

На правах рукописи



Луэ Ху Дык

Разработка интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу химико-технологическими предприятиями

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (химическая технология, нефтехимия и нефтепереработка, биотехнология)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

МОСКВА - 2016

Работа выполнена на кафедре «Автоматизация производственных процессов»
Новомосковского института (филиала) ФГБОУ ВО «Российский химико-
технологический университет имени Д. И. Менделеева»

Научный кандидат технических наук, доцент
руководитель: **Волков Владислав Юрьевич**, доцент кафедры «Автоматизация
производственных процессов» Новомосковского института
(филиала) ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университет имени Д.И. Менделеева»

Официальные доктор технических наук, профессор
оппоненты: **Богатиков Валерий Николаевич**, профессор кафедры
информационных систем ФГБОУ ВО «Тверской государственный
технический университет»

кандидат технических наук, доцент
Тарасов Валерий Борисович, заместитель заведующего
кафедрой компьютерных систем автоматизации производства
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана»

Ведущая **ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»**
организация:

Защита состоится «**16**» **июня 2016** года в **13:30** на заседании диссертационного
совета Д 212.204.03 при РХТУ имени Д.И. Менделеева (125047, г. Москва,
Миусская пл., д. 9) в конференц-зале университета (ауд. 443).

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

Автореферат разослан « ____ » **апреля 2016** г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.204.03

Женса А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

На территории промышленного кластера города Новомосковска Тульской области расположено большое количество предприятий разных видов деятельности. Одними из самых крупных из них являются предприятия химико-технологической промышленности. Все промышленные предприятия, расположенные на территории региона во время своей работы выбрасывают в атмосферный воздух большое количество загрязняющих веществ (ЗВ). При этом может возникнуть ситуация, когда суммарная концентрация ЗВ в атмосферном воздухе превысит ПДК, однако концентрация этого ЗВ, выбрасываемого отдельными предприятиями в атмосферу, не превышает ПДК. В этом случае формально к администрации этих предприятий нельзя применять штрафные санкции, так как они не нарушают нормы законодательства. Однако превышение ПДК ЗВ в атмосферном воздухе влияет на жизнь и здоровья населения, проживающего в любом промышленном регионе, поэтому задача снижения уровня концентрации ЗВ в атмосфере, несомненно, является актуальной. Способствовать решению этой задачи могут научно-технические разработки, направленные, как указано в «Проекте Указа Президента Российской Федерации «Об утверждении Основ Экологической политики Российской Федерации на период до 2030 года» и мерах по их реализации», на обеспечение участия и учет мнения заинтересованных сторон при принятии всех экологически значимых решений. Следовательно, только совместными усилиями лиц, принимающих решения в администрации предприятий и администрации города и района, можно обеспечить качество окружающей среды промышленного региона. Для этого необходимо не только совершенствовать технологию и проводить модернизацию оборудования на каждом предприятии, но и совершенствовать системы контроля и управления степенью загрязнения атмосферного воздуха комплексом этих промышленных предприятий.

На степень загрязнения атмосферного воздуха влияют много факторов. Наибольшее влияние оказывают метеоусловия и удаленность источников загрязнения от жилой зоны. Эти и другие факторы существенно усложняют и делают практически невозможным вывод аналитических зависимостей между уровнями концентраций ЗВ в атмосфере жилой зоны и технологическими режимами промышленных предприятий, их территориальным расположением и т.д. Поэтому традиционными, хорошо известными методами построения автоматизированных систем управления поставленную задачу не решить. В настоящее время перспективным направлением решения проблем экологии и охраны окружающей среды является разработка и применение методов математического моделирования и методов искусственного интеллекта на базе компьютерных технологий, которые позволяют формализовать человеческие способности к неточным или приближенным рассуждениям и, в условиях неточной и неполной информации, вырабатывать рекомендации и решения, направленные на изменения в режиме работы предприятий с целью уменьшения их выбросов в окружающую среду.

Данная работа продолжает и развивает научные достижения полученные таким учеными как: М.Е. Берлянд, Л.Р.Сонькин (формирование научных основ и практической организации системы загрязнения воздуха, решение задач

прогнозирования загрязнения воздуха), И.Н. Дорохов, А.Ф. Егоров, Т.В. Савицкая (вопросы анализа, синтеза и классификации нечетких регуляторов и систем управления, искусственный интеллект в химии и химической технологии, разработка интегрированных автоматизированных систем управления качеством окружающей среды и безопасностью химических производств, модели и методы решения задач оперативного управления безопасностью непрерывных химико-технологических систем, интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления качеством атмосферного воздуха), Г.И. Марчук (математические модели и методы для решения фундаментальных проблем охраны окружающей среды и экологии), В.П. Мешалкин (экспертные системы в химической технологии), В.Н. Смирнов (экологический мониторинг воздушной среды) и др.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009 - 2014 годы)», «Областная целевая программа экология и природные ресурсы Тульской области на 2013 - 2016 годы» и муниципальной программы г. Новомосковска «Информационное обеспечение экологической безопасности и охраны здоровья населения на 2011 - 2013 годы».

Цель работы и задачи исследования

Цель работы: Разработка интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу химико-технологическими предприятиями и метода расчета оптимальных долей изменения режимов работы предприятий в соответствии с их вкладами в общий уровень загрязнения атмосферного воздуха на базе технологий искусственного интеллекта в режиме реального времени в условиях неполной и нечеткой информации.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы следующие научно-технические **задачи**:

1. Провести анализ существующих проблем управления сложными химико-технологическими и другими производственными системами.

2. Систематизировать многолетнюю информацию по метеоусловиям и выбросам предприятий г. Новомосковска Тульской области для поддержки процесса моделирования распространения загрязнения в атмосферном воздухе.

3. Разработать структурную схему системы управления, базы данных (БД), базы знаний (БЗ), продукционные модели представления знаний гибридной интеллектуальной управляющей системы снижения валового выброса ЗВ в атмосферу.

4. Разработать метод вычисления вклада каждого предприятия - источника загрязнения в суммарную концентрацию ЗВ.

5. Разработать метод вычисления долей изменения нагрузки (производительности) предприятий в соответствии с их долями в валовых выбросах ЗВ в атмосферном воздухе.

6. Разработать защищенную сеть удаленной передачи управляющих воздействий лицам, принимающим решения на предприятиях.

