

ГОРЮНКОВА Анна Александровна

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОСТРОЕНИЯ
ПОЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА
ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Специальность 05.11.16 «Информационно-измерительные
и управляющие системы» (в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Тула 2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Панарин Владимир Михайлович

Официальные оппоненты: Дли Максим Иосифович
доктор технических наук, профессор,
филиал ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, заведующий кафедрой «Менеджмент и информационные технологии в экономике»

Вент Дмитрий Павлович,
доктор технических наук, профессор
Новомосковский институт ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», заведующий кафедрой

Привалов Александр Николаевич
доктор технических наук, профессор
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,
профессор

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» (г. Орел)

Защита диссертации состоится «20» мая 2015 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.271.07 при ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» (300012, г. Тула, пр. Ленина, 92, 9-101).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» (<http://tsu.tula.ru>).

Автореферат разослан «11» марта 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Данилкин Федор Алексеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В результате деятельности промышленных предприятий в приземный слой атмосферы выбрасывается значительное количество загрязняющих веществ, оказывающих негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. В последнее время, несмотря на то, что количество промышленных предприятий снизилось, количество аварийных ситуаций, в том числе и с выбросом загрязняющих веществ, значительно возросло. Жизнь и здоровье персонала и жителей окрестных территорий при возникновении аварийной ситуации на таких объектах находятся под угрозой. Анализ существующих в настоящее время работ в области экологического мониторинга загрязнения атмосферы вредными веществами показал, что они сопровождаются не только материальными потерями, но и огромными человеческими жертвами и ухудшением здоровья населения прилегающих территорий, поэтому в условиях загрязнения атмосферы важное значение имеет скорость и достоверность получаемой информации. Развитие промышленности требует все большего внимания к контролю загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами. Решение подобных задач не возможно без создания информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий.

В связи с этим, на государственном уровне в России разработаны и реализуются Федеральная и, входящие в нее, региональные целевые программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации». В перечне критических технологий развития науки и техники в РФ присутствует раздел «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы». Важное место в реализуемых проектах и программах отводится разработке и внедрению информационных и интеллектуальных систем мониторинга загрязнения атмосферы для поддержки принятия управленческих решений.

Информационно-измерительные системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха требуются всей вертикалью мониторинга и управления, начиная с экологических служб предприятий и заканчивая государственными управленческими структурами. Для оперативного принятия решений при возникновении аварийных ситуаций необходимо своевременно получать достоверную информацию о распределении концентраций загрязняющих веществ, которая может быть обеспечена применением высокоточных датчиков на постах мониторинга, методикой рационального размещения этих постов, а также математическими моделями, позволяющими определять поля распределения концентраций загрязняющих веществ по точечным замерам при различных метеорологических условиях.

В связи с этим возникает **важная народно-хозяйственная проблема**, связанная с дальнейшим совершенствованием информационно-измерительных систем построения полей загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий и разработкой соответствующей методологии.

Вопросам проектирования информационно-измерительных систем уделено много внимания в работах Подвального С.Л., Новоселова О.Н., Фролова В.Н., Ананенкова А.Г., Балавина М.А., Емельянова С.В., Эрланга А.К., Лидбеттера Дж., Крамера Г. Задачами управления и построения информационных-измерительных систем в области экологического мониторинга занимались специалисты в нашей стране и за рубежом, в

том числе Карпенко Н.В., Сонькин Л.Р., Берлянд М.Е., Калиткин Н.Н., Беликов Ю.С., Тульчинский Г.А., Дьякова А.Б., Оникул Р.И., Кульба В.В., Архипов Н.И. и др.

Техногенные воздействия на окружающую среду исследовали Брушлинский Н.Н., Белов С.В., Измалков В.И., Маршалл В.В. и др. Модели и методы прогнозирования и оценки последствий чрезвычайных ситуаций техногенного характера рассмотрены в работах Козлитина А.М., Елохина А.Н., Измалкова А.В., Васильева В.И., Порфирьева Б.Н., Хамитова Р.З., Шахраманьяна М.А., Юсупова И.Ю., Крымского В.Г. и др.

Объектом исследования являются объекты измерения воздушной среды (концентрации загрязняющих веществ).

Предметом исследования являются модели информационно-измерительной системы и методы обработки измерительной информации, позволяющие повысить эффективность информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий.

Целью работы является разработка информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий, обеспечивающей повышение точности восстановления полей загрязнения, сокращение времени обнаружения превышений концентрации загрязняющих веществ, и позволяющей решить актуальную научно-техническую проблему, имеющую существенное значение для снижения воздействия промышленных объектов на здоровье работающих и населения и на окружающую среду, в частности, на атмосферный воздух, промышленных регионов.

Для достижения указанной цели ставятся следующие **задачи**:

1. Анализ современного состояния и подходов к разработке информационно-измерительных систем построения полей загрязнения атмосферного воздуха, подходов и методов моделирования загрязнения атмосферы промышленно развитых территорий и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций на промышленных предприятиях.

2. Разработка структуры информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха, учитывающей рациональное количество и места расположения постов мониторинга;

3. Разработка метода определения количества постов мониторинга концентраций загрязняющих веществ и рационального их размещения, позволяющего учитывать различные источники загрязнения и не зависящий от физического смысла величины, выбранной в качестве критерия для размещения постов мониторинга;

4. Разработка математических моделей управления системой сбора, передачи и обработки информации в информационно-измерительной системе построения полей загрязнения атмосферного воздуха как территориально удаленными объектами на основе сетей Петри-Маркова;

5. Разработка теоретико-экспериментального метода оценки параметров территориального загрязнения атмосферы на основании анализа измерительной информации о превышении концентраций загрязняющих веществ в атмосфере и введения вектора интегральной оценки расхождения значений концентраций загрязняющих веществ, полученных экспериментальным путем и с помощью моделирования;

6. Разработка метода ранжирования источников загрязнения, путем введения интегрального показателя опасности, на основе которого проводится коррекция количе-

ства постов мониторинга и номенклатура датчиков, измеряющих вещества, характерные для данного источника;

7. Техническая реализация и внедрение информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха в реальном секторе экономики.

Методы и средства исследования базируются на подходах и инструментарии теории информационно-измерительных систем, методах моделирования сложных систем, теории управления, теории измерений, методов математического моделирования, теории принятия решений.

На защиту выносятся следующие результаты, обладающие научной новизной:

- структура информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха, отличающейся тем, что позволяет учитывать рациональное количество и места расположения постов мониторинга;

- метод определения количества постов мониторинга и рационального их размещения, отличающегося тем, что дает возможность учитывать различные источники загрязнения, а сама процедура не зависит от физического смысла величины, которая выбрана в качестве критерия для размещения постов мониторинга;

- математические модели управления системой сбора, передачи и обработки информации в информационно-измерительной системе построения полей загрязнения атмосферного воздуха как территориально удаленными объектами на основе сетей Петри-Маркова, отличающихся тем, что формируется вектор переключений, позволяющий получить вероятности нахождения системы в различных состояниях, включая отказ;

- теоретико-экспериментальный метод оценки параметров территориального загрязнения атмосферы на основании анализа измерительной информации о превышении концентраций загрязняющих веществ в атмосфере, отличающегося тем, что вводится вектор интегральной оценки расхождения значений концентраций загрязняющих веществ, полученных экспериментальным путем и с помощью моделирования, что позволит адаптировать существующие модели к специфическим условиям выбранной конкретной территории;

- метод ранжирования источников загрязнения, отличающийся тем, что вводится интегральный показатель опасности, на основе которого проводится коррекция количества постов мониторинга и номенклатура датчиков, измеряющих вещества, характерные для данного источника.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

Разработаны автономный экологический метеокомплекс и программное обеспечение, позволяющее организовать сбор данных с территориально-распределенных объектов информационно-измерительной системы, в виде следующих программных модулей:

- программно-аппаратный комплекс сбора, обработки и отображения информации совместно с комплексом аппаратуры для измерения концентраций загрязняющих веществ «Экомонитор», который позволяет в реальном времени осуществлять мониторинг состояния загрязнения воздуха;

- модуль расчета и отображения распространения загрязнений при авариях с выбросом опасных химических веществ на основании полученной информации, который может использоваться для оперативных расчетов при авариях и учениях;

- модуль расчета распространения выбросов в воздушной среде застроенных территорий в виде программного комплекса «Эмиссия».

Полученные результаты в виде математических моделей, реализующих их прикладных программ в составе информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха внедрены в ОАО «Щекиноазот», ООО НП «Русгазтехнологии», Инновационно-промышленной группе «Сервиссофт», ООО «Энергоэффективность, ресурсосбережение и экология» и учебном процессе на кафедре «Аэрология, охрана труда и окружающей среды» в Тульском государственном университете в рамках дисциплин «Информационные системы в экологии».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается корректностью постановки задач и подтверждается результатами апробации разработанных методов при решении практических задач создания и внедрения информационно-измерительных систем построения полей загрязнения атмосферного воздуха.

Связь темы исследования с целевыми программами. Основные научные результаты диссертации получены автором в процессе работы в рамках государственных контрактов ГК П216 «Разработка технологий мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы крупных промышленных городов», ГК П619 «Обеспечение безопасности населения и окружающей среды путем снижения риска и уменьшения последствий техногенных катастроф» федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. и хоздоговорных работ, проводимых с 2001 года.

Кроме того, работа выполнялась в рамках Гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых (2013-2014 гг.) и Гранта губернатора Тульской области (2009 г.).

Соответствие паспорту специальности.

Указанная область исследования соответствует паспорту специальности 05.11.16 - «Информационно-измерительные и управляющие системы», а именно пункту 6 «Исследование возможностей и путей совершенствования существующих и создания новых элементов, частей, образцов информационно-измерительных и управляющих систем, улучшение их технических, эксплуатационных, экономических и эргономических характеристик, разработка новых принципов построения и технических решений».

Апробация результатов работы.

Результаты диссертационной работы докладывались на: Международном научно-практическом симпозиуме «Современные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты» (Египет, 14-20 апреля 2007 г.), Международном научно-практическом симпозиуме «Современные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты» (Египет, 7-13 ноября 2009 г.), Третьей Международной научно-практической конференции «Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности» (г. Казань, 2008 г.), Ежегодной Международной конференции «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (г. Тула, 2010-2011 гг.), Международном науч.-практ. семинаре «Экологически устойчивое развитие. Рациональное использование природных ресурсов» (г. Тула, 2009 г.), VIII Всероссийской науч.-техн. конф. «Приоритетные направления развития науки и технологий» (г. Тула, 2011

г), VIII Всероссийской науч.-техн. конф. «Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности и экологии» (г. Тула, 2012 г.), IX Международной научно-технической конференции «Современные проблемы экологии» (Тула, 2013 г.), на ежегодных конференциях молодых ученых и аспирантов ТулГУ (2009-2014 гг.), на ежегодных научных семинарах ТулГУ (2006-2015 гг.).

Публикации. Основные положения диссертации и результаты научных исследований по теме диссертации отражены более чем в 125 публикациях (12 без соавторов), в том числе 5 монографиях и 35 научных статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, более 20 тезисов докладов в сборниках материалов по международным и всероссийским научным конференциям, 7 патентах на изобретение и 5 свидетельствах на программы для ЭВМ Роспатента РФ.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения, приложений, изложенных на 258 листах машинописного текста, содержит 62 иллюстрации, 10 таблиц, список литературы из 121 наименования, 2 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определены новизна и практическая значимость работы.

