

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

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)

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
к.т.н., доцент, Волков В.Ю.

**Москва – 2016**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава 1 Анализ проблем управления сложными промышленными объектами с учетом экологических параметров .....	12
1.1 Влияние химико-технологических систем на экологическое состояние окружающей среды .....	12
1.2 Проблемы управления сложными системами.....	15
1.3 Использование методов оптимизации при решении задач автоматизированного управления .....	18
1.4 Обзор интеллектуальных систем, применяемых для целей управления сложными системами.....	21
Выводы по первой главе.....	26
Глава 2 Описание объекта исследования и управления.....	28
2.1 Общая характеристика промышленного кластера г.Новомосковска Тульской области.....	28
2.2 Структура и характеристики систем управления .....	34
2.3 Проблемы при создании канала управления, учитывающего выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух.....	37
Выводы по второй главе.....	39
Глава 3 Научно-методические основы построения интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу химико-технологическими предприятиями.....	40
3.1 Функциональная структура интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу.....	41
3.2 Применение нечеткой логики для вычисления вклада предприятий в суммарное загрязнение окружающей среды .....	44

3.3 Расчет рекомендуемых управляющих воздействий по изменению режимов работы предприятий на основе генетического алгоритма с целью снижения уровня загрязнения окружающей среды.....	53
3.4 Методы выбора оптимальных параметров и структуры системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу .....	59
3.4.1 Метод выбора оптимальных параметров нечеткой системы определения вкладов предприятий .....	59
3.4.2 Метод выбора оптимальной структуры системы управления .....	62
3.5 Разработка системы передачи информации о рассчитанных управляющих воздействиях для лиц, принимающих решения на предприятиях .....	67
Выводы по третьей главе.....	69
Глава 4 Практическое применение интеллектуальной системы снижения валового выброса в атмосферу химико-технологическими предприятиями промышленного кластера г.Новомосковска Тульской области .....	71
4.1 Разработка структуры интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу химико-технологическими предприятиями .....	71
4.2 Подсистема вычисления вклада предприятий в суммарное загрязнение атмосферного воздуха.....	73
4.2.1 Блок моделирования .....	73
4.2.2 Блок нечеткого вычисления .....	83
4.3 Подсистема вычисления управляющих воздействий по изменению режимов работы предприятий.....	88
4.4 Выбор оптимальных параметров и структуры автоматизированной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу.....	92
4.5 Подсистема передачи информации о рассчитанных управляющих воздействиях .....	94
4.5.1 Настройка серверной части .....	94
4.5.2 Настройка клиентской части.....	104

4.6 Обсуждение результатов и рекомендации .....	110
4.6.1 Общие рекомендации.....	110
4.6.2 Вспомогательные рекомендации предприятиям по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу .....	112
Выводы по четвертой главе.....	117
Заключение .....	119
Список литературы .....	122
Приложение А .....	136
Приложение Б .....	137
Приложение В.....	138

## Введение

*Актуальность работы.* На территории промышленных регионов располагается большое количество предприятий разных видов деятельности. Все эти промышленные предприятия 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. Для повышения и обеспечения качества окружающей среды промышленного региона необходимо не только совершенствовать технологию и проводить модернизацию оборудования на каждом предприятии, но и систем контроля и управления степенью загрязнения атмосферного воздуха комплексом этих промышленных предприятий. В настоящее время негативные влияния промышленных источников на атмосферный воздух привели к значительному ухудшению его качества, что отразилось и на здоровье человека, и на состоянии окружающей среды в целом. Поэтому, контроль и управление степенью загрязнения атмосферного воздуха от промышленных источников является весьма актуальной задачей.

На сегодняшний день управление предприятиями промышленного комплекса, особенно сложными химико-технологическими системами является нетривиальной задачей. Большое количество перекрестных связей и их взаимное влияние существенно усложняют процесс управления. Отсутствие аналитических зависимостей между выходами и входами объектов управления или их чрезмерная сложность делает невозможным реализацию автоматического управления традиционными методами. Это особенно заметно при попытке синтеза системы управления концентрацией загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере.