Методы исследования

В диссертационной работе использованы методы системного анализа, теория искусственного интеллекта, математический аппарат генетических алгоритмов и

нечеткой логики.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложен новый подход к представлению зависимостей между процедурами принятия решений по управлению производствами и процессом контроля загрязнения атмосферного воздуха промышленного региона, направленный на снижение валового выброса в атмосферу с учетом вклада каждого из предприятий-источников загрязнения.

2. Разработана гибридная интеллектуальная управляющая система, в которой применяются технологии искусственного интеллекта для вычисления долей изменения нагрузки (производительности) предприятий в соответствии с их долями в валовом выбросе ЗВ в атмосферу в реальном времени в условиях неполной и нечеткой информации.

3. Разработан комбинированный метод вычислений с использованием математического аппарата нечеткой логики и компьютерного моделирования физических сред, позволяющий определить вклад каждого источника выброса вредных веществ в суммарный выброс в атмосферном воздухе.

4. Разработан метод вычисления оптимальных соотношений, в соответствии с которым происходит изменение режимов работы предприятий с учетом их вкладов в валовый выброс ЗВ в атмосферу в режиме реального времени.

5. Разработана специальная методика создания системы управления предприятиями химико-технологического комплекса региона с организацией обратной связи через виртуальную частную сеть с защищенным удаленным доступом, которая может быть рекомендована в качестве типовой для создания аналогичных систем управления в других промышленных регионах РФ.

Практическая значимость:

1. Получены научные обоснованные рекомендации по изменению режимов работы химико-технологических предприятий, позволяющие проводить химико-технологические процессы этих предприятий с учетом выбросов ЗВ в атмосферу без существенного снижения прибыли.

2. Полученные научные и практические результаты имеют важное значение для разработки новых и повышения эффективности действующих автоматизированных систем управления химико-технологическими предприятиями и улучшения экологической ситуации на муниципальном уровне в регионах с сильно развитой химической и иной промышленностью, создания теоретической и методической основы для разработки систем информационной поддержки принятия эффективных решений по управлению экологической безопасностью.

3. Даны рекомендации по изменению режимов работы предприятий с учетом их вкладов в валовый выброс ЗВ в атмосферу в режиме реального времени.

4. Разработана методика определения вклада каждого источника выброса вредных веществ в суммарный выброс в атмосферном воздухе и вычисления оптимальных долей изменения нагрузки предприятий в соответствии с их долям в валовых выбросах ЗВ в атмосферу в пакете прикладных программ Matlab.

На защиту выносятся:

- математическая модель расчета вклада каждого источника выброса вредных веществ в суммарный выброс в атмосферном воздухе;

- метод вычисления соотношения изменения нагрузки предприятий в соответствии с их вкладами в валовых выбросах ЗВ в атмосферу;
- структура системы управления химико-технологическими предприятиями – источниками выбросов ЗВ в атмосферу.

Обоснованность и достоверность результатов подтверждается применением современных информационных технологий и методов искусственного интеллекта; использованием конкретных методов компьютерного, математического моделирования и оптимизации; актами о практическом использовании и внедрении результатов работы.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XIV Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», г. Самара, 2012г.; XIII и XIV научно-технических конференциях молодых ученых, студентов, аспирантов, НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева (Новомосковск, 2011, 2012 гг.).

Личный вклад автора состоит в выполнении расчетных методов, обработке и обсуждении полученных данных, в подготовке публикаций по теме диссертации. Основные научные результаты, представленные в диссертации, получены лично автором.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликованы 11 печатных работ, в том числе 5 в журналах, рецензируемых ВАК. Публикации отражают основное содержание работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений, библиографического списка, содержащего 146 наименований. Работа содержит 138 листов машинописного текста, 72 рисунков и 10 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи работы, изложена научная новизна и практическая значимость.

В первой главе проведен анализ проблем управления сложными промышленными объектами с учетом экологических параметров. Описано влияние химико-технологических систем (ХТС) на состояние окружающей среды. Проведен анализ методов оптимизации при решении задач управления. Проведен анализ использования современных методов искусственного интеллекта для целей управления сложными системами.

Промышленный комплекс, особенно комплекс химико-технологических предприятий, в списке негативного влияния на окружающую среду занимает ведущее место. На сегодняшний день становится необходимостью внедрение на российских предприятиях международных стандартов ИСО 14000 и ИСО 9000. Большинство существующих систем мониторинга и управления охраной окружающей среды реализуют на практике только контроль загрязнений окружающей среды. Результаты этого контроля обычно не учитываются при управлении химико-технологическими предприятиями в режиме реального времени, а используются постфактум для информирования федеральных государственных

органов, органов власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, организаций и граждан о состоянии окружающей среды, компонентов природной среды, естественных экологических систем, а также происходящих в них процессах и изменениях, связанных с негативным воздействием на окружающую среду.

ХТС как сложные многосвязные объекты обладают неопределенностью поведения, нестационарностью параметров, большим энергоресурсом, большой динамической инерционностью. На распространение в атмосферном воздухе выбрасываемых ими во время работы ЗВ оказывают влияния метеоусловия и рельеф местности. Это приводит к тому, что в жилой зоне, расположенной на расстоянии в несколько раз больше, чем расстояние между предприятиями, практически невозможно определить источники выбросов, определить виновников выбросов, определить аналитические зависимости между источниками и концентрациями ЗВ в атмосфере, спрогнозировать изменение концентрации ЗВ в атмосфере. Поэтому, для обеспечения поддержки принятия решений при управлении объектами химической технологии с учетом экологических параметров, необходимо применять методы искусственного интеллекта, экспертные системы, новые информационные технологии.

Таким образом, в результате проведенного аналитического обзора, были намечены основные задачи, связанные с разработкой системы управления химико-технологическими предприятиями промышленного комплекса региона с учетом экологических факторов, функционирующей в реальном времени в условиях неопределенности и недостаточности информации.

Во второй главе проведено исследование комплекса химико-технологических предприятий г. Новомосковска Тульской области, описана его общая характеристика, структура, а также характеристики существующих в его рамках систем управления.

Большинство промышленных предприятий находится в северной части г. Новомосковска Тульской области в удалении от центральной жилой части. На этих предприятиях имеется достаточно большое количество цехов (производство аммиака, минеральных удобрений, карбамида, детергентов и т.д.), в той или иной степени осуществляющих газовые выбросы в атмосферный воздух во время своей работы в соответствии с технологическим регламентом.

