

Технологии комплексной поддержки управления природно-техногенной безопасностью

Л. Ф. Ноженкова, В. В. Ничепорчук*

Институт вычислительного моделирования СО РАН, 660036, Красноярск, Россия

*Контактный автор: Ничепорчук Валерий Васильевич, e-mail: valera@icm.krasn.ru

Поступила 03 мая 2023 г., принята в печать 09 июня 2023 г.

Представлены результаты научных исследований по разработке технологий управления природно-техногенной безопасностью и созданию интеллектуальных информационно-управляющих систем для объектов и территорий, выполненных в Институте вычислительного моделирования СО РАН. Цель исследований — системное изучение процессов обеспечения безопасности населения и инфраструктуры, применение новых технологических подходов к комплексному решению задач оперативного и стратегического управления. Описаны методы интеграции экспертных, геоинформационных и вычислительных технологий, реализация современных подходов к интеллектуальной обработке больших данных комплексного мониторинга для снижения рисков и раннего предупреждения чрезвычайных ситуаций. На их основе разработаны технологии построения интегрированных информационно-управляющих систем, внедрение которых позволило комплексно решить ряд ключевых задач управления природно-техногенной безопасностью территорий.

Ключевые слова: природно-техногенная безопасность, интеллектуальные системы, моделирование чрезвычайных ситуаций, информационные ресурсы.

Цитирование: Ноженкова Л.Ф., Ничепорчук В.В. Технологии комплексной поддержки управления природно-техногенной безопасностью. Вычислительные технологии. 2023; 28(4):109–121. DOI:10.25743/ICT.2023.28.4.009.

Введение

Стремительно меняющиеся промышленные технологии, климат, турбулентность общественных отношений являются причиной возрастания рисков различного генезиса. Для обеспечения безопасности жизнедеятельности населения, устойчивого развития регионов, реализации инвестиционных проектов необходимо учитывать действие и тренды множества внешних и внутренних факторов социально-природно-техногенных систем [1]. Вероятностный характер возникновения и развития чрезвычайных ситуаций (ЧС), неопределенность факторов опасности затрудняют принятие решений по экстренному реагированию и применению сил и средств. Большие масштабы потерь от стихийных бедствий и техногенных катастроф не позволяют провести натурные эксперименты по выбору эффективных решений в комфортных условиях. Предупредительные мероприятия по снижению рисков на уровне территорий, как правило, основываются на экспертных оценках и зачастую приводят к нерациональному распределению ресурсов. Вместе с тем накоплены большие массивы информации, описывающие успешный опыт борьбы со стихией, интегрального контроля технологических процессов, парирования угроз. Тиражирование этих знаний, дополнение их актуальной и конструктивной информацией является предметом междисциплинарных исследований [1].

Катастрофы новейшей истории показывают необходимость системного подхода к предотвращению ЧС, обеспечению высокой готовности к действиям в экстренных ситуациях. С момента создания МЧС России в 1993 г. руководство министерства активно поддерживает научные разработки. В МЧС России, Ростехнадзоре, Росатоме, в Российской академии наук и в других ведомствах активно проводятся научные разработки в области моделирования, прогнозирования нештатных и чрезвычайных ситуаций, автоматизированного формирования решений в кризисных ситуациях. Сформулированы задачи повышения оперативности и эффективности управления на основе комплексного описания ситуаций, предоставления лицам, принимающим решения, достоверной и качественной информации о возможных последствиях и рациональных способах реагирования. Однако реализация экстренного управления осложняется необходимостью информационного обмена и координации взаимодействия между большим количеством формирований и органов управления, оценки динамики расхода и восполнения ресурсов. Оперативные службы принимают решения в условиях неопределенности, жестких ограничений по времени. Опыт эксплуатации систем автоматизированного управления производством показал эффективность систем поддержки принятия решений [2]. Масштабирование их на территориальный уровень потребовало неординарных усилий организационного и научно-технического характера, реализующихся и в настоящее время.

Применение новых информационных технологий, позволяющих перерабатывать большие объемы данных для формирования решений, приближенных к реальным условиям, является очередным этапом научных разработок. Изменились задачи обеспечения природно-техногенной безопасности, характеристики защищаемых объектов, территорий, а также социальные факторы. Оперативные и стратегические решения принимает другое поколение специалистов, изучившее опыт ликвидации масштабных ЧС, активно использующее в работе аналитические методы и информационные технологии. Внедрению управляющих систем способствуют принятые нормативные акты, новые методики и стандарты [3].

В статье описаны оригинальные технологические подходы к построению интеллектуальных систем поддержки управления природно-техногенной безопасностью территорий, разработанные красноярскими учеными и получившие признание на федеральном и международном уровне.

1. Технологии комплексного решения задач управления

Комплексный подход к предупреждению ЧС и управлению территориальной безопасностью включает оперативное и стратегическое управление.

