

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук, профессора **Пащенко Федора Федоровича**  
на диссертационную работу **Папаева Павла Леонидовича**  
на тему **«Ячеечно-нейросетевая система компьютерного анализа  
последствий аварийного загрязнения атмосферы химическими  
производствами»**, представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности **05.13.01** – Системный анализ,  
управление и обработка информации (химическая технология)

### **Актуальность темы диссертации**

Проблема аварийности химических производств на сегодняшний день остается актуальной и в связи с ежегодным ростом объемов производства продукции и хранения аварийно-опасных химических веществ требует разработки и использования современных информационных компьютерных технологий и программно-алгоритмического обеспечения для решения задач промышленной и экологической безопасности.

В свою очередь, программные комплексы и информационные системы, разрабатываемые и используемые в настоящее время для решения актуальных задач промышленной и экологической безопасности, должны отвечать современным принципам проектирования, основываться на современных технологиях разработки и интегрироваться с современными компьютерными платформами. Среди них особенно следует выделить наличие или использование:

- современных систем управления базами данных, в том числе распределенными базами данных;
- технологий обработки больших данных;
- интеллектуальных методов, систем и технологий;
- современного математического и методического инструментария.

Перечисленные выше принципы либо непосредственно использованы, либо отражена возможность их учета при реализации информационных компьютерных систем в области экологической и промышленной безопасности на примере «Ячеечно-нейросетевой системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы химическими производствами» («ЯНСКА»), разработанной соискателем ученой степени кандидата технических наук Папаевым П. Л., что свидетельствует о значительной актуальности его диссертационного исследования.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, перечней принятых сокращений и основных обозначений, пяти приложений и библиографического списка из 111 наименований. Работа изложена на 226 страниц, содержит 24 таблицы и 93 рисунка.

## **Содержание диссертационной работы**

**Во введении** обоснована актуальность выполненных Папаевым П. Л. научных исследований. Проанализирована степень научной разработанности темы исследования. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Приведены научная новизна, научная и практическая значимость, методы решения поставленных задач, обоснованность и достоверность полученных в работе результатов. Показаны результаты практической реализации работы, апробация работы и публикации, выполненные по теме диссертации.

**Первая глава** работы является обзорной. В ней автор провел исследования и систематизацию научно-технической информации в области решения задач экологической и промышленной безопасности: проанализировано состояние загрязнения атмосферы промышленными источниками выброса; даны классификации источников загрязнения, задач оценки последствий выбросов загрязняющих веществ и методов их решения; собраны исходные данные и последствия имевших место аварий с выбросом опасных химических веществ; проведен анализ зарубежного и отечественного опыта использования искусственных нейронных сетей для решения поставленных автором задач, а также представлены наиболее значимые разработки информационных систем, применяемых в данной области.

**Вторая глава** посвящена разработке ячеечно-нейросетевых моделей и специальных алгоритмов системного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками. В начале главы автор проводит анализ существующих методик для решения задач оценки воздействия аварийного загрязнения на окружающую среду. Следует отметить, что изменение условий окружающей среды в методиках затрагиваются минимально и в основном это касается рельефа местности. Далее Папаев П. Л. обосновывает выбор метода ячеечно-нейросетевого моделирования для решения поставленных в диссертации задач и предлагает десять не использованных ранее в других работах, ячеечно-нейросетевых



моделей, каждая из которых положена в основу разработанной информационной системы и предназначена для решения конкретной задачи в ней. В конце главы соискатель рассматривает используемые в информационной системе методы обработки исходных данных, такие, как нормализация, масштабирование, анализ на репрезентативность, корреляционный анализ, и дает рекомендации по корректировке процедуры ячеечно-нейросетевого моделирования в зависимости от результатов оценки адекватности ячеечно-нейросетевых моделей на обучающих и тестовых выборках данных.