Лабораторные исследования загрязнений приземного слоя атмосферного воздуха г. Новомосковска Тульской области проводятся по следующим показателям: диоксид азота, диоксид серы, формальдегид, оксид углерода, взвешенные вещества, дигидросульфид, аммиак. Формальдегид и аммиак – вещества аварийно химически опасные. Для оценки степени техногенного загрязнения атмосферного воздуха были использованы предельно допустимые максимально разовые концентрации вредных веществ в воздухе жилой зоны. С июня 2013 года до настоящего времени жители г. Новомосковска периодически ощущают неприятный резкий запах химического происхождения. В одном из районов города ощущается характерный запах нафталина, в других районах запах жженой пластмассы. Данные запахи вызывают у многих граждан воспаление слизистой носоглотки и глаз, у некоторых жителей поднимается высокая

температура, увеличались случаи обращения граждан в медицинские учреждения.

На сегодняшний день экологический контроль существует на каждом предприятии, т.к. этого требует российское законодательство, но зачастую он не соответствует современным требованиям (осуществляется периодически ручным способом), и не используется для учета при управлении химико-технологическими процессами.

В результате системного анализа действующих систем управления ХТС промышленного кластера г. Новомосковска Тульской области был сделан вывод о необходимости создания дополнительного канала управления, учитывающего выбросы ЗВ в атмосферный воздух. Реализация этого канала управления вызывает большую трудность, так как существует значительная неопределенность при вычислении вклада различных источников выбросов в валовый выброс ЗВ из-за большого количества химико-технологических предприятий. Кроме того, на распространение ЗВ в атмосфере влияют метеоусловия, рельеф местности, особенность расположения предприятий относительно жилой части города.

В третьей главе описаны разработанные методические основы построения гибридной интеллектуальной системы управления химико-технологическими предприятиями промышленного комплекса, целью работы которой является снижение концентрации ЗВ в валовом выбросе предприятий в приземном слое атмосферного воздуха в режиме реального времени и которая отличается от известных ранее тем, что в ней вычисляются оптимальные доли изменения нагрузки (производительности) предприятий в соответствии с их долями в общем загрязнении атмосферного воздуха.

На рис. 1 представлена структура гибридной интеллектуальной управляющей системы предприятиями промышленного комплекса.

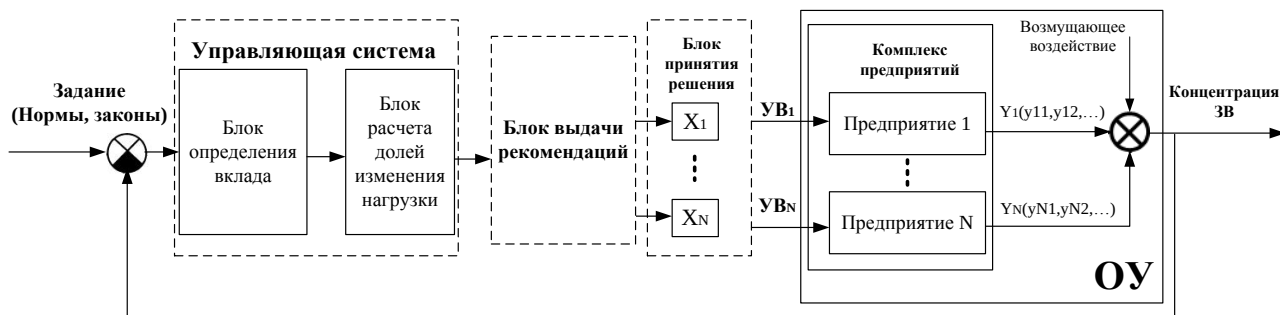


Рис. 1 - Структура гибридной интеллектуальной управляющей системы предприятиями промышленного комплекса: O_i – оператор диспетчерского отдела i -ого предприятия; $Y_i(y_{i1}, y_{i2}, \dots)$ – совокупность ЗВ, выбрасываемых i -ым предприятием; $УВ_i$ – управляющее воздействие; ОУ – объект управления; Возмущающие воздействия (метеоусловия)

Основное отличие разработанной системы управления от существующих ранее заключается в том, что в предлагаемой системе для решения поставленных задач в структуру системы добавляется гибридная интеллектуальная управляющая система. Разработанная система состоит из блока определения вклада каждого предприятия в суммарный вклад ЗВ на основе нечеткой логики и блока вычисления долей

изменения режимов работы («нагрузки») предприятия на основе генетического алгоритма.

Во время нормального функционирования предприятий промышленного комплекса может возникнуть парадоксальная ситуация, когда суммарная концентрация ЗВ в атмосфере превысит ПДК, однако концентрации этого ЗВ, выбрасываемого отдельными предприятиями в атмосферу, не будут превышать ПДК. В соответствии с действующим законодательством, применять санкции к таким предприятиям нельзя, т.к. они не нарушают норм выбросов. Для решения этой проблемы будем рассматривать все эти предприятия и атмосферный воздух как единую систему управления, т.к. управляя режимами работы предприятий можно влиять на степень загрязнения атмосферного воздуха их выбросами.

Характерной особенностью разрабатываемой системы управления является отсутствие точных и полных данных о текущем состоянии концентрации ЗВ в приземном слое атмосферного воздуха жилой зоны, поэтому в разработанной системе широко используются большой объем данных многолетнего мониторинга атмосферного воздуха с помощью автоматизированной системы контроля «Атмосфера», результаты моделирования распространения воздушных потоков по территории г. Новомосковска Тульской области, полученные в программном средстве моделирования физических сред Comsol, знания и опыт экспертов.

Для определения вклада предприятия в загрязнение атмосферного воздуха необходимо рассмотреть изменение этого вклада в зависимости от режима работы предприятия и метеоусловий.

Пусть имеются N предприятий: $X_1, X_2, \dots, X_N$, которые находятся в одном из режимов работы: пуск, останов, нормальный или аварийный режим, и есть данные о метеоусловиях: скорость ветра (V), направление ветра (H), температура атмосферы (T). С помощью математического аппарата нечеткой логики определяются соответствующие базовые вклады предприятий $u_1, u_2, \dots, u_N$. Базовые вклады предприятий пропорциональны концентрациям ЗВ, полученным в результате моделирования распространения ЗВ в атмосфере, и уточнены с помощью экспертов.

