

На правах рукописи

Папаев Павел Леонидович

**ЯЧЕЕЧНО-НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО
АНАЛИЗА ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ
АТМОСФЕРЫ ХИМИЧЕСКИМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(химическая технология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2017

Работа выполнена на кафедре информационных компьютерных технологий
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева»

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент, Дударов Сергей Павлович,
декан факультета информационных технологий и управления
РХТУ им. Д. И. Менделеева

Официальные оппоненты:

Главный научный сотрудник Испытательной лаборатории
радиационного контроля АО «ВНИИХТ», доктор технических наук, профессор
Кузин Рудольф Евгеньевич

Заведующий лабораторией № 40 «Интеллектуальных систем управления
и моделирования» ИПУ РАН, доктор технических наук, профессор
Пащенко Федор Федорович

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Тулский государственный университет»

Защита состоится 06 февраля 2018 года в 11:00 на заседании диссертационного
совета Д 212.204.16 при РХТУ им. Д. И. Менделеева (125047 г. Москва, Миус-
ская пл., д. 9) в конференц-зале (ауд. 443).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре
РХТУ им. Д. И. Менделеева и на интернет-сайте: <http://diss.muctr.ru>.

Автореферат разослан «__» декабря 2017 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.204.16

Дударов С. П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Объемы производства и хранения аварийных химически опасных веществ ежегодно возрастают, что повышает актуальность решения задач обеспечения промышленной и экологической безопасности химических производств и окружающих их территорий. Это, в свою очередь, требует разработки и использования эффективного информационного и программно-алгоритмического обеспечения компьютеризированных систем управления промышленной и экологической безопасностью, базирующихся на методологии системного анализа и современных математических методах.

Научное сообщество постоянно разрабатывает новые современные методы решения задачи оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) и социальную сферу аварийных загрязнений атмосферы промышленными выбросами. Традиционно для решения этих задач используются сложные математические модели и алгоритмы ОВОС, учитывающие динамику распространения загрязнений. Разработка указанных математических моделей предельно затруднена из-за высокой значимости влияния дополнительных внешних аэрогидродинамических факторов, поэтому часто в них принимают различные допущения, например, о постоянстве метеорологических и других характеристик, что в большинстве случаев приводит к неадекватному отображению реальных наблюдаемых процессов в атмосфере.

Системный анализ современных научных исследований по ОВОС показал, что для учета различных аэрогидродинамических факторов, влияющих на распространение загрязнений в атмосфере, при прогнозировании недостаточно широко используются методология системного подхода и методы теории искусственного интеллекта (ИИ), в частности, искусственные нейронные сети (ИНС).

В связи с этим решаемая в диссертации научная задача разработки и практического применения ячеечно-нейросетевой системы компьютерного анализа (ЯНСКА) последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками с использованием методологии системного анализа и инструментальных методов теории ИНС, имеет актуальное научное и практическое значение.

Содержание диссертационной работы соответствует п. 18 «Технологии и программное обеспечение распределенных и высокопроизводительных вычислительных систем» и п. 19 «Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды (ОС), предотвращения и ликвидации ее загрязнения» Перечня критических технологий Российской Федерации; п. 1 «Безопасность и противодействие терроризму» и п. 3 «Информационно-телекоммуникационные системы» Приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации.

Основные разделы диссертационной работы выполнялись в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 12-01-31157 «Разработка и исследование ячеечно-нейросетевых моделей для прогнозирования загрязнения атмосферы типовыми техногенными источниками выбросов при нестационарных внешних условиях» (2012 год).

Степень научной разработанности темы исследования

Анализ научно-технических разработок по экологической и промышленной безопасности производственных предприятий позволил выявить большое количество научных трудов по ОВОС химических веществ, выполненных в разное время ведущими отечественными учеными: академиком РАН В. П. Мешалкиным и профессором О. Б. Бутусовым – по компьютерному моделированию и оценке последствий негативного воздействия промышленных предприятий на экологические системы; академи-

ком Ю. А. Израэлем – по экологическому мониторингу и анализу влияния техногенных факторов на окружающую среду; академиком Г. И. Марчуком – по компьютерному моделированию рассеяния загрязнений в атмосфере; профессорами А. Ф. Егоровым и Т. В. Савицкой – по анализу риска и оценке последствий промышленного загрязнения атмосферы для управления промышленной и экологической безопасностью; профессором В. М. Панариным – по автоматизированным системам мониторинга, анализа экологической информации и прогнозирования загрязнения атмосферы промышленных регионов; профессором М. Е. Берляндом – по изучению диффузионных моделей рассеяния загрязнений в атмосфере с учетом внешних влияющих факторов; профессорами В. Г. Горским и Т. Н. Швецово-Шиловской – по методическому и программному обеспечению анализа аварийной опасности химических производств.

Большой научный вклад в разработки математических моделей рассеяния загрязнений в атмосфере (в том числе на основе ИНС), развитие систем экологического контроля и автоматизированных компьютерных систем управления промышленной и экологической безопасностью внесли зарубежные учёные: S. V. Barai, A. B. Chelani, U. A. Sahin, F. Pasquill, J. W. Deardorff, S. R. Hanna, G. Winkelmanns, R. Mann, V. Marshall, W. Strauss, S. J. Mainwaring и другие.

Актуальные научные исследования, выполненные в диссертационных работах последних лет, посвящены проблемам совершенствования методики для моделирования процессов рассеяния загрязнений (к. ф.-м. н. К. М. Антропов, к. ф.-м. н. А. А. Барт, к. ф.-м. н. Д. С. Хачунц, к. т. н. Е. С. Мухаметшина), разработки информационного и программно-алгоритмического обеспечения автоматизированных систем мониторинга и управления качеством атмосферы (д. т. н. А. А. Горюнокова, к. т. н. А. В. Ильинская, к. т. н. Е. А. Михайлова), разработки компьютерных систем управления безопасностью и принятия решений на опасных промышленных объектах (д. т. н. Е. Р. Мошев, д. т. н. И. В. Степанченко, к. т. н. Луэ Ху Дык).

В последние годы разработаны и широко применяются информационные системы (ИС) ОВОС и управлению безопасностью: ТОКСИ+Риск (ОАО НТЦ «Промышленная безопасность»), «Облако» (НПП «Логус»), СДЯВ ППА (фирма «Интеграл»), Phast (компания Det Norske Veritas), Risk-Based Inspection (институт нефти American Petroleum Institute) и FRED (компания Shell). Эти ИС осуществляют оперативное и долгосрочное прогнозирование возможных производственных химических аварий при постоянных метеоусловиях. Указанные ИС используются при анализе последствий аварийных загрязнений с учетом изменения рельефа местности и наличия сооружений, влияющих на распространение загрязнений.