Оперативное управление заключается в решении задач мониторинга опасностей и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера. К числу техногенных ЧС, обладающих наиболее высокими уровнями риска, относятся химические аварии, связанные с утечкой опасных веществ, взрывы и пожары на промышленных объектах, а также при перевозках по железной дороге и автотранспортом. Типичными чертами техногенных аварий являются скоротечность, высокая опасность для персонала предприятия и окрестного населения, возможность перерастания аварии в серьезную экологическую проблему. Не менее важны проблемы формирования неотложных решений при возникновении природных опасных явлений. Как следует из анализа статистических данных, наиболее высокими уровнями риска среди природных видов ЧС обладают паводковые ситуации и лесные пожары. Важнейши-

ми задачами для уменьшения последствий этих видов ЧС являются заблаговременное прогнозирование и поддержка принятия решений по проведению предупредительных мероприятий, ликвидации последствий и защите населения.

Для комплексной автоматизированной поддержки перечисленных задач оперативного управления жизненно важен переход от информационно-справочных систем, пригодных, как правило, лишь для ретроспективного анализа ЧС, к созданию интегрированных управляющих систем, позволяющих выполнять конструктивную поддержку непосредственно в кризисной ситуации, включая формирование рекомендаций для принятия оптимальных решений. Такие возможности удалось реализовать за счет сочетания технологий экспертных систем (ЭС), геоинформационных систем (ГИС), оперативной аналитической обработки данных (OLAP), динамического картографирования.

Стратегическое управление включает задачи оценивания и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций и смягчения последствий от ЧС природного и техногенного характера. Они также относятся к числу комплексных задач организационного управления, и для их решения необходим гибридный подход, основанный на сочетании разных компьютерных технологий. Так, технологии интеллектуального анализа больших данных мониторинга в сочетании с динамическим картографированием и инфографической визуализацией позволяют решать задачи оценивания и прогнозирования рисков чрезвычайных ситуаций, ситуационного моделирования для оценивания возможных последствий ЧС.

Комплексный подход к созданию систем поддержки принятия решений, основанный на совместном применении различных информационных технологий, открыл новые перспективы в реализации задач оперативного и стратегического управления. Об этом свидетельствуют представленные далее конкретные разработки, выполненные при непосредственном участии авторов.

2. Экспертные системы на “боевом дежурстве”

Инициатором работ по созданию систем поддержки принятия решений в 1992 г. выступило руководство штаба по делам гражданской обороны (ГО) и ЧС Красноярского края. Сотрудничество специалистов ГО и ЧС с лабораторией прикладной информатики Вычислительного центра СО РАН не ограничивалось разработкой инновационных программных продуктов. В 1990-х гг. было проведено несколько научных конференций всероссийского уровня, разработаны программы подготовки специалистов.

Изначально перед исследователями была поставлена сложная задача — формализовать процессы ликвидации последствий химических аварий и действия по защите населения. Актуальность разработок обусловлена большим количеством химически опасных объектов (более 120 в крае, из них 30 — в городе Красноярске), а также скоротечностью ЧС, их тяжелыми последствиями, необходимостью оперативного принятия решений по организации взаимодействия формирований разного профиля и ведомственной подчиненности.

Экспертная система по ликвидации аварий (ЭСПЛА) спроектирована и реализована с учетом экстремальных условий, в которых принимаются решения. Графический интерфейс системы (первая версия системы разработана под MS DOS) позволял “в один клик” запустить экспертную систему для формирования решений в режиме диалога с пользователем, получить справочную и картографическую информацию, другие ин-

формационные ресурсы. С помощью редактора баз знаний машинные решения постоянно дополнялись и детализировались [4].

Научные исследования проблем безопасности в период 1990-х гг. проводились в рамках Федеральных целевых программ “Безопасность населения и народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф”, “Снижение рисков и смягчение последствий ЧС”, государственным заказчиком которых выступало МЧС России. В этот период разработаны методы представления и применения баз знаний, технологии проектирования экспертных геоинформационных систем для решения функциональных задач поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Реализованы модели представления знаний, формально-эвристические методы структурирования знаний, стратегии эффективного логического вывода для формирования решений по ликвидации ЧС.

Новые подходы к проектированию экспертных геоинформационных систем позволили создать многоуровневую модульную экспертную ГИС ЭСПЛА [5]. Это инструментальная среда, включающая средства организации совместного функционирования разных технологий в процессе формирования решений и информационно-графического моделирования. Разработаны и внедрены программные продукты: система ЭСПЛА 3.0 по ликвидации химических аварий, взрывов и пожаров на промышленных объектах и транспорте, подсистемы ГИС “Безопасность региона” для районирования территорий по уровням рисков ЧС [6].

Система ЭСПЛА 3.0 представлялась на постоянно действующей выставке разработок Сибирского отделения РАН, многочисленных научных мероприятиях. График учений диспетчеров химически опасных объектов края и оперативных дежурных смен органов управления в обязательном порядке включал тренировку навыков принятия решений с использованием экспертной системы.