В первой главе проведен анализ состояния и подходов к разработке информационно-измерительных систем построения полей загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий. Дано понятие, приведены цели и основные процедуры измерения концентраций загрязняющих веществ. Проведен анализ наиболее известных современных информационных систем мониторинга загрязнения окружающей среды и поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций, который показал отсутствие в них отражения закономерностей техногенных эмиссий загрязнителей в атмосферу, а также динамики развития чрезвычайной ситуации.

На основе полученной информации проведён анализ основных проблемных ситуаций, подходов и методов моделирования распространения загрязняющих веществ и рассмотрены этапы измерения концентраций загрязняющих веществ в зависимости от расположения источников и метеорологических условий.

Осуществлена классификация методов моделирования, применяемых для оценки и прогноза загрязнения атмосферы. В их числе модели «факела», «клубка», «ящика», «конечноразностная», множественной линейной регрессии, авторегрессии и нейронных сетей. Определены области применения каждой модели, отмечены их достоинства и недостатки.

Исходя из анализа существующих информационно-измерительных систем и моделей, на основе которых они построены, показано, что существующие информационно-измерительные системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха построены по локальным схемам (например, информационно-измерительная система предприятия) и не обеспечивают:

- определение рационального количества и расположения постов мониторинга;

- управление системой сбора, передачи и обработки информации в информационно-измерительной системе построения полей загрязнения атмосферного воздуха;
- проведение интегральной оценки территориального загрязнения атмосферы на основании анализа измерительной информации о превышении концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы, позволяющей учитывать определенные условия конкретной территории;
- ранжирование источников загрязнения по фактору опасности.

Проведен анализ приборной базы для измерения концентраций загрязняющих веществ, средств передачи информации и начальной обработки данных для передачи информации. Для проведения измерений применяется блок управления «Сирена», к которому подключаются современные датчики, измеряющие концентрации стандартного набора веществ, таких как CO₂ (датчик MG811), SO₂ (датчик 2SH12), NO₂ (датчик Wsp1110), так при необходимости и концентрации опасных химических веществ, таких как хлор (датчик 9001-5300), аммиак и сероводород (датчик Mq135) и др. Кроме того, используется метеостанция для измерения метеорологических параметров, таких как атмосферное давление, скорость ветра, направление ветра, влажность, температура воздуха (например, датчики DHT11, JL-FSX2, BMP085 BMP180). Блок управления и метеостанция в свою очередь подключены к рабочей станции, которая передает информацию на сервер.

В результате проведенного анализа определены задачи, решение которых позволит повысить эффективность работы информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха, направленной на снижение воздействия источников загрязнения на здоровье людей и окружающую среду, в частности на атмосферный воздух промышленно развитых территорий.

Вторая глава посвящена разработке структуры информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха на основе методики определения рационального количества и размещения постов мониторинга.

Информация об экологической обстановке при её передвижении по уровням информационно-измерительной системы построения полей загрязнения описывается с помощью информационного портрета экологической обстановки, который является совокупностью графически представленных пространственно распределённых данных и который характеризует экологическую обстановку на конкретно выбранной территории, совместно с картой местности.

Показано, что для разработки информационно-измерительной системы построения полей загрязнения необходимо выполнение следующих основных процедур:

- выделение объекта наблюдения и его обследование;
- определение информационной модели для выделенного объекта;
- планирования измерений;
- анализ состояния объекта наблюдения и идентификация его информационной модели;
- прогнозирование изменения состояния объекта наблюдения;
- представление информации в удобной для использования форме и доведение ее до потребителя.

Отмечается, что для разработки структуры информационно-измерительной системы построения полей загрязнения необходимо использовать следующие элементы: экологические данные (замеры концентрации загрязняющих веществ); метеорологи-

ческие данные; данные о предприятиях; датчики для осуществления замеров; метеостанции; сетевое и оконечное оборудование; пункт сбора данных; подсистему обработки информации; карту или схему местности; данные о выбросах; лицо, принимающее решение.

Для построения карт рассеивания загрязняющих веществ используются известные методики, (например, ОНД-86), которые позволяют на основе множества проведенных измерений моделировать и прогнозировать распространение загрязняющих веществ на рассматриваемой территории.

Значение максимальной суммарной концентрации c_m ($\text{мг}/\text{м}^3$) от N расположенных на площадке близко друг от друга одиночных источников, имеющих равные значения высоты, диаметра устья, скорости выхода в атмосферу и температуры газовой смеси, определяется по формуле

$$c_m = \frac{AM F m n \eta}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V \Delta T}},$$

где M ($\text{г}/\text{с}$) - суммарная мощность выброса всеми источниками в атмосферу; V ($\text{м}^3/\text{с}$) – суммарный расход выбрасываемой всеми источниками газовой смеси.

Общая картина загрязнения представляется в таком виде (рис. 1). Здесь показаны точки размещения постов мониторинга и карта рассеивания загрязнения.

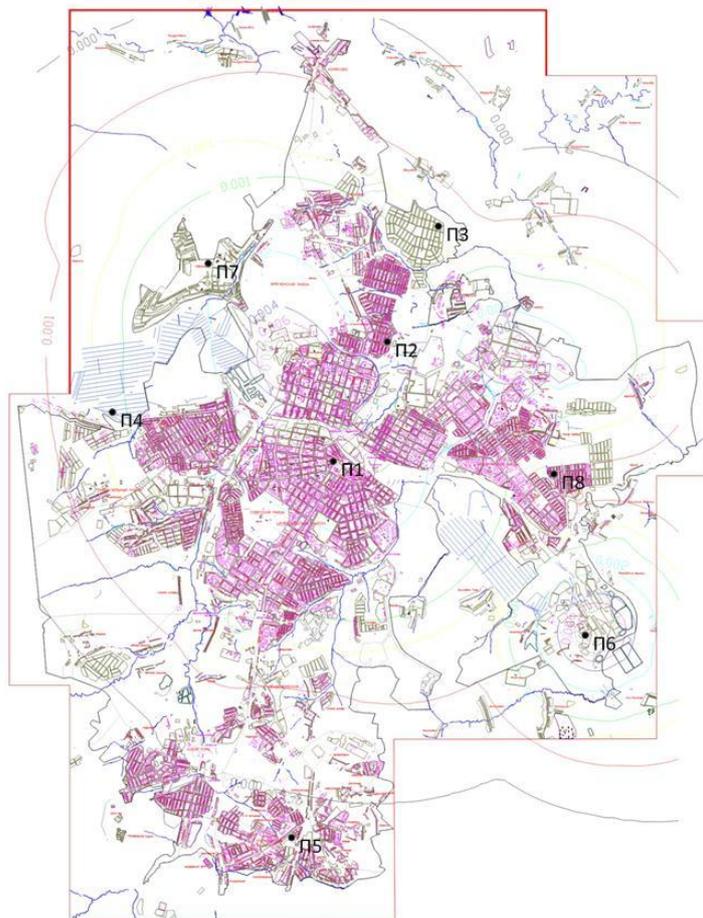


Рис. 1. Общая карта загрязнения территории на примере г. Тулы

Обобщенная структура информационно-измерительной системы построения полей загрязнения представлена на рис. 2.

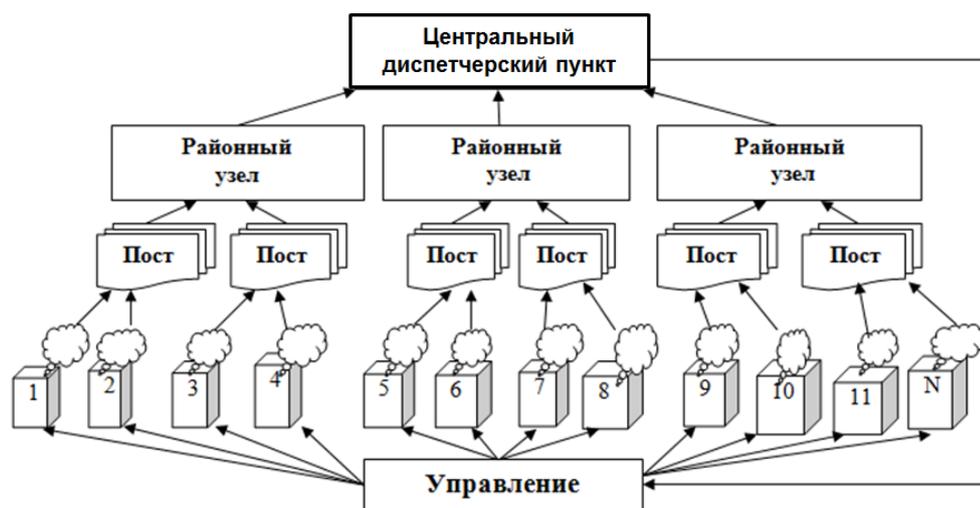


Рис. 2. Обобщенная структура информационно-измерительной системы построения полей загрязнения

Разработан алгоритм формирования информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий, в который входят следующие блоки: непрерывный сбор экологической и метеоинформации; запись и хранение информации; преобразование информации в вид, наиболее удобный для анализа; формирование рекомендаций для принятия управленческих решений. Функциональная структура информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха представлена на рис. 3.

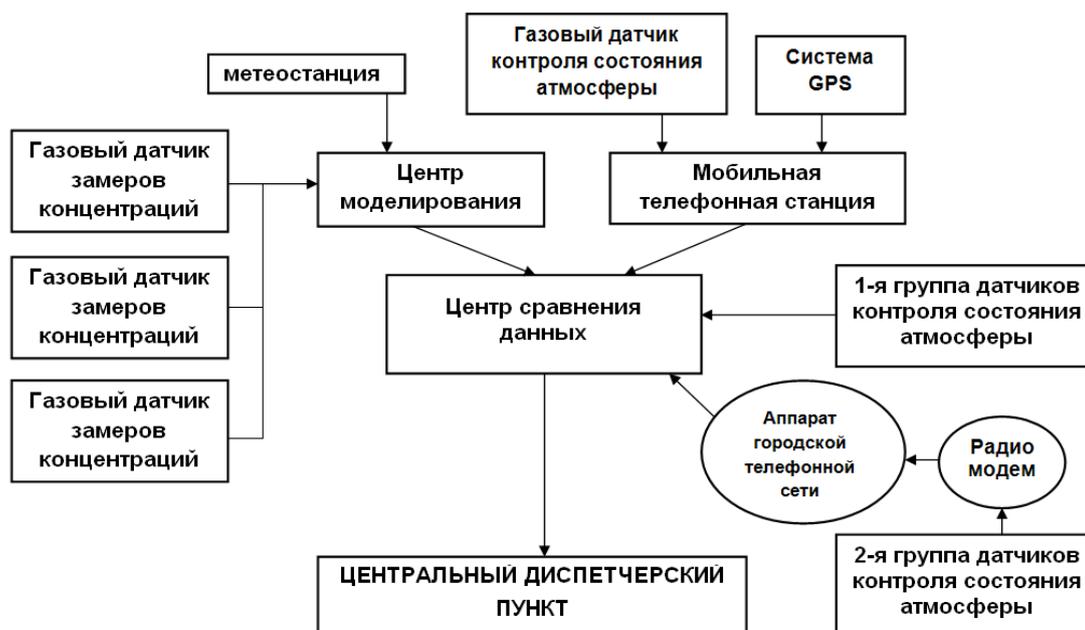


Рис. 3. Функциональная структура информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха

Следующим этапом является решение проблемы организации передачи данных.

