



УДК 004.9,504.05

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-828-841

Информационное обеспечение систем управления промышленно-экологической безопасностью: концептуальные основы и практические приложения

Шемякин А.С., Яковлев С.Ю., Маслобоев А.В.

Институт информатики и математического моделирования Федерального исследовательского центра
«Кольский научный центр Российской Академии наук»,
Россия, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14
E-mail: masloboev@iimm.ru

Аннотация

Проблемы развития Арктической зоны России, в частности, вопросы информационно-аналитического обеспечения техногенно-экологической безопасности полярных регионов особенно актуальны в последнее время. При этом степень формализации знаний о предметной области как для федерального, так и для нижестоящих уровней явно недостаточна для достижения поставленных программных целей и задач. Предметом исследований являются модели и технологии компьютерной поддержки устойчивого регионального развития. Целью исследований является разработка информационных технологий обеспечения техногенно-экологической безопасности арктических регионов. Практические приложения разработок реализованы на примере промышленных объектов Мурманской области. В работе предложено интегрированное формализованное описание трехуровневой предметной области. Обоснована структура программно-алгоритмического комплекса обеспечения безопасности регионального промышленно-природного кластера, рассматриваются его состав и метод построения. Приводится описание унифицированной информационной технологии прогнозирования и управления рисками чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера. Отличительной особенностью созданной технологии является реализация подсистемы формирования основных планирующих документов, обеспечивающей согласование принимаемых управленческих решений с актуальными нормативно-правовыми актами. Разработан и апробирован комплекс средств визуализации принимаемых решений, нацеленный на повышение точности и наглядности результатов управления. Дана общая картина внедрения разработок на территории Мурманской области.

Ключевые слова: информационная поддержка, управление, промышленно-экологическая безопасность, риск, чрезвычайная ситуация, компьютерная технология, полярный регион.

Благодарности. Результаты получены в рамках выполнения государственного задания ИИММ КНЦ РАН (№ 0226-2019-0035). Практическая реализация разработок для задач обеспечения промышленно-экологической безопасности поддержана РФФИ (проект 18-07-00167-а).

Для цитирования: Шемякин А.С., Яковлев С.Ю., Маслобоев А.В. 2020. Информационное обеспечение систем управления промышленно-экологической безопасностью: концептуальные основы и практические приложения. Экономика. Информатика. 47 (4): 828–841. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-828-841.

Information support of industrial and environmental safety control systems: conceptual foundations and applications

Shemyakin A.S., Yakovlev S.Yu., Masloboev A.V.

Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal Research Centre «Kola Science Centre
of the Russian Academy of Sciences»,
14 Fersman St, Apatity, Murmansk region, 184209, Russia
E-mail: masloboev@iimm.ru

Abstract

Development problems of the Arctic zone of Russia, particularly the information and analytical support issues of technogenic and environmental safety management in polar regions, have been especially urgent lately. At the

same time the expert knowledge formalization degree of that problem domain both at the federal and lower levels is clearly insufficient to achieve the stated program goals and objectives. The subject of research are models and technologies for computer support of risk-sustainable regional development. Our research work is aimed at information technologies engineering for technogenic and environmental safety management support of the Arctic regions. The developments applications are implemented by the example of industrial objects of Murmansk region. The following research results are highlighted. An integrated formalized description of a three-level research knowledge domain is proposed. Software system framework for safety management support of regional industrial-natural cluster is substantiated. Its structure synthesis method and composition are discussed. A unified information technology description for risk management and prediction of technogenic and natural emergency situations is carried out. A distinctive feature of the designed technology is subsystem implementation for automated formation of main safety planning documents, which provides managerial decision-making coordination with current regulatory legal acts. In addition a set of decision-making visualization tools aimed at improving the accuracy and visibility of management results has been developed and tested. The overall picture of developments deployment at the territory of Murmansk region is given.

Keywords: information support, control, industrial and environmental safety, risk, emergency situation, computer-aided technology, polar region.

Acknowledgements: the research results were obtained within the framework of the State Research Program of the Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Kola Science Centre of RAS (project No. 0226-2019-0035). Developments practical implementation for problem-solving of the industrial and environmental safety support was sponsored by the Russian Foundation for Basic Research under grant No. 18-07-00167-A.

For citation: Shemyakin A.S., Yakovlev S.Yu., Masloboev A.V. 2020. Information support of industrial and environmental safety control systems: conceptual foundations and applications. Economics. Information technologies. 47 (4): 828–841 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-828-841.

Введение

В последнее время наблюдается тенденция интенсификации исследований в сфере разработки систем обеспечения промышленно-экологической безопасности как в нашей стране, так и за рубежом. Для этого широко применяются современные информационные технологии (технологии Big Data, IoT, Data Mining, ГИС, нейросети, киберфизические системы и др.) и методы моделирования (системная динамика, робастно-энтропийный подход, рандомизированное прогнозирование, логико-вероятностные и нечеткие методы, когнитивные карты и др.). Особую потребность в таких разработках для решения проблем экологической безопасности испытывают объекты оборонно-промышленного комплекса, расположенные в Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ). Так, недавняя авария под Норильском четко продемонстрировала актуальность и остроту этой проблематики, необходимость комплексного учета производственных, региональных и природно-климатических особенностей АЗ РФ в системе информационного обеспечения борьбы с чрезвычайными ситуациями (ЧС) техногенного и природного характера в этом регионе с высокой чувствительностью систем жизнеобеспечения к любым внешним воздействиям.