Однако в указанных научных исследованиях и разработанных ИС практически не используются методы обработки и интеллектуального анализа больших массивов внешних данных в режиме реального времени, процедуры оперативной ОВОС и принятия решений по управлению безопасностью промышленных производств.

Таким образом, разработка ячеечно-нейросетевых моделей (ЯНМ), алгоритмов и ячеечно-нейросетевой системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы, применение которой позволяет оценивать последствия аварийного загрязнения атмосферы при заданном сценарии изменения метеоусловий с учетом оперативно поступающих данных, в том числе в условиях их неполноты и фрагментарности, несомненно являются актуальными научными задачами.

Цель диссертационной работы

Разработать методическое, алгоритмическое и программно-информационное

обеспечение ячеечно-нейросетевой системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы (ЯНСКА) химическими производствами с использованием методологии системного подхода; применить разработанную ИС «ЯНСКА» для ОВОС и принятия научно-обоснованных управленческих решений в чрезвычайных ситуациях.

Для реализации указанной цели в диссертации поставлены и решены следующие взаимосвязанные научные **задачи**:

1. Выполнить системный анализ химических производств как источников опасности аварийных химических выбросов в атмосферу с учетом развития опасности для промышленных объектов, производственного персонала и населения.

2. Разработать ячеечно-нейросетевые модели оценки последствий аварийного загрязнения атмосферы при стационарных и изменяющихся метеоусловиях.

3. Разработать алгоритм принятия решений по оценке последствий аварийного загрязнения атмосферы.

4. Разработать функциональную структуру, инфологическую и даталогическую модели данных ячеечно-нейросетевой системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы химическими производствами.

5. Разработать компьютерные методы визуализации, трансформации и анализа больших массивов информации о результатах оценки последствий аварийного загрязнения атмосферы.

6. Разработать программно-алгоритмическое и информационное обеспечение компьютерной системы «ЯНСКА».

7. Применить разработанную ИС «ЯНСКА» для оценки последствий ранее произошедших промышленных аварий.

Объекты исследования

Техногенно-природные и социально-экономические системы, включая химические производства, как источники аварийной химической опасности.

Предмет исследования

Информационное, математическое и программно-алгоритмическое обеспечение компьютерной системы «ЯНСКА» для анализа и оценки процессов и последствий распространения загрязнений в атмосфере в результате аварий на химических производствах.

Информационная база исследования

Данные о результатах экспериментальных исследований процессов загрязнения атмосферы в результате залповых выбросов химических веществ, о фактически произошедших промышленных авариях, о физических и токсических свойствах химических веществ.

Материалы периодических научных изданий, трудов конференций и информация в сети Интернет.

Методы исследования

Методы системного анализа; методы разработки баз данных (БД) и программного обеспечения ИС; методы обработки больших массивов данных (масштабирование и нормализация, оценка репрезентативности); методы корреляционного анализа; методы теории ИНС; методы проверки адекватности и верификации математических моделей; методы теории нечетких множеств; методы принятия решений.

Положения, выносимые на защиту

1. ЯНМ оценки и визуализации пространственных и временных профилей и полей концентрации химических загрязнений в атмосфере.

2. Алгоритм принятия решений по оценке последствий аварийного загрязнения атмосферы.

3. Организационно-функциональная структура ИС «ЯНСКА».

4. Информационно-логическая и даталогическая модели данных в системе «ЯНСКА».

5. Компьютерные алгоритмы интерактивной визуализации, трансформации и анализа информации по оценке последствий аварийного загрязнения атмосферы.

6. Информационное и программно-алгоритмическое обеспечение компьютерной системы «ЯНСКА»;

7. Результаты практического применения ИС «ЯНСКА» для оценки последствий аварий на техногенных объектах.

Обоснованность проведенных исследований подтверждается использованием апробированных научных положений, корректным применением методологии системного анализа, методов обработки информации и методов математического моделирования; специальных алгоритмов анализа эффективности и безопасного функционирования химических производств как источников загрязнения атмосферы.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается вычислительными экспериментами, результаты которых обосновывают адекватность разработанных ЯНМ, алгоритмов принятия решений информационного и программно-алгоритмического обеспечения компьютерной системы «ЯНСКА».

Научная новизна

1. Разработан метод ячеечно-нейросетевого компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы выбросами химических производств, отличающийся применением процедуры пространственно-временного дискретного описания процесса распространения загрязнений в атмосфере на основе многослойных перцептронов, что позволяет определять пространственные и временные профили концентрации загрязнений в атмосфере, зоны загрязнения и токсического поражения при аварийном загрязнении промышленными источниками.

2. Разработаны ЯНМ рассеяния загрязнений в атмосфере, отличающиеся учетом сценариев изменения метеоусловий и возможностью дополнения недостающих исходных данных на основе методов интерполяции, что позволяет математически более точно описывать распространение загрязнений, и более точно оценивать их последствия.

3. Разработаны логико-вычислительный метод и алгоритм принятия решений по анализу альтернативных маршрутов эвакуации производственного персонала и населения из аварийных зон, отличающиеся использованием результатов ячеечно-нейросетевого компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками, что позволяет повысить оперативность и эффективность предлагаемых организационно-управленческих и инженерно-технических мероприятий по минимизации последствий и ликвидации аварий.

4. Разработаны алгоритмы интерактивной визуализации исходных данных и результатов расчетов оценки воздействия химических загрязнений на людей, отличающиеся гибкостью взаимосвязей между графическими и табличными формами представления информации, синхронностью трансформации результатов при любых изменениях в исходных данных или параметрах настройки ЯНМ, что позволяет упростить и ускорить процедуры анализа причин и принятия решений по минимизации и ликвидации последствий аварийного загрязнения атмосферы.

5. Предложена методика построения программно-информационной архитекту-

ры компьютерной системы «ЯНСКА», отличающаяся интеграцией всех вычислительных процедур, результатов вычислительных экспериментов, процедур обработки внешних данных в режиме реального времени и наличием основных ЯНМ рассеяния загрязнений в атмосфере, что позволяет принимать научно обоснованные решения по анализу последствий аварийных выбросов химических производств в атмосферу.

Научная значимость

Совокупность предложенных в диссертации ЯНМ рассеяния загрязнений в атмосфере, разработанных логико-вычислительных и нейросетевых алгоритмов анализа причин и принятия решений по минимизации и ликвидации последствий аварийного загрязнения атмосферы представляет собой развитие теоретических основ системного анализа последствий аварийных загрязнений атмосферы химическими производствами, что имеет важное научно-техническое значение для разработки инструментальных комплексов программ ОВОС и анализа сценариев и оценки последствий аварийного загрязнения атмосферы.