В настоящее время развитие различных научных, производственных и экологических отраслей невозможно без применения средств вычислительной техники и современных интеллектуальных информационных технологий. Это

обусловлено тем, что многие современные задачи практически не могут быть решены классическим методами из-за очень большой сложности и размерности математических моделей, которые их описывают. Задачи определения управляющих воздействий по снижению выбросов (определения долей изменения нагрузки предприятий) в атмосферу являются комбинаторными задачами большой размерности и степени изменения условий.

Обеспечить экологическую безопасность людей невозможно без выполнения контроля источников загрязнения. Для остановки единых требований к организационным основам, информационному обеспечению, техническому оснащению и методологии контроля источников загрязнения атмосферы создано руководство ОНД-90 [2]. Руководство включает в себя перечень загрязняющих веществ, подлежащих контролю; категории опасности предприятий и периодичность их проверок; перечень подлежащих проверке сторон деятельности предприятий; решения, принимаемые по итогам проверок и т.п., однако срок действия этого руководства закончился в 1996 году.

На территории г.Новомосковска Тульской области располагаются более 100 промышленных предприятий. Основные источники загрязнения г.Новомосковска представлены в таблице 1. Большинство этих предприятий является постоянно действующими источниками загрязнения атмосферного воздуха.

Таблица 1 - Основные загрязнители и ЗВ в атмосферном воздухе в г.Новомосковске Тульской области

Основные предприятия г.Новомосковска	Основные ЗВ
ОАО НАК «Азот»	NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , HCl, Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , CH <sub>3</sub> OH, SO <sub>2</sub> , CO
«P&G - Новомосковск»	Пыль, SO <sub>2</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub>
ООО «Аэрозоль-Новомосковск»	Сольвентнафталин, SO <sub>2</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub>
ООО «Полипласт»	Фафталин, SO <sub>2</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub>
ООО «Оргсинтез»	Сажа, SO <sub>2</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub>
КНАУФ-ГИПС-Новомосковск	Пыль, SO <sub>2</sub> , CO, NO, NO <sub>2</sub>

В рамках подпрограммы «Экология и природные ресурсы Тульской области на 2014 - 2020 годы» государственной программы «Охрана окружающей среды Тульской области» предусматриваются создание и оснащение системы контроля

за состоянием атмосферного воздуха в области. В частности, в 2014 году для Новомосковска приобретен передвижной экологический пост, на что в консолидированном бюджете области предусмотрено 3,6 млн. рублей.

Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в г.Новомосковске Тульской области проводится на 3 стационарных постах (таблица 2).

Таблица 2 - Перечень постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха на территории г.Новомосковска Тульской области

№ поста наблюдения	Программа отбора проб воздуха
ПНЗ №1, ул. Мира, 54	неполная
ПНЗ №2, ул. Калинина, 14	неполная
ПНЗ №3, ул. Школьная, школа №8	неполная

Неполная программа – отбор проб в 07, 13, 19 часов ежедневно, кроме воскресенья. Средние результаты лабораторных исследований загрязнений представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Перечень ЗВ г.Новомосковска с превышением ПДК и средние результаты лабораторных исследований загрязнений

Номер поста наблюдения	Наименование вещества	Исследовано проб				
		Всего	В том числе			
			До 1 ПДКм.р.	1.1-5.0 ПДКм.р.	5.1-10.0 ПДКм.р.	>10.0 ПДКм.р.
<b>ПНЗ № 1</b>	Взвешенные вещества	915	910	5	-	-
	Диоксид серы	915	913	2	-	-
	Оксид углерода	915	912	3	-	-
	Диоксид азота	915	914	1	-	-
	Оксид азота	915	915	-	-	-
	Аммиак	915	909	3	-	-
	Формальдегид	915	899	20	-	-
<b>ПНЗ № 2</b>	Взвешенные вещества	915	915	-	-	-
	Оксид углерода	915	911	-	-	-
	Диоксид азота	915	909	6	-	-
	Фенол	915	910	5	-	-
	Формальдегид	915	900	15	-	-
	Бенз(а)пирен	12	8	4	-	-
<b>ПНЗ №3</b>	Взвешенные вещества	915	915	-	-	-
	Оксид углерода	915	914	1	-	-
	Диоксид азота	915	911	4	-	-
	Оксид азота	915	915	-	-	-
	Аммиак	915	903	12	-	-
	Формальдегид	915	900	15	-	-