Объектом исследований в работе является техногенно-экологическая безопасность типового полярного региона РФ. Регион функционирует как часть надсистемы – АЗ РФ. В качестве подсистем выступают промышленно-природные комплексы (кластеры), характерные для северных моногородов. Предметом исследований являются модели, методы и технологии компьютерной поддержки риск-устойчивого развития полярных территорий. Конечная цель исследований – разработка и внедрение информационных технологий обеспечения промышленно-экологической безопасности АЗ РФ. Отметим, что практические приложения реализованы на примере промышленных объектов, входящих в состав горно-химического и металлургического кластеров Мурманской области.

Работа состоит из трех разделов. Первый раздел содержит краткий обзор известных теоретических и прикладных исследований по вопросам информационного обеспечения промышленно-экологической безопасности. Второй раздел посвящен методическим основам



авторских разработок в этой сфере и включает описания концептуальной модели трехуровневой предметной области, признаков и элементов классификации, структуры программно-алгоритмического комплекса поддержки управления безопасностью типового регионального промышленно-природного кластера и подхода к его построению. Третий раздел включает общую характеристику унифицированной информационной технологии, разработанной для задач борьбы с техногенно-экологическими ЧС в Российской Арктике. Подробно рассматриваются схема взаимодействия компонентов технологии, подсистема, отвечающая за формирование планирующих документов с учетом нормативно-правовой базы, и средства визуализации, использование которых позволяет снизить риск принятия ошибочных решений в системе управления промышленно-экологической безопасностью. Приводятся сведения о практической реализации и внедрении разработок на территории Мурманской области.

1. Анализ проблем обеспечения промышленно-экологической безопасности АЗ РФ

Проблемам развития АЗ РФ в целом и полярных регионов в частности в последние годы уделяется повышенное внимание. Об этом свидетельствуют ежегодные конференции и совещания, которые регулярно проводятся по данной тематике в России и за рубежом. В этой сфере тесно переплетаются интересы многих сторон и уровней – властей, бизнес-сообщества, ученых и т. д. Возьмем для примера конференцию Offshore Marintec Russia [Сборник, 2018], посвященную судостроению и разработке высокотехнологичного оборудования для освоения континентального шельфа АЗ РФ. В докладах освещались различные аспекты социально-экономического развития и освоения северных территорий на арктическом региональном направлении: от постройки заводов и терминалов на суше для переработки добываемой нефти и газа до мониторинга состояния нормативно-методической базы и обеспечения комплексной безопасности эксплуатации промышленных объектов в АЗ РФ. Развитие АЗ РФ – сложная междисциплинарная предметная область, имеющая множество аспектов из различных сфер деятельности, которые, в свою очередь, очень разноплановые. Поэтому важным этапом исследований является структуризация и формализация объектов этой предметной области, то есть создание концептуальной модели предметной области. Наличие этой модели, как основы, необходимо для построения единого информационного пространства в соответствии с принятым курсом на создание цифровой экономики [Маслобоев, Путилов, 2016; Программа, 2017].

Решение задач борьбы с ЧС различного характера, связанными с хозяйственной деятельностью в АЗ РФ, требует внедрения новых информационных технологий и средств моделирования, функционирующих в комплексе на базе единой цифровой платформы. Однако современные исследования и разработки обеспечивают, как правило, лишь «точечные», локальные решения. Так, в работах [Бурков, Титаренко, 2017; Титаренко, Бурков, 2017] для задач управления рисками предлагаются механизмы экономической ответственности, перераспределения риска (путем страхования), стимулирования усилий по повышению уровня безопасности, резервирования производственных, материальных и трудовых ресурсов на случай ЧС.

На сегодняшний день разработано большое количество программных комплексов, позволяющих моделировать практически все виды техногенно-природных ЧС: пожары, наводнения, радиационные заражения, разливы и утечки токсичных веществ и другие в различных масштабах – от локального до глобального. В обзорной работе [Попов и др., 2019] приводится описание целого ряда подобных программных средств. В большинстве существующих решений моделирование ЧС является основным звеном функционала информационной системы, вокруг которого формируются «надстройки», облегчающие дальнейшую экспертную выработку управленческих решений в ответ на то или иное развитие ситуации. В качестве примера можно привести моделирующий комплекс NARAC [Nasstrom, et. al., 2005], позволяющий специалистам составить план борьбы с ЧС. Однако опираться только на мнения экспертов при принятии решений – не всегда правильный выбор. Специально

проведенные серии экспериментов показали, что при одинаковых исходных данных различные группы даже высококвалифицированных исследователей могут давать оценки рисков, отличающиеся в десятки и сотни раз [Колесников, 2013]. По этой причине при решении задач в сфере промышленно-экологической безопасности целесообразно иметь доступ к инструментарию, позволяющему автоматизировать сам процесс принятия решений и снизить влияние субъективности эксперта на конечный результат. В настоящее время в России ведутся разработки, целью которых является автоматизация составления планов действий для борьбы с ЧС. Например, в [Топольский и др., 2016] предлагается информационно-аналитическое обеспечение поддержки поисково-спасательных операций, основной функцией которого является рациональное распределение сил и средств по направлениям поисков. В частности, предложены программные средства, позволяющие составлять карты вероятностей расположения объекта поиска, оптимизировать маршруты следования к заданной области и соответствующим образом перераспределять имеющиеся ресурсы. В [Гудин, Хабибулин, 2017] предлагается модель оптимизации мероприятий по управлению пожарной безопасностью на территории производственных объектов нефтегазовой отрасли. В основе модели лежат генетические алгоритмы для подбора последовательности действий по снижению риска возникновения ЧС на объектах. В работе [Smirnov, et. al., 2011] для определения действий сил борьбы с ЧС предлагается создание самоорганизующейся «умной» среды, основанной на использовании ролевых профилей участников. Предложенное решение включает в себя выработку плана и визуализацию исполнения и ориентировано на оперативное управление в сложившейся ситуации. Однако современные тенденции предупреждения ЧС усиливают значение заблаговременного планирования, когда заранее составляется укрупненный план действий в преддверии той или иной угрозы, а оперативная часть уточняется в конкретных условиях обстановки.