Практическая значимость

1. Разработанная с использованием интегрированной среды и языка программирования Delphi с использованием системы управления базами данных (СУБД) MySQL ИС «ЯНСКА» может практически применяться: в научно-исследовательских организациях, изучающих проблемы промышленной и экологической безопасности и методы их решения; в проектных организациях при разработке проектной документации по обеспечению промышленной и экологической безопасности химических производств; экологическими службами химических предприятий и уполномоченными организациями по экспертизе в области промышленной и экологической безопасности для оценки и анализа последствий реальных и потенциально возможных аварийных выбросов в атмосферу.

2. Разработанная ИС «ЯНСКА» может использоваться промышленными предприятиями, уполномоченными службами и организациями по экспертизе в области промышленной и экологической безопасности для оценки последствий аварийного загрязнения атмосферы не только при различных метеоусловиях, в условиях неполноты и фрагментарности исходных данных для принятия оперативных решений по эвакуации работников предприятий и населения по наиболее безопасным маршрутам при возникновении промышленных аварий.

3. Разработанные алгоритмы принятия решений по эвакуации производственного персонала и населения на основе оценки последствий аварийного загрязнения атмосферы обеспечивают повышение оперативности и эффективности принимаемых управленческих решений на различных уровнях управления.

4. Разработанные методы и алгоритмы интерактивной визуализации исходных данных и результатов расчетов позволяют ускорить анализ результатов ОВОС и повысить эффективность принимаемых решений с использованием ИС «ЯНСКА» должностными лицами предприятий и надзорных организаций, принимающими решения, связанные с анализом и обработкой информации в области промышленной и экологической безопасности.

Практическая реализация результатов работы

Научные и прикладные результаты работы практически использованы для разработки рекомендаций по обеспечению экологической безопасности при загрязнениях атмосферы промышленными источниками в Управлении обеспечения безопасности населения, гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (г. Новомосковск, Тульская область) и в ООО «УралПромБезопасность» (г. Пермь).

Разработанная ИС «ЯНСКА» зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012616901, 02 августа 2012 года).

Апробация работы

Результаты диссертации докладывались на Международных и Всероссийских конференциях: Международный конгресс молодых ученых по химии и химической технологии (Москва, 2012, 2013 и 2015 годы), Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях» (Нижний Новгород, 2013 год), Международная научно-практическая конференция молодых ученых по проблемам техносферной безопасности в рамках первой всероссийской Недели охраны труда (Москва, 2015 год), Международный российско-швейцарский семинар «От фундаментальных исследований к коммерциализации научных идей» (Москва, 2016 год).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, из них 3 статьи в рецензируемых журналах; 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Личный вклад автора в совместных публикациях составляет не менее 80 %.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по работе, перечней принятых сокращений и обозначений; глоссария основных терминов и понятий; библиографического списка из 111 наименований, и приложений. Диссертация содержит 226 страниц, 93 рисунка и 24 таблицы.

Оглавление диссертационной работы

Введение

Глава 1. Современное состояние научных исследований по разработке и использованию ИС моделирования и оценки последствий загрязнения атмосферы промышленными аварийными источниками

1.1. Системный анализ состояния загрязнения атмосферы промышленными источниками выбросов

1.2. Классификация задач анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками

1.3. Систематизация экспериментальных данных для оценки последствий аварийных выбросов и примеров реальных промышленных аварий

1.4. Анализ отечественного и мирового опыта использования ячеечно-нейросетевого подхода и искусственных нейронных сетей при оценке последствий загрязнения атмосферы

1.5. Исследование современного опыта разработок информационных систем для анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками

1.6. Выводы

Глава 2. Разработка ячеечно-нейросетевых моделей и специальных алгоритмов системного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками

2.1. Методология системного подхода к анализу последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками

2.2. Обоснование выбора ячеечно-нейросетевого подхода как математического аппарата анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы

2.3. Постановки задач ячеечно-нейросетевого моделирования последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками

2.4. Методика системного анализа и обработки исходной выборки при ячеечно-нейросетевом моделировании последствий аварийного загрязнения атмосферы.

2.5. Выводы

Глава 3. Разработка ячеечно-нейросетевой системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками

3.1. Организационная и функциональная структуры информационной системы «ЯНСКА»

3.2. Информационно-логическая и даталогическая модели данных информационной системы «ЯНСКА»

3.3. Разработка компьютерных методов визуализации информации и проектирование интерфейса пользователя информационной системы

3.4. Алгоритмическое обеспечение интеллектуальной поддержки принятия решений по результатам работы информационной системы «ЯНСКА»

3.5. Программная реализация основных сценариев визуализации, трансформации и компьютерного анализа информации

3.6. Выводы

Глава 4. Использование информационной системы «ЯНСКА» для компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками

4.1. Оценка последствий аварийного выброса для гипотетического промышленного источника с использованием информационной системы «ЯНСКА»

4.2. Верификация методического и программно-алгоритмического обеспечения системы на примерах произошедших промышленных аварий

4.3. Принятие решений по оценке последствий аварийного выброса на промышленном объекте с использованием информационной системы «ЯНСКА»

4.4. Выводы

Заключение и основные результаты

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность поставленной и решенной научной задачи анализа последствий загрязнения атмосферы с использованием методологии системного анализа, компьютеризированных систем, математических методов и алгоритмов на основе оригинальных ЯНМ.

В **главе 1** «Современное состояние научных исследований по разработке и использованию ИС моделирования и оценки последствий загрязнения атмосферы промышленными аварийными источниками» проведен системный анализ современного состояния научных исследований по разработке и использованию компьютеризированных систем моделирования и оценки последствий загрязнения атмосферы аварийными промышленными источниками. Изучена динамика загрязнения атмосферы промышленными источниками выбросов различных химических веществ в крупных городах. Проанализирована актуальная статистика аварийности и несчастных случаев при выбросах опасных химических веществ.

Системный анализ источников загрязнения атмосферы и причин возникновения аварий позволил определить задачи экологической и промышленной безопасности при химической аварии, решаемые с помощью теории ИНС и ячеечно-нейросетевого подхода. Проведен сравнительный анализ методов теории ИИ с традиционно используемыми для этих целей математическими методами, что позволило

сделать вывод о преимуществах ИНС, позволяющих оперативно учитывать изменение внешних условий при анализе процессов рассеяния химических загрязнений благодаря возможности пространственно-временной дискретизации. Изучена информация о реально произошедших промышленных химических авариях с целью последующего применения разработанной ИС «ЯНСКА» для анализа и оценки последствий и сопоставления данных с уже имеющимися фактами аварий.

В главе 2 «Разработка ЯНМ и специальных алгоритмов системного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками» изложены математические методы и оригинальные алгоритмы системного анализа при ОВОС аварийных химических загрязнений.

С использованием системного подхода рассмотрен объект исследования – техногенно-природные и социально-экономические системы, включающие химические производства как источники аварийной химической опасности, ОС, подвергающейся негативному воздействию загрязнениями, включая биосферу и социальную сферу (растения, животные, человек).