На основе проведенных исследований установлено, что для решения задачи сбора измерительной информации о загрязнении атмосферы наиболее эффективно применение сети GSM для организации каналов передачи данных. Это позволит создать единую информационно-измерительную систему с обоснованием загруженности каналов передачи информации, что обеспечит надежность работы системы в целом. Такое решение обеспечивает сбор и хранение информации о местоположении и состоянии источников загрязнения атмосферного воздуха с помощью GPS/ГЛОНАСС и передачу ее с заданной периодичностью с помощью GSM сети в центральный диспетчерский пункт. Вся информация, отображенная на электронных картах города, области или страны, поступает от всех устройств измерения, которые встроены на объекте.

Система передачи данных основана на базе концентраторов информации, которые позволят создать распределенные сети передачи данных на основе существующих каналов и линий связи на участках большой протяженности. Применение концентраторов позволяет значительно снизить количество каналов информационной связи в результате использования единой сети для сбора и передачи данных, получаемых от постов мониторинга. В качестве сервера применяется типовая персональная или в промышленном исполнении IBM-совместимая ЭВМ, функционирующая под специализированным программным обеспечением.

Выявлено, что наиболее целесообразным является способ передачи информации GPRS. Это режим передачи данных по IP адресам в сети Интернет. В этом режиме информации с контролируемых объектов передается непосредственно в глобальную сеть Интернет и с использованием протоколов этой сети направляется на приемник центра управления информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха. Приемник центра управления должен иметь фиксированный IP адрес и постоянно находиться в сети Интернет.

От информационно-управляющих блоков передача информации в системе производится по схеме выделенных каналов. Запросы на обслуживание от этих выделенных каналов непосредственно поступают в центр сбора информации. В систему введено устройство управления, которое информационно связано с верхним уровнем и каждым информационно-управляющим блоком.

Информационно-управляющие блоки территориально распределены и инициируют обмен информацией при выходе за допустимые пределы параметров технологических процессов, в аварийных случаях и по таймеру. В данном случае потоки запросов значительно различаются. В главе проведена классификация запросов. Также выделены режимы обслуживания запросов, а именно штатный, активный, тревожный режимы и режим выбора.

Указано, что важным аспектом функционирования информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха является задача сбора измерительной информации, поступающей от источников загрязнения, территориально удаленных друг от друга. При обилии возможных структур сетей передачи данных со значительным количеством узлов, содержащих контрольно-измерительную аппаратуру и средства передачи данных, процесс поступления информации приобретает характер квазислучайный, а сама система сбора и обработки данных может рассматриваться как система массового обслуживания (СМО).

По схеме выделенных каналов сети сбора и передачи информации наиболее узким местом системы является линия связи, и она может рассматриваться как обслуживающий канал. Если данные передаются по выделенным линиям, то обслуживающим каналом является ЭВМ, ведущая обработку данных.

Важным параметром работы информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха является своевременность поступления первичной информации в Центральный диспетчерский пункт для обработки в реальном режиме времени. Для оценки своевременности и достоверности информации применяется аппарат сетей Петри-Маркова (СПМ), описывающий все информационные связи в данной территориально-распределенной системе.

СПМ территориально распределенной информационно-измерительной системы задается множеством: $\Psi = \{P, M\}$, где P - множество, которое описывает структуру сети Петри; M - множество параметров. Кроме того, в определение структуры $P = \{A, Z, I_Z(A), O_Z(A)\}$ включены: $A = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_J\}$ - множество позиций; $Z = \{z_1, \dots, z_n, \dots, z_N\}$ - множество переходов; $I_A(Z) = \{I_A(z_1), \dots, I_A(z_n), \dots, I_A(z_N)\}$ - входная функция переходов; $O_A(Z) = \{O_A(z_1), \dots, O_A(z_n), \dots, O_A(z_N)\}$ - выходная функции переходов. При моделировании управления потоками информации позиции множества A являются математическим подобием структурных единиц элементов, которые генерируют или обрабатывают запросы в центр обработки информации, а переходы множества Z моделируют взаимодействие элементов информационно-измерительной системы. Множество $M = \{p, f(t), \Lambda\}$ параметров включает: $p = [p_{jn}]$ - матрицу $J \times N$, определяющую вероятности переключения СПМ из позиций a_j в переходы z_n ; $f(t) = [f_{jn}(t)]$ - матрицу $J \times N$, определяющую временные интервалы переключения; $\Lambda = [\Lambda_{nj}]$ - матрицу $N \times J$, определяющую логические условия переключения. Вероятности p_{jn} не зависят от предыстории процесса, и для них выполняется условие $\sum_{n=1}^N p_{jn} = 1, 1 \leq j \leq J$. Все потоки событий в распределенной системе считаются потоками без последействия, поэтому на законы распределения $f_{jn}(t)$ наложено ограничение

$$f_{jn}(t) = v_{jn} \exp(-v_{jn}t), \quad 1 \leq j \leq J, 1 \leq n \leq N, \quad (1)$$

где v_{jn} - плотность потока событий переключений из позиции a_j в переход z_n .

Для СПМ определено дискретное пространство W , измерениями которого являются позиции и непримитивные переходы. Состояние СПМ в пространстве W определяется вектором w . Координаты вектора определяются количеством фишек в соответствующей позиции или переходе. Показано, что общий характер изменения состояний представляет собой случайные блуждания по пространству W со случайным временем пребывания в каждом состоянии.

Для известной зависимости

$$f_{1 \rightarrow 2}(t) = \frac{1(t) \int_0^{\infty} f_1(\tau) f_2(t + \tau) d\tau}{\int_{t=0}^{\infty} F_1(t) dF_2(t)}, \quad (2)$$

определяющей время ожидания процессом a_1 завершения процесса a_2 в сети со структурой

$$P = \{\{a_1, a_2\}, \{z_1, z_2\}, I_A(z_1) = I_A(z_2) = \emptyset, O_A(z_1) = \{a_1, a_2\}, I_A(z_2) = \{a_1, a_2\}, O_A(z_2) = \emptyset\},$$

показано, что если $f_2(t) = \nu_2 \exp(-\nu_2 t)$, то независимо от того, какой вид имеет плотность распределения $f_1(t)$:

$$f_{1 \rightarrow 2}(t) = \frac{1(t) \int_0^{\infty} f_1(\tau) \nu_2 \exp[-\nu_2(t + \tau)] d\tau}{1 - \int_{t=0}^{\infty} [1 - \exp(-\nu_2 t)] dF_1(t)} = \nu_2 \exp(-\nu_2 t), \quad (3)$$

где $1(t)$ - единичная функция Хевисайда.

Выражение (2) определяет отсутствие последствия в потоках событий в системах, моделируемых СПМ с наложенными ограничениями (1). Если в информационно-измерительной системе наступает очередное событие, то с этого момента начинается новый отсчет времени во всех позициях СПМ.

Определены вероятности и плотности распределения времени выполнения одного из полушагов в СПМ со структурой $P = \{\{a_1, \dots, a_j, \dots, a_J\}, \{z_1, z_2\}, I_A(z_1) = I_A(z_2) = \emptyset, O_A(z_1) = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_J\}, I_A(z_2) = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_J\}, O_A(z_2) = \emptyset\}$:

$$p_{\sigma_j} = \frac{\nu_j}{\sum_{k=1}^J \nu_k}; \quad f_{\sigma} = \left(\sum_{j=1}^J \nu_j \right) \exp\left(-t \sum_{j=1}^J \nu_j \right), \quad 1 \leq j \leq J. \quad (4)$$

В диссертации уточняется, что подсистема сбора информации со схемой выделенных каналов является системой массового обслуживания, в которой источником запросов на обслуживание являются посты мониторинга территориально распределенной информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха, а обслуживающим каналом является выделенный канал сбора данных. При этом обмен происходит следующим образом: j -й пункт сбора измерительной информации определяет занятость канала; измерительная информация передается в центр обработки, если канал свободен; при занятом канале, фиксируется отказ в доступе, а запрос на передачу данных повторяется. От отдельных станций потоки информации суммируются в один общий поток без последствия с плотностью λ . Именно он определяет загруженность СМО. Протокол обмена данными и быстрдействие аппаратуры передачи данных определяет время обслуживания канала.

В подсистеме сбора информации сформированы СПМ, которые моделируют СМО с отказами и СМО с ограничением на длину очереди. Показано, что по данным СПМ получаются известные дифференциальные уравнения Эрланга, которые определяют вероятность состояния СМО с отказами, а также формулы Эрланга, которые определяют вероятность состояния системы в установившемся режиме.

Рассмотрен случай, когда подсистема сбора информации имеет конечное количество источников запросов на обслуживание J и один обслуживающий канал, конфи-

гурация которого обеспечивает одновременное обслуживание до J запросов включительно. Такая конфигурация канала имеет место быть при практически неограниченном объеме памяти для хранения запросов. Это характерно для современных ЭВМ, которые используются для обработки данных в распределенных информационно-измерительных системах.

Показано, что СМО данного типа смоделирована с помощью J -связной СПМ. В СМО позиции $\{a_1, \dots, a_j, \dots, a_J\}$ генерируют запросы на обслуживание со стороны j -й станции; позиции $\{b_1, \dots, b_j, \dots, b_J\}$ определяют выделенные каналы обслуживания; переходы $\{z_1, \dots, z_j, \dots, z_J\}$ устанавливают моменты начала реализации протокола обмена данными по выделенному каналу связи; переходы $\{y_1, \dots, y_j, \dots, y_J\}$ моделируют моменты окончания реализации протокола обмена данными по выделенному каналу связи; λ_j - плотность потока запросов на обслуживание, генерируемого j -м источником; μ_j - плотность потока обслуживаний, генерируемого j -м каналом. Для однородной системы $\lambda_1 = \dots = \lambda_j = \dots = \lambda_J = \lambda$; $\mu_1 = \dots = \mu_j = \dots = \mu_J = \mu$.

Матрицы плотностей распределения и логических условий СПМ имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{h}(t) &= \begin{pmatrix} \lambda e^{-\lambda t} & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \mu e^{-\mu t} & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ & & & & \dots & & & \\ 0 & 0 & & \lambda e^{-\lambda t} & 0 & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & & 0 & \mu e^{-\mu t} & & 0 & 0 \\ & & & & & & \dots & \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & \lambda e^{-\lambda t} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & \mu e^{-\mu t} \end{pmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \dots \\ 2j-1 \\ 2j \\ \dots \\ 2J-1 \\ 2J \end{matrix} ; \\
 \mathbf{A} &= \begin{pmatrix} 0 & (a_1, z_1) & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ (b_1, y_1) & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ & & & & \dots & & & \\ 0 & 0 & & 0 & (a_j, z_j) & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & & (b_j, y_j) & 0 & & 0 & 0 \\ & & & & & & \dots & \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & (a_J, z_J) \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & (b_J, y_J) & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \dots \\ 2j-1 \\ 2j \\ \dots \\ 2J-1 \\ 2J \end{matrix} . \quad (5)
 \end{aligned}$$

Сформирована система уравнений Эрланга, описывающая динамику процессов в СМО:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=0}^J p_j(t) &= 1, \\
 \frac{dp_j(t)}{dt} &= (J-j+1)\lambda p_{j-1}(t) - [(J-j)\lambda + j\mu]p_j(t) + (j+1)\mu p_{j+1}(t), \quad 0 \leq j \leq J, \\
 p_{-1}(t) &= 0; \quad p_{J+1}(t) = 0, \quad (6)
 \end{aligned}$$

где $p_j(t)$ вероятность того, что по j -му выделенному каналу в текущий момент времени t передается измерительная информация.