Для формализованного представления знаний в системе предложено формировать группу продукционных правил с использованием лингвистических переменных (скорости и направления ветра, температуры атмосферы и режимов работы предприятий, базовых вкладов предприятий). Эти продукционные правила способствуют определению вкладов химико-технологических предприятий в суммарную концентрацию ЗВ при различных режимах работы предприятий и различных метеоусловиях. Пусть, каждое i -ое предприятие находится в j -ом режиме работы, а метеоусловия имеют k -ое состояние. Необходимо определить m -ый диапазон базовых вкладов предприятий в суммарной концентрации ЗВ в точке измерения. В общем виде продукционной модели данная формулировка будет выглядеть следующим образом:

$$\forall(i, j, k, m) : A_o \equiv [\bar{x}_i^j, \bar{y}_k \rightarrow \bar{u}_m^i], i \in I; j \in J; k \in K; m \in M \quad (1)$$

где $\bar{x}_i^j$ - вектор i -го предприятия находится в j -ом режиме работы; $\bar{y}_k$ - вектор k -го состояния метеоусловий; $\bar{u}_m^i$ - вектор m -го диапазона вклада i -го предприятия; I -

общее количество предприятий; J - количество режимов работы; M - количество диапазонов базовых вкладов.

Продукционные правила пишутся в форме «Если..., то...», тогда правила базы знаний подсистемы базовых вкладов будут выглядеть следующим образом: «Если i -ое предприятие находится в j -ом режиме работы и метеоусловия имеют k -ое состояние, то базовой вклад предприятия находится в m -ом диапазоне».

Если при k -ом состоянии метеоусловий на стационарном poste наблюдения за загрязнениями атмосферы концентрация ЗВ зафиксирована c , то концентрация ЗВ, создаваемая выбросами i -го предприятия в контрольной точке (c_i) вычисляется по следующей формуле:

$$c_i = c \frac{u^i}{\sum_{j=1}^N u^j} . \quad (2)$$

Обозначим:

- c_i' - концентрация ЗВ, создаваемая выбросами i -го предприятия в контрольной точке после регулирования выбросов, чтобы обеспечить суммарную концентрацию в пределах ПДК;

- Q_i , Q_i' - выбросы i -го предприятия в соответствии с концентрациями c_i , c_i' - концентрация ЗВ, создаваемая им в контрольной точке.

Тогда:

$$\sum_{i=1}^N c_i' \leq \text{ПДК} ; \quad \forall i = \overline{1, N} : 0 \leq c_i' \leq c_i, 0 \leq Q_i' \leq Q_i . \quad (3)$$

Очевидно, что любое предприятие заинтересовано в минимизации затрат, связанных с выбросами Q_i' . Для этой цели, к поставленной системе неравенств добавляем целевую функцию:

$$\sum \gamma_i (Q_i - Q_i') \rightarrow \min , \quad (4)$$

где в общем случае γ_i - стоимость снижения затрат на единицу выброса ЗВ для i -го предприятия. В данном виде решение Q_i' дает минимум затрат на достижение нормативного загрязнения атмосферы.

В предположении $\gamma_i = \gamma_0$, $\frac{Q_i - Q_i'}{Q_i} = q_i$ и $Q_i = Q_i^{\text{рег}}$ выражение (4) эквивалентно

$$\gamma_0 \sum Q_i^{\text{рег}} \cdot q_i \rightarrow \min , \quad (5)$$

где q_i - доля сокращения выбросов для i -го предприятия; $Q_i^{\text{рег}}$ - выбросы i -го предприятия в соответствии с регламентом работы.

Пользуясь линейной зависимостью концентрации выбрасываемого ЗВ от массы выбросов по методике ОНД-86 и Гауссовой моделью рассеивания ЗВ по выбросам одного источника можно представить загрязнение атмосферы в контрольных точках в виде линейной формы:

$$c = a \cdot Q , \quad (6)$$

где c - концентрация в контрольной точке; Q - выброс источника; a - коэффициент влияния.

Из (6) следует, что для i -ого предприятия $\frac{c_i'}{c_i} = \frac{Q_i'}{Q_i}$ или:

$$\frac{c_i - c_i'}{c_i} = \frac{Q_i - Q_i'}{Q_i} = q_i. \quad (7)$$

Из (7) следует, что:

$$\sum_{i=1}^N (c_i - c_i') = \sum_{i=1}^N c_i \cdot q_i. \quad (8)$$

Из (2) и (8) следует, что:

$$c - \sum_{i=1}^N c_i' = \sum_{i=1}^N c \frac{u^i}{\sum_{j=1}^N u^j} q_i. \quad (9)$$

Из (3) и (9) следует, что:

$$1 - \frac{\text{ПДК}}{c} \leq \sum_{i=1}^N \frac{u^i}{\sum_{j=1}^N u^j} q_i; \quad \forall i = \overline{1, N} : 0 \leq q_i \leq 1. \quad (10)$$

Следовательно, задача сводится к поиску долей изменения нагрузки для всех предприятий ($q_i; i = \overline{1, N}$), при которых целевая функция (5) с ограничениями (10) достигает минимума. Решение этой задачи обеспечит значение суммарной концентрации в контрольной точке в пределах ПДК и суммарные затраты всех предприятий, минимально необходимые для установления нормативных выбросов.

Так как предприятия, входящие в промышленный комплекс г. Новомосковска, значительно территориально удалены от системы измерения концентрации ЗВ в атмосфере (АСК «Атмосфера»), системы обработки и вычисления управляющих воздействий, то необходимо создать подсистему передачи информации о рассчитанных значениях управляющих воздействий для обеспечения обратной связи в созданном канале управления. В качестве среды передачи данных была выбрана глобальная сеть Интернет. Для реализации защиты в системе передачи результатов расчетов через Интернет в нашем случае выбрана технология организации виртуальной частной сети (VPN) с удаленным доступом, ранее для таких целей не использовавшаяся. Пользователи устанавливают соединения с местной точкой доступа к глобальной сети (PoP), после чего их вызовы туннелируются через Интернет. Затем все вызовы концентрируются на соответствующих узлах и передаются в сеть системы поддержки принятия решений по управлению химико-технологическими предприятиями. Удаленный пользователь (руководство предприятий), как правило, подключается к защищаемому ресурсу не через выделенный сервер VPN, а напрямую с собственного компьютера, где и устанавливается программное обеспечение, реализующее функции клиента VPN. Таким образом, создается и эксплуатируется защищенная виртуальная локальная сеть «внутри» Интернет. Для компьютеров входящих в этой сети обмен информацией происходит как в обычной локальной сети, поэтому в этой сети легко организовать работу обычных офисных приложений, однако извне такая сеть будет защищена, так как весь трафик зашифрован. Такой метод повышает защищенность и надежность функционирования разработанной системы управления.