В качестве основного математического аппарата для анализа процессов рассеяния химических загрязнений в атмосфере и оценки их последствий обосновано использование класса ИНС – однослойных и многослойных перцептронов, которые позволяют моделировать процессы переноса загрязнений между соседними участками (ячейками) пространства рассеяния загрязнений. Параметры ИНС (весовые коэффициенты нейронов) настраиваются с использованием специального алгоритма обучения на основе метода обратного распространения ошибки. Настроенный и обученный перцептрон вместе с окрестностью, состоящей из определенным образом расположенных ячеек, формирует ЯНМ, описывающую изменение концентрации в ячейках во времени и пространстве. Каждая ЯНМ предназначена для решения конкретной задачи определения концентрации загрязняющего вещества в пространстве или времени.

ЯНМ позволяют решать локальные задачи оценки концентрации загрязнений в атмосфере в определенной точке местности для заданного момента времени, оценки временного профиля концентрации вещества в определенной точке местности, интерполяции или экстраполяции поля концентрации в текущий момент времени, прогнозирования поля концентрации для заданного момента времени. Блок-схема ЯНМ для экстраполяционной оценки поля концентрации загрязнений в атмосфере приведена на рис. 1.

Проведен сравнительный анализ эффективности процедуры обучения и использования структур однослойных и двухслойных перцептронов, требующихся для реализации и корректного решения задач моделирования процесса рассеяния загрязнений, количественного и качественного составов их входных и выходных переменных, а также объемов обучающих выборок, требующихся для настройки синаптических коэффициентов. Показано, что для задач оценки концентрации загрязнений минимально необходимое количество обучающих примеров варьируется в пределах от 146 до 565, для экстраполяции поля концентрации загрязнений – от 272 до 640, для прогнозирования изменения поля концентрации во времени – от 322 до 630.

Для оценки адекватности обучающей и тестовой выборок ЯНМ использован критерий Фишера. В зависимости от результатов данной оценки ИС предлагаются рекомендации по дальнейшей работе с ЯНМ (табл. 1).

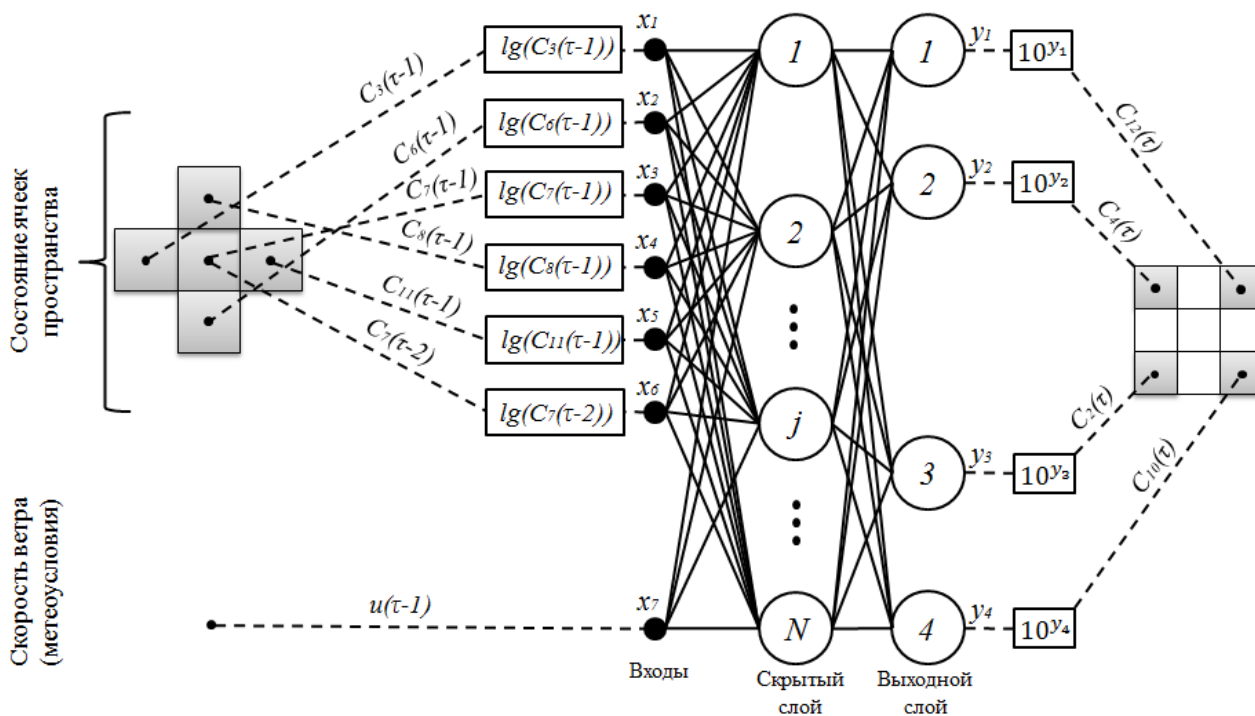


Рис. 1. Блок-схема ЯНМ для экстраполяционной оценки поля концентрации химического загрязнения ($C_i(\tau)$ – концентрация примеси в исходных единицах измерения в i -й ячейке окрестности в момент времени τ , x_i – нормализованные после логарифмического масштабирования концентрации, подаваемые на входы двухслойного перцептрона; y_i – выходные нормализованные концентрации)

Таблица 1

Рекомендации системы по структурно-параметрической идентификации ячеечно-нейросетевой-модели на основе оценки адекватности

Оценка адекватности модели по критерию Фишера		Рекомендации					
Для обучающей выборки	Для тестовой выборки	1	2	3	4	5	6
Неадекватна	Неадекватна	+		+	+	+	
Неадекватна	Адекватна	+		+	+	+	
Адекватна	Неадекватна		+		+		
Адекватна	Адекватна						+

ИС предлагает шесть видов рекомендаций: 1. Дополнение обучающей выборки новыми данными; 2. Дополнение тестовой выборки новыми данными; 3. Усложнение структуры перцептрона за счет увеличения количества слоев и нейронов в слоях; 4. Изменение состава входных и выходных переменных, выбор другой окрестности ЯНМ; 5. Использование масштабирования входных переменных; 6. Практическое использование модели.

Глава 3 «Разработка ячейочно-нейросетевой системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками» посвящена разработке архитектуры и программно-алгоритмического обеспечения ИС «ЯНСКА». Организационная структура компьютерной системы «ЯНСКА» состоит из самостоятельных блоков, использующих различные программные и технологические

платформы (рис. 2). ИС предусматривает интерактивное участие различных лиц, принимающих решения (администратор, оператор, исследователь, руководитель).



Рис. 2. Организационная структура информационной системы «ЯНСКА»

Задачи, решаемые с помощью ИС «ЯНСКА», и выполняемые ею функции отражены в функциональной структуре ИС (рис. 3).