Показано, что в установившемся режиме $\frac{dp_j(t)}{dt} \rightarrow 0$ зависимости для расчета вероятностей принимают вид:

$$p_j = \frac{C_j^j \alpha^j}{\sum_{j=0}^J C_j^j \alpha^j}, C_j^j = \frac{J!}{(J-j)! j!}, 0! = 1, \quad (7)$$

где $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$ - приведенная плотность потока заявок.

При $\alpha = 1$ плотность потока запросов равна плотности потока обслуживаний и наиболее вероятным состоянием СМО является состояние из пяти загруженных каналов ($p_5 = 0,246$). Если плотность потока запросов в два раза меньше плотности потока обслуживаний ($\alpha = 0,5$), то наиболее вероятным состоянием является состояние из трех обслуживающих каналов ($p_3 = 0,26$). При $\alpha = 0,25$ наиболее вероятным является состояние из двух задействованных каналов ($p_2 = 0,302$). Случаи, при которых плотности потока запросов больше плотности потока обслуживаний, симметричны относительно рассмотренных.

Третья глава связана с разработкой метода определения количества постов мониторинга и рационального их размещения, который позволяет учитывать различные источники загрязнения, а сама процедура не зависит от физического смысла величины, которая выбрана в качестве критерия для размещения постов мониторинга.

В диссертации отмечается, что будет загрязняться часть территории, находящаяся с подветренной стороны источника или их группы. Для охвата подвергаемой загрязнению всей неограниченно большой территории застройки необходимо неограниченно большое число постов мониторинга. Сокращать их число вынуждает необходимость оснащения каждой точки контроля дорогостоящим контрольно-измерительным оборудованием, т.к. сокращение неизбежно приводит к потере информации о загрязнении атмосферы в определенном сегменте. В связи с этим определяется минимальное количество постов мониторинга, которые при соответствующем размещении их на контролируемой территории позволяют обеспечить сбор достоверной информации, достаточной для эффективного функционирования всей информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха.

Для определения числа постов мониторинга используется следующий метод:

$$K = K_{CO} + K_{NO_2} + K_{SO_2},$$

$$K_{CO} = \alpha(q_{\max} - q_{\min}) / q_{доп}, \quad \alpha = 1 / ПДК_{CO}, \beta = 1 / ПДК_{NO_2}, \delta = 1 / ПДК_{SO_2}$$

$$K_{NO_2} = \beta(q_{\max} - q_{\min}) / q_{доп},$$

$$K_{SO_2} = \delta(q_{\max} - q_{\min}) / q_{доп}.$$

где K – число постов мониторинга; q_{\max} , q_{\min} , $q_{доп}$ – соответственно максимальное, ми-

нимальное и допустимое значения концентраций загрязняющих веществ в выделенном районе (мг/м).

Из обобщения методологических подходов к размещению постов мониторинга при формировании информационно-измерительных систем построения полей загрязнения атмосферного воздуха, следует, что определяющим фактором пространственного размещения постов является характер расположения источников загрязнения на контролируемой промышленно развитой территории. При этом существенное значение имеет учет фактора делового вклада конкретного одиночного источника загрязнения в общее загрязнение воздушного бассейна территории.

Для учета этих факторов в настоящей работе принят принцип контролируемости каждого источника, располагающегося в пределах подлежащей мониторингу территории. Источник загрязнения считается контролируемым, если при любых направлениях и скоростях ветра, характерных для данной местности, хотя бы один из постов мониторинга будет фиксировать определенный минимальный уровень концентрации, создаваемый этим источником.

Последовательное применение этого принципа позволяет определять количество и координаты расположения постов мониторинга, необходимые для контроля всех источников загрязняющих веществ на рассматриваемой территории.

Для размещения постов мониторинга определяются координаты источников загрязнения, его геометрические характеристики, а также параметры выбросов.

Ниже представлен алгоритм определения количества постов мониторинга концентраций загрязняющих веществ промышленно развитых территорий. При этом количество источников в контролируемом районе обозначается через I , количество загрязняющих веществ – через M ; направлений ветра, для которых проводится расчет – через N , общее количество позиций, в которых определяется концентрация загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу промышленным предприятием – через J . Определяются концентрации загрязняющих веществ в каждой позиции от каждого из источников по всем контролируемым видам загрязнителей и всем направлениям ветра. Фиксируется номер источника путем нахождения в базе данных его координат на плане района и всех характеристик, необходимых для расчета концентраций в очередной позиции согласно модели. В базе данных выбираются сведения о наиболее вероятных скоростях ветра по зафиксированному направлению, а также о величине выброса источником в атмосферу определенного загрязнителя.

Комплексный показатель загрязненности воздуха основными веществами P , соответствующий рассчитанным концентрациям, от i -го источника в каждой позиции j при направлении ветра n определяется по формуле:

$$P(i, j, n) = \sum_{m=1}^M \frac{q(i, j, n)_m}{ПДК_m}$$

где q_m , $ПДК_m$ – соответственно концентрация m -го вредного вещества и его ПДК.

Численное значение комплексного показателя загрязненности воздуха определяет уровень загрязнения атмосферы: пониженный уровень; повышенный уровень; значительный уровень; высокий уровень.

После умножения полученного показателя загрязненности воздуха на частоту повторения ветра в n -м направлении, значение запоминается и осуществляется переход к

следующему направлению ветра.

По окончанию цикла по всем направлениям ветра выбирается максимальная величина ущерба от i -го источника в j -ой позиции. Этот процесс продолжается для всех позиций и каждого источника. Данные расчета заносятся в матрицу показателей загрязненности воздуха. После формирования матрицы выбирается положение первого поста мониторинга. Для этого суммируются показатели загрязненности воздуха для каждой позиции, и в качестве места расположения первого поста мониторинга выбирается узел, имеющий максимальный уровень загрязнения. Вектор-столбец матрицы соответствующий этому узлу, считается базовым.

Величина максимального уровня загрязнения определяется следующим образом:

$$R_{\max} = \sum_{i=1}^I \max(P(i, j)_{\max} - P(i, k)_{\max}),$$

где $P(i, k)_{\max}$ – концентрация от i -го источника в выбранной точке расположения поста мониторинга; $P(i, j)_{\max}$ – концентрация в любой j -ой точке. Для некоторых источников считается справедливым $(P(i, j)_{\max} - P(i, k)_{\max}) > 0$, т.е. загрязненность в некоторых позициях больше чем в точке размещения поста мониторинга. Если это не так, то добавление новых постов мониторинга не увеличит общей суммы регистрируемого значения концентрации загрязняющих веществ и, следовательно, они не нужны. После подсчета R_{\max} для всех позиций, определяется позиция, где эта величина максимальна: она принимается за место размещения второго поста мониторинга.

После формирования нового базового вектора-столбца по закону

$$Rs(i) = \max(P_i^{(1)}, P_i^{(2)}),$$

где $P_i^{(1)}$, $P_i^{(2)}$ – элементы столбцов, соответствующих позициям, в которых размещены первый и второй посты мониторинга. Подобная процедура совершается до тех пор, пока не будут выбраны K позиций для размещения всех имеющихся постов мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

Применяемый для решения поставленной задачи вычислительный алгоритм имеет определенные преимущества:

1. Позволяет охватывать все виды источников.
2. С вычислительной точки зрения процедура работает достаточно быстро, используя лишь операции сложения, вычитания и сравнения.
3. Характер процедуры не зависит от физического смысла величины, выбранной в качестве критерия для рационального размещения постов мониторинга.

Четвертая глава связана с разработкой теоретико-экспериментального метода оценки параметров территориального загрязнения атмосферы на основании анализа измерительной информации о превышении концентраций загрязняющих веществ в атмосфере. Он основан на введении вектора интегральной оценки расхождения значений концентраций загрязняющих веществ, полученных экспериментальным путем и с помощью моделирования.

При моделировании распространения загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы требуется комплексный учет множества разнообразных факторов, которые могут повлиять на состояние атмосферного воздуха. Каждый фактор имеет свои особенности, что может привести к необходимости использовать разные математические

модели и базы данных. В предлагаемом методе могут использоваться следующие виды оценок состояния атмосферного воздуха:

1. Точечная оценка. Здесь принимается $t=t_1$, т.е. фактическое время (например, 12 ч).

Известно, что приземную концентрацию загрязняющих веществ в любой точке местности при наличии определенного количества N источников можно определить по формуле:

$$\begin{aligned} C^m &= C_1^m + C_2^m + \dots + C_N^m, \\ C^o &= C_1^o + C_2^o + \dots + C_N^o, \end{aligned}$$

где C^m – концентрация загрязняющего вещества, полученная при моделировании процессов распространения, C^o – концентрация загрязняющего вещества, полученная в ходе эксперимента (путем фактических замеров с использованием датчиков, входящих в состав постов мониторинга), N – количество источников загрязнения.

$$\Delta C_m = |C^m - C^o|,$$

где ΔC_m – разность значений концентраций загрязняющих веществ, полученных с помощью моделирования и в результате эксперимента (для точечной оценки), тогда:

$$\begin{cases} \Delta C_T^1 = |C_1^M - C_1^Э| \\ \Delta C_T^2 = |C_2^M - C_2^Э| \\ \Delta C_T^n = |C_n^M - C_n^Э| \end{cases}.$$

Чтобы провести количественную оценку показателей, вводится $C_{доп}$ – допустимая погрешность расхождения полученных значений концентраций загрязняющих веществ.

Для выбора математической модели, которая наиболее подходит в том или ином случае, используется соотношение:

$$C_T^K \leq C_{доп}, \text{ при условии: } C_{доп} \rightarrow \min$$

2. Интегральная оценка.

Графическое отображение расхождения между измерениями и результатами моделирования представлено на рис. 4.

В результате принятия $C^m = f_1(t)$, $C^o = f_2(t)$, $t=t_1$, $t=t_2$, (определенный промежуток времени), площадь фигуры, ограниченной отрезком $[t_1, t_2]$ вычисляется по формуле:

$$\begin{aligned} J &= \int_{t_1}^{t_2} [f_1(t) - f_2(t)] dt \\ J &\leq J_{доп}, J_{доп} \rightarrow \min, \end{aligned}$$

где J – вектор интегральной оценки расхождения.