Основными параметрами гибридной интеллектуальной управляющей системы комплексом химико-технологических промышленных предприятий, которые влияют на функционирование и точность ее работы, являются форма функций принадлежности переменных (ФПП) и методы дефаззификации (МД). Далее, будем рассматривать только эти параметры для упрощения процесса выбора оптимальных параметров гибридной интеллектуальной управляющей системы. Выбор оптимальных параметров гибридной интеллектуальной управляющей системы осуществляется методом перебора всех возможных комбинаций МД и ФПП. Для выбора оптимальной комбинации МД и ФПП рассчитывается коэффициент согласованности заключений экспертов. Максимальное значение коэффициента соответствует оптимальной комбинации МД и ФПП. Процесс выбора оптимальных параметров гибридной интеллектуальной управляющей системы корректируются через определенный интервал в зависимости от конкретной ситуации (например, раз в квартал, полгода или год). На рис. 2 представлен алгоритм выбора оптимальных параметров гибридной интеллектуальной управляющей системы.

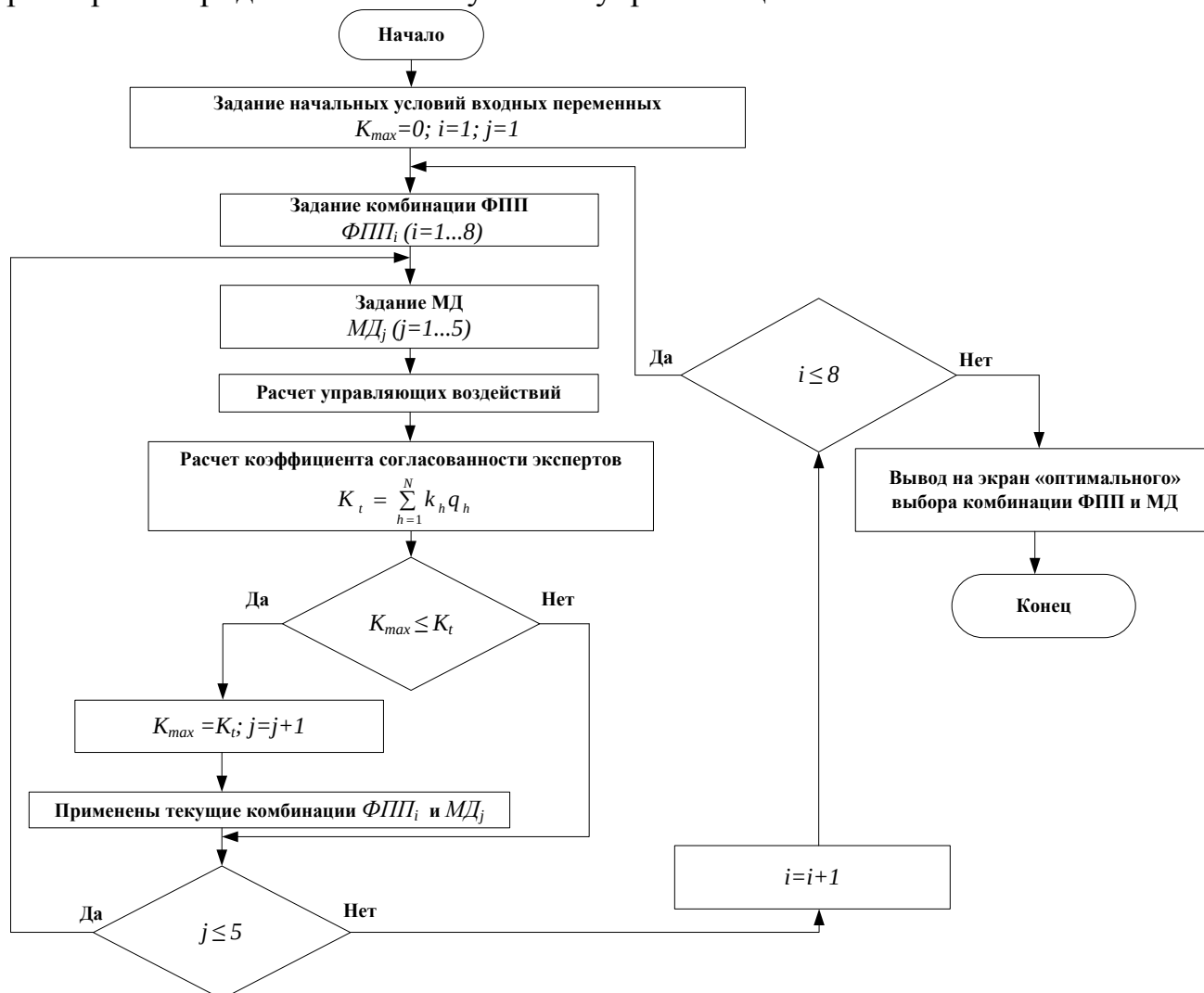


Рис. 2 - Метод выбора оптимальных параметров гибридной интеллектуальной управляющей системы: $K_{\max}$ - максимальное значение коэффициента согласованности экспертов; K_t - текущее значение коэффициента согласованности экспертов; N - количество экспертов; k_h - оценка h -ого эксперта; q_h - коэффициент компетентности h -ого эксперта и часто равен $1/N$

Так как, в общем случае, структура объекта и системы управления содержит большое количество связей, то расчеты управляющих воздействий могут быть затруднены. Для повышения эффективности расчетов предложен метод определения степени влияния входных переменных многосвязных объектов управления на показатели качества процесса управления, основанный на интеллектуальной технологии нечеткого вывода, который показал свою эффективность и позволил выбрать оптимальную структуру системы управления многосвязного объекта за счет сокращения числа контуров управления и мало влияющих на управляемую переменную входных переменных.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практического применения интеллектуальной системы управления предприятиями химического комплекса г. Новомосковска Тульской области.

Исследование объекта управления показано, что на территории северной части города, в удалении – 12км от жилой (южной) части г. Новомосковска Тульской области, расположено большое количество вредных и опасных предприятий химической технологии, активно загрязняющих атмосферный воздух. На рис. 3 приведена структура системы управления производством с возможностью учета параметров загрязнения окружающей среды, где производства рассматриваются как источники загрязнения атмосферного воздуха региона.