Подсистема ввода и вывода данных ИС (рис. 4) предназначена для работы с универсальной и обучающей выборками ИНС, управления настройками ЯНМ, работы с исходными данными по условиям моделирования и результатами, получаемыми с помощью ИС, файлами данных и отчетов.

Подсистема работы с выборками (рис. 5) позволяет на основе полной универсальной выборки сформировать выборки для ячеечно-нейросетевого моделирования с использованием методов нормализации и масштабирования данных, анализа данных на наличие повторов и противоречий, корреляционного анализа и анализа на репрезентативность. Применение функций данной подсистемы (рис.5) обеспечивает наиболее качественное обучение ИНС и, как следствие, позволяет получить более точные результаты моделирования.

Подсистема ячеечно-нейросетевого моделирования позволяет настраивать и обучать ЯНМ для описания переноса загрязняющего вещества между ячейками, а также производить расчеты с использованием полученных ЯНМ (рис. 6). Каждая ЯНМ решает свою локальную подзадачу (прогнозирование концентрации в ячейке на заданный момент времени, экстраполяция концентрации в ячейках). Применение этих ЯНМ в отдельности и их соединение в обобщающую модель позволят получить профили изменения концентрации во времени и пространстве, значения токсодоз, зоны загрязнения и токсического поражения.

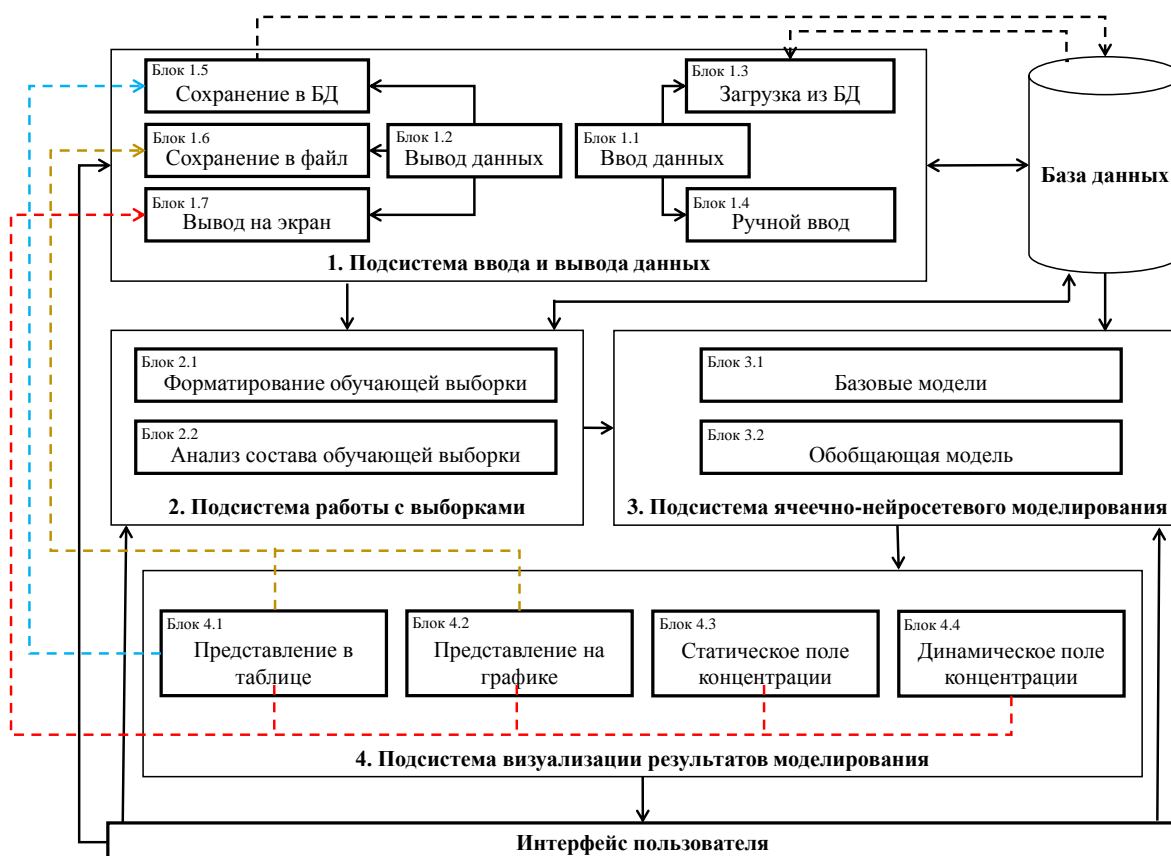


Рис. 3. Функциональная структура информационной системы «ЯНСКА»

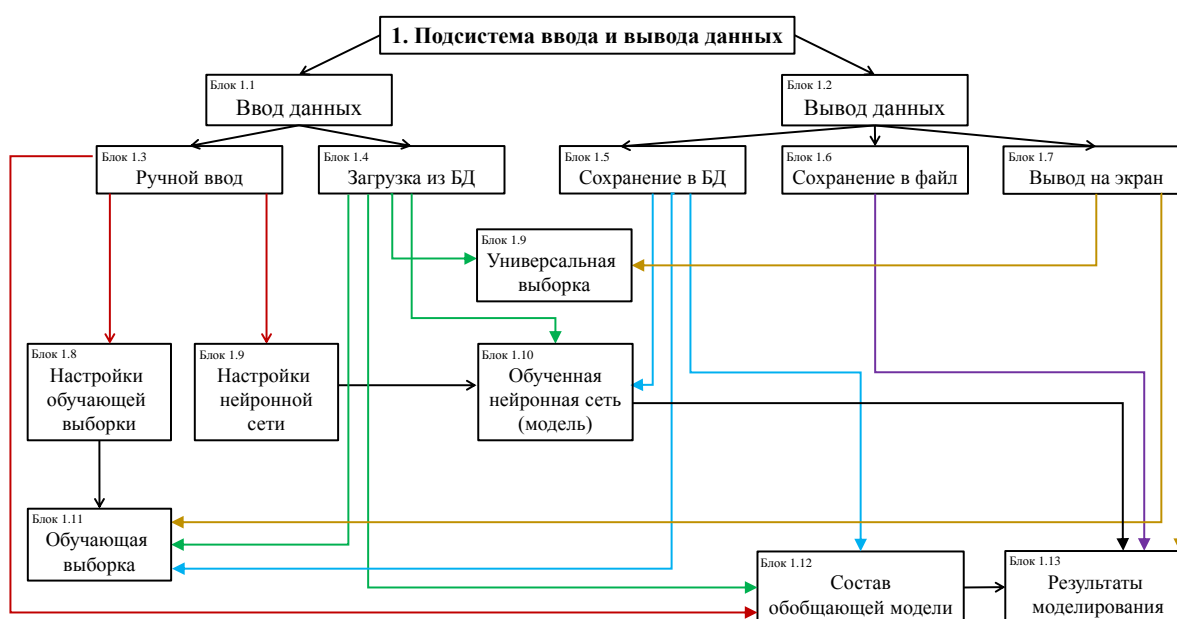


Рис. 4. Блок-схема подсистемы ввода и вывода данных информационной системы «ЯНСКА»

Подсистема визуализации результатов моделирования предназначена для реализации функций представления выходной информации конечному пользователю в различных формах: графической, табличной или в виде отчета, на экране монитора или с выводом на печать.