Продолжением линейки экспертных геоинформационных систем поддержки экстренного реагирования является ЭСПЛА-ПРО [7, 8]. Появилась возможность расчета последствий химических аварий по методике ТОКСИ, добавлены сценарии ситуаций, связанных с техногенными взрывами и пожарами различной природы. Разнообразие методик позволяет использовать систему для проведения экспертизы планов ликвидации аварийных ситуаций, разработки деклараций безопасности потенциально опасных объектов. Впервые реализован расчет зон затоплений на основе цифровых моделей рельефа [9]. Переработана интеллектуальная подсистема. Для описания многоэтапных сценариев событий использован продукционно-фреймовый подход. В системе реализованы модульный принцип построения, динамическое формирование интерфейса, возможность изменения структуры информационных ресурсов, подключения расчетных модулей. Компоненты используются как самостоятельные программы для расчетов последствий ЧС природного и техногенного характера, получения справочной информации для принятия решений.

Процесс и результаты ситуационного моделирования показаны на рис. 1. Функционирование ЭСПЛА-ПРО реализовано в виде эстафеты присоединенных процедур, автоматически вызывающих разные модули. Для запуска процесса формирования решений по экстренному реагированию задаются место возникновения, вид ситуации и параметры факторов опасности. Структура исходных данных аналогична карточкам событий, заполняемых операторами аварийных служб. В процессе логического вывода выполняются:

- расчет возможных последствий ЧС;

- формирование карты события и перечня защищаемых объектов, функционирование которых может быть нарушено;
- расчет количества людей в зоне ЧС, оценка доли маломобильных, нуждающихся в эвакуации;
- оценка потребностей в формированиях и ресурсах;
- разработка рекомендаций по ликвидации ЧС и проведению мероприятий защиты с указанием дислокации, возможностей привлекаемых формирований и масштаба работ.

Продолжительность процесса моделирования ситуации, включая расчеты последствий воздействий опасных факторов, формирование новых пространственных данных, их отображение на мультимасштабной карте, выборку информации из разных таблиц и их отображение в шаблонах донесений, — менее одной минуты. В результате работы экспертной подсистемы формируются решения по экстренному реагированию, состоящие из текстов оповещения руководящего состава и населения, рекомендуемого состава сил и средств, справочной информации о месте и характеристиках ситуации. Редактор баз знаний предназначен для создания и дополнения сценариев ситуаций, детализации рекомендаций по мере подключения новых информационных ресурсов. Реализован процесс формализации существующих планов действий по предупреждению и ликвидации ЧС объектового и муниципального уровней. Для работы оперативных групп разработан мобильный кросс-платформенный вариант системы.

С 2000 г. разработки систем поддержки принятия решений в области чрезвычайных ситуаций связаны с активным развитием в отделе прикладной информатики ИВМ СО РАН технологий оперативной аналитической обработки данных OLAP (on-line analytical processing). В связи с необходимостью обработки больших объемов данных заинтересованность в применении таких технологий проявило Управление здравоохране-

The screenshot displays the 'ЭСПА-ПРО' (Expert System for Flood Simulation) interface. It includes a main window with a tree view of simulation parameters, a map of the flooded area, and several report windows. One report window, titled 'Справка о районе ЧС Красноярский край ЗЕЛЕНГОРСК', contains a table of evacuation routes. Another report window, 'ТЕКСТ ОПОВЕЩЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ', provides instructions for the population. A third report window, 'ДОМА И ОБЪЕКТЫ В ЗОНЕ ЗАТОПЛЕНИЯ', contains a table of houses and objects in the flooded area.

Название	Адрес	Ответственный	Телефон	Емкость
База отдыха им. Борникова	База отдыха им. Борникова	Трофимова Татьяна Мисигиловна	2-54-88	100
ГБОУ ШД№39	ГБОУ ШД№39	Боголов Евгений Александрович	4-88-71	1500
ДК Пх "Пискара"	ДК Пх "Пискара"	Бабайков А. П.	2-88-51	300
МОУ ДОД СТЦ "Витязь"	МОУ ДОД СТЦ "Витязь"	Мисигилов Л. Н.	2-55-41	100
МОУ ДОД ЦЭМТ	МОУ ДОД ЦЭМТ	Кузьмина Лариса Владимировна	2-91-56	100
МОУ МУК	МОУ МУК	Таскина Н. Я.	2-33-80	400

Улица	Номер дома	Проживает	женщин	детей	Примечание
Набережная	18	878	500	149	
Набережная	16	897	511	152	
Энергетиков	2	563	321	96	
Энергетиков	2	3148	1794	535	
Набережная	18	4073	2377	607	

Рис. 1. Формирование рекомендаций и отчетных форм при затоплении территорий
Fig. 1. Formation of recommendations and reporting forms in case of territories flooding

ния Красноярского края, которое выступило инициатором создания ряда информационных систем. В их числе: “Система ведения справочников”, “СтатЭкспресс” — система сбора и анализа данных статистической отчетности, “Менеджер хранилища данных”, “Атлас здоровья населения” и др. [10]. Особое место в информатизации территориального управления занимает OLAP-система “Аналитик”, удостоенная золотой медали Всероссийского выставочного центра в 2004 г. Разработан встроенный язык настройки схем, витрин и кросс-таблиц данных, большое количество настраиваемых графических представлений, реализована интеграция аналитики и геоинформационной подсистемы. По сути, эти системы составили инструментальную основу, позволившую в короткое время создавать комплексные системы сбора, консолидации и анализа больших данных мониторинга в разных областях применения. Комплекс программ внедрен не только в систему здравоохранения, но и в систему социальной защиты населения Красноярского края, а также положен в основу дальнейшего развития систем комплексной поддержки управления природно-техногенной безопасностью территорий. Значимость исследований подтверждает ряд диссертаций, защищенных в это время сотрудниками отдела, а также многочисленные премии, благодарственные письма руководства Красноярского края, полученные разработчиками систем.