Отметим, что управление в ЧС регламентируется различными нормативными актами, количество которых может насчитывать сотни и даже тысячи единиц, причем они курируются различными ведомствами, и сводится, в итоге, к процессу формирования того или иного планирующего документа. Так как структура различных документов примерно подобна, то открывается возможность автоматизации этого процесса. Такие разработки существуют, в частности, можно отметить программный комплекс [Маслов и др., 2014], позволяющий автоматизировать процесс составления паспортов безопасности. Помимо составления и печати документа, реализованы учет средств защиты и регистрация опасных событий на предприятии. Также можно отметить приложение [Степанян и др., 2014], позволяющее автоматизировать процесс составления инструкций по охране труда. Автоматизация достигается за счет заполнения шаблонов, содержащих информацию из межотраслевых и отраслевых нормативов. В работе [Антохов, Остудин, 2017] предлагается интеллектуальная поддержка деятельности должностных лиц для решения задач повседневной деятельности и в условиях ЧС путем автоматизации работы с нормативными и планирующими документами. В рамках этого исследования была разработана информационная система, позволяющая анализировать наполненность паспортов безопасности и выдавать соответствующие рекомендации по их доработке.

Таким образом, сегодня существуют хорошо развитые средства моделирования и визуализации развития ЧС; ведутся исследования, направленные на автоматизацию планирования действий сил и средств в ходе борьбы с ЧС; разработаны программные средства, позволяющие автоматизировать процесс работы с планирующей документацией, как одного из ключевых элементов управления промышленно-экологическими рисками. Однако известные решения носят «разрозненный» характер и не интегрированы в единую информационную среду, в связи с чем представляется целесообразной разработка базовой унифицированной технологии, которая осуществляла бы комплексное информационно-аналитическое сопровождение процесса предупреждения, локализации и ликвидации ЧС, связанных с деятельностью человека в АЗ РФ. Далее будут рассмотрены теоретические и прикладные разработки авторов настоящей статьи в этом направлении исследований.



2. Методические основы разработок

Степень формализации знаний о социально-экономическом развитии АЗ РФ как для федерального, так и для нижестоящих уровней явно недостаточна для эффективного решения поставленных задач в рамках многообразия государственных программ развития арктических регионов. Для целей систематизации и структуризации проблем развития АЗ РФ, как междисциплинарной предметной области, определим классы по таким основным признакам:

- выделение в рамках АЗ РФ районов $S = \{S_i\}$ по разнородным направлениям: добыча полезных ископаемых, промышленные комплексы, морская инфраструктура, охраняемые природные зоны, транспортные и энергетические коммуникации и т. п.;
- министерства, ведомства, организации $C = \{C_j\}$, функционирующие в АЗ РФ, отличающиеся направлениями деятельности, формами собственности и т. п.;
- цели и задачи $T = \{T_n\}$, поставленные и решаемые в АЗ РФ, различного уровня и характера;
- программы и проекты $P = \{P_k\}$, реализуемые в АЗ РФ.

Выделенные классы обладают собственным внутренним строением. Элементы этих структур, в зависимости от поставленной задачи, могут образовывать новые комплексы – классы объединены совокупностью возможных отношений, связей $R = \{R_m\}$. Таким образом, концептуальная модель M_A развития АЗ РФ представляет собой совокупность $M_A = (S, C, P, T, R)$. Отметим, что каждая из составляющих модели может зависеть от времени t , тогда следует рассматривать модель как динамическую систему $M_A = M_A(t)$.

В проблематике промышленно-экологической безопасности полярного региона, в свою очередь, выделим следующие классы:

- источники и объекты воздействия опасностей $G = \{G_l\}$;
- опасные технологические и природные процессы $D = \{D_q\}$;
- ведомства и организации $O = \{O_x\}$;
- возможные ЧС различных уровней $E = \{E_y\}$.

Эти классы также могут быть объединены в структуры совокупностью отношений, связей $F = \{F_z\}$.

Концептуальная модель M_B техногенно-экологической безопасности арктического региона представляет собой совокупность $M_B = (G, D, O, E, F)$, либо $M_B = M_B(t)$. Пара M_A и M_B представляет собой формальное описание процесса управления безопасностью АЗ РФ и типового полярного региона.

Перейдем к уровню крупного промышленно-природного кластера (ППК) в составе полярного региона. Такой комплекс (например, горно-химическое или горно-металлургическое предприятие) может включать в себя разнообразные опасные объекты, безопасность которых регулируется совокупностью многочисленных критериев. Нормативно-правовая база управления промышленно-природными рисками в Российской Федерации представляет собой разветвленную иерархическую систему документов, начиная от международных актов и соглашений, и вплоть до приказов и распоряжений руководителя организации. Вместе с тем отметим важную роль природно-климатических характеристик АЗ РФ, например, состояния многолетней мерзлоты. Эти и другие особенности учтены при разработке структуры программно-алгоритмического комплекса управления промышленно-экологической безопасностью арктического региона. Комплекс интегрирует разнородные модели: управления безопасностью региона, окружающей среды (территория и инфраструктура), организации сил и средств борьбы с ЧС, а также обеспечивает согласование управленческих решений и синтез моделей функционирования организационных структур безопасности в единой региональной информационной среде в соответствии с существующей нормативной базой регулирования безопасности.

Изложим алгоритм формирования комплекса.

1. Составление начального списка элементов (объектов, цехов, участков) ППК.