Рис. 5. Блок-схема подсистемы работы с выборками информационной системы «ЯНСКА»

Разработанная ИС является открытой и масштабируемой, что позволяет реализовать различные функциональные возможности при решении задач без ущерба для имеющихся функций и загруженных в систему данных.

БД ИС реализована в СУБД MySQL. Программное обеспечение реализовано в интегрированной среде разработки приложений на языке программирования Delphi 7, имеет графический, интуитивно понятный, дружелюбный пользовательский интерфейс, выполненный в соответствии с современными стандартами, принятыми для windows-приложений.

Примеры рабочих экранов форм, генерируемых ИС, представлены на рис. 7 и 8. Пользователь в интерактивном режиме может получить текстовую, табличную или графическую информацию о каждой ячейке исследуемого пространства ОС: текущее значение концентрации, профиль изменения концентрации во времени, пересекающиеся в данной ячейке продольный и поперечный (вдоль и поперек оси направления ветра) профили концентрации для заданного момента времени, уровень токсического поражения человека.

В главе 4 «Использование информационной системы «ЯНСКА» для компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками» представлены результаты практического использования разработанной ИС «ЯНСКА».

Описана последовательность действий операторов ИС, начиная с формирования обучающей выборки и обучения ИНС и заканчивая принятием решений по анализу получаемых результатов для конкретной аварии на примере гипотетического аварийного выброса 29 т аммиака при разрушении хранилища. Для рассмотренного примера получена обучающая выборка, включающая 360 примеров, различающихся параметрами атмосферы: направлением и скоростью ветра, а также локализацией окрестности ЯНМ в облаке загрязнения. Для данной обучающей выборки найдена оптимальная структура однослойного перцептрона в ЯНМ. Средняя безразмерная абсолютная ошибка концентрации загрязнения составила 0,086 при 12 нейронах в скрытом слое и 500000 эпохах обучения, что является хорошим показателем для столь

масштабной задачи. Дальнейшее увеличение числа скрытых нейронов усложняет структуру ИНС без какого-либо значимого изменения уровня ошибки.

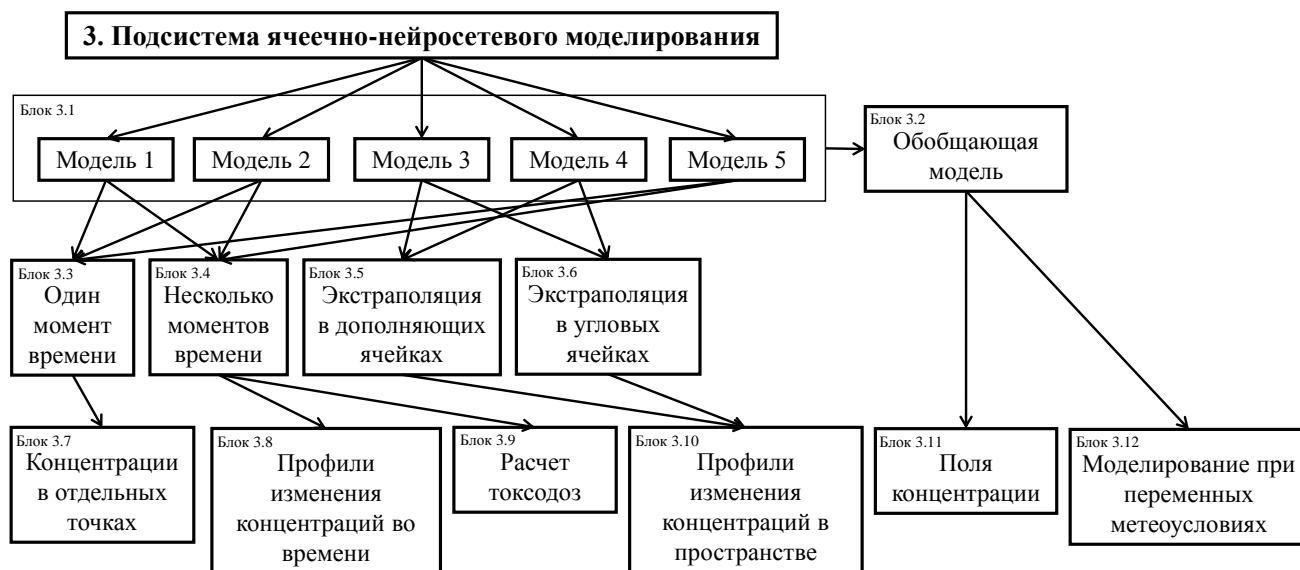


Рис. 6. Блок-схема подсистемы ячеечно-нейросетевого моделирования информационной системы «ЯНСКА»

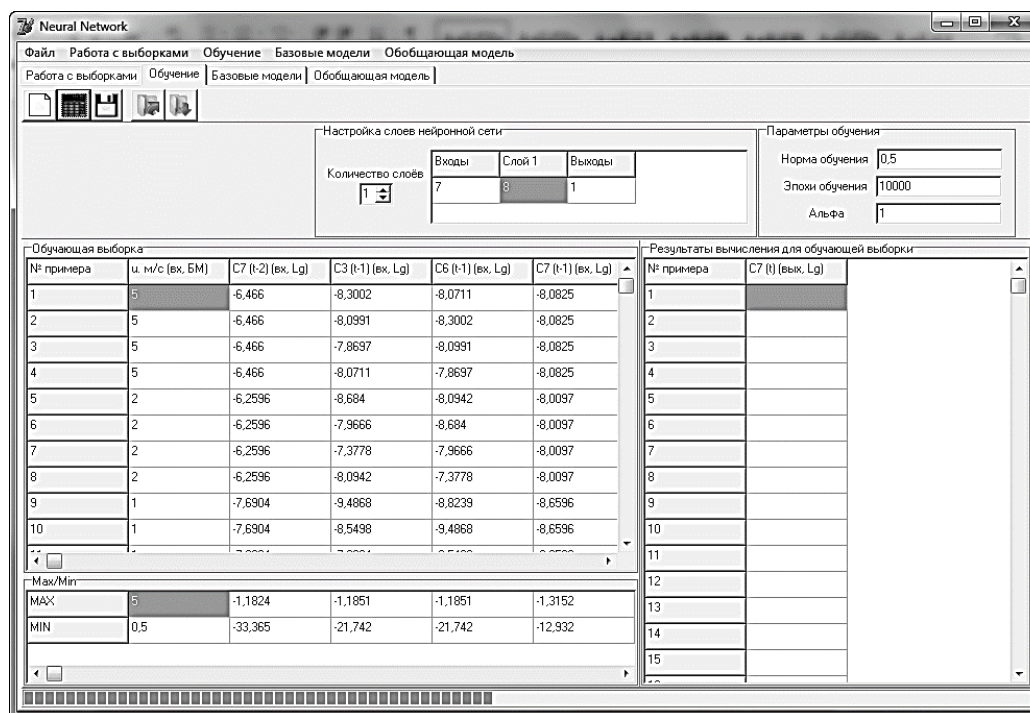


Рис. 7. Рабочее окно информационной системы «ЯНСКА» при обучении искусственных нейронных сетей