Передовые разработки технологии оперативной аналитической обработки данных положены в основу аналитической системы OLAP-GIS [11], предназначенной для обработки данных мониторинга, реестров чрезвычайных ситуаций и происшествий. Информационные ресурсы системы содержат данные мониторинга субъектов Сибирского федерального округа с 1999 г. За это время зафиксировано более 16 тысяч чрезвычайных ситуаций и происшествий, 80 тысяч природных, 290 000 бытовых и производственных пожаров, более 40 000 ДТП и аварий в системах ЖКХ. Систематизация информационных ресурсов позволила использовать их в других задачах расчетного и аналитического характера [12]. Сформирован атлас рисков Красноярского края, по степени опасности ранжированы территории добычи и транспортировки углеводородного сырья в районах Крайнего Севера [13].

Геоинформационная система, разработанная без использования сторонних компонентов, позволила достичь глубокой интеграции технологий, оперативности работы с большими массивами данных, а также реализовать динамическое тематическое картографирование ситуаций. При построении комплексных моделей используется детализированная информация по населению регионов Сибири, характеристикам объектов инфраструктуры, а также данные многолетних метеорологических, гидрологических, сейсмических и радиационных наблюдений. Для консолидации и накопления данных используется централизованное хранилище с системой ведения справочников. Для построения аналитических OLAP-моделей разработан редактор последовательности действий, включающий настройки источников данных, связей между таблицами и справочниками, анализируемых показателей и измерений, а также представление результатов в виде кросс-таблиц, разных диаграмм и динамических картограмм.

Состав анализируемых показателей определен в соответствии со структурой реестров событий и включает: количество погибших, пострадавших, спасенных, материальный ущерб, сведения о задействованных силах и средствах и др. Построены тематические модели оценки состояния безопасности территорий Сибирского федерального округа по разным видам ЧС путем формирования интегральных характеристик регионов и отдельных территорий. Реализованы средства просмотра динамики ситуаций за произвольный период, отображения данных на карте, формирования отчетов раз-

ных форм. Например, на основе данных о пожарах и паспортов территорий сформированы аналитические отчеты о пожарной обстановке, готовности противопожарных формирований, уровне пожарной безопасности сельских поселений, требуемых объемах финансирования противопожарных мероприятий. Это позволило обосновать мероприятия по созданию муниципальных постов пожарной охраны в рамках целевой программы “Обеспечение пожарной безопасности сельских населенных пунктов Красноярского края” [14].

3. Системы комплексного мониторинга

Важным событием в развитии научных исследований явились проведенные в Красноярске в феврале 2009 г. комплексные учения Сибирского регионального центра (СРЦ) по делам ГО, ЧС и ликвидации последствий стихийных бедствий. Руководству МЧС России и Красноярского края продемонстрирована слаженная работа оперативных дежурных смен Единых дежурно-диспетчерских служб муниципальных образований и Центра управления кризисными ситуациями СРЦ, использующих системы поддержки принятия решений. Принято решение о продвижении разработок на федеральном уровне. Функционал ЭСПЛА-ПРО, сервисов сбора и аналитической обработки данных, возможность их интеграции с Автоматизированной информационно-управляющей системой РСЧС обсуждался на Научно-техническом совете МЧС России, в Национальном центре управления в кризисных ситуациях, на Международном салоне “Комплексная безопасность”. Красноярский край стал пилотной зоной апробации новых технологий комплексной поддержки управления территориальной безопасностью.

В 2012 г. в Главном управлении МЧС России по Красноярскому краю создан Территориальный центр мониторинга и прогнозирования ЧС. Организовано десять автоматизированных рабочих мест, из них три — для смены, работающей в круглосуточном режиме. Основным сервисом консолидации и обработки данных мониторинга стала информационно-аналитическая система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций — система-интегратор ЭСПЛА-М [15, 16]. Гетерогенные потоки данных измерений приборов, веб-ресурсов и смежных систем накапливаются в хранилищах данных для оперативной идентификации опасностей и информационной поддержки прогнозирования угроз. Использование независимой платформы ведения справочников позволяет сохранять их целостность и унифицировать процессы анализа всех элементов распределенных систем. Программный компонент “Менеджер хранилища данных” применяется для управления сбором, анализом данных мониторинга с целью поддержки принятия решений в повседневном режиме функционирования органов управления разных уровней. В составе ЭСПЛА-М реализована подсистема распределенного сбора мониторинговых и статистических данных, созданная на основе оригинальной модельно-ориентированной платформы, использующая управляющие модели для динамического формирования интерфейсов.