В качестве информационных источников для такого списка выступают:

- реестры, кадастровые планы районов, городов и поселков, часть территории которых отведена объектам ППК;
- собственные реестры ППК или иных организаций;
- картографическая информация;
- проектная документация;
- данные дистанционного зондирования и визуального обследования.

При этом, особенно для крупных давно функционирующих ППК (например, для горнодобывающих предприятий), следует иметь в виду, что:

- в различных документах один и тот же физический объект может иметь разные идентификаторы;
- некоторые действующие объекты могут быть не отражены в документах;
- некоторые объекты по документам могут быть проведены как действующие, а фактически не используются или даже снесены.

В результате на первом шаге составляется интегрированный перечень всех наличных элементов ППК. При этом может возникнуть необходимость введения новой унифицированной идентификации объектов.

2. Составление списка потенциально опасных или критически важных элементов ППК, для которых законодательно необходим контроль безопасности, и формирование массива данных по ним. В качестве информационного источника выступают результаты первого шага, а также совокупность релевантных нормативных актов. Для всех таких объектов формируется набор данных, характеризующих промышленно-экологическую безопасность.

3. Составление списка обязательных и рекомендуемых положений законов и нормативов. Для каждого элемента ППК и каждого вида опасности составляется перечень требований по промышленно-экологической безопасности. Заметим, что при этом для аналогичных объектов могут получиться более или менее отличающиеся наборы положений. Это может произойти из-за особенностей в технологических процессах, в оборудовании, в опасных веществах, в природно-климатических условиях и т. п.

4. Сопоставление требований и фактических характеристик, констатация различий, составление списка элементов ППК, для которых по нормативам должна быть выполнена оценка риска. Этот шаг также реализуется, исходя из результатов предыдущего этапа, с учетом положений о критериях необходимости оценки риска. Следовательно, по итогам этого шага множество опасных элементов ППК подразделяется на объекты, для которых необходима дальнейшая количественная оценка риска, и объекты, для которых эта процедура не требуется, но регулярный мониторинг безопасности все равно проводится.

5. Составление итогового планирующего документа (декларация, паспорт, план). По итогам предыдущего шага для одних объектов производится расчет риска, для других формируется документ в виде перечня выполненных требований.

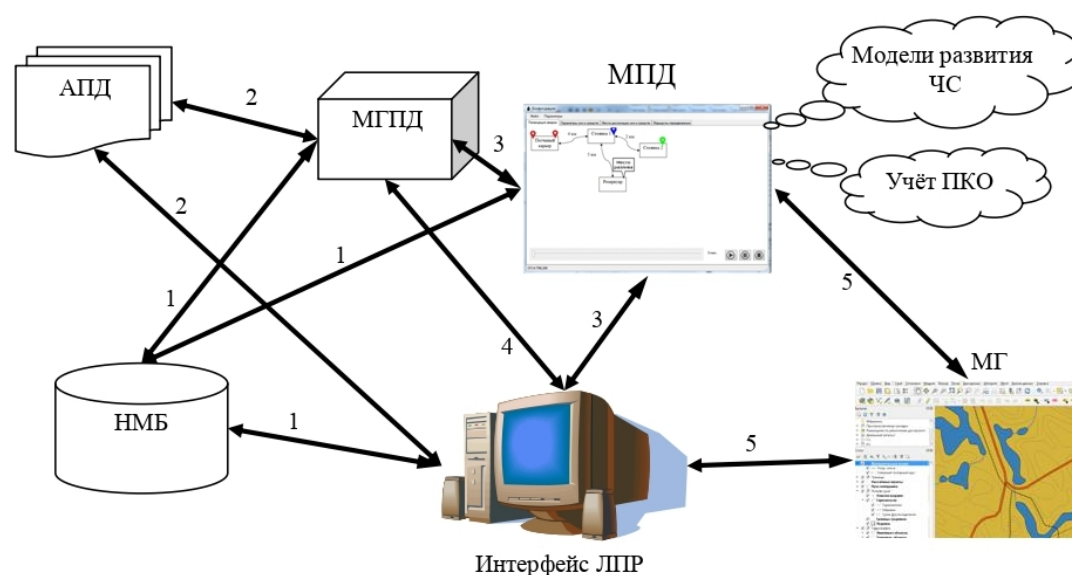
3. ИТ поддержки управления промышленно-экологической безопасностью

Ключевой особенностью разработанной информационной технологии поддержки управления рисками промышленно-природных ЧС, характерных для АЗ РФ, является интеграция различных функций управления в условиях ЧС: от мониторинга и анализа ситуации – до планирования и координации действий с учетом оперативного контекста обстановки и контроля их исполнения. Технология включает в себя следующие основные этапы: согласование выбираемых управляющих воздействий с нормативно-методической базой, запросы в архивных материалах, построение математической модели, проведение расчетов для количественной оценки риска ЧС, создание (сборка) итоговых планирующих документов. Алгоритмическая структура этих этапов и информационные потоки между ними подробно изложены в работе [Шемякин и др., 2016].

На рис. 1 представлена обобщенная схема взаимодействия компонентов системы поддержки принятия решений по управлению техногенно-экологической безопасностью, реализованной на базе созданной технологии. Стрелками на рис. 1 обозначены каналы обмена информацией между компонентами системы.

В зависимости от текущей задачи пользователь (ЛПР или эксперт по безопасности) может осуществить следующие действия:

1. Обратиться к нормативно-методической базе с целью поиска требуемого нормативного акта или регламента.
2. Обратиться к архиву планирующей документации, например, для получения справочной информации относительно того или иного промышленного объекта.
3. Обратиться к модулю генерации планирующей документации.
4. Обратиться к модулю планирования действий в условиях возникновения ЧС.
5. Обратиться к модулю геовизуализации для получения справочной информации о рельефе местности в районе расположения промышленного объекта или ЧС.