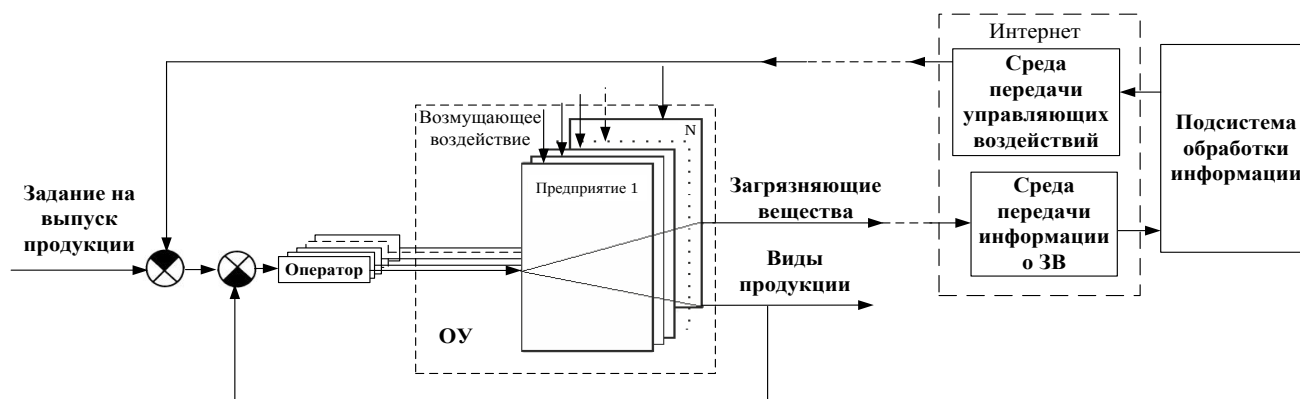


Рис. 3 - Структура системы управления предприятиями промышленного комплекса с возможностью учета параметров загрязнения окружающей среды

Из приведенной структуры видно, что к основному каналу управления выпуском продукции добавляется дополнительный канал управления, который позволяет организовать дополнительную отрицательную обратную связь. С ее помощью будет корректироваться нагрузка (производительность) предприятий путем изменения задания на объем выпуска продукции. Реализация замкнутого контура управления позволяет автоматически учитывать возникающие во время работы возмущения.

Химико-технологические предприятия, входящие в промышленный комплекс г. Новомосковска Тульской области, могут находиться в одном из четырех режимов работы (пуск, останов, нормальный или аварийный) и выбрасывать в атмосферу различные вещества. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются: цеха НАК «Азот», ОАО «КНАУФ-ГИПС-Новомосковск», ООО «Полипласт», ООО «Проктер энд Гэмбл», ООО «Оргсинтез», ООО «Аэрозоль-

Новомосковск». Все вышеперечисленные предприятия являются постоянно действующими источниками загрязнения атмосферного воздуха. Режимы пуска и останова происходят в течение несколько дней. Газы в режиме пуска выбрасываются 1 раз в год в продолжительности не больше 72 часов. Газы в режиме останова выбрасываются в продолжительности не больше 80 часов в год. В аварийном случае все остальные предприятия снизят выбросы в атмосферный воздух, чтобы обеспечить концентрации ЗВ в пределах нормы. Большую часть времени предприятия работают в нормальном режиме функционирования.

В качестве инструментального средства определения вклада предприятий в валовый выброс использован пакет нечеткой логики в Matlab. В качестве алгоритмов нечеткого вывода выбран алгоритм Мамдани, так как значения выходных переменных задаются нечеткими термами. Алгоритм нечеткой системы определения вклада предприятия представлен на рис.4. Каждой входной и выходной переменной поставим в соответствие набор ФПП.

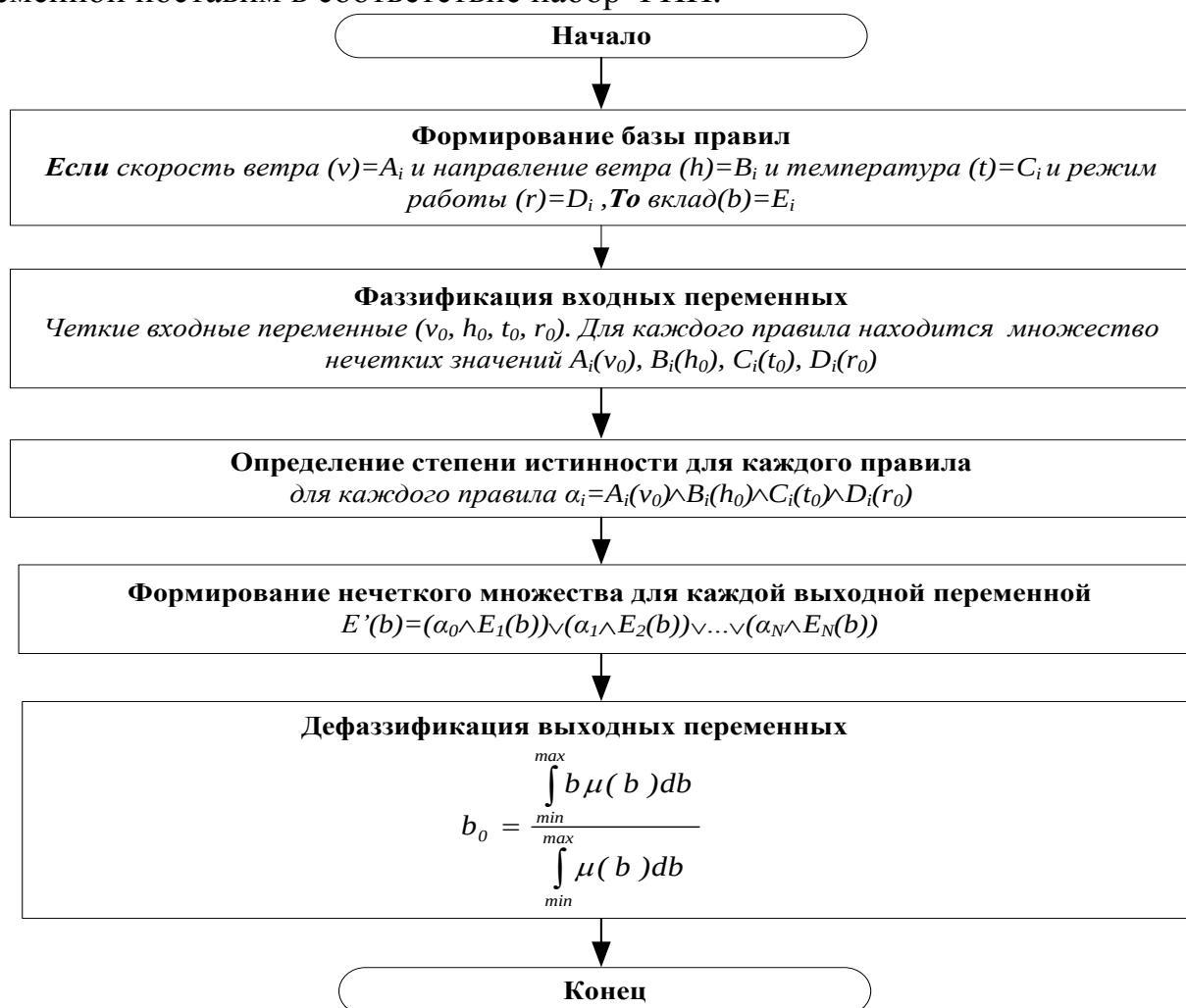


Рис. 4 - Алгоритм работы нечеткой системы определения вклада предприятия в суммарный выброс ЗВ в атмосферу

Следующим этапом построения системы нечеткого вывода является определение набора правил, которые задают связь входных переменных с выходными. На рис. 5 представлено окно редактора продукционных правил вывода подсистемы расчета базовых вкладов в валовый выброс в Matlab.