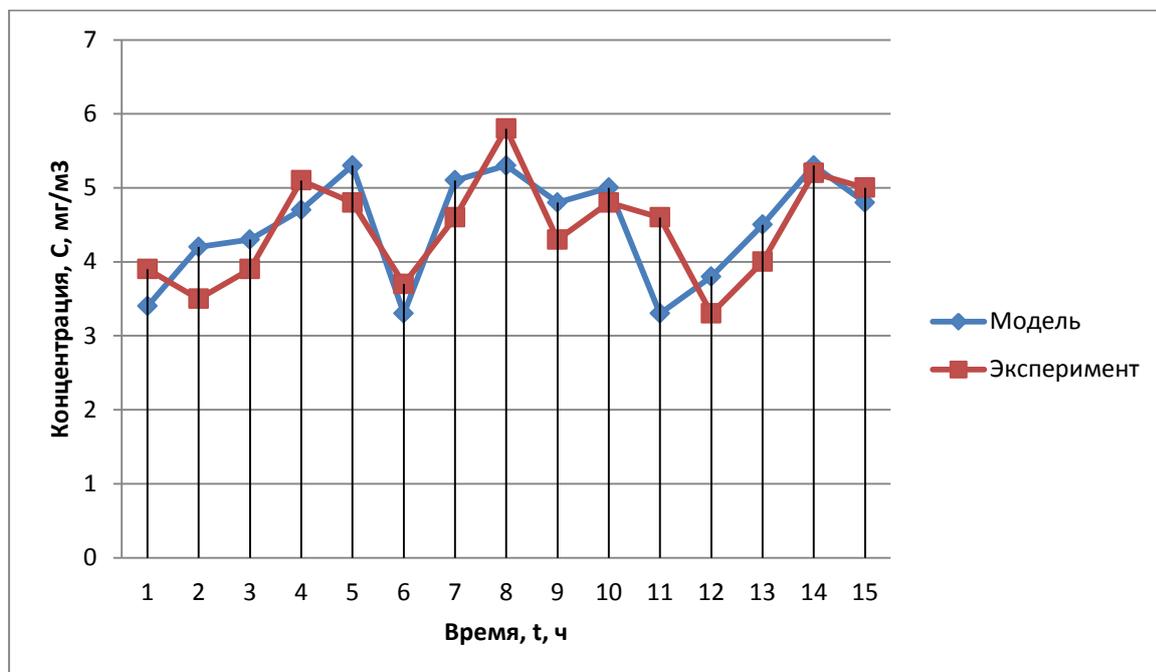


Рис. 4. Графическое отображение расхождения между измерениями и результатами моделирования.

Чтобы наиболее точно описать закономерности рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в разработанном методе учитывается совокупность основных наиболее важных факторов (например, турбулентность, тип местности и влияние крупных зданий, условия распада, перегрев исходящих газов, гравитационное осаждение частиц и др.).

Данный метод предоставляет возможность осуществлять сравнительный анализ полученных данных о концентрации загрязняющих веществ в результате эксперимента и с помощью математического моделирования, что позволяет использовать разработанный алгоритм реализации теоретико-экспериментального метода оценки загрязнения атмосферы, который представляет собой процедуру перебора известных математических моделей в соответствии заданному условию $\Delta C \leq C_{\text{доп}}$, а также включает коррекцию исходных данных при невозможности выполнения операции.

Предлагаемый алгоритм позволяет осуществлять моделирование загрязнения атмосферы с большей точностью за счет использования наиболее подходящей модели в конкретных условиях исследуемой промышленной территории. Предлагаемые методики и модели: модель Гаусса, модели, учитывающие турбулентность, перегрев газов, влияние распада, полная модифицированная модель, методика расчета концентраций загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах предприятий; методика расчета распространения загрязнений.

Предлагаемый метод позволяет адаптировать существующие модели к определенным условиям конкретного региона. При этом учитываются климатические особенности региона, рельеф местности, территориальные распределения промышленных объектов, а также объемы и состав газовых выбросов в атмосферу.

Пятая глава посвящена разработке метода ранжирования источников загрязнения, отличающийся тем, что вводится интегральный показатель опасности источников загрязнения. Его введение обусловлено необходимостью ранжирования источников загрязнения на определенной территории в информационно-измерительной системе

построения полей загрязнения атмосферного воздуха с целью коррекции количества постов мониторинга и номенклатуры датчиков, измеряющих вещества, характерных для данного источника, а также для оперативного принятия управленческих решений при опасном превышении концентраций загрязняющих веществ. В диссертационной работе рассмотрен случай, с выбросом аварийно химически опасного вещества. В данном случае таким критерием является заражение территории, приводящее к поражению людей, находящихся в зоне действия загрязняющих веществ. Одной из характеристик данного поражающего фактора является зона химического заражения, которая зависит от ряда показателей: количества загрязняющего вещества, его физико-химических и токсических свойств, метеорологических условий, характера местности и т.д. Поэтому значения интегрального показателя ранжирования получают как результат «свертки» обобщенных свойств-показателей. В работе сформирована система свойств, состоящая из следующих групп, характеризующих: физико-химические свойства веществ; условия производства, переработки, хранения и транспортировки веществ; объект, на котором осуществляется производство, переработка, хранение или транспортировка веществ; плотность населения, проживающего в зоне возможного поражения, обеспеченность средствами индивидуальной защиты населения; средства ликвидации последствий аварии; характер рельефа, растительности, застроек, на которой располагается объект и другие. Таким образом, интегральный показатель включает в себя свойства, которые могут влиять на масштабы заражения территории и последствий от этого заражения. Интегральный показатель объединяет свойства, отличающиеся качественной природой и видом размерности измеряемой величины, без существенных изменений своей структуры.

Интегральный показатель ранжирования источников загрязнения U , представляет собой функцию:

$$U = f(u_i),$$

где u_i – i -ое свойство исследуемого объекта.

Предлагаемый интегральный показатель ранжирования источников загрязнения допускает произвольное расширение множества свойств, используемых для описания объекта.

Метод ранжирования промышленных объектов, загрязняющих атмосферный воздух, заключается в следующем.

Формируются множества свойств каждого объекта на территории. Каждый объект обладает набором свойств, которые можно записать в виде:

$$R_i = \{x_i, y_i, z_i, f_i, k_1, k_2, \dots, k_j\},$$

где i – количество имеющихся объектов; j – количество рассматриваемых свойств объекта; x, y, z – координаты расположения объекта на территории, f – фактор взаимодействия, k_1, k_2, \dots, k_j – свойства i -го объекта.

Таким образом, описываются все объекты на исследуемой территории.

Формируется матрица M значений μ_{ij} всех объектов.

$$M = [\mu_{ij}], \quad (i = \overline{1..m}, j = \overline{1..k}),$$

где k – количество свойств всех объектов; m – количество рассматриваемых объектов.

Выбираются объекты, которые попадают в зону рассмотрения или стратегическую ситуационную зону, которая имеет свои границы. Координаты границы стратегической ситуационной зоны поражения формируются в матрицу L , где столбцами являются координаты x и y , а строками – точки, образующие границу зоны поражения:

$$L = [x_i \quad y_i],$$

здесь i – количество точек, образующих стратегическую ситуационную зону.

Точки с координатами (x_i, y_i) образуют границу стратегической ситуационной зоны, имеющую площадь S . Выделяются объекты, попадающие в зону поражения. Для этого проверяется условие, при котором:

$U[x, y] \in S \Rightarrow f = 1$ – объект учитывается при дальнейшем рассмотрении, т.е. взаимодействие происходит;

$U[x, y] \notin S \Rightarrow f = 0$ – объект не учитывается при дальнейшем рассмотрении, т.е. взаимодействия не происходит.

Затем формируется матрица G значений g_{ij} всех объектов, находящихся в стратегической ситуационной зоне:

$$G = [g_{ij}], \quad (i = \overline{1..m}, j = \overline{1..k}),$$

где k – количество свойств объектов; m – количество рассматриваемых объектов.

В данной матрице учитывается качественный характер свойств объекта. Значения элементов матрицы принимают следующие значения:

$$g_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{если свойство характеризует данный объект;} \\ 0 - \text{если свойство не характеризует данный объект.} \end{cases}$$

В данной работе выбран критерий для отбора объектов на исследуемой территории – заражение территории. В связи с этим формируется вектор-строка, где элементы, относящиеся к свойствам, влияющим на масштабы заражения территории и последствий аварии с выбросом загрязняющих веществ, принимаются равными 1, а остальные обнуляются.

$$V = [v_1, v_2, \dots, v_n] \text{ или } V = [v_i], \quad (i = \overline{1..n}).$$

Формируется матрица G^* значений g^*_{ij} из отобранных по выбранному критерию источников загрязнения путем упрощения матрицы G^* следующим образом:

$$g^*_{ij} = g_{ij} \cdot v_i^* \text{ или } g^*_{ij} = \begin{cases} g_{ij} & \text{при } v_i = 1, \\ 0 & \text{при } v_i = 0. \end{cases}$$

В данной матрице элементами являются количественные значения свойств, влияющие на масштаб последствий от аварии с выбросом загрязняющих веществ:

$$G^* = [g^*_{ij}], \quad (i = \overline{1..m}, j = \overline{1..n}),$$

здесь уже n – количество свойств источника загрязнения, за исключением свойств, не влияющих на выбранный критерий, m – количество источников загрязнения, т.е. объекты, которые не представляют угрозы возникновения аварии с выбросом загрязняющих веществ, в дальнейшем не учитываются. В результате уменьшается количество рассматриваемых объектов.

Если свойство объекта измеряемое, то

$$g^*_{ij} = \begin{cases} g^*_{ij} - \text{если свойство способствует увеличению масштабов заражения и} \\ \text{последствий аварии,} \\ \frac{1}{g^*_{ij}} - \text{если свойство приводит к снижению масштабов заражения и} \\ \text{последствий аварии.} \end{cases}$$

Если свойство объекта имеет качественную природу, то определение значения соответствующего элемента в матрице имеет индивидуальный характер, и в общем виде записывается:

$$g^*_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{если свойство способствует увеличению масштабов заражения и} \\ \text{последствий аварии,} \\ 0 - \text{если свойство уменьшает масштабы заражения и} \\ \text{последствий аварии.} \end{cases}$$

Для получения комплексной оценки интегрального показателя ранжирования, в который входят свойства, отличающиеся видом размерности, проводится нормирование этих значений согласно выражению:

$$g^*_{ijnorm} = \frac{g^*_{ij}}{\max_{i=1..m} g^*_{ij}},$$

где g^*_{ijnorm} – элементы нормированной матрицы; $\max_{i=1..m} g^*_{ij}$ – максимальное значение по j -му свойству среди рассматриваемых объектов.

Затем формируется вектор-столбец, элементами которого будут весовые коэффициенты значимости каждого свойства:

$$\rho = [\rho_{i^*,1}] \quad (i^* = \overline{1..n}), \text{ при } \sum \rho_{i^*} = 1,$$

где ρ_{i^*} – весовой коэффициент значимости свойства, характеризующего исследуемый фактор. Чем больше значение весового коэффициента, тем большее значение имеет этот показатель по сравнению с другими. Определение значений весовых коэффициентов значимости решается с помощью экспертных процедур.