Обозначения:

НМБ – нормативно-методическая база
АПД – архив планирующей документации
МГПД – модуль генерации планирующих документов
МГ – модуль геовизуализации
МПД – модуль планирования действий
ПКО – природно-климатические особенности
ЛПР – лицо, принимающее решение

Обмен информацией между компонентами системы:

- 1 - сведения об актуальности нормативных актов, запросы на обновление, тексты нормативных актов
- 2 - запрос архивных документов и отправка созданных документов в архив
- 3 - календарный план борьбы с ЧС
- 4 - текст планирующего документа, запрос данных у пользователя
- 5 - геоданные

Рис. 1. Концептуальная схема взаимодействия компонентов системы поддержки принятия решений по управлению промышленно-экологической безопасностью региона

Fig. 1. Component interaction conceptual model of decision support system for industrial and environmental safety management of the region

Технология предусматривает «сквозной» обмен данными между всеми элементами системы в процессе управления ЧС. Например, при работе с модулем планирования действий в ходе оперативного реагирования на аварийную ситуацию может возникнуть необходимость загрузить из модуля геовизуализации сведения о зданиях и сооружениях, расположенных в зоне ЧС.

Отличительными функциональными особенностями системы поддержки принятия решений по управлению промышленно-экологической безопасностью региона являются

использование подсистемы формирования планирующей документации, а также средств визуализации принимаемых управленческих решений в условиях ЧС. Рассмотрим далее реализацию этих системных компонентов более подробно.

Подсистема разработки планирующих документов

Нормативное регулирование разветвленной хозяйственной деятельности требует оперативного манипулирования сложной системой документации и разработки на этой основе взаимосвязанных планов и программ управления риск-устойчивым региональным развитием. Основой планирования действий по локализации и ликвидации ЧС является существующая нормативно-методическая база (НМБ), доступ к которой предоставляется в рамках разработанной системы поддержки принятия решений. На основе существующей НМБ в организации, занимающейся управлением промышленно-экологическими рисками, создаются различные планирующие документы, в рамках которых, в том числе, определяются сценарии и риски возникновения и развития ЧС, а также способы борьбы с ЧС.

Структура планирующего документа (например, паспорта безопасности) в большинстве случаев жестко регламентирована ведомственными приказами или подобными нормативными актами. Для упрощения процедуры разработки документа в рамках созданной системы поддержки принятия решений предусмотрен соответствующий модуль генерации (МГПД), который на основе исходных данных в автоматизированном режиме формирует итоговый вариант, используемый при планировании действий по борьбе с ЧС на опасном производственном объекте.

Документ, созданный в результате работы МГПД, сохраняется в архиве, откуда может быть извлечен пользователем для непосредственной работы с ним, либо может использоваться в качестве исходных данных при создании новых планирующих документов или обновлении существующих.

МГПД состоит из четырех основных блоков: библиотеки шаблонов документов, библиотеки расчетных модулей, библиотеки информационных блоков, собственно модуля генерации (рис. 2).

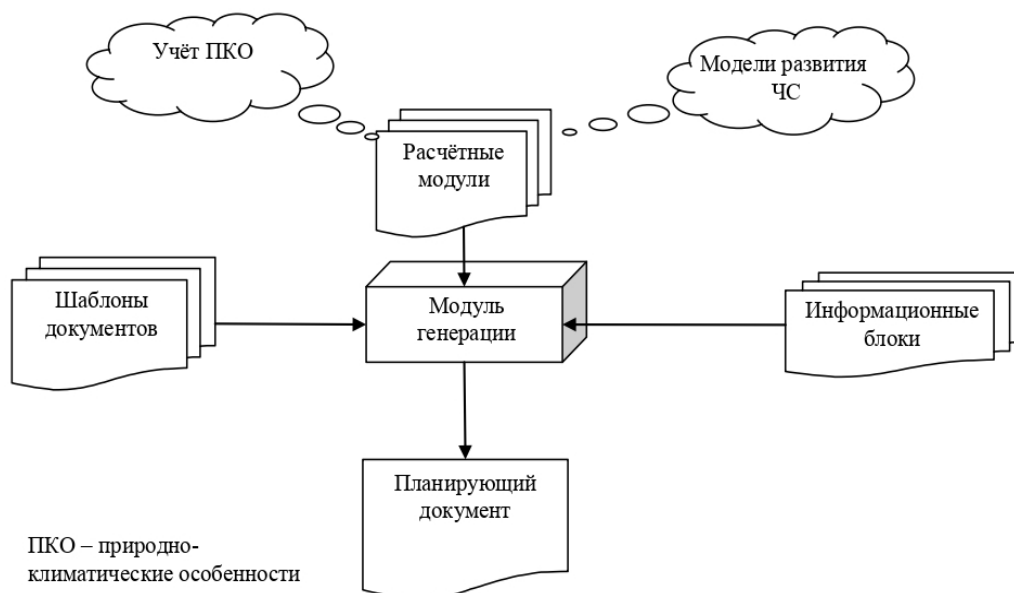


Рис. 2. Схема работы модуля генерации планирующих документов

Fig. 2. Generation module functioning scheme of the safety planning documents

Для создания конкретного планирующего документа первоначально выбирается соответствующий шаблон. Далее используются заранее созданные информационные блоки, которые вставляются в итоговый вариант. Для выполнения процедуры оценки рисков ЧС производится обращение к соответствующему расчетному модулю. Таким образом,

пользователь указывает, какой вид документа требуется создать; подбирает необходимые информационные блоки; указывает исходные данные для проведения расчетов риска. Модуль генерации на основе данных, введенных пользователем, формирует итоговый планирующий документ.