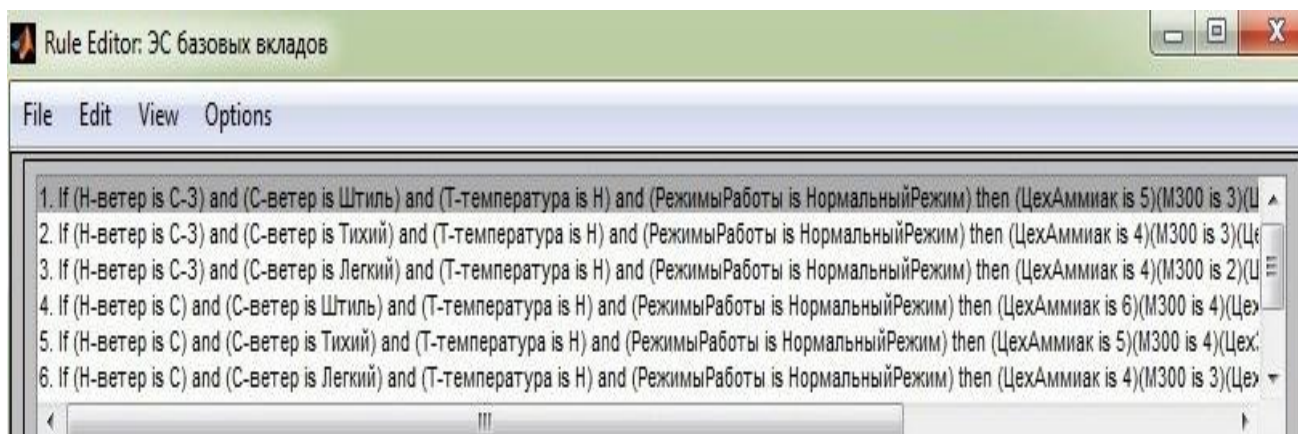


Рис. 5 - Продукционные правила вывода подсистемы базовых вкладов

Так, первое правило выглядит следующим образом: Если направление ветра «северо-западный» и скорость ветра «штиль» и температура «высокая» и режим работы «нормальный», то вклад «Цех производства Аммиака» равен 5, вклад «Цех производства метанола М300» равен 3, «Цех 3А» равен 1, вклад «Цех 5А» равен 1, вклад «Цех №4» равен 2, вклад «ООО «Проктер энд Гэмбл»» равен 3, вклад «ОАО «КНАУФ - ГИПС»» равен 2, вклад «ООО «Оргсинтез»» равен 1, вклад «ООО «Аэрозоль»» равен 1, вклад «ООО «Полипласт»» равен 1. Значения вкладов определяются на основе заключений экспертов. Аналогично были созданы другие необходимые правила. Общее количество правил составило 168. При необходимости количество правил может увеличено.

Завершающим этапом построения модели является задание значений входных переменных и расчет искомого результата, посредством дефаззификации результатов аккумуляции. Для примера, в табл. 1 представлены результаты расчета в Matlab вкладов предприятий в валовый выброс ЗВ в атмосферу в случае нормального режима работы, направления ветра «северо-западный», скорость ветра «легкий», температура 16 °С.

Таблица 1 - Результаты расчета подсистемы вычисления вклада

Наименование объекта	Вклад предприятий
ОАО «КНАУФ - ГИПС-Новомосковск»	8,3
ООО «Проктер энд Гэмбл»	4,1
ООО «Оргсинтез»	7,3
ООО «Аэрозоль-Новомосковск»	3,2
ООО «Полипласт»	6,4
Производство Аммиака - НАК «Азот»	5
Цех 3А - НАК «Азот»	3,1
Цех 5А - НАК «Азот»	3,1
Цех №4 - НАК «Азот»	2,5
Цех М300 - НАК «Азот»	4,5

Базовые вклады предприятий это относительные величины концентрации ЗВ в точке измерения при моделировании распространения ЗВ от этих предприятий в атмосфере, которые уточнены с помощью экспертов. Эти относительные величины

равнопропорциональны значениям фактических концентраций, создаваемых всеми предприятиями – источниками загрязнения.

В табл. 2 представлены выбросы основных источников загрязнения комплекса промышленных предприятий, взятые из регламентов и уточненные экспертами с учетом многолетних наблюдений в АСК «Атмосфера».

Таблица 2 - Выбросы основных предприятий в атмосферу

Наименование объекта	Мощность выбросов, Кг/час
ОАО «КНАУФ - ГИПС-Новомосковск»	24,2
ООО «Полипласт»	4,6
ООО «Проктер энд Гэмбл»	24,7
ООО «Оргсинтез»	5,7
ООО «Аэрозоль-Новомосковск»	28,8
Производство Аммиака - НАК «Азот»	69,2
Цех 3А - НАК «Азот»	44,1
Цех 5А - НАК «Азот»	44,1
Цех №4 - НАК «Азот»	34,7
Цех М300 - НАК «Азот»	58,3

В качестве алгоритма поиска долей изменения нагрузки предприятий использован генетический алгоритм, так как, по сравнению с традиционными методами, генетический алгоритм найдет лучший результат быстрее и не менее качественно.

