article examines fire safety requirements for system of alerting and evacuation management of people at fire. An analysis of existing software products aimed at implementing and simulating the operation of a system of alerting and evacuation management of people at fire was carried out. It has been established that the requirements for alerting and evacuation management set out in the methodology for estimating the fire risk are not currently confirmed by modelling. The circumstances of the situation are analyzed and a solution to the problem is proposed.

Keywords: fire, simulation, evacuation management, control algorithms, system of alerting and evacuation management of people at fire.



ИЗДАНИЕ АВТОРСКИХ МОНОГРАФИЙ И НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Издательский дом «Деловой экспресс» оказывает поддержку авторам в издании книг

Научному сообществу важно представлять исследования, предметом которых является исчерпывающее обобщение теоретического материала по научной проблеме или теме с его критическим анализом, определением весомости, формулировкой новых научных концепций.

Такая литература должна находить своего читателя, и мы можем в этом помочь.

Узнайте, сколько стоит издать вашу книгу, написав нам на электронную почту journal@dex.ru или позвонив по телефону +7 (495) 787-52-26

Ориентировочная стоимость услуг от 50 000 руб.*

* Цена не включает стоимость печати.

Инструкция для авторов

1. Общие требования к представлению статьи

Журнал «Проблемы анализа риска» публикует междисциплинарные научные и прикладные материалы, посвященные анализу рисков различного происхождения и характера: техногенного, природного, социально-экономического, финансового, экологического и др.

Представляемая в редакцию статья должна соответствовать тематике журнала, быть написана на русском языке (титульный лист представляется на русском и английском языке), быть оригинальной, ранее не опубликованной и не представленной к публикации в другом издании.

Авторы несут ответственность за достоверность приведенных сведений, отсутствие данных, не подлежащих открытой публикации, и точность информации по цитируемой литературе.

Все представленные в редакцию журнала рукописи авторам не возвращаются.

2. Порядок представления рукописи

Первоначальное представление статьи в редакцию журнала осуществляется в электронном виде одним из следующих способов:

- с помощью электронной почты на e-mail journal@dex.ru, (копия: rag@dex.ru)
- на CD-диске по почте,
- непосредственно в редакцию журнала на любом электронном носителе.

В наименовании электронного файла должны быть указаны: первый автор статьи, сокращенное название статьи, дата представления (например, «Иванов_Стандарты финансового РМ_120111»). На обложке CD-диска или в теме сообщения, посланного на электронный ящик редакции, должно быть указано наименование файла статьи.

Статья будет направлена на рецензирование одному или двум экспертам. Возможно, потребуются доработка или переработка статьи по результатам рецензирования до принятия решения о ее опубликовании.

После принятия решения об опубликовании статьи авторы должны представить в редакцию окончательный подписанный вариант рукописи, на бумажном носителе, а также электронную версию статьи и свою фотографию, приложив их к рукописи на CD-диске или передав на электронный почтовый ящик редакции (journal@dex.ru; rag@dex.ru). Редакция оставляет за собой право дальнейшей редакционной и корректорской правки статьи. Корректурa автору в обязательном порядке не высылается, с ней можно ознакомиться в редакции.

Если статья не принимается к печати, автору высылается отказ по электронной почте.

3. Лицензионный договор

Если принято решение об опубликовании статьи, в соответствии с требованиями Гражданского кодекса РФ между авторами и журналом заключается лицензионный договор с приложением к нему акта приема-передачи произведения. С лицензионным договором и актом приема-передачи произведения можно ознакомиться на сайте www.dex.ru в разделе «Инструкция для авторов». Данные документы, подписанные со стороны авторов, должны быть переданы в редакцию вместе с окончательным подписанным вариантом рукописи.

4. Общие требования к рукописи

Электронный файл рукописи должен быть сформирован с использованием стандартных пакетов редакторских программ (например, MS Word, WordPad).

Формат страниц: А4, рекомендуемые отступы от краев листа: сверху и снизу — 3 см, слева и справа — 2 см, рекомендуемый шрифт Times New Roman, 12 пт, междустрочный интервал — одинарный или полуторный. Страницы должны быть пронумерованы.

Файл со статьей должен содержать:

- 1) титульный лист (на русском и английском языке),
- 2) текст статьи (введение, структурированные разделы статьи, заключение),
- 3) литературу (последовательный перечень цитируемой литературы),
- 4) сведения об авторах.

5. Титульный лист

Представляется на русском и английском языках и должен включать:

- УДК,
- краткое информативно-смысловое название,
- инициалы, фамилию,
- краткое (по возможности) наименование организации (при указании организации не допускается приводить только аббревиатуру). Располагается после фамилии автора,
- город,
- аннотацию: должна быть краткой (не более 200 слов), информативной и отражать основные положения и выводы представляемой к публикации статьи,
- ключевые слова (не более 15) должны способствовать индексации и классификации,
- содержание: включает заголовки первого уровня разделов, использование ссылок и указание страниц не допускается.

6. Текст статьи

Основной текст статьи должен содержать:

- введение,
- структурированные, пронумерованные разделы статьи,
- заключение,
- литература.

Введение должно содержать четкое обозначение целей и задач работы. В нем могут даваться ссылки на ключевые работы в области исследования, но введение не должно быть литературным или историческим обзором.

Структурированные разделы статьи должны содержать четкое и последовательное изложение материала работы. Заголовки разделов основной части должны иметь нумерацию (1, 2, 3 и т. д.), эта же нумерация должна быть отражена в содержании (разделы введение, заключение, литература, сведения об авторах не нумеруются). Допускается в каждом разделе создавать подзаголовки разделов.