Комплекс средств визуализации принимаемых решений

На примере задачи планирования действий сил и средств в условиях ЧС предложен подход [Зуенко и др., 2019; Шемякин и др., 2019], нацеленный на снижение неопределенности при принятии решений. Требуемую точность воспроизведения обстановки предлагается определять, исходя из оценки риска ЧС. Двумерные план или карта обеспечивают потребности моделирования незначительных (по вероятности и возможному ущербу) событий. Для крупных аварий следует использовать трехмерные модели (рис. 3).

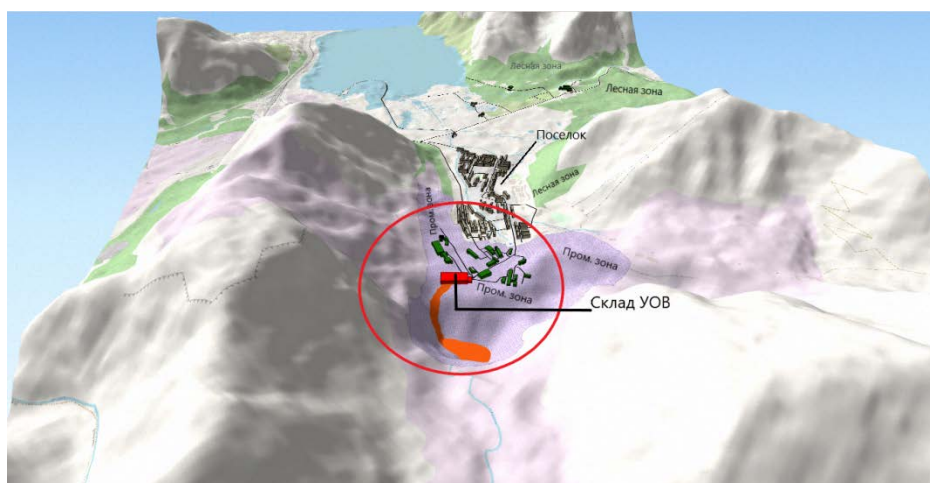


Рис. 3. Пример моделирования рельефа местности в зоне ЧС
Fig. 3. An example of territory relief modeling within the area of emergency situation

Детализация и приближение к реальности при моделировании промышленно-природных ЧС способствуют повышению точности и обоснованности принимаемых решений. Однако использование сложных моделей требует определенных затрат, которые следует соотносить с возможными выгодами. Полезным свойством предложенного подхода является также применение единой ГИС-платформы, а не совокупности программ из различных платформ. Так, в [Павлов и др., 2015; Христодуло и др., 2019] предлагается программная система визуализации зоны ЧС на нефтеперерабатывающем предприятии. Исходными данными являются 3D-модели производственных объектов и геоданные об их расположении на местности. 3D-модели подготавливаются в пакетах трехмерного моделирования, геоданные – при помощи геоинформационных систем. В [Сакова, Скрынник, 2015] для визуализации зоны ЧС было разработано веб-приложение, которое использовало геоданные из «Яндекс.Карты». Реализация веб-приложения требовала использования сторонних библиотек.

Отметим, что в настоящее время применяемые в современных системах поддержки принятия решений ситуационных центров региона средства визуального моделирования динамики (анимация) процессов развития аварий и действий сил в условиях техногенно-экологических ЧС недостаточно развиты и требуют совершенствования для повышения контроля исполнения решений по борьбе с этими ЧС. Отображение различных сценариев и вариантов локализации, развития и ликвидации ЧС представляется весьма эффективным инструментом, стимулирующим творческие и когнитивные способности ЛПР и экспертов в сфере ситуационного управления безопасностью критически важных объектов региона.

Рассмотренный комплекс средств поддержки принятия решений и технология управления промышленно-экологической безопасностью использованы при создании планирующих документов по оценке рисков ЧС для предприятий Мурманской области.

Основные результаты практической реализации разработок и области их применения системно отражены на рис. 4.

Детализируем основные направления внедрения результатов:

Устойчивость в условиях ЧС. Проведен анализ устойчивости крупного горно-химического предприятия при разнородных ЧС.

Анализ безопасности гидротехнических сооружений. Рассчитан вероятный вред при авариях для хранилищ отходов и гидротехнического комплекса горнодобывающего предприятия.

Системы управления безопасностью. Спроектирована автоматизированная система управления техногенной безопасностью горно-химического предприятия, разработан прототип АРМ-специалиста по управлению промышленной безопасностью.



Рис. 4. Сферы применения и результаты практической реализации разработок
Fig. 4. Developments application fields and implementation results

Разработка деклараций безопасности. Проведен системный анализ безопасности и рисков пожаровзрывоопасных объектов, химически опасных объектов, гидротехнических сооружений.

Разработка паспортов безопасности. Выполнена комплексная оценка рисков аварий и ЧС для промышленных и социальных объектов Кольского полуострова.

Планы борьбы с разливами нефтепродуктов. Разработаны тринадцать планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов различных уровней.

Разработка планов защищенности. Созданы планы обеспечения защищенности критически важных объектов региона, в частности, планы антитеррористической защищенности социально-значимых объектов.

Разработка трехмерных моделей объектов и рельефа. Совместно с Горным институтом Кольского научного центра РАН созданы объемные компьютерные модели рельефа промплощадок рудников и модели зданий и сооружений горнодобывающего предприятия.

Разработка планов действий в ЧС, планов гражданской обороны. Выполнено планирование действий по борьбе с промышленно-природными ЧС для разнородных объектов Мурманской области, планирование мероприятий по гражданской обороне.