ЭСПЛА-М решает задачи консолидации информационных потоков систем мониторинга, постов инструментальных измерений, других источников в едином хранилище данных. В хранилище собраны архивы наблюдений, реестры событий, пространственные данные, характеристики защищаемых объектов, сил и средств экстренного реагирования. Большой массив данных позволяет не только решать множество задач оперативного управления, но и проводить исследования новых методов оценки и управления территориальными рисками [17, 18].

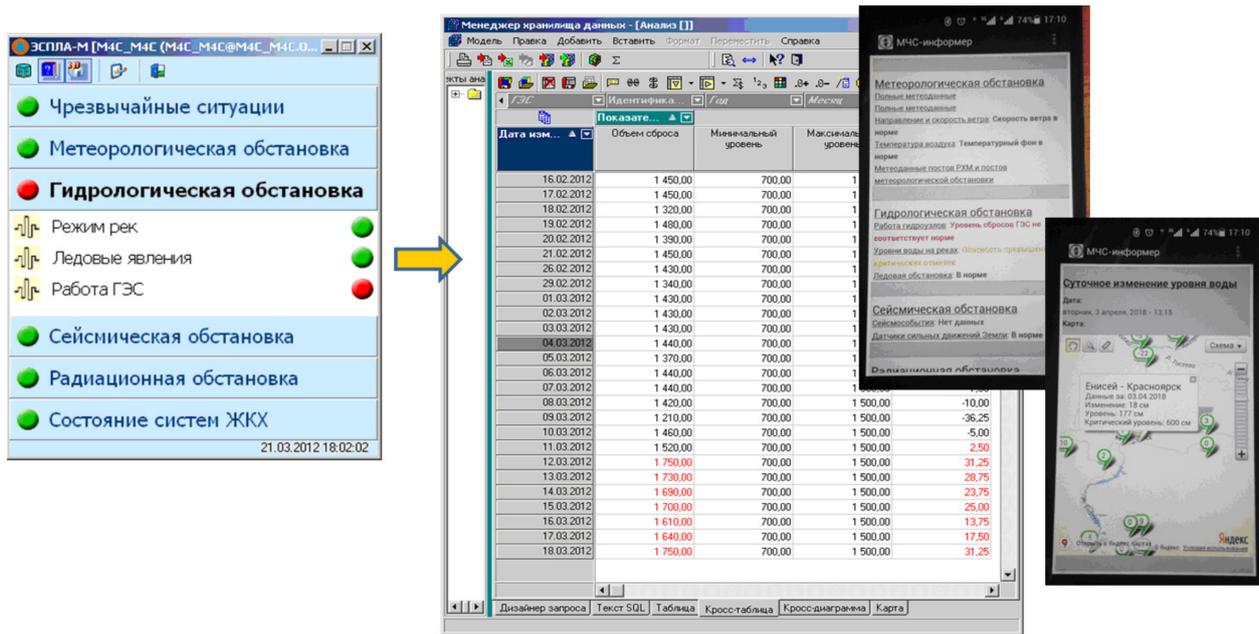


Рис. 2. Пример отображения результатов анализа гидрологической обстановки
 Fig. 2. An example of displaying the analysis results for hydrological situation

Впервые реализована автоматическая индикация опасностей и угроз по широкому спектру обстановок для определения выхода показателей за нормативные значения путем оперативного анализа данных мониторинга с применением технологии OLAP. Разработаны критерии опасностей и угроз, алгоритмы динамического представления первичной информации, результатов анализа данных [19, 20]. Создан сайт Центра мониторинга для публикации прогнозов, оперативных данных наблюдений, результатов аналитической обработки с использованием средств динамического геоинформационного моделирования. На рис. 2 показана работа технологии идентификации опасностей на основе данных комплексного мониторинга обстановки. Аналитическое моделирование позволяет представить результаты обработки данных на разных платформах с изменением уровня агрегации. Слева направо: сигнал о выходе гидрологической обстановки за пределы нормативных значений, детализация источника опасности, визуализация данных наблюдений в кросс-таблице, отображение данных в мобильных устройствах.

Эксплуатация ЭСПЛА-М позволила сформировать уникальную базу наблюдений и статистической информации, которая продолжает пополняться.

4. Новые подходы к управлению природно-техногенной безопасностью на основе системного моделирования

Опыт разработки и эксплуатации информационно-аналитических систем позволил разработать обобщенные принципы унификации решения задач управления природно-техногенной безопасностью с использованием информационных технологий. В основу систематизации информационных ресурсов и интеграции информационных технологий положена системная семиотическая модель поддержки территориального управления, отражающая синтаксис, семантику и прагматику формирования решений. Процессы управления в модели представлены как отображения исходных данных в решения через связывание функций обработки данных с технологиями их информационного обеспече-

ния. Такой подход универсален и может быть использован для решения других задач территориального управления. Системная модель и разработанная на ее основе типовая архитектура позволяют “встраивать” в рабочие программные комплексы новые информационные технологии, раскрывающие дополнительные особенности решения задач управления. Для этого унифицированы принципы проектирования интеллектуальных систем с использованием структурно-функционального моделирования.