**В третьей главе** приводится описание программных модулей (подсистем), реализованных автором в процессе разработки ячеечно-нейросетевой системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками. Здесь представлены функциональная и организационная структуры информационной системы, а также информационно-логическая и даталогическая модели данных, заложенных в структуру базы данных системы. Предложено алгоритмическое обеспечение интеллектуальной поддержки принятия решений с использованием разработанной информационной системы. В конце главы автором представлены примеры программной реализации основных сценариев, которые возможны при работе с информационной системой компьютерного анализа.

**В четвертой главе** приведены результаты практического применения разработанных соискателем ячеечно-нейросетевых моделей и информационной системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками. Показаны результаты применения информационной системы как для оценки воздействия на окружающую среду аварийного выброса аммиака на гипотетическом промышленном источнике загрязнения атмосферы, так и для реальной химической аварии. На примере гипотетической аварии автором проведено исследование влияния различных структур двухслойной нейронной сети и настроек их алгоритма обучения на точность решения поставленной задачи, после чего даны рекомендации, позволяющие достичь максимальной точности решения. На примере же реальной химической аварии автором подтверждено соответствие полученных результатов реальной картине. Также в этой главе разобран пример процедуры принятия решений по эвакуации производственного персонала с зараженной территории на основе данных оценки последствий химической аварии, предоставляемых



информационной системой лицу, принимающему решение.

**В заключении** обобщены полученные в процессе диссертационного исследования научные и практические результаты.

В целом содержание автореферата соответствует содержанию диссертации, а их оформление требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления» и методическим рекомендациям Высшей аттестационной комиссии к оформлению работ. Представленные материалы диссертационной работы позволяют достаточно полно оценить объем, сложность и актуальность проведенного исследования.

### **Научная новизна**

Научная новизна полученных автором результатов и их научная значимость заключаются в том, что впервые получены ячеечно-нейросетевые модели, алгоритмы, а также разработана информационная система, позволяющие вести расчет точечных концентраций загрязняющих веществ, пространственных и временных концентрационных профилей, зон загрязнения и токсического поражения в результате аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками, а именно:

1. Диссертантом разработан метод ячеечно-нейросетевого компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы химическими производствами, отличающийся применением процедуры пространственно-временной дискретизации процесса переноса примеси в атмосфере и математически описывающийся многослойными перцептронами, что позволяет определять пространственные и временные профили концентрации загрязняющих веществ в атмосфере, зоны загрязнения и токсического поражения в результате аварийного загрязнения промышленными источниками.

2. Разработана методика построения программно-информационной архитектуры ячеечно-нейросетевой системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы химическими производствами, отличающаяся интеграцией всех процедур, результатов вычислительных экспериментов, обработкой внешних данных в режиме реального времени и наличием основных ячеечно-нейросетевых моделей, что позволяет комбинировать ранее разработанные и новые модели при анализе последствий аварийных выбросов.

3. Разработаны ячеечно-нейросетевые модели, отличающиеся учетом



сценариев изменения метеоусловий и возможностью дополнения недостающих исходных данных на основе методов интерполяции, что позволяет математически более точно описывать распространение примесей, а также более точно оценивать последствия аварийного загрязнения атмосферы.

4. Разработаны логико-вычислительный метод и алгоритм принятия решений на основе анализа альтернативных маршрутов эвакуации производственного персонала и населения, отличающиеся учетом результатов ячеечно-нейросетевого компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками, что позволяет повысить оперативность и эффективность предлагаемых организационно-управленческих и инженерно-технических мероприятий.

5. Разработаны новые компьютерные алгоритмы интерактивной визуализации исходных данных и результатов расчетов, отличающиеся гибкостью перехода между графическими и табличными формами представления информации, синхронностью трансформации результатов при любых изменениях в данных или параметрах настройки, что позволяет упростить и ускорить процесс анализа и принятия решений по устранению последствий аварийного загрязнения атмосферы.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость выполненной автором работы состоит в том, что:

1. Разработанная ячеечно-нейросетевая система компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы химическими производствами может применяться для: научных исследований в научно-исследовательских организациях, изучающих проблемы промышленной и экологической безопасности и методы их решения; при разработке проектной документации по обеспечению промышленной и экологической безопасности химических производств в проектных организациях; для оценки и анализа последствий реальных и потенциально возможных аварийных выбросов в атмосферу экологическими службами химических предприятий и уполномоченными организациями по экспертизе в области промышленной и экологической безопасности.