Упомянем некоторые объекты, на которых внедрены представленные результаты: АО «Апатит» и его подразделения, АО «Мурманская ТЭЦ», АО «Мурманоблгаз», АО «Хладокомбинат», АО «Оленегорский механический завод», ООО «Апатитский молочный комбинат». Все выполненные работы нацелены на повышение безопасности, снижение рисков ЧС для объектов Мурманской области и региона в целом.

Заключение

В ходе проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Разработана трехуровневая теоретико-множественная модель, представляющая собой интегрированное формализованное описание предметной области (промышленно-экологической безопасности).

2. Для крупного промышленного предприятия разработаны конструктивный метод формирования и базовая структура программно-алгоритмического комплекса управления техногенно-экологической безопасностью, обеспечивающего интеграцию разнородных моделей и соответствие нормативным регулирующим ограничениям.

3. Предложена унифицированная информационная технология для решения задач превентивного управления техногенными и природными ЧС, характерными для полярных регионов. Отличительной особенностью технологии является реализация подсистемы формирования планирующей документации и согласования принимаемых управленческих решений с актуальными нормативно-правовыми актами.

4. Разработан и апробирован комплекс средств визуализации процесса принятия решений, нацеленный на повышение точности и наглядности результатов управленческой деятельности в сфере обеспечения промышленно-экологической безопасности.

Результаты исследования нашли применение при решении задач информационно-аналитического обеспечения промышленно-экологической безопасности на территории Мурманской области, а также будут использованы при реализации основных направлений государственной политики России в Арктике на период до 2035 года в части разработки систем поддержки принятия решений для региональных ситуационных центров.

Список литературы

1. Антюхов В.И., Остудин Н.В. 2017. Моделирование процесса интеллектуальной поддержки деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России при принятии управленческих решений. Научно-аналитический журнал «Вестник СПбГУ ГПС МЧС России», 2: 78–93.
2. Бурков В.Н., Титаренко Б.П. 2017. Разработка механизмов управления риском чрезвычайных ситуаций. Вестник МГСУ, т. 12, 5 (104): 559–563.
3. Гудин С.В., Хабибулин Р.Ш. 2017. Модель оптимизации мероприятий для управления пожарными рисками на территории нефтегазовых объектов с использованием генетических алгоритмов. Проблемы анализа риска, 1 (14): 40–45.
4. Зуенко А.А., Яковлев С.Ю., Шемякин А.С., Олейник Ю.А. 2019. Применение технологии программирования в ограничениях для планирования действий в чрезвычайных ситуациях. Информационные технологии и вычислительные системы, 1: 26–37.
5. Колесников Е.Ю. 2013. Количественное оценивание неопределенности техногенного риска (Часть 1). Проблемы анализа риска, т. 10, 2: 48–71.
6. Маслобоев А.В., Путилов В.А. 2016. Информационное измерение региональной безопасности в Арктике. Апатиты, КНЦ РАН, 222.
7. Павлов С.В., Христовуло О.И., Гизатуллин А.Р., Соколова А.В. 2015. Обработка двумерной пространственной информации в составе 3D модели промышленного объекта. Нефтегазовое дело, (13) 1: 152–158.
8. Попов Е.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Гаврилов С.Л., Седнев В.А., Лысенко И.А. 2019. Анализ информационно-моделирующих систем поддержки принятия решений при реагировании на чрезвычайные ситуации радиационного характера. Технологии техносферной безопасности, 2 (84): 119–131.

9. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» 2017. (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017г. №1632-р). [Электронный ресурс] URL: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>.
10. Сакова Н.В., Скрынник А.А. 2015. Моделирование химической аварии на предприятии г. Рыбинска. Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева, 2 (33): 145–149.
11. Сборник работ лауреатов. 2018. Международный конкурс научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа. М., ООО «Технологии развития», 224.
12. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013661875. Программный комплекс «Паспорт безопасности» / О.М. Маслов, И.А. Гайченя, Н.А. Стебенов, Д.А. Морозов; заявл. 18.12.2013; опубл. 20.01.14.
13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2014614143. Разработка инструкций по охране труда / А.Р. Степанян, О.В. Вересов, С.В. Чемоданов, А.М. Карасев; заявл. 17.04.2014; опубл. 20.05.2014.
14. Титаренко Б.П., Бурков В.Н. 2017. Оценка эффективности механизмов управления риском чрезвычайных ситуаций, Вестник МГСУ. т. 12, 5 (104): 581–585.
15. Топольский Н.Г., Семиков В.Л., Прус Ю.В., Яковлев О.В., Береснев Д.С. 2016. Информационно-аналитическое обеспечение поддержки управления поисково-спасательными работами. Системы управления и информационные технологии, 4-1 (66): 194–196.
16. Христоделу О.И., Павлов С.В., Соколова А.В. 2019. Информационная поддержка принятия решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на промышленных объектах на основе технологий трехмерного геоинформационного моделирования. Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета, 1 (21): 24–34.
17. Шемякин А.С., Яковлев С.Ю., Маслобоев А.В. 2019. Компьютерная визуализация в задачах информационной поддержки принятия решений. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика, т. 46, 3: 540–552.
18. Шемякин А.С., Яковлев С.Ю., Олейник Ю.А., Маслобоев А.В. 2016. Автоматизация разработки планирующей документации по снижению промышленно-экологических рисков. Вестник Иркутского государственного технического университета, т. 20, 9: 74–85.
19. Nasstrom J.S., Sugiyama G., Baskett R.L., Larsen Sh.C., Bradley M.M. 2005. The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Support System for Radiological and Nuclear Emergency Preparedness and Response. [Электронный ресурс] URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc882611/m1/7/>
20. Smirnov A., Levashova T., Shilov N. 2011. Ubiquitous computing in emergency: Role-based situation response based on self-organizing resource network. Proceedings of IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA): 94-101.