Основным недостатком существующих систем мониторинга экологического

состояния промышленных регионов, например, таких как муниципальное образование (МО) «город Новомосковск» Тульской области, является то, что полученные с их помощью данные не учитываются при управлении технологическими процессами химико-технологических предприятий. Это связано с отсутствием математических моделей, описывающих взаимосвязь между производственной нагрузкой предприятий (производительностью) и распределением концентрации ЗВ, выделяемых в атмосферу в результате функционирования этих предприятий, а также, с отсутствием диалоговых подсистем, включенных в состав автоматизированных систем экологического мониторинга, позволяющих на основе полученных данных о концентрации ЗВ и метеоусловиях обеспечить поддержку принятия решений по управлению выбросами в атмосферный воздух.

Особенности управления предприятиями производственного комплекса:

- реальные промышленные комплексы обычно являются сложными многосвязными объектами управления (ОУ), т.е. имеют несколько входов и несколько выходов. Процесс управления этими ОУ существенно усложняется присутствием большого количества перекрестных связей и их взаимного влияния;
- отсутствие аналитических зависимостей между выходами и входами объектов управления или их чрезмерная сложность делает невозможным реализацию автоматического управления традиционными методами;
- промышленные комплексы как сложные многосвязные объекты обладают неопределенностью поведения, нестационарностью параметров, большим энергоресурсом, большой динамической инерционностью. Поэтому, чтобы обеспечить поддержку принятия решений при управлении предприятиями промышленного комплекса с учетом экологических параметров, необходимо применить интеллектуальные методы, экспертные системы и новые информационные технологии;
- большинство существующих систем управления охраной окружающей среды под воздействием выбросов крупных производственных комплексов реализуют на практике только контроль загрязнений окружающей среды.

На сегодняшний день перспективным направлением решения экологических проблем является разработка и использование методов математического моделирования и математической модели искусственного интеллекта на базе компьютерной технологии, которые позволяют формализовать человеческие способности к неточным или приближенным рассуждениям.

Таким образом, разработка интеллектуальной системы управления предприятиями промышленного комплекса с целью снижения концентрации загрязняющих веществ в выбросах в атмосферу является актуальной задачей.

*Цель диссертационной работы.* Разработка интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу химико-технологическими предприятиями, которая учитывает экологические факторы при выработке управляющих воздействий в режиме реального времени, направленных на снижение валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, и методики расчета оптимальных долей изменения режимов работы предприятий на базе технологий искусственного интеллекта в условиях неполной и нечеткой информации.

Для достижения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- провести анализ существующих систем управления производственной деятельностью;
- систематизировать многолетнюю информацию по метеоусловиям и выбросам предприятий г.Новомосковска для поддержки процесса моделирования распространения загрязнения в атмосферном воздухе;
- разработать структурную схему системы управления, базы данных (БД), базы знаний (БЗ), продукционные модели представления знаний подсистем интеллектуальной управляющей системы;
- разработать метод вычисления вклада каждого предприятия - источника загрязнения в суммарную концентрацию ЗВ;
- разработать метод вычисления долей изменения нагрузки предприятий в соответствии с их долями в валовых выбросах ЗВ в атмосферный воздух;

- обеспечить в защищенном режиме передачу управляющих воздействий для лиц, принимающих решения на предприятиях.

*Научная новизна:*

- предложен новый подход к представлению зависимостей между процедурами принятия решений по управлению производствами и процессом контроля загрязнения атмосферного воздуха промышленного региона, направленных на снижение валового выбросов в атмосферу с учетом вклада каждого из предприятий-источников загрязнения в валовых выбросах;

- разработана интеллектуальная система снижения валового выброса, в которой применяются технологии искусственного интеллекта для вычисления долей изменения нагрузки предприятий в соответствии с их долями в валовых выбросах ЗВ в атмосферу в условиях неполной и нечеткой информации;

- 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;

- разработан метод вычисления оптимальных соотношений, в соответствии с которым происходит изменение режимов работы предприятий с учетом их вкладов в валовых выбросах ЗВ в атмосферу в режиме реального времени;

- разработана специальная методика создания системы управления предприятиями химического комплекса с организацией обратной связи через виртуальную частную сеть с защищенным удаленным доступом, которая может быть рекомендована в качестве типовой структуры системы управления в любом промышленном регионе РФ.