2. Разработанные автором математическое, информационное и программное обеспечения информационной системы может использоваться промышленными предприятиями и уполномоченными организациями по

экспертизе в области промышленной и экологической безопасности для оценки последствий аварийного загрязнения атмосферы не только при постоянных, но и при переменных метеоусловиях в условиях неполноты и фрагментарности исходных данных.

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

4. Разработанная информационная система может использоваться для принятия оперативных решений по эвакуации работников предприятий и населения в случае возникновения промышленных аварий по наиболее безопасным маршрутам.

5. Разработанные алгоритмы компьютерной интерактивной визуализации исходных данных и результатов расчетов позволяют ускорить анализ результатов оценки последствий аварийных выбросов и повысить эффективность практического использования информационной системы должностными лицами предприятий и надзорных организаций, принимающими решения, связанные с анализом и обработкой информации в области промышленной и экологической безопасности.

### **Достоверность полученных результатов**

Проведенные Папаевым П. Л. исследования подтверждаются использованием апробированных научных положений и корректным применением методологии системного анализа и методов обработки информации, включая методы анализа, математического моделирования, совершенствования процедур принятия решений с целью повышения эффективности функционирования и безопасности химических производств. В работе использованы широко известные и хорошо зарекомендовавшие себя методы обработки данных, включающие методы масштабирования переменных, нормализации, оценки репрезентативности, корреляционного анализа, проверки адекватности и верификации моделей наряду с современными методами нейросетевого моделирования.

### **Публикация основных результатов и характеристика источников**

По теме диссертационного исследования опубликовано 10 научных трудов, из них 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК



Министерства образования и науки РФ; 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

В диссертационной работе и автореферате содержатся необходимые обязательные ссылки на источники заимствования, что соответствует пункту 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

### **Соответствие работы паспорту специальности**

Научные результаты соответствуют следующим пунктам научной специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология):

– пункту 2 – «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» в части постановки задачи и проведения системного анализа сложного прикладного объекта исследования – техногенно-природно-социальной системы, включающей химические производства как источники аварийной опасности; атмосферный воздух как среду распространения загрязняющего вещества; производственный персонал и население, подвергающиеся воздействию загрязняющего вещества;

– пункту 4 – «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» в части разработки методов и алгоритмов ячеечно-нейросетевого моделирования, позволяющих определять значения концентрации, временные и пространственные профили, зоны загрязнения и производить оценку их изменения во времени, рассчитывать показатели токсического поражения людей в зоне загрязнения, принимать решения на основе результатов, полученных с помощью системы;

– пункту 5 – «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» в части разработки математического и алгоритмического обеспечения ячеечно-нейросетевой системы компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы промышленными источниками и разработки научно-обоснованных мероприятий на основе результатов этого анализа;

– пункту 7 – «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах» в части создания алгоритма принятия решений по анализу последствий аварийного загрязнения атмосферы на основе сравнения альтернативных маршрутов



эвакуации персонала и населения в соответствии с уровнем токсического воздействия на людей и выбора из них наименее опасного маршрута;

– пункту 12 – «Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации» в части разработки и программной реализации в системе алгоритмов компьютерной интерактивной визуализации исходных данных и результатов расчетов с гибким переходом между графическими и табличными формами представления информации и синхронностью трансформации результатов при любых изменениях в данных или параметрах настройки методов обработки информации.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В главе 1 на с. 13–17 выполнен серьезный анализ состояния загрязнения атмосферы промышленными источниками выбросов на основе данных ежегодных государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» за 2013–2014 гг. Смущает отсутствие более поздних данных и, в связи с этим, возникает вопрос, насколько приведенные показатели и сделанные автором выводы актуальны для 2017–2018 гг.?