References

1. Antyukhov V.I., Ostudin N.V. 2017. Modeling of the process of intellectual support of activities of officials of control centres in crisis situations of Emercom of Russia in making management decisions. Scientific-analytical journal «Bulletin of Saint-Petersburg university of state fire service of Emercom of Russia», 2: 78–93. (in Russian)
2. Burkov V.N., Titarenko B.P. 2017. Development of mechanisms for emergency risk management. Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering, vol. 12, 5 (104): 559–563. (in Russian)
3. Gudim S.V., Khabibulin R.Sh. 2017. Model for optimizing fire risk management activities in the territory of oil and gas production facilities using genetic algorithms. Issues of Risk Analysis, 1 (14): 40–45. (in Russian)
4. Zuenko A.A., Yakovlev S.Yu., Shemyakin A.S., Oleynik Yu.A. 2019. Application of constraint programming technology for planning action in emergency situations. Journal of Information Technologies and Computing Systems, 1: 26–37. (in Russian)
5. Kolesnikov E.Yu. 2013. Uncertainty quantitative assessment of technogenic risk (Part 1). Issues of Risk Analysis, vol. 10, 2: 48–71. (in Russian)
6. Masloboev A.V., Putilov V.A. 2016. Informatsionnoe izmerenie regional'noy bezopasnosti v Arktike [Information dimension of regional security in the Arctic]. Apatity: KSC RAS, 222. (in Russian)



7. Pavlov S.V., Khristodulo O.I., Gizatullin A.R., Sokolova A.V. 2015. Processing two-dimensional spatial information as part of an industrial facility 3D model. *Oil&Gas Business*, 13 (1): 152–158. (in Russian)
8. Popov E.V., Pantelev V.A., Segal' M.D., Gavrilov S.L., Sednev V.A., Lysenko I.A. 2019. Analysis of information and modeling systems to support decision-making in responding to radiation emergencies. *Scientific journal Technologies of technosphere safety*, 2 (84): 119–131. (in Russian)
9. Program «Digital Economy of Russian Federation» 2017. (Government order of Russian Federation 28 July 2017. No. 1632-r). [Electronic resource] Available at: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>. (in Russian)
10. Sakova N.V., Skrynnik A.A. 2015. Chemical accident modeling at the enterprise of Rybinsk. *Bulletin of Rybinsk state aviation technical university*, 2 (33): 145–149. (in Russian)
11. Laureates proceedings. 2018. International competition in research, scientific-technical and innovative developments, oriented to development and exploration of the Arctic and continental shelf. Moscow, Development technologies Publisher, 224. (in Russian)
12. State registration certificate of computing system No. 2013661875. Software system «Safety passport» / O.M. Maslov, I.A. Gaychenya, N.A. Stebenev, D.A. Morozov; application 18.12.2013; published 20.01.14. (in Russian)
13. State registration certificate of computing system No. 2014614143. Guidelines development of occupational safety and health / A.R. Stepanyan, O.V. Veresov, S.V. Chemodanov, A.M. Karasev; application 17.04.2014; published 20.05.2014. (in Russian)
14. Titarenko B.P., Burkov V.N. 2017. Evaluation of the effectiveness of economic mechanisms for emergency risk management. *Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering*, vol. 12, 5 (104): 581–585. (in Russian)
15. Topol'skiy N.G., Semikov V.L., Prus Yu.V., Yakovlev O.V., Beresnev D.S. 2016. Information and analytical support of search and rescue management. *Control systems and information technologies*, 4–1 (66): 194–196. (in Russian)
16. Khristodulo O.I., Pavlov S.V., Sokolova A.V. 2019. Decision-making information support for prevention and elimination of emergency situations at industrial objects on the basis of 3D geoinformation modeling technology. *Auditorium. Online scientific journal of Kursk state university*, 1 (21): 24–34. (in Russian)
17. Shemyakin A.S., Yakovlev S.Yu., Masloboev A.V. 2019. Computer visualization for information support decision making. *Scientific bulletin of Belgorod state university. Economics and informatics Series*, vol. 46, 3: 540–552. (in Russian)
18. Shemyakin A.S., Yakovlev S.Yu., Oleynik Yu.A., Masloboev A.V. 2016. Software for automated development of planning documentation on industrial-ecological risks decreasing. *Bulletin of Irkutsk state technical university*, vol. 20, 9: 74–85. (in Russian)
19. Nasstrom J.S., Sugiyama G., Baskett R.L., Larsen Sh.C., Bradley M.M. 2005. The National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Support System for Radiological and Nuclear Emergency Preparedness and Response. [Elektronnyy resurs] URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc882611/m1/7/>
20. Smirnov A., Levashova T., Shilov N. 2011. Ubiquitous computing in emergency: Role-based situation response based on self-organizing resource network. *Proceedings of IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA)*: 94–101.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Маслобоев Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий управления региональным развитием Института информатики и математического моделирования Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. Masloboev, Doctor of Technical Sciences, Associate professor, Leading Researcher in Department of information technologies for regional development management, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal Research Center “Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia



Шемякин Алексей Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории информационных технологий управления региональным развитием Института информатики и математического моделирования Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия

Яковлев Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий управления региональным развитием Института информатики и математического моделирования Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, Россия

Aleksey S. Shemyakin, Junior Researcher in Department of information technologies for regional development management, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal Research Center “Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia

Sergey Yu. Yakovlev, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Senior Researcher in Department of information technologies for regional development management, Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal Research Center “Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences”, Apatity, Russia