*Практическая значимость.* 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 снижения прибыли.

Полученные научные и практические результаты имеют важное народнохозяйственное значение для автоматизации процессов управления

экологической ситуацией 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.

*На защиту выносятся:*

- математическая модель расчета вклада каждого источника выброса вредных веществ в суммарный выброс в атмосферном воздухе;
- метод вычисления соотношения изменения нагрузки предприятий (производительности) в соответствии с их вкладами в валовых выбросах ЗВ в атмосферу;
- структура системы управления химико-технологическими предприятиями – источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

*Методика исследования.* В диссертационной работе использованы методы системного анализа, теория искусственного интеллекта, математический аппарат генетических алгоритмов и нечетких множеств, методы оптимизации и математического моделирования.

*Обоснованность и достоверность полученных результатов* подтверждается применением современных информационных технологий и методов искусственного интеллекта; использованием методов компьютерного, математического моделирования и оптимизации.

*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 научно-технической конференции молодых ученых, студентов, аспирантов, НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева 2011г и 2012г.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю работы – к.т.н., доценту Волкову Владиславу Юрьевичу за ту профессиональную помощь, и заведующему кафедрой «АПП» НИ (ф) РХТУ им. Д.И. Менделеева – д.т.н., профессору Венту Дмитрию Павловичу за ценные консультации и поддержку при выполнении диссертации.

## Глава 1 Анализ проблем управления сложными промышленными объектами с учетом экологических параметров

### 1.1 Влияние химико-технологических систем на экологическое состояние окружающей среды

Химико-технологических систем (ХТС) является опасным производственным объектом [4] и оказывает на окружающую среду многообразное воздействие:

- загрязнение окружающей среды химическими веществами от предприятий химической промышленности обычно связывает с бесконтрольным поступлением ЗВ этих ХТС в природную среду;

- истощение природных ресурсов строительством ХТС и эксплуатацией им разных сырьевых ресурсов;

- изменение природных и возникновение техногенных ландшафтов [5].

Особенностью воздействия ХТС на окружающую среду является разнообразие источников загрязнения и видов опасных ЗВ. Ряд ЗВ, выбрасываемых предприятиями ХТС в атмосферный воздух, характеризуется очень высокой токсичностью.

Особо вредными являются производства аммиака, кислот, анилиновых красок, хлора, синтетического каучука, каустической соды, гербицидов и пестицидов, ртути, карбида кальция, фосфорных удобрений, фтора и других. Производственное объединение «Азот» загрязняет окружающую среду хлористым водородом, фосгеном, фенолом, винилхлоридом, аммиаком – очень вредными токсикантами. Очень вредят окружающей среде предприятия, которые вырабатывают синтетические продукты и ядохимикаты. Практически все предприятия химической промышленности нарушают приделы санитарно-защитных зон, имеют устаревшее оборудование, имеют устаревшие изношенные установки, или не имеют очистных сооружений [11].

Характерные загрязняющие атмосферный воздух вещества – это аммиак, сероуглерод, сернистый ангидрид, оксиды азота, угольная зола, оксиды углерода, винилхлорид, тетраэтилсвинец, стирол и прочее. Наиболее существенными и опасными являются воздействия на атмосферный воздух ЗВ предприятий двух подотраслей – агрохимии и производства химических волокон. Производственная деятельность предприятий химической промышленности образует огромное количество токсичных отходов [12-13].

За последние годы производственная деятельность большей части предприятий химико-технологического комплекса сопряжена с нарушениями санитарно-гигиенических норм состояния окружающей природной среды. Наиболее опасными источниками загрязнения окружающей среды являются отходы, которые образуются при химико-технологических процессах, например, отработанный воздух окислительных процессов; газы, не вступившие в реакцию; продукты побочных реакций, не находящие применения; продукты неполного и чрезмерно глубокого превращения и полимеризации, а также фильтры; промышленные воды и воды из абсорбционных установок очистки отходящих газов и т.п. [14-16].