2. На с. 73–78 главы 2 изложен алгоритм обратного распространения ошибки, использованный автором для обучения перцептронов в разработанной им информационной системе «ЯНСКА». Там же на с. 78 указано, цитирую: «То, что алгоритм обратного распространения ошибки (АОРО) не позволяет, в общем случае, достичь глобального минимума (функции ошибки), не умаляет его достоинств, так как во многих практических задачах достаточно обучить ИНС (искусственную нейронную сеть) до требуемой ошибки». В свете сказанного возникает вопрос, на основе чего и каким был выбран уровень требуемой ошибки, что использование АОРО оказалось оправданным, и не стоило ли рассмотреть возможность использования других методов обучения перцептронов в информационной системе «ЯНСКА».

3. В разработанной автором информационной системе использованы ячеечно-нейросетевые модели с возможностью рекуррентного расчета концентраций по ранее полученным с помощью тех же моделей значениям входных переменных (рис. 2.17, с. 87–88; рис. 2.19, с. 89–91; рис. 2.26, с. 97–98). Из текста диссертации неясно, какой может быть временная глубина такого рекуррентного прогнозирования концентраций, т. е. сколько раз



можно задействовать обратную связь, поскольку с каждым тактом цикла выходные значения должны стабилизироваться, а их ошибка может даже продолжать расти.

4. В главе 3 на с. 119–122 недостаточно подробно описаны инфологическая и даталогическая модели данных, положенные автором в основу структуры базы данных информационной системы «ЯНСКА». В частности, в таблице весовых коэффициентов *Weights* на рис. 3.8 типом данных для весовых коэффициентов указан *string* – строка. При этом непонятно, как строковые значения весов используются на практике для численных расчетов?

5. В главе 4 на с. 156–159 приведены результаты исследования влияния продолжительности обучения и структуры перцептрона на ошибку расчета концентрации с использованием программно-алгоритмического обеспечения информационной системы «ЯНСКА». Общеизвестно, что для АОРО результат обучения перцептрона (значения его весовых коэффициентов) может меняться в зависимости от выбранной начальной точки в силу специфики градиентного поиска. Это значит, что при одних и тех же значениях условий вычислительного эксперимента необходимо неоднократно повторить процедуру обучения с различными начальными значениями весов для усредненной оценки ошибки расчета. На рис. 4.6 и 4.7 приведены графики изменения средней абсолютной ошибки, но, к сожалению, из текста диссертации неясно, являются ли они средними для нескольких вычислительных опытов или всего лишь средними для примеров выборки. Если же условие повторяемости опытов было выполнено, то сколько раз они повторялись?

### **Заключение**

Представленная диссертационная работа является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные методы, которые способствуют решению важной и актуальной задачи, а именно – обеспечению промышленной и экологической безопасности при аварийных выбросах загрязняющих веществ в атмосфера на химическом производстве. Диссертация написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Приведенные замечания несколько не снижают высокий научный уровень выполненной диссертационной работы.



Исходя из сказанного, считаю, что диссертационная работа Папаева П. Л. «Ячеечно-нейросетевая система компьютерного анализа последствий аварийного загрязнения атмосферы химическими производствами», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, выполнена на высоком научном уровне, соответствует паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология), а также требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор Папаев П. Л. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология).

Заведующий лабораторией № 40  
«Интеллектуальных систем  
управления и моделирования»  
Института проблем управления  
им. В. А. Трапезникова  
Российской академии наук (ИПУ РАН),  
профессор, доктор технических наук  
117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65.  
+7 (495) 334-85-60  
E-mail: feodor@ipu.ru



Ф. Ф. Пащенко

Подпись *Пащенко Ф.Ф.*  


*11.01.2018*