Вычисленные доли сведены в табл. 3, где представлены доли изменения (уменьшения) нагрузки для предприятий при условии превышения в 2 раза суммарного значения ПДК для NO₂, зафиксированного в контрольной точке. Вычисленные ранее доли изменения нагрузки для предприятий равны соответственно: для КНАУФ-ГИПС-Новомосковск 6 %, для «P&G - Новомосковск» 2 %, для ООО «Оргсинтез» 6,5 %, для ООО «Аэрозоль-Новомосковск» 1,5 %, для ООО «Полипласт» 2,5 %, Для цехов НАК «Азот»: производства Аммиака 6 %, цеха 3А 2 %, цеха 5А 2 %, цеха №4 1%, цеха М300 4,4 %. Разработанная система рекомендует этим предприятиям именно в таком соотношении снизить нагрузку, до тех пор, пока суммарная концентрация ЗВ в точке измерения не станет ниже ПДК.

Таблица 3 - Доли изменения (снижения) нагрузки для предприятий

Наименование объекта	Доля изменения нагрузки (%)
ОАО «КНАУФ - ГИПС-Новомосковск»	6
ООО «Проктер энд Гэмбл»	2
ООО «Оргсинтез»	6,5
ООО «Аэрозоль-Новомосковск»	1,5
ООО «Полипласт»	2,5
Производство Аммиака - НАК «Азот»	6
Цех 3А - НАК «Азот»	2
Цех 5А - НАК «Азот»	2
Цех №4 - НАК «Азот»	1
Цех М300 - НАК «Азот»	4,4

После получения информации об управляющих воздействиях и информации о состоянии загрязнения атмосферы оператору диспетчерского отдела предприятий необходимо информировать руководство предприятия о рекомендации по управлению, проверить график плановых ремонтов и наличие внеплановых, выполнить дополнительные рекомендации, подробно описанные в пункте 4.6.2 диссертации.

Управляющие воздействия с помощью подсистемы передачи данных, которая реализована по технологии VPN, для обеспечения передачи данных в защищенном режиме, передаются на предприятия. На основании этих данных операторы предприятий, ведущие технологические процессы предприятий, могут управлять производственными процессами в реальном времени в соответствии с долями изменения нагрузки и рекомендациями по ведению технологических процессов. За длительный период (за год) количество выпускаемой продукции не будет сильно изменяться, поэтому доход предприятия не будет существенно снижаться, а прибыль предприятия может быть увеличена из-за того, что предприятие не будет оштрафовано за экологические нарушения.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана гибридная интеллектуальная управляющая система химико-технологическими предприятиями промышленного комплекса региона с целью снижения концентрации ЗВ в валовом выбросе в атмосферу в режиме реального времени, которая отличается от известных ранее тем, что в ней вычисляются на базе технологий искусственного интеллекта оптимальные доли изменения нагрузки предприятий в соответствии с их долями в валовом выбросе ЗВ в атмосферу в условиях неполной и нечеткой информации.

2. Разработана структурная схема системы управления предприятиями промышленного комплекса с учетом экологических параметров, включающая экспертную систему вкладов, экспертную систему вычисления долей изменения нагрузки и базы знаний.

3. Разработан комбинированный метод с использованием математического аппарата нечеткой логики и компьютерного моделирования распространения воздушных потоков по территории региона, позволяющий определить вклад каждого источника выброса вредных веществ в суммарный выброс в атмосферном воздухе.

4. Разработан на основе генетического алгоритма метод вычисления оптимальных долей изменения нагрузки (производительности) предприятий в соответствии с их долям в валовом выбросе ЗВ в атмосферу.

5. Разработанные модели и методы реализованы в гибридной интеллектуальной управляющей системе и могут быть использованы для практической реализации не только системы управления предприятиями химического комплекса г. Новомосковска Тульской области, но и аналогичными системами.

6. Выработаны рекомендации ЛПР на химико-технологических предприятиях по управлению производственными процессами в соответствии с долями ЗВ предприятий в валовом выбросе ЗВ в атмосферу.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях рекомендованных ВАК РФ:

1. Вент Д.П., Волков В.Ю., Луэ Ху Дык Интеллектуальная система выработки рекомендаций по снижению выбросов в атмосферу // Известия ТулГУ. Технические Науки. 2012, выпуск 3. С. 263-271.

2. Вент Д.П., Волков В.Ю., Луэ Ху Дык О возможности использования интеллектуального регулятора в дополнительном контуре системы управления // Известия ТулГУ. Технические Науки. 2013, выпуск 2. С. 48-53.

3. Волков В.Ю., Луэ Ху Дык Проблема защиты информации в системах управления с удаленным доступом и вариант ее решения // Известия ТулГУ. Технические Науки. 2013, выпуск 2. С. 65-71.

4. Луэ Ху Дык, Волков В.Ю. Метод определения степени влияния входных воздействий на выходные параметры многосвязного объекта управления // Известия ТулГУ. Технические Науки. 2013, выпуск 10. С. 277-282.

5. Луэ Ху Дык, Волков В.Ю., Вент Д.П. Оценка степени влияния входных воздействий многосвязного объекта на изменение показателей качества процесса управления // Известия ТулГУ. Технические Науки. 2014, выпуск 2. С. 159-165.

Публикации в других изданиях:

6. Луэ Ху Дык, Волков В.Ю., Кузнецова К.С. Интеллектуальная система вычисления долей сокращения выбросов предприятий с целью обеспечения оптимального качества атмосферного воздуха // Вестник МАСИ. Информатика, экология, экономика. 2012. Том 14. Часть I. С.172-179.

7. Волков В.Ю., Луэ Ху Дык Интеллектуальная система выработки рекомендаций по снижению выбросов в атмосферу химико-технологическими предприятиями // Труды XIV Международной конференции: Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Самара, 2012. С. 278-285.

8. Волков В.Ю., Дык Л.Х. Моделирование распространения загрязненного воздуха по территории северной части МО г.Новомосковск // XIII научно-техническая конференция молодых ученых, студентов, аспирантов, Часть II, НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковск, 2011. С. 56-57.

9. Луэ Ху Дык, Волков В.Ю., Рогачев А.Ю. Комбинированный метод определения вклада каждого предприятия-источника загрязнения в валовой выброс ЗВ в атмосферу // XIV научно-техническая конференция молодых ученых, студентов, аспирантов, Часть II, НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковск, 2012. С. 69-70.

10. Луэ Ху Дык, Волков В.Ю. Разработка производственных правил для представления знаний в ЭС определения базовых вкладов предприятий // XIV научно-техническая конференция молодых ученых, студентов, аспирантов, Часть II, НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковск, 2012. С. 70-71.

11. Луэ Ху Дык, Волков В.Ю. Проблема контроля за технологическими выбросами в атмосферу на вредных и опасных производствах // Вестник МАСИ. Информатика, экология, экономика. 2011. Том 13. Часть I. С. 175-178.