Окружающая среда загрязняется вспомогательными веществами и материалами, используемыми в химико-технологических процессах, например, воздух после регенерации катализатора и пневмотранспорта продуктов; адсорбенты, абсорбенты и растворители; отработанные катализаторы; осушающие агенты; тара и фильтровальные материалы, непригодные для повторного использования; газы, отсасываемые из аппаратов при создании разрежения и другие. Кроме того, в ХТС источниками загрязнения окружающей среды являются механические потери сырья, промежуточных и готовых продуктов вследствие негерметичности оборудования и коммуникации [38-39].

Отходы ХТС по уровню воздействия на окружающую среду подразделяются на особо токсичные, токсичные и нетоксичные. К токсичным веществам относятся соединения азота ( $\text{NO}_x$ ), серы ( $\text{SO}_x$ ) и оксид углерода ( $\text{CO}$ ), выбрасываемые в атмосферный воздух в количествах, значительно превышающих

предельно допустимую концентрацию (ПДК). Нетоксичные отходы требуют огромные земельные участки для их складирования. Негативное воздействие на окружающую среду, вызываемое этими отходами, состоит в выщелачивании из них NaCl, фтористых и других опасных веществ и проникновении последних в поверхностные и грунтовые воды [29-30].

По характеру воздействий на окружающую среду выбросы ХТС можно разделить на организованные и неорганизованные.

Организованные выбросы выделяются в атмосферный воздух, почву и водоемы с помощью специальных сооружений, например, дымовых труб, заводских факелов, печей сжигания шламов и других отходов, патрубков вентиляционных систем, системы очистки воды, шламовых площадок и т. п. Организованные выбросы обычно характеризуются высокой концентрацией токсичных компонентов. На современных ХТС общее число организованных источников выбросов достигает от 2000 до 4000, на каждый из них оформлен специальный паспорт и ведется постоянный контроль за предельно допустимыми выбросами (ПДВ) для данных ХТС [18].

В [19] описаны неорганизованные выбросы, которые невозможно объединить и отвести в ту или иную среду. Таковыми могут быть испарение продуктов из резервуаров и хранилищ, разлив и залповые выбросы продуктов в атмосферный воздух при продувках и пропаривании аппаратов перед проведением ремонтных работ, утечки через неплотности в аппаратах, трубопроводах и арматуре, испарение с поверхности сточной жидкости в системах канализации и очистки сточных вод и т.п. Неорганизованные выбросы можно контролировать только по ПДК, периодически или систематически определяемому в различных пунктах заводской территории и санитарно-защитной зоны.

Химическая продукция в силу своих физико-химических свойств является источником химической и токсической опасности для человека и окружающей среды. По данным Всемирной организации здравоохранения более 25%

заболеваемости во всем мире обусловлено экологическими факторами, в том числе воздействием химической продукции [31].

В Российской Федерации имеется более семи тысяч химически опасных и опасных производственных объектов. Технологические процессы большинства указанных объектов связаны с обращением или хранением токсичных, взрывоопасных веществ. Кроме того, серьезную опасность для человека и окружающей среды представляют выбросы опасных химических веществ и токсичные отходы [17].

На сегодняшний день проблема охраны окружающей среды играет важную роль при обеспечении положительного имиджа предприятия любой промышленности, особенно химической промышленности. Это следует повышать интерес предприятий к существующим стандартам в области управления окружающей средой серии ИСО 14000 [3]. На российских предприятиях сегодня, кроме международных стандартов ИСО 14000 внедрение стандартов ИСО серии 9000 [3] тоже становится необходимостью. Эти стандарты служат своего рода пропуском на мировой рынок. Система управления ХТС в соответствии с требованиями стандартов ИСО 9000 и ИСО 14000 обеспечит и качество продукции, и решение проблемы охраны окружающей среды. Кроме того, такая система управления позволяет снизить экологические риски и штрафы.

## 1.2 Проблемы управления сложными системами

В ходе научно-техническом развитии проблема создания сложных систем и управления ими стала очень важной. Все народное хозяйство и отдельные его отрасли, промышленные предприятия и научно-исследовательские учреждения, программы разработки и осуществления крупных проектов, различные технические объекты управления можно рассматривать как сложные системы.

Под сложной технической системой можно понимать такие сложные объекты, как химическое производство, ХТС, химико-технологический процесс, отдельный химический реактор или химико-технологический аппарат. Все эти

объекты упорядочены по отношениям и характеризуются единством общих целей функционирования. Для каждой системы существует более общая система - надсистема; в тоже время каждая система состоит из целой совокупности систем более низкого уровня - подсистем. Главным, системообразующим элементом любой проектируемой ХТС является ее цель. Как и сами ХТС, цели также образуют сложную иерархию [20].