С использованием обученной ИНС был проведен анализ изменения концентрации аммиака во времени после аварии для заданной точки пространства. Показано, что полученные результаты незначительно отличаются от аналогичных результатов, полученных по стандартной методике ТОКСИ-3¹ при постоянных скорости и направлении ветра (рис. 9). В то же время обнаружено значительное отличие результатов

¹ Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ (Методика ТОКСИ. Редакция 3.1) / Колл. авт. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность». – 2005. – 67 с.

при заданном сценарии изменения метеоусловий, что объясняется ограничением возможностей методики ТОКСИ-3 оценивать последствия загрязнения атмосферы только при постоянных (начальных) метеоусловиях.

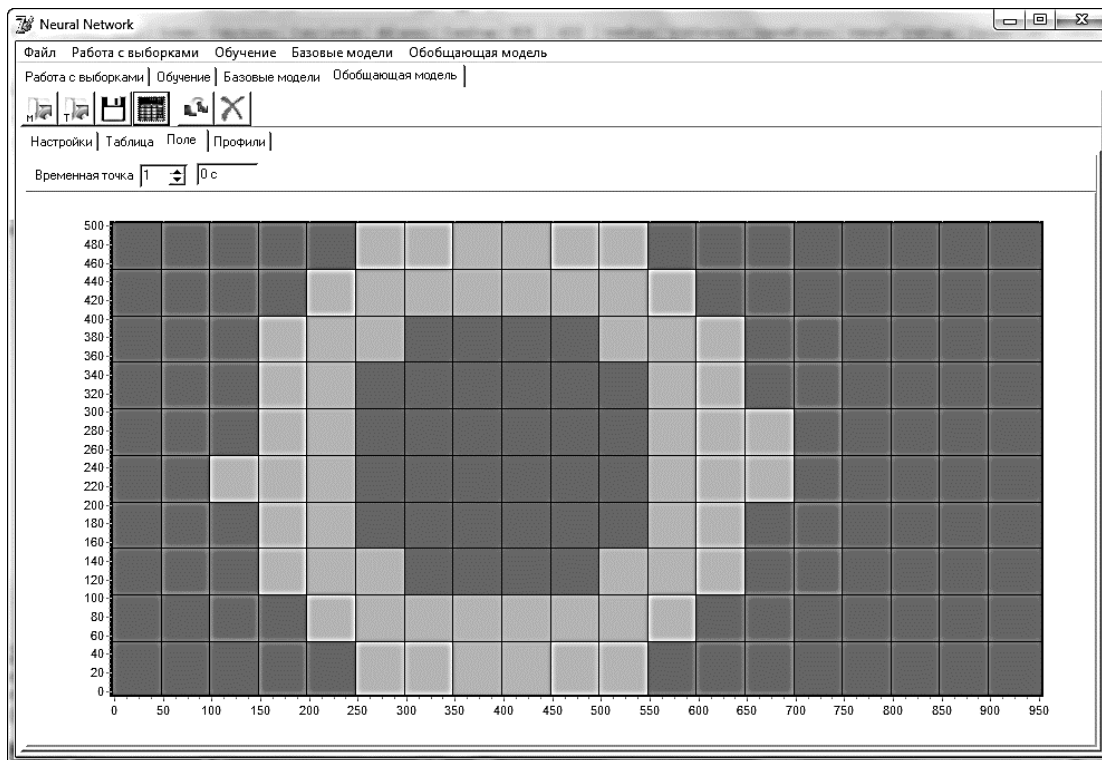


Рис. 8. Пример графической визуализации результатов работы информационной системы «ЯНСКА»

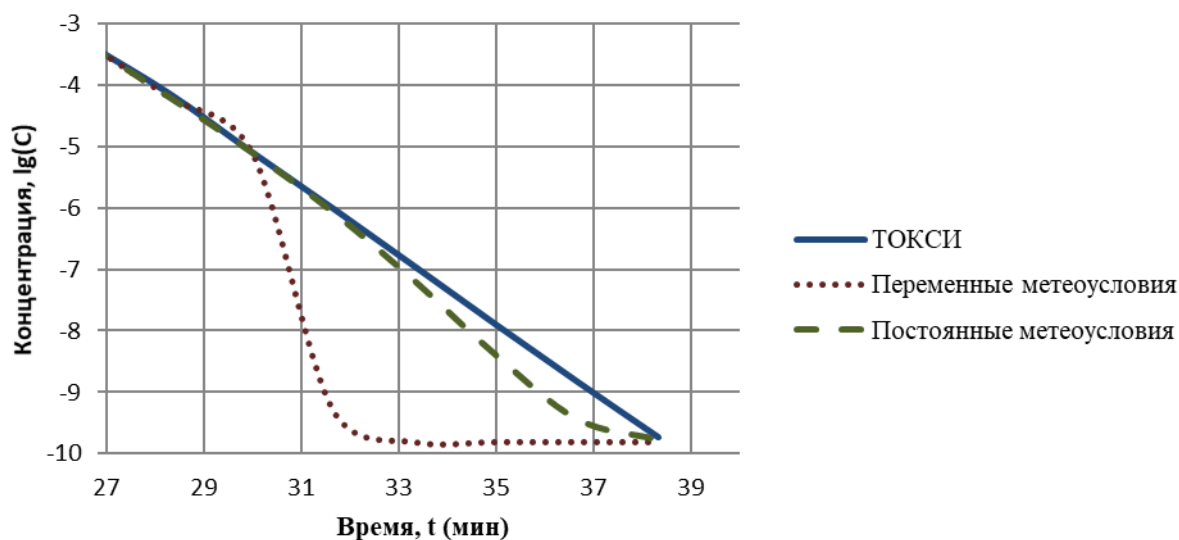


Рис. 9. Результаты оценки профиля концентрации загрязнения атмосферы аммиаком в результате аварийного выброса с помощью информационной системы «ЯНСКА» при постоянных и переменных метеоусловиях

Выполнена верификация разработанных ЯНМ, полученных с помощью ИС, на описанном в литературе и использованном для верификации других методик примере

аварийного выброса 38 т аммиака в г. Потchefструме (ЮАР)². Полученные профили концентрации и уровни токсического поражения свидетельствуют об эффективности разработанных ЯНМ и использования ИС ЯНСКА как возможной альтернативы другим программным средствам анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы при постоянных и изменяющихся метеоусловиях.