Формируется матрица интегральных показателей ранжирования источников загрязнения по выбранному критерию путем произведения матрицы $G^* = [g_{ij}^*]$ ($i = \overline{1..m}, j = \overline{1..n}$) и вектора-столбца: $\rho = [\rho_{i^*,1}]$ ($i^* = \overline{1..n}$). Таким образом, каждый элемент матрицы J, соответствующий значению интегрального показателя ранжирования i -го объекта, вычисляется путем суммирования произведений каждого элемента строки матрицы $G^* = [g_{ij}^*]$ ($i = \overline{1..m}, j = \overline{1..n}$) на соответствующий весовой коэффициент, содержащийся в векторе-столбце $\lambda = [\lambda_{i^*,1}]$ ($i^* = \overline{1..n}$):

$$U_i = \sum_{j=1}^n g_{ij}^* \cdot \rho_{j,1}, \quad (i = \overline{1..m}).$$

Проводится процедура ранжирования источников загрязнения по выбранному критерию, которая заключается в последовательном применении алгоритма выбора. В качестве критерия используется минимаксное правило. Применение минимаксного критерия целесообразно в условиях, когда требуется в максимальной степени исключить принятие ошибочного однократно реализуемого решения. Данные ограничения соответствуют условиям ранжирования источников загрязнения, что и обусловило выбор минимаксного критерия. Для отображения информации на электронной карте местности формируется шкала цветов в зависимости от значений интегральных показателей ранжирования.

Предлагаемые подходы к ранжированию источников загрязнения, позволяют в компактной, обозримой форме представлять информацию о них экспертам, что повышает эффективность принимаемых ими решений. Данный метод ранжирования позволяет провести коррекцию количества постов мониторинга и номенклатуру датчиков, измеряющих характерные для данного источника загрязняющие вещества.

С целью поддержки принятия управленческих решений при опасном превышении концентрации загрязняющего вещества построена упрощенная сеть Петри. Дается формальное определение модели и ее интерпретация на языке сетей Петри. Объектом моделирования является промышленно развитая территория с ее инфраструктурой. Множество источников загрязнения, расположенных на рассматриваемой территории представляется в виде $S^o = \{s_1^o, s_2^o, \dots, s_l^o\}$. Каждый объект s_i^o описывается вектором характеристик, содержащим данные о типе объекта, его местоположении, занимаемой им площади, количестве работающих, типе поражающего фактора и масштабе последствий возможных выбросов и т. п. Аналогично описываются множество защищаемых объектов $S^3 = \{s_1^3, s_2^3, \dots, s_l^3\}$, множество объектов, входящих в силы и средства ликви-

дации последствий выбросов $S^c = \{s_1^c, s_2^c, \dots, s_R^c\}$. Далее определяются множества, обозначающие объекты обслуживания (s^{ob}), места размещения транспортных средств и строительной техники (s^m), пункты управления (s^Y) и соответствующие конкретным объектам векторы характеристик. Все эти группы объектов являются элементами модели. Информационная сеть задается графом G^u , вершинами которого являются элементы множества $S = S^o \cup S^3 \cup S^c \cup S^{ob} \cup S^T \cup S^Y$; две вершины соединены дугой, если между объектами существует прямой канал связи. Дуги графа являются помеченными, метка определяет тип связи между объектами.

При нормальном функционировании объекта (отсутствие на территории промышленного района признаков аварийных выбросов загрязняющих веществ) вся система находится в режиме ожидания, т.е. информационные и материальные потоки между элементами объекта отсутствуют. Наступление аварии, приводящей к превышению концентрации загрязняющего вещества, вызывает активизацию перемещения различных типов ресурсов в некотором временном интервале по связям между объектами. В этих условиях возникают задачи моделирования развития аварии и принятия решений о рациональном использовании имеющихся ресурсов, привлечении дополнительных ресурсов из соседних районов для ликвидации последствий аварии.

Рассматривается динамика функционирования предлагаемой модели. В стационарном режиме (в отсутствие аварийной ситуации) ни один из переходов модели не может быть активизирован, во всех выходных позициях переходов, моделирующих объекты множества $S = S^o \cup S^3 \cup S^c \cup S^{ob} \cup S^T \cup S^Y$ содержатся маркеры определенного цвета, которые обозначаются как стационарные. Возникновение на промышленном объекте аварии с выбросом загрязняющего вещества моделируется формированием начальной маркировки, содержащей маркер цвета, соответствующий силе аварии, в позиции источника аварийного выброса и в позициях всех объектов, попадающих в зону действия поражающих факторов. Ликвидация последствий аварии соответствует переходу сети в стационарное состояние и достижению маркировки соответствующего цвета.

Выбран критерий эффективности формирования плана по предупреждению и ликвидации последствий аварий с выбросом загрязняющих веществ – минимум общего времени реализации оперативных мероприятий по ликвидации ее последствий. В качестве ограничений используются ограничения на величину конечных людских потерь, на величину конечных ущербов, на общую стоимость выделенных ресурсов и др.

В работе на основе сетей Петри построена информационная сеть взаимодействия органов управления, сил и средств ликвидации аварии и ее последствий на промышленных объектах, которую предлагается использовать для анализа развития аварии с выбросом загрязняющих веществ и принятия необходимых управленческих решений. Информационная сеть позволяет решить задачу повышения эффективности принятия управленческих решений. Критерием эффективности в данном случае является сокращение времени, необходимое для ликвидации последствий аварии имеющимися силами и средствами. Применяя данный метод сокращение времени составляет 15-20%.

Шестая глава посвящена технической реализации информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха.

На рис. 5 представлена информационно-измерительная система построения полей загрязнения атмосферного воздуха.

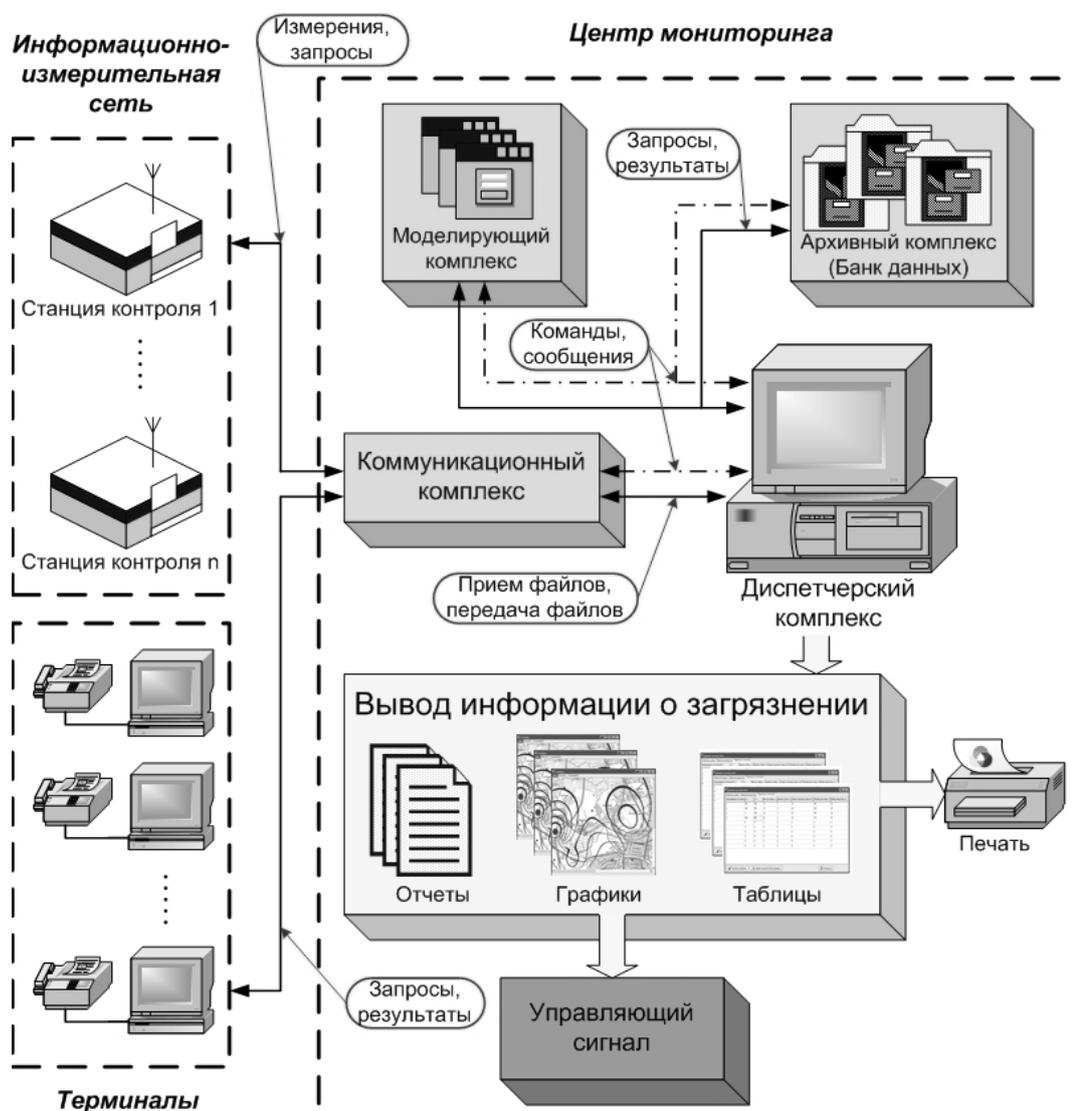


Рис. 5. Информационно-измерительная система построения полей загрязнения атмосферного воздуха

Разработан автономный экологический метеокомплекс (рис.6), который предназначен для получения основных параметров текущего состояния погодных условий. Имеет функцию прогноза погоды, которая учитывает координаты места расположения комплекса, время года, текущее значение атмосферного давления и его изменение, скорость и направление ветра, температуру и влажность воздуха, количество осадков, состояния почвы, загрязненности воздуха и радиационного фона. Передача данных осуществляется по беспроводному каналу GSM/GPRS на удаленный сервер сбора и обработки данных.



Рис. 6. Автономный экологический метеокomплекс

На основании предложенных моделей и методов разработано алгоритмическое и программное обеспечение информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха, включающая отдельные программные модули, такие как:

- «Экомонитор», который позволяет в реальном времени осуществлять мониторинг состояния загрязнения воздуха;
- модуль расчета и отображения зон распространения опасных химических веществ;
- модуль расчета распространения выбросов в воздушной среде застроенных территорий в виде программного комплекса «Эмиссия».

Каждый из программных модулей выполняет поставленные перед ним задачи и способствует повышению эффективности работы всей информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий.

1) Программно-аппаратный комплекс «Экомонитор». Главное окно программы состоит из: панели меню, списка всех датчиков, панели метеоданных, карты с постами измерения (рис. 7).

Меню программы представляет собой панель меню и панель инструментов. Все пункты меню продублированы на панели инструментов.

Датчик на карте представлен двумя объектами: точкой расположения датчика, обозначается зеленой точкой с номером, и формой с показаниями датчика.