Проблема управления сложными системами состоит в исследовании влияния возбуждающих и тормозящих стимулов на поведение системы и конечный результат и в использовании стимулирования для достижения требуемой эффективности системы. Возбуждение может перейти в торможение и наоборот: при изменении уровня стимула и состояния системы, поэтому априорная оценка характера воздействия затруднительна. Управление должно достигаться ценой относительно малого энергоресурса. Типичным в этом смысле является информационное управление, при котором энергоресурс управления незначителен по сравнению с энергоресурсом объектов управления. Сложная система обладает не только большим энергоресурсом, но и большой динамической инерционностью. Строгое эффективное управление сложными системами невозможно. Управление должно влиять на внутреннюю мотивацию системы. Это достижимо, если мотивация системы известна. Оптимальных решений не существует [21].

Сложные системы управления характеризуются следующими признаками:

- составными типами управляемого процесса;
- необходимостью последовательного решения задачи управления;
- иерархической структурой задачи управления.

Управление в сложных системах принципиально отличается от традиционного представления об управлении, в частности от того, что принято называть «оптимальным управлением», т. е. переводом системы в желаемое состояние по некоторому оптимальному пути. Так как, сложные системы слабопредсказуемы, определить как желаемое, так и практически достижимое состояние невозможно, тем более невозможно выбрать и навязать системе

«оптимальный» путь перехода, поскольку структура и функции системы не взаимоопределимы. По содержанию и механизму действия управление сложными системами, в том числе самоуправление, наиболее близко к физиологическим процессам возбуждения и торможения, иначе говоря, внешнего и внутреннего стимулирования. Прямые и обратные связи, все виды и формы воздействия - не более чем стимулы, возбуждающие или тормозящие внутрисистемные процессы, ход и последствия которых в основном определяются самой системой [22].

В общей теории систем применяется два метода исследования:

- эмпирически-интуитивный метод позволяет проводить экспериментальную проверку теоретических построений;

- логически-дедуктивный метод отличается строгостью выводов, но ему свойствен ряд ограничений, главное из которых состоит в том, что в рамках этого метода не поддаются исследованию открытые системы, занимающие важное место в общей теории систем. Примером открытой сложной системы является региональная экономика, внутреннее состояние которой существенно определяется экзогенными параметрами [23].

В современных условиях наблюдается тенденция к возрастанию сложности процессов управления. Во многих случаях объекты управления представляют собой сложные многосвязные объекты технической, биологической и другой природы. Сложность многосвязных объектов проявляется не только в большой размерности вектора переменных, но и в присутствии перекрестных связей между ними. Эти объекты управляются одной или несколькими системами управления, связанные структурно общими ограничениями на управляющие воздействия, переменные состояния и, как правило, одним критерием оптимальности. Особенностью многосвязных объектов является то, что на изменение одного входа одновременно реагируют не менее двух выходов. При этом скорость и интенсивность таких реакций могут быть как одного порядка, так и существенно различны [142]. Современный уровень организации и управления производством выдвигает требования разработки новых подходов, базирующих на использовании новых информационных технологий и интеллектуальных.

### 1.3 Использование методов оптимизации при решении задач автоматизированного управления

Организация и ведение производственной деятельности на территории, особенно в регионах с большим количеством предприятий химической промышленности, с экологическими ограничениями приводят к увеличению затрат на продукцию. Поэтому необходимо совершенствование методов управления ХТС, чтобы обеспечить выпуск химической продукции требуемого качества с минимальными затратами и минимальным воздействием на окружающую среду. Для этого требуется использование методов оптимизации при решении задач автоматизированного управления ХТС.

Для решения задач оптимизации существуют многочисленные математические методы. Выбор наилучшего из них является чрезвычайно труднодостижимой задачей при минимизации широкого класса функций. Эффективность применения разных методов оптимизации определяется постановкой задачи, сложностью вычисления функции и ее производных, поведением функции и т. д. Далее рассмотрим основные методы оптимизации, которые использованы для решения задач управления сложными промышленными объектами.