Показан пример использования ИС для оценки зон токсического поражения для принятия решений об эвакуации персонала промышленного объекта, на котором произошел аварийный выброс при изменяющихся во времени зонах загрязнения и концентрациях загрязнения в отдельных ячейках пространства. Требуется рассмотреть множество альтернативных вариантов маршрута эвакуации и выбрать тот, при котором доза токсического воздействия на персонал окажется наименьшей. В последовательно взятые дискретные моменты времени ИС осуществила локальный выбор направления движения с учетом концентрации загрязнения в соседних ячейках, направления ветра и препятствий для эвакуации. При этом исключаются альтернативы, при которых концентрация в новой ячейке пространства окажется выше, происходит возврат в предыдущую ячейку или переход в смежную ячейку.

Выбранный ИС оптимальный маршрут предоставляется лицу, принимающему решение. При наличии исходной информации о точке начала эвакуации оптимальный вариант решения определяется фактически мгновенно с помощью ИС «ЯНСКА».

Основные результаты работы

1. Выполнен системный анализ химических производств как источников опасности для производственного персонала и населения при аварийных выбросах в атмосферу.

2. Разработаны ЯНМ оценки последствий аварийного загрязнения атмосферы при стационарных и изменяющихся метеоусловиях и обобщенная ЯНМ для восстановления поля концентрации и динамики его изменения.

3. Разработан алгоритм принятия решений по оценке последствий аварийного загрязнения атмосферы для организации эвакуации производственного персонала.

4. Определены оценки последствий гипотетических аварий и результаты верификации разработанных ЯНМ на примерах ранее произошедших аварий.

5. Показана возможность практического использования ЯНМ и ИС для оценки последствий аварийного загрязнения атмосферы при стационарных и переменных метеоусловиях;

6. Проведено сравнение полученных с помощью компьютерной системы «ЯНСКА» результатов с результатами расчетной методики ТОКСИ-3 и подтверждена адекватность разработанных ЯНМ;

7. Показана возможность использования результатов, получаемых с помощью системы, для принятия решений в случае чрезвычайных ситуаций на химическом производстве для определения оптимального маршрута эвакуации производственного персонала при авариях.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

– журналы из перечня ВАК:

1. Дударов С. П., Папаев П. Л., Кудряшов А. Н., Карибова Ю. А. Ячеечно-нейросетевые модели в задачах экологической безопасности. – Искусственный интел-

² Сумской С. И. Сравнение результатов моделирования аварийных выбросов опасных веществ с фактами аварий / С. И. Сумской, К. В. Ефремов, М. В. Лисанов, А. С. Софьин // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 10. – с. 42–50

лект и принятие решений, 2011, № 2. – С. 31–39;

2. Дударов С. П., Папаев П. Л., Колосов А. В. Оценка последствий химических аварий на опасных производственных объектах с использованием ячеечно-нейросетевых моделей. – Безопасность труда в промышленности, 2012, № 3. – С. 64–70;

3. Дударов С. П., Папаев П. Л. Информационная система ячеечно-нейросетевого моделирования последствий химических аварий на опасных производственных объектах. – Системы и средства информатики, 2016, Т. 26, № 2. – С. 123–135;

– **свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:**

4. Папаев П. Л. Информационная система ячеечно-нейросетевого моделирования последствий загрязнения атмосферы типовыми промышленными источниками выбросов/ П. Л. Папаев, С. П. Дударов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012616901. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности, 02.08.2012.

– **другие издания:**

5. Папаев П. Л. Применение ячеечно-нейросетевых моделей для оценки последствий залповых выбросов аммиака на примере реальной химической аварии/ П. Л. Папаев, С. П. Дударов. – Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXVI, № 1 (130). – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – С. 29–33;

6. Дударов С. П. Методы предварительной обработки экспериментальных выборок для обучения искусственных нейронных сетей/ С. П. Дударов, П. Л. Папаев. – Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-26: сб. трудов XXVI Международ. науч. конф. Секции 6, 7, 8, 9. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2013. – С. 130–132;

7. Папаев П. Л. Разработка организационной и функциональной структур информационно-моделирующей системы для оценки последствий аварий на химических производствах с использованием ячеечно-нейросетевых моделей/ П. Л. Папаев, С. П. Дударов. – Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXVII, № 1. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2013. – С. 51–56;

8. Папаев П. Л. Типовые ячеечно-нейросетевые модели рассеяния загрязняющего вещества в результате аварийного выброса/ П. Л. Папаев, С. П. Дударов. – Международная научно-практическая конференция молодых ученых по проблемам технологической безопасности в рамках первой всероссийской Недели охраны труда: материалы конференции. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. – С. 96–97;

9. Папаев П. Л. Алгоритм обучения искусственных нейронных сетей на основе больших выборок с повторяющимися примерами/ П. Л. Папаев, С. П. Дударов. – Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXIX, № 4. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. – С. 12–15;

10. Дударов С. П. Алгоритмизация принятия решений на основе процедур нечетко-логического вывода в условиях неопределенности/ С. П. Дударов, П. Л. Папаев. – От фундаментальных исследований к коммерциализации научных идей: Сборник материалов российско-швейцарского семинара. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – С. 26–28.

11. Папаев П. Л. Принятие решений о маршруте эвакуации производственного персонала на основе метода анализа альтернатив/ П. Л. Папаев, С. П. Дударов. – Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXXI, № 8. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2017. – с. 54–56.

В совместно опубликованных работах Папаевым П. Л. лично предложены и обоснованы: организационная и функциональная структуры, структура БД и программно-алгоритмическое обеспечение ИС «ЯНСКА»; методы и алгоритмы интерактивной визуализации, трансформации и анализа информации по оценке последствий аварийного загрязнения атмосферы; ЯНМ для оценки и визуализации пространственных и временных профилей и полей концентрации; алгоритм принятия решений по оценке последствий аварийного загрязнения атмосферы; результаты оценки последствий аварий на техногенных объектах с помощью разработанной ИС.

В заключение автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю – к. т. н., доценту, декану факультета информационных технологий и управления РХТУ им. Д. И. Менделеева Дударову Сергею Павловичу за научные консультации и постоянную поддержку.

Автор считает своим приятным долгом поблагодарить за свое становление как инженера, преподавателя и ученого своих учителей – профессорско-преподавательские коллективы кафедр компьютерно-интегрированных систем в химической технологии (зав. кафедрой проф. Егоров А. Ф.) и информационных компьютерных технологий (зав. кафедрой проф. Кольцова Э. М.) РХТУ им. Д. И. Менделеева.