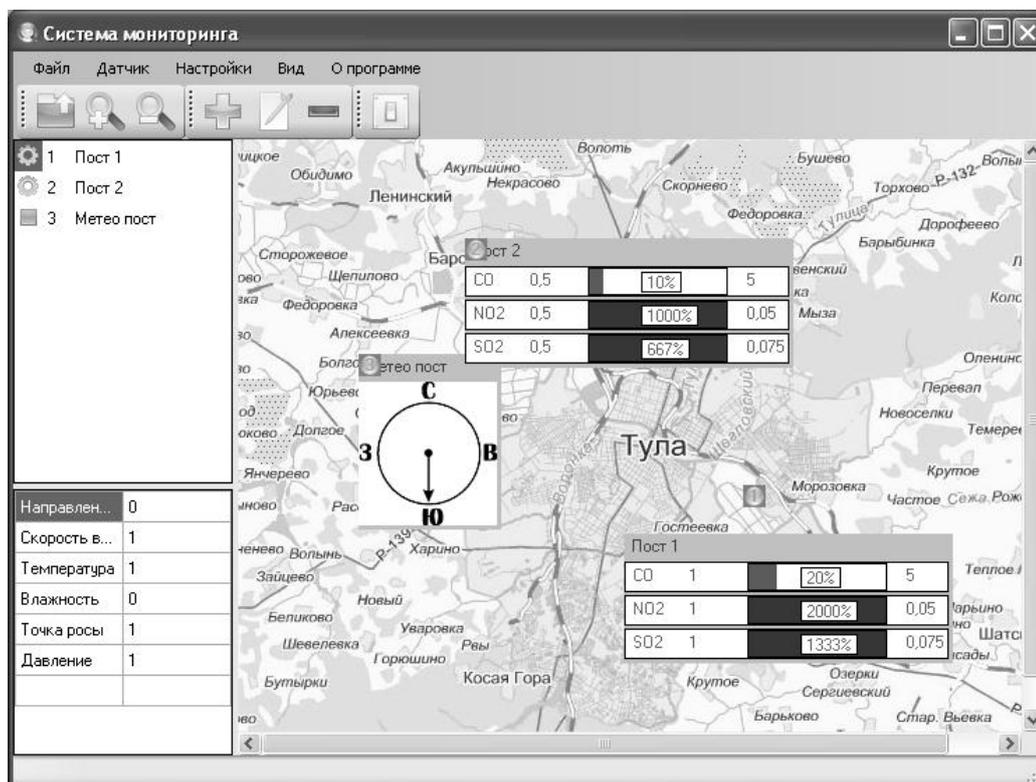


Рис. 7. Программа “Экомонитор”

2) Модуль расчета и отображения зон распространения опасных химических веществ разработан в геоинформационной системе AutoCad Map. Процесс моделирования требует внесения исходной информации. Осуществляется последовательное введение данных, требуемых для расчета последствий аварии, связанной с опасными химическими веществами. Здесь вводится информация о типе и количестве вещества, тип разлива, метеорологические данные, дата и время аварии и т.д. В программу входит база данных опасных химических веществ, промышленные объекты Тульской области, населенные пункты. На рис. 8 представлено окно ввода исходных данных. Далее производятся автоматические расчеты, и на карте отображается зона заражения территории, а также объекты, которые в нее попали: улицы, жилые дома, производственные здания и т.д.

Деятельность органов управления в условиях аварии с выбросом опасных химических веществ во многом связана с разработкой, передачей, использованием и архивацией документов различного типа. Поэтому, после построения зоны заражения и просмотра динамики развития аварии с выбросом опасных химических веществ, существует возможность составить отчет о произошедшей аварии (рис. 9).

На экране отображается фрагмент сценария в определенный момент времени. Здесь имеется возможность просмотреть исходные данные, а также расчетные характеристики аварии: площадь зоны возможного заражения, тип сектора заражения, степень вертикальной устойчивости, эквивалент и глубины зон заражения первичным и вторичным облаками, общая глубина зоны возможного заражения, предельно-возможная глубина, окончательная глубина, время испарения и т.д.

Параметры АВАРИИ

1	Координаты аварии	X	7342296,17:	Выбрать >>
		Y	5956117,05:	
2	Вещество	k1	Анилак	...
3	Количество вещества	k2	15	ТОНН
4	Тип вылива	k3	<input checked="" type="radio"/> Свободный <input type="radio"/> В поддон	
6	Время аварии	k5	00 ч. 00 мин.	Случайно
7	Время после аварии	k6	120 мин	0 480
8	Дата аварии	k7	14.11.2004	
9	Прогноз погоды	k8	<input checked="" type="radio"/> Ясно <input type="radio"/> Облачно	
10	Скорость ветра, м/с	k9	0	
11	Направление ветра	k10		
12	Температура воздуха, С	k11	0	

OK
Отмена
По умолчанию

Рис.8. Окно ввода исходных данных

Информация об активном сценарии

Вид облака на местности



Расчетные параметры

Площадь зоны возможного заражения (км2)	113.097
Площадь зоны фактического заражения (км2)	5.499
Тип сектора заражения (градусы)	360
Степень вертикальной устойчивости	Изотермия
Эквивалент первичного облака (т)	0.496
Эквивалент вторичного облака (т)	2.637
Глубина зоны заражения первичного облака (км)	3.138
Глубина зоны заражения вторичного облака (км)	8.346
Общая глубина ЗВЗ (км)	9.916
Предельно возможная глубина (км)	6
Окончательная глубина (км)	6
Время испарения (час:мин)	02:14
Время суток	День
Время после аварии (расчетное) (час:мин)	02:00

Исходные параметры

Вещество	Хлор
Количество вещества (тонн)	20
Тип вылива	Свободный
Высота поддона (м)	0
Время аварии (час : мин)	11:38
Время прошедшее после аварии (мин)	120
Погодные условия	Облачно
Скорость ветра (м/с)	0
Направление ветра (градусы)	0
Температура воздуха (градусы Цельсия)	0
Координата X	7411096.663
Координата Y	6005808.645
Дата аварии	9.2.2006

Печать Закрыть

Рис.9. Форма отчета о текущем сценарии

Применение программного комплекса позволяет значительно сократить время расчета зоны возможного заражения, что приводит в среднем к сокращению времени оценки ситуации и ликвидации последствий аварии на 15-20%.

3) Модуль расчета распространения выбросов в воздушной среде застроенных территорий в виде программного комплекса «Эмиссия» предназначен для оценки влияния выбросов загрязняющих веществ проектируемых и действующих (реконструируемых) предприятий на загрязнение приземного слоя атмосферы. Система позволяет рассчитывать поля загрязнений для точечной модели источника выброса вредных веществ с круглым устьем трубы и множества одиночных точечных источников с различными значениями конструктивных и технологических характеристик. По желанию пользователя при оценке влияния проектируемых и реконструируемых предприятий на загрязнение атмосферы расчет производится с учетом фоновых концентраций.

Для расчета влияния некоторого проектируемого (реконструируемого) предприятия или разрыва газопровода на загрязнение атмосферного воздуха необходимо загрузить карту.

Выбрать вид расчета и ввести исходные данные для расчета. Примеры окон ввода исходных данных приведены на рис.10-11.

Рис. 10. Окно «Параметры среды (точечные источники)»

Рис. 11. Окно «Параметры вещества (разрыв трубопровода)»

Затем производится расчет. Результаты выводятся либо в табличной, либо в графической форме. Графическое представление данных предоставляет мощные возможности обработки карты расчета рассеивания. На рис.12 представлен пример расчета полей концентраций для точечных источников.



Рис. 12. Окно «Параметры вещества»

Расчеты выбросов можно проводить как отдельно для каждого источника, так и для всего предприятия в целом. По результатам расчета формируется карта рассеивания и отчет о загрязнении атмосферы. Кроме этого отчеты содержат полный набор введенных исходных данных и расчетные формулы из методик.

Компьютерный комплекс может применяться как в проектной практике, так и при оценке ущерба от аварий.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертации решена научная проблема, имеющая важное народно-хозяйственное значение и заключающаяся в разработке методологии создания информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха промышленно развитых территорий, дающая возможность в реальном времени реагировать на повышение концентраций загрязнителей атмосферы, в том числе при возникновении аварийных ситуаций, наносящих вред здоровью работающих и населения окружающих территорий. При этом разработана система рекомендаций и программ, позволяющая принимать своевременные управленческие решения, дающие ощутимый эффект в обеспечении безопасности и экономике.

В рамках решения данной проблемы получены следующие научные и

практические результаты:

1. Проведен анализ современного состояния и подходов к разработке информационно-измерительных систем построения полей загрязнения атмосферного воздуха, подходов и методов моделирования загрязнения атмосферы промышленно развитых территорий и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций на промышленных предприятиях.

2. Разработана структура информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха, отличающаяся тем, что позволяет учитывать рациональное количество и места расположения постов мониторинга;

3. Разработан метод определения количества постов мониторинга концентраций загрязняющих веществ и рационального их размещения, отличающийся тем, что позволяет учитывать различные источники загрязнения, а сама процедура не зависит от физического смысла величины, которая выбрана в качестве критерия для размещения постов мониторинга;

4. Разработаны математические модели управления системой сбора, передачи и обработки информации в информационно-измерительной системе построения полей загрязнения атмосферного воздуха как территориально удаленными объектами на основе сетей Петри-Маркова, отличающиеся тем, что формируется вектор переключений, который позволяет получить вероятности нахождения системы в различных состояниях, включая отказ;

5. Разработан теоретико-экспериментальный метод оценки параметров территориального загрязнения атмосферы на основании анализа измерительной информации о превышении концентраций загрязняющих веществ в атмосфере, отличающийся тем, что введен вектор интегральной оценки расхождения значений концентраций загрязняющих веществ, полученных экспериментальным путем и с помощью моделирования, что позволяет адаптировать существующие модели к специфическим условиям выбранной конкретной территории;

6. Разработан метод ранжирования источников загрязнения, отличающийся тем, что вводится интегральный показатель опасности, на основе которого проводится коррекция количества постов мониторинга и номенклатура датчиков, измеряющих вещества, характерные для данного источника;

7. Проведена техническая реализация и внедрение информационно-измерительной системы построения полей загрязнения атмосферного воздуха в реальном секторе экономики, а именно в виде автономного экологического метеокомплекса и ряде программных модулей:

– «Экомонитор», который позволяет в реальном времени осуществлять мониторинг состояния загрязнения воздуха;

– модуль расчета и отображения распространения загрязнений при авариях с выбросом опасных химических веществ на основании полученной информации, который может использоваться для оперативных расчетов при авариях и учениях;

– модуль расчета распространения выбросов в воздушной среде застроенных территорий в виде программного комплекса «Эмиссия».