Методы однокритериальной оптимизации направлены на поиск оптимума единственной целевой функции. Методы многокритериальной оптимизации [9] обеспечивают принять решение при многообразных критериях, в частности сводят векторную задачу к последовательности скалярных задач. В [6-8] описаны методы многокритериальной оптимизации для оптимизации многопродуктовых ХТС. Применение этих методов позволяет оптимально управлять качеством продукции ХТС по обобщенному критерию.

Методы локальной оптимизации обеспечивают поиск одного локального минимума, а методы глобальной оптимизации направлены на установление всех локальных минимумов или наилучшего из них.

По степени математической обоснованности методы делятся на эвристические и рациональные. При этом рациональные методы ориентированы на некоторую математическую модель оптимизируемой функции и обычно обладают строгими доказательствами сходимости к стационарной точке и оценками скорости сходимости. Вопрос о том, насколько реальная задача соответствует используемой алгоритмом модели, остается на совести человека, использующего данный метод. Эвристические методы обычно не используют никакой модели целевой функции, а основывают процесс оптимизации на формализованной человеческой интуиции и других нестрогих, но разумных предположениях. Строгие доказательства сходимости и теоретические оценки скорости сходимости обычно отсутствуют. Критериями останова являются обычно такие условия как малое приращение аргумента или значения функции на нескольких последовательных шагах, что характерно для точки минимума, но не только для нее. Применение этих методов обосновывается только тем, что их многократное использование в прошлом обычно приводило к успеху. Поэтому, такие методы можно применять к любой функции, не заботясь о доказательстве соответствия этой функции некоторой теоретической модели. Большинство методов оптимизации сочетают в той или иной степени оба этих подхода [35-36].

Методы оптимизации также подразделяются на детерминированные и стохастические. Стохастические алгоритмы используют элемент случайности при выборе направления или длины шага в процессе оптимизации. Стохастические методы оптимизации применяются к детерминированным задачам, т.е. случайность намеренно вводится в алгоритм для того, чтобы обеспечить достижение цели [37].

На сегодняшний день в многих областях науки и техники широко используются алгоритмы, основанные на природных системах, для решения сложной задачи оптимизации. К ним относятся генетические, эволюционные, алгоритмы роевого интеллекта [10] и другие. Основные преимущества этих методов оптимизации можно сформулировать следующим образом:

- возможность решать широкий круг задач оптимизации;

- пригодность для поиска решений многомерной и многофакторной задачи оптимизации;
- для решения задач нужно знать только целевую функцию;
- удобно использовать для решения крупномасштабных проблем оптимизации;
- могут быть использованы в задачах с изменяющейся средой;
- высокая совместимость при использовании с другими неклассическими методами искусственного интеллекта, такими как нечеткая логика, искусственные нейросети и другие.

Алгоритмы, основанные на природных системах, показали свою эффективность при управлении сложными объектами. Например, в [126] применены методы роевого интеллекта для управления целенаправленным поведением массово-применяемых микророботов в экстремальных условиях. В [127] применен генетический алгоритм для оптимизации адаптивной системы управления мобильного робота.

Таблица 4 - Рейтинг известных методов оптимизации

Задач/Метод	I	II	III	IV	V	VI	Среднее
ГА	1	2	1	1	2	2	1,5
Нейронные сети				3	1		2
Эволюционное программирование	3						3
Эволюционные стратегии	2						2
Детерминированные методы		1		5			3
Поиск с запретом				2	3	1	2
Имитация отжига	4	3	2	4	4	3	3,3

В результате анализа результатов опубликованных работ (например, [32-33]) была сформирована таблица 4 условного среднего рейтинга для каждого метода оптимизации (генетический алгоритм (ГА), алгоритм имитации отжига, эволюционное программирование, эволюционные стратегии, детерминированные методы, поиск с запретом, нейронные сети) примененных к различным задачам (I – функция royal road, II – задача оптимизации графа, III – задача размещения

элементов электрической цепи, IV – проблема «заполнения рюкзака», V – проблема предсказания банковского курса, VI – задача составления расписания).

Из таблиц 4 видно, что ГА применяются с наибольшим успехом, причем в очень широком кругу задач, это позволяет использовать ГА как универсальный инструмент для оптимизации очень сложных задач [34].