Модель организации информационных ресурсов интегрирует результаты исследования особенностей взаимодействия центров принятия решений в масштабных ситуациях и оригинальные технологии объединения гетерогенных ресурсов из различных видов источников, позволяющие формировать элементы решений уже на этапе предобработки данных. По-новому представлены структуры описания опасностей, защищаемых объектов, сценариев событий, что позволяет контролировать дефицит или избыточность информационных ресурсов, используемых для формирования решений. Модель можно использовать при создании ресурсов для формирования единого информационного пространства управления природно-техногенной безопасностью регионов.

В рамках развития ситуационного моделирования, реализованного в перечисленных системах, разработаны и апробированы на практике методы интеграции расчетных методик оценки последствий опасных ситуаций различной сложности, методы динамического картографирования, экспертных систем и веб-технологий. Графический способ представления сценариев ситуаций позволил упростить процесс формирования баз знаний, реконструировать принятые решения по реагированию на опасные события, унифицировать разработку территориальных планов действий по ликвидации ЧС.

Предложена новая методология анализа и управления территориальными рисками природного и техногенного характера, связывающая мониторинг опасных факторов природных и техногенных ЧС с конкретными мероприятиями превентивного характера. Систематизация факторов опасностей позволила обосновать изменения в структуре данных комплексного мониторинга, построить новые аналитические модели по управлению рисками. Применение оригинального метода интегрального оценивания дает возможность рассчитать вклады разнородных показателей, характеризующих опасности, уязвимость и защищенность объектов и инфраструктуры, в комплексный показатель состояния безопасности территорий [21].

Заключение

Представленные исследования охватывают тридцатилетний период. С удовлетворением можно отметить, что за это время получены впечатляющие теоретические и практические результаты. Предложены и реализованы новые комплексные подходы к решению задач оперативного и стратегического управления природно-техногенной безопасностью территорий, позволившие интегрировать различные информационные технологии, тем самым обеспечить синергетический эффект от их совместной реализации, осуществить не только информационно-справочные функции, но и конструктивную поддержку, обеспечить высокое быстроедействие и наилучшее качество решений. Разработанные инструментально-технологические платформы позволили создать большое количество информационно-аналитических и управляющих систем, обеспечивающих всестороннюю поддержку мониторинга и ранней идентификации угроз различных видов чрезвычайных ситуаций, оперативную поддержку действий по их ликвидации, смягчению последствий и обоснование мероприятий по снижению рисков.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта государственного задания ФИЦ КНЦ СО РАН программы фундаментальных исследований Российской Федерации (№ 0287-2021-003).

Список литературы

- [1] **Махутов Н.А.** Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука; 2017: 724.
- [2] **Ямалов И.У.** Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. М.: Лаборатория базовых знаний; 2007: 288.
- [3] **Шойгу С.К., Воробьев Ю.Л., Владимиров В.А.** Катастрофы и государство. М.: Энергоатомиздат; 1997: 158.
- [4] **Ноженкова Л.Ф., Терешков В.И.** ЭСПЛА — экспертная система по ликвидации аварий со СДЯВ. Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1993; (8):37–45.
- [5] **Дмитриев А.И., Исаев С.В., Карев В.Ю., Нейман К.А., Ноженкова Л.Ф., Шатровская Е.В.** Экспертная геоинформационная система ЭСПЛА. Красноярск: ИВМ СО РАН; 1998: 112.
- [6] **Алимов С.Ш., Аникин В.В., Балалаев А.М., Баранчиков Ю.Н., Батуро Н.Н., Берестевич О.А., Богданов И.Я, Болва Н.В.** Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край. М.: МГОФ “Знание”; 2001: 510.
- [7] **Ноженкова Л.Ф., Исаев С.В., Ничепорчук В.В., Евсюков А.А., Морозов Р.В., Марков А.А.** Средства построения систем поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2008; (4):46–55.
- [8] **Ноженкова Л.Ф., Ничепорчук В.В., Ноженков А.И.** Создание комплексной системы безопасности региона на основе системной интеграции технологий. Информатизация и связь. 2013; (2):122–124.
- [9] **Ничепорчук В.В., Ноженкова Л.Ф.** Экспертная ГИС поддержки принятия решений в паводкоопасных ситуациях для территорий Сибирского региона. Вестник Кемеровского государственного университета. 2012. 4/2(52):97–103.
- [10] **Виноградов К.А., Корчагин Е.Е., Никитина М.И., Ноженкова Л.Ф.** Информационные технологии в управлении региональным здравоохранением. Красноярск: КМИАЦ; 2004: 312.
- [11] **Ноженкова Л.Ф., Ничепорчук В.В., Марков А.А., Евсюков А.А.** Система анализа данных мониторинга чрезвычайных ситуаций OLAP-GIS. Свидетельство № 2011612987 от 14.04.2011 г. М.; 2011.
- [12] **Шокин Ю.И., Москвичев В.В., Ноженкова Л.Ф., Ничепорчук В.В.** Кризисные базы данных для управления территориальными рисками. Вычислительные технологии. 2011; 16(6):115–125.
- [13] **Лепихин А.М., Москвичев В.В., Чернякова Н.А., Ничепорчук В.В.** Оценка антропогенных рисков нефтегазодобывающих территорий Сибири. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2013; (5):42–52.
- [14] **Ноженкова Л.Ф., Исаев С.В., Ничепорчук В.В., Евсюков А.А., Морозов Р.В., Марков А.А.** Применение экспертной ГИС для анализа пожарной обстановки в Красноярском крае. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2009; (2):75–85.