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные положения диссертации и результаты научных исследований по теме диссертации отражены более чем в 125 публикациях (12 без соавторов), в том числе 5 монографиях и 35 научных статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, более 20 тезисов докладов в сборниках материалов по международным и всероссийским научным конференциям, 7 патентах на изобретение и 5 свидетельствах на программы для ЭВМ Роспатента РФ. Основные из них:

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Зуйкова А.А. Информационно-моделирующая система поддержки принятия управленческих решений при возникновении аварийных ситуаций с выбросом химически опасных веществ / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, А.А. Зуйкова. -«Безопасность жизнедеятельности». №7, 2007 г. Изд-во «Новые технологии». С.24-26.
2. Зуйкова А.А. Описание математических моделей распространения выбросов вредных веществ при разрыве трубопроводов / А.А. Зуйкова, И.В. Семин// «Безопасность жизнедеятельности». 2008. №11. С.20-25.
3. Зуйкова А.А. Создание автоматизированного рабочего места для поддержки принятия управленческих решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, А.А. Зуйкова. – «Вестник компьютерных и информационных технологий». №9, 2007. – с.37-41.
4. Зуйкова А.А. Автоматизированная система экологического мониторинга атмосферы при выбросах вредных веществ / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, А.А. Зуйкова, А.В. Бизикин // «Информационные технологии». №4, 2008. – с. 58-62.
5. Зуйкова А.А. Компьютерное моделирование распространение загрязняющих веществ в атмосфере / В.М. Панарин, В.С. Павлова, А.А. Зуйкова // Вестник компьютерных и информационных технологий. № 6 (48), 2008. – с.15-18.
6. Зуйкова А.А. Внедрение новых информационных технологий в работу органов управления системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций / А.А. Зуйкова [и др.]// «Информационные технологии». №12, 2008. – с. 20-22.
7. Зуйкова А.А. Внедрение работу органов управления МЧС современных информационных технологий/А.А. Зуйкова// Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.3. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – с. 240-246.
8. Горюноква А.А. Совершенствование теории развития чрезвычайных ситуаций техногенного характера / А.А. Горюноква [и др.]// "Известия Тульского государственного университета. Технические науки". Изд-во ТулГУ. 2010, Вып.4. Ч.2. с. 241-251.
9. Горюноква А.А. Разработка математических моделей развития чрезвычайных ситуаций техногенного характера и снижения риска их возникновения / А.А. Горюноква [и др.]// "Известия Тульского государственного университета. Технические науки". Изд-во ТулГУ. 2010, Вып.4. Ч.2. с. 251-258.
10. Горюноква А.А. Разработка методов оценки, прогнозирования и предупреждения развития чрезвычайных ситуаций техногенного характера/ А.А. Горюноква [и др.]// "Известия Тульского государственного университета. Технические науки". Изд-во ТулГУ. 2010, Вып.4. Ч.2. с. 258-265.

11. Горюнкова А.А. Телеметрический комплекс контроля дозвыбных концентраций газа в многоквартирных домах / А.А. Горюнкова [и др.]// "Известия Тульского государственного университета. Технические науки". Изд-во ТулГУ. 2010, Вып.4. Ч.2. с. 125-128.
12. Горюнкова А.А. Системы телеметрии для мониторинга и навигации автотранспорта / А.А. Горюнкова [и др.]// "Известия Тульского государственного университета. Технические науки". Изд-во ТулГУ. 2010, Вып.4. Ч.2. с. 129-133.
13. Горюнкова А.А. Метод интегральной оценки территориального загрязнения приземного слоя атмосферы горнопромышленного региона/ А.А. Горюнкова [и др.]// "Известия Тульского государственного университета. Технические науки".Изд-во ТулГУ. 2011, Вып.6. Ч.2. с. 504-511.
14. Горюнкова А.А. Методика оперативной оценки уровня загрязнения воздушной среды промышленными предприятиями/ А.А. Горюнкова [и др.]// "Известия Тульского государственного университета. Технические науки".Изд-во ТулГУ. 2011, Вып.6. Ч.2. с. 511-520.
15. Горюнкова А.А. Информационно-измерительная и управляющая система на основе GSM для решения транспортных задач / А.А. Горюнкова [и др.]// "Известия ТулГУ. Технические науки".Изд-во ТулГУ. 2012, Вып.3. с. 235-239.
16. Горюнкова А.А. Автоматизированная система поддержки принятия решений по ликвидации чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах / А.А. Горюнкова [и др.] // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>) – Выпуск №1 (35) - февраль 2011.-8 с.
17. Горюнкова А.А. Метод оценки опасности объектов химической промышленности /А.А. Горюнкова// Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>) – Выпуск №3 (37) – июнь 2011.- 5с.
18. Горюнкова А.А. О методологии мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы при аварийных выбросах опасных химических веществ /А.А. Горюнкова // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>) – Выпуск №4 (38) - август 2011.-8 с.
19. Горюнкова А.А. Основные элементы автоматизированной системы мониторинга воздуха крупных промышленных городов/ А.А. Горюнкова// «Экологические системы и приборы» - №12. - 2011 г. – с. 54-57.
20. Горюнкова А.А. Программно-аппаратный комплекс обработки и отображения информации о загрязнении атмосферного воздуха/А.А. Горюнкова//«Экологические системы и приборы». Изд-во «Научтехлитиздат», 2012. №1. с. 33-37.
21. Горюнкова А.А. Информационно-измерительная система мониторинга загрязнения приземного слоя атмосферы промышленно развитых регионов/ В.С. Карпов, В.М. Панарин, А.А. Горюнкова // Известия ТулГУ. Технические науки.Изд-во ТулГУ. 2012, Вып.2. с. 74-83.
22. Горюнкова А.А. Информационно-измерительная система оценки загрязнений атмосферного воздуха/ В.С. Карпов, В.М. Панарин, А.А. Горюнкова // Известия ТулГУ. Технические науки.Изд-во ТулГУ. 2012, Вып.2. с. 83-91.
23. Горюнкова А.А. Автоматизированная система сбора и анализа экологической информации о загрязнении атмосферного воздуха/ А.А. Горюнкова [и др.]// Вестник компьютерных и информационных технологий. № 1 (Январь), 2013. – с. 9-11.

24. Горюноква А.А. Математическое описание информационной системы мониторинга загрязнения атмосферы/ А.А. Горюноква [и др.]// Вестник компьютерных и информационных технологий. № 3, 2013. – с. 25-28.

25. Горюноква А.А. Современное состояние и подходы к разработке систем мониторинга загрязнения атмосферы/ А.А. Горюноква// "Известия ТулГУ. Технические науки".Изд-во ТулГУ. 2013, Вып.11. с. 251-260.

26. Горюноква А.А. Подходы и методы моделирования принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций / А.А. Горюноква// "Известия ТулГУ. Технические науки".Изд-во ТулГУ. 2013, Вып.11. с. 267-275.

27. Горюноква А.А. Техническая реализация и внедрение программно-аппаратного комплекса сбора, обработки и отображения информации совместно с комплексом аппаратуры для измерения концентраций вредных веществ «Экомонитор»/ В.М. Панарин, А.А. Горюноква// Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 6. Тула: Изд – во ТулГУ, 2014. с.196-204.

28. Горюноква А.А. Техническая реализация и внедрение программного модуля расчета и отображения зон поражения при авариях с выбросом опасных химических веществ/ В.М. Панарин, А.А. Горюноква// Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 6. Тула: Изд – во ТулГУ, 2014. с.205-210.

Монографии:

29. Зуйкова А.А. Анализ и управление чрезвычайными ситуациями на химически опасных производственных объектах / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, А.А. Зуйкова. – Издательство ТулГУ. - Тула, 2005. - 158 с.: илл.

30. Зуйкова А.А. Автоматизированные системы экологического мониторинга атмосферы промышленно развитых территорий / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, А.В. Бизикин, А.А. Зуйкова - Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. - 218 с.

31. Зуйкова А.А. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, В.С. Павлова, А.А. Зуйкова – Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. – 155 с.

32. Зуйкова А.А. Повышение эффективности управленческих решений при чрезвычайных ситуациях с выбросом аварийно химически опасных веществ / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, А.А. Зуйкова - Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – 161 с.

33. Горюноква А.А. Организация мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в промышленно развитых регионах/ монография/ Э.М. Соколов, В.М.Панарин, А.А. Горюноква/ Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2013. – 298 с.

Объекты интеллектуальной собственности

34. Пат. 2380729 РФ Система экологического мониторинга атмосферного воздуха промышленного региона. МПК⁷ G 05 D 27/02.; заявитель и патентообладатель Тульский государственный университет/ Зуйкова А.А. [и др.] - № 2008122587; заявл. 04.06.08; опубл. 27.01.10, Бюл. № 3. - 7 с.: ил.

35. Пат. на полезную модель 105360 Устройство мониторинга состояния безопасности эксплуатации магистральных газопроводов Рос. Федерация: МПК⁷ E21B 47/00; заявитель и патентообладатель ООО «Новые технологии» Тульского государственного университета/ Горюноква А.А. [и др.] - № 2011103895; заявл. 04.02.11; опубл. 10.06.11, Бюл. № 16. - 2 с.: ил.

36. Пат. на полезную модель 105497 Устройство экологического мониторинга и отображения загрязнения атмосферного воздуха Рос. Федерация: МПК⁷ G08C 19/00; заявитель и патентообладатель ООО «Новые технологии» Тульского государственного университета/ Горюнкова А.А. [и др.] - № 2011103893; заявл. 04.02.11; опубл. 10.06.11, Бюл. № 16. - 2 с.: ил.

37. Пат. на полезную модель 105411 Устройство регистрации экологического воздействия тепловых объектов на окружающую среду Рос. Федерация: МПК⁷ F24D 19/00; заявитель и патентообладатель ООО «Новые технологии» Тульского государственного университета/ Горюнкова А.А. [и др.] - № 2011103894; заявл. 04.02.11; опубл. 10.06.11, Бюл. № 16. - 2 с.: ил.

38. Пат. на полезную модель регистрационный 106786 Устройство экологического мониторинга загрязнения атмосферы/ Правообладатель ООО НП "Энергоэффективность, ресурсосбережение и экология"/ Горюнкова А.А. [и др.] - № 2011110156/08; заявл. 18.03.11; опубл. 20.07.11. - 2 с.: ил.

39. Пат. 2466434 Система экологического мониторинга и прогнозирования состояния загрязнения атмосферы промышленного региона Рос. Федерация: МПК⁷ G 05 D 27/02.; заявитель и патентообладатель Тульский государственный университет/ Горюнкова А.А. [и др.] - № 2011123330; заявл. 08.06.11; опубл. 10.11.12, Бюл. № 31. - 7 с.: ил.

40. Пат. на полезную модель 2453896 Рос. Федерация: МПК⁷ G05B17/02 Система прогнозирования и распределения выбросов (проливов) аварийно химически опасных веществ/ заявитель и патентообладатель ТулГУ. Авторы: Горюнкова А.А. [и др.] - № 2011123329/08; заявл. 08.06.11; опубл. 20.06.12.

41. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615882 «ТулГУ: Экомонитор» /Правообладатель: Тульский государственный университет/ Зуйкова А.А. [и др.] Заявка № 2008615497. Дата поступления 26 ноября 2008. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 декабря 2008 г.

42. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009610848 «Эмиссия» /Правообладатель: Тульский государственный университет/ Зуйкова А.А. [и др.] Заявка № 2008615899. Дата поступления 16 декабря 2008. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 6 февраля 2009 г.

43. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009610849 «Программный модуль для информационной поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, возможных при разливе аварийно-химически опасных веществ» /Правообладатель: Тульский государственный университет/ Зуйкова А.А. [и др.] Заявка № 2008615900. Дата поступления 16 декабря 2008. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 6 февраля 2009 г.

44. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009615812. Система мониторинга состояния атмосферного воздуха промышленного региона / Зуйкова А.А. [и др.] /ТулГУ. - зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19 октября 2009 г.

45. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009615811. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха / Зуйкова А.А. [и др.] /ТулГУ -зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19 октября 2009 г.

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97. Подписано в печать 23.05.2015.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Усл-печ.л. 1,2 Уч.-изд.л. 1,0

Тираж 100 экз. Заказ № ...

Тульский государственный университет.

300600, г. Тула, просп. Ленина, 92.

Отпечатано в редакционно-издательском центре

Тульского государственного университета.

300600, г. Тула, ул. Болдина, 151.