Заключение должно включать основные выводы, обсуждение спорных моментов, значимость теоретических положений, их ограничения; место и роль в разрезе предыдущих исследований, возможностей практических приложений.

7. Требования к таблицам, рисункам и формулам

Таблицы и рисунки

Таблицы и рисунки рекомендуется располагать внутри текста после первого указания на них. Размер таблиц и рисунков не должен выходить за рамки формата текста. Все таблицы и рисунки должны быть последовательно пронумерованы и иметь краткое название (название таблиц дается над таблицей, рисунков — под ними).

Таблицы и рисунки должны быть понятными безотносительно к объяснению в тексте. Пояснения к таблицам и рисункам должны быть краткими. Пояснения к таблицам должны располагаться внизу таблицы и иметь указатели с использованием надстрочной буквенной или цифровой индексации (меньшего размера относительно текста). Пояснения к рисункам должны располагаться под названием рисунков с использованием шрифта меньшего размера относительно текста названия рисунков.

Таблицы представляются в стандартном редакторе MS Office, например MS Word или MS Excel.

Рисунки должны быть высокого качества. Графики должны предоставляться преимущественно в формате MS Excel. Схемы и карты представляются в векторных форматах EPS, CDR. Фотографии и другие иллюстративные материалы, предоставляемые в виде растровых изображений, должны иметь разрешение 300 dpi (при размере на формат издания) и быть в форматах TIFF или JPEG (без сжатия). На растровых рисунках должны хорошо прочитываться текст и все значимые элементы.

Формулы

Отдельно стоящие формулы должны быть набраны с использованием стандартных средств MathType или Equation.

Переменные величины и элементы формул, располагаемые внутри текста, набираются по возможности с использованием текстовых выделений (нижний, верхний регистры, курсив, греческие буквы и т. д.)

Формулы и буквенные обозначения должны быть тщательно выверены автором, который несет за них полную ответственность.

8. Литература

Библиографические ссылки в статье рекомендуется осуществлять как затекстовые ссылки и обозначать номерами в порядке цитирования в квадратных скобках, например [1] или [2—5], при необходимости с указанием страниц. Ссылки на неопубликованные работы недопустимы. Список литературы должен размещаться в конце статьи и составляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Порядок составления списка следующий:

- для книг: фамилия и инициалы автора (авторов), полное название, место и год издания, издательство, общее количество страниц;
- для глав в книгах и статей в сборниках: фамилия и инициалы автора (авторов), полное название статьи, полное название книги, фамилия и инициалы редактора (редакторов), место и год издания, издательство, номера первой и последней страниц;
- для журнальных статей: фамилия и инициалы автора (авторов), полное название статьи, название журнала, том издания, номер, номера первой и последней страниц. Если число авторов больше трех, вначале пишется название статьи, затем все авторы и далее название журнала, том издания, номер, номера первой и последней страниц;
- для диссертаций: фамилия и инициалы автора, докторская или кандидатская, полное название работы, год и место издания.

Ссылки на литературу в статьях, представленных для публикации зарубежными авторами, могут производиться с использованием международного стандарта.

Авторы самостоятельно несут ответственность за точность информации по цитируемой литературе.

9. Сведения об авторах

Сведения об авторах должны включать:

- фамилию, имя и отчество (полностью),
- степень, звание и занимаемую должность, полное и краткое наименование организации,
- число публикаций, в том числе монографий, учебных изданий,
- область научных интересов,
- контактную информацию: почтовый адрес, телефон, факс, e-mail.

Учредители:

- Общероссийская общественная организация «Российское научное общество анализа риска»
- ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (ФЦ)
- Финансовый издательский дом «Деловой экспресс»

Журнал внесен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России (ВАК) для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается

При перепечатке и цитировании ссылка на журнал «Проблемы анализа риска» обязательна

Присланные в редакцию материалы рецензируются и не возвращаются

Статьи, не оформленные в соответствии с Инструкцией для авторов, к рассмотрению не принимаются

Ответственность за достоверность фактов, изложенных в материалах номера, несут их авторы

Мнение членов редколлегии и редсовета может не совпадать с точкой зрения авторов

Редакция не имеет возможности вести переписку с читателями (не считая ответов в виде журнальных публикаций)

Журнал издается с 2004 года. Периодичность: 1 раз в 2 месяца

© Проблемы анализа риска, 2018

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-61704 от 25.05.2015

Формат 60 × 84 1/8. Объем 12 печ. л. Печать офсетная. Тираж 1000 экз. Подписано в печать 22.02.2018.

Редакция:

Главный редактор
Быков Андрей Александрович
E-mail: journal@dex.ru, par@dex.ru

Ответственный секретарь
Виноградова Лилия Владимировна
E-mail: journal@dex.ru

Отдел подписки
Тел.: +7 (495) 787-52-26
E-mail: journal@dex.ru

Верстка:
Луговой Александр Вячеславович,
Столбова Марина Сергеевна

Корректурa:
Легостаева Инна Леонидовна,
Синаюк Рива Моисеевна,
Шольчева Янина Геннадьевна

Дизайн: АО ФИД «Деловой экспресс»

Адрес редакции:
125167, г. Москва, ул. Восьмого Марта 4-я, д. 6А
АО ФИД «Деловой экспресс»
Тел.: +7 (495) 787-52-26

Издание, распространение и реклама —
АО ФИД «Деловой экспресс»,
125167, Москва, ул. Восьмого Марта 4-я, д. 6А
Тел.: +7 (495) 787-52-26
E-mail: journal@dex.ru

<http://www.dex.ru>

 <https://vk.com/parjournal>