- [15] **Ноженкова Л.Ф., Ничепорчук В.В., Бадмаева К.В., Пенькова Т.Г., Коробко А.В., Евсюков А.А., Ноженков Л.Л., Марков А.А., Морозов Р.В., Есавкин С.Е.** Система консолидации и анализа данных мониторинга чрезвычайных ситуаций в Красноярском крае. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012; (4):63–73.
- [16] **Penkova T.G., Korobko A.V., Nicheporchuk V.V.** Emergency situations monitoring use OLAP-technology. Proceedings of the 35th International Convention. The conference “Business Intelligence Systems (miproBIS)”. 2012: 1941–1946.
- [17] **Penkova T., Nicheporchuk V., Metus A.** Comprehensive operational control of the natural and anthropogenic territory safety based on analytical indicators. International Joint Conference, IJCRS 2017. Olsztyn, Poland, 2017. Proceedings. Pt. I 2017: 263–270. DOI:10.1007/978-3-319-60837-2.
- [18] **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):64–71.
- [19] **Nicheporchuk V.V.** Method of using hazard criteria for identifying hazardous situations. CEUR Workshop Proceedings. 2019; (2534):427–433.
- [20] **Ничепорчук В.В., Пенькова Т.Г.** Система аналитических показателей для стратегического контроля природно-техногенной безопасности территорий. Проблемы анализа риска. 2018; 15(1):34–41.

Technologies and systems to support the management of natural and technogenic safety of territories

L. F. NOZHENKOVA, V. V. NICHEPORCHUK*

Matrosov Institute of System Dynamics and Control Theory SB RAS, 664033, Irkutsk, Russia

*Corresponding author: Valeriy V. Nicheporchuk, e-mail: valera@icm.krasn.ru

Received May 03, 2023, accepted June 09, 2023.

Abstract

This paper presents the results of scientific research for the development of technologies and intelligent decision-making support systems for managing the natural and technogenic safety of objects and territories of Siberian regions performed at the Institute of Computational Modeling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. The purpose of the research is a systematic study of the processes of ensuring the safety of the population and infrastructure, the application of new technological approaches to the integrated solutions for the tactic and strategic management problems. The results of the studies are described, starting from the creation of methods for integrating expert, geoinformation and computing technologies and ending with the implementation of modern approaches to the intelligent processing of large volumes of multidimensional data of comprehensive monitoring to reduce risks and early warning of emergencies. Multilevel structural and functional models of management in emergency situations of various types and scales have been developed. The fundamental result is the methods of representation and application of knowledge for the hybridization of information technologies. Based on them, technologies for building integrated information and control systems have been developed. The development of knowledge bases for

the elimination of the consequences of chemical accidents, fires and flooding of territories and the protection of the population allows implementing a line of expert geoinformation systems — ESPLA. Based on the original model-based platform the system of distributed collection of monitoring and statistical data has been created that uses control models for the dynamic generation of interfaces. The system-integrator for emergency monitoring and forecasting centers has been developed, in which for the first time the OLAP technology was applied for instrumental monitoring data processing. The introduction of the developed methods, technologies and created information and control systems in the EMERCOM of Russia made allows solving a set of major tasks of managing the natural and technogenic safety of territories. These include monitoring and early identification of dangers and threats; support for emergency response, daily safety management at the level of regions, municipalities and industrial facilities along with risk assessment and planning of preventive measures.

Keywords: natural and technogenic safety, emergencies, information technologies, integrated systems.

Citation: Nozhenkova L.F., Nicheporchuk V.V. Technologies and systems to support the management of natural and technogenic safety of territories. Computational Technologies. 2023; 28(4):109–121. DOI:10.25743/ICT.2023.28.4.009. (In Russ.)

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of the state task project for the FRC KSC SB RAS of the fundamental research program in the Russian Federation (No. 0287-2021-003).

References

1. **Makhutov N.A.** Bezopasnost' i riski: sistemnye issledovaniya i razrabotki [Safety and risks: system research and development]. Novosibirsk: Nauka; 2017: 724. (In Russ.)
2. **Yamalov I.U.** Modelirovanie protsessov upravleniya i prinyatiya resheniy v usloviyakh chrezvychaynykh situatsiy [Modeling of control and decision making processes in emergency situations]. Moscow: Laboratoriya Bazovykh Znaniy; 2007: 288. (In Russ.)
3. **Shoygu S.K., Vorob'ev Yu.L., Vladimirov V.A.** Katastrofy i gosudarstvo [Catastrophes and the State]. Moscow: Energoatomizdat; 1997: 158. (In Russ.)
4. **Nozhenkova L.F., Tereshkov V.I.** ESPLA — an expert system for the elimination of accidents with SDYAV. Problems of Safety in Emergency Situations. 1993; (8):37–45. (In Russ.)
5. **Dmitriev A.I., Isaev S.V., Karev V.Yu., Neyman K.A., Nozhenkova L.F., Shatrovskaya E.V.** Ekspertnaya geoinformatsionnaya sistema ESPLA [Expert geoinformation system ESPLA]. Krasnoyarsk: IVM SO RAN; 1998: 112. (In Russ.)
6. **Alimov S.Sh., Anikin V.V., Balalaev A.M., Baranchikov Yu.N., Baturon N.N., Berestevich O.A., Bogdanov I.Ya, Bolva N.V.** Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Regional'nye problemy bezopasnosti. Krasnoyarskiy kray [Security of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Regional safety issues. Krasnoyarsk kray]. Moscow: MGOF "Znanie"; 2001: 510. (In Russ.)
7. **Nozhenkova L.F., Isaev S.V., Nicheporchuk V.V., Yevsyukov A.A., Morozov R.V., Markov A.A.** Approaches to building decision support systems for emergency prevention and response. Problems of safety and emergency situations. Safety and Emergencies Problems. 2008; (4):46–55. (In Russ.)
8. **Nozhenkova L.F., Nicheporchuk V.V., Nozhenkov A.I.** Creating the comprehensive regional safety system based on system integration of technologies. Informatization and Communication. 2013; (2):122–124. (In Russ.)
9. **Nicheporchuk V.V., Nozhenkova L.F.** Expert GIS for decision-making support in floods for the Siberian Region. Bulletin of the Kemerovo State University. 2012; 4/2(52):97–103. (In Russ.)
10. **Vinogradov K.A., Korchagin E.E., Nikitina M.I., Nozhenkova L.F.** Informatsionnye tekhnologii v upravlenii regional'nym zdravookhraneniem [Information technologies for the management of regional healthcare]. Krasnoyarsk: KMIATs; 2004: 312. (In Russ.)

11. **Nozhenkova L.F., Nicheporchuk V.V., Markov A.A., Evsyukov A.A.** Sistema analiza dannykh monitoringa chrezvychaynykh situatsiy OLAP-GIS [OLAP-GIS emergency monitoring data analysis system]. Certificate No. 2011612987 dated 14.04.2011. Moscow; 2011. (In Russ.)
12. **Shokin Yu.I., Moskvichev V.V., Nozhenkova L.F., Nicheporchuk V.V.** Crisis database for management of territorial risks. Computational Technologies. 2011; 16(6):115–125. (In Russ.)
13. **Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Chernyakova N.A., Nicheporchuk V.V.** Man-made risk assessment for oil and gas producing areas of Siberya. Problems of Safety and Emergency Situations. 2013; (5):42–52. (In Russ.)
14. **Nozhenkova L.F., Isaev S.V., Nicheporchuk V.V., Evsyukov A.A., Morozov R.V., Markov A.A.** Application the expert GIS for analyzing fire situation in region. Problems of Safety and Emergency Situations. 2009; (2):75–85. (In Russ.)
15. **Nozhenkova L.F., Nicheporchuk V.V., Badmaeva K.V., Penkova T.G., Korobko A.V., Evsukov A.A., Nozhenkov A.I., Markov A.A., Morozov R.V., Esavkin S.E.** System of consolidation and analysis of emergency monitoring data in the Krasnoyarsk Territory. Problems of Safety and Emergency Situations. 2012; (4):63–73. (In Russ.)
16. **Penkova T.G., Korobko A.V., Nicheporchuk V.V.** Emergency situations monitoring use OLAP-technology. Proceedings of the 35th International Convention. The conference “Business Intelligence Systems (miproBIS)”. 2012: 1941–1946.
17. **Penkova T., Nicheporchuk V., Metus A.** Comprehensive operational control of the natural and anthropogenic territory safety based on analytical indicators. International Joint Conference, IJCRS 2017. Olsztyn, Poland, 2017. Proceedings. 2017; Pt I:263–270. DOI:10.1007/978-3-319-60837-2.
18. **Penkova T.G., Nicheporchuk V.V.** Comprehensive analysis of natural and technogenic safety of the Krasnoyarsk Region based on data mining techniques. Monitoring. Science and Technologies. 2016; 2(27):64–71. (In Russ.)
19. **Nicheporchuk V.V.** Method of using hazard criteria for identifying hazardous situations. CEUR Workshop Proceedings. 2019; (2534):427–433. ISSN:1613-0073.2019.
20. **Nicheporchuk V.V., Penkova T.G.** The system of analytical indicators for strategic control of the natural and technogenic territory safety. Issues of Risk Analysis. 2018; 15(1):34–41. DOI:10.32686/1812-5220-2018-15-1-34-41. (In Russ.)