Генетические алгоритмы используются для решения задач многомерной оптимизации. Наилучшим образом они зарекомендовали себя при нахождении глобальных оптимумов функций очень большого количества переменных. В отличие от большинства традиционных методов оптимизации при правильной настройке генетические алгоритмы позволяют вести поиск в пространстве переменных оптимизируемой функции с высокой вероятностью нахождения глобального решения, пропорциональной времени их работы [104].

В [25] использованы ГА для поиска оптимальных параметров технологического процесса установки каталитического крекинга с целью управления безопасностью опасных производственных объектов.

#### 1.4 Обзор интеллектуальных систем, применяемых для целей управления сложными системами

Интеллектуальные методы актуальны и эффективны при невозможности установки, корректирования до необходимой степени точности моделей системы. Существующая неопределенность, точность возмущений и характеристик компенсируются за счет применения в систему управления некоторого заимствуемого у человека «знания» или «интеллекта».

На сегодняшний день для организации эвристической коррекции в интеллектуальном управлении разработаны многие методы в прикладных теориях. В [26-27] рассмотрены основные методы и системы, применяемые для решения задач управления сложными системами.

**Нечёткие системы** - это системы, которые работают на основе нечёткой логики.

Классическая логика работает с двумя значениями: истина (1) и ложь (0). Однако этими двумя значениями довольно сложно и даже невозможно представить большое количество реальных задач. Поэтому для решения этих сложных задач был разработан специальный математический аппарат, называемый нечеткой логикой. Главным отличием нечеткой логики от классической является использование не только двух классических значений, но и промежуточных  $\{0, \dots, 1\}$  [28].

В [24] использовано нечеткое отношение для оптимизации ассортимента многономенклатурной продукции при недостаточной априорной информации о качестве продуктов. В [88] описана реализация нечетких регуляторов и доказана эффективность нечетких регуляторов при управлении статическими и динамическими объектами.

В [128] использована нечеткая логика для анализа, обработки данных об учебных дисциплинах специальности выпускника предыдущего уровня обучения и установления соответствия учебных планов дисциплин различных профилей подготовки выбранного направления для оценки уровня подготовки выпускников к обучению на следующих ступенях в условиях неточности информации.

В [129-130] использована нечеткая логика для управления технологическими процессами первичной переработки нефти по показателям качества продукции в условиях неопределенности.

Сегодня нечеткая логика широко использована во многих областях науки, техники и является универсальным подходом для управления сложными объектами в условиях неопределенности и неточности информации.

**Экспертная система (ЭС)** - это система, которая оперирует со знаниями в определённой предметной области с целью выработки рекомендаций или решения проблем.

В [45-51] описаны основные части ЭС:

1. временные базы данных, которые предназначены для хранения исходных и промежуточных данных текущей задачи;

2. базы знаний, которые предназначены для хранения долгосрочных данных и правил манипулирования ими;
3. решатель, который реализует последовательность правил для решения определенной задачи на основе информации, хранящейся в базах знаний и базах данных;
4. компонент приобретения знаний, который автоматизированно наполняет базу знаний;
5. объяснительный компонент, который формирует пояснения о том, как система решала поставленную задачу.

В [89] применены ЭС для совершенствования промышленных процессов гетерогенного катализа. На примере промышленных процессов гетерогенного катализа многоэтапная процедура разработки сложного химико-технологического процесса впервые представлена как взаимодействие двух систем: причинно-следственной, формализующей собственно объект исследования, и программно-целевой системы принятия решений при анализе и разработке технологического процесса.

**Искусственные нейронные сети (ИНС)** являются наиболее сложными, но и наиболее гибкими системами искусственного интеллекта. ИНС применяются в различных областях науки: начиная от автоматизированных систем распознавания речи, изображений до распознавания вторичной структуры белка, классификации различных видов рака и геной инженерии, адаптивного управления, прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха и т.п. С помощью ИНС можно, например, создавать самообучающиеся системы, предсказывать финансовые временные ряды, аппроксимировать непрерывные функции, работать с огромными массивами слабоструктурированных мониторинговых данных [52] и т.п.

В [53-54] рассмотрены основные свойства ИНС: обучение, обобщение, абстрагирование и применимость.

В [55-58] описаны преимущества и достоинства ИНС по сравнению с традиционными вычислительными системами:

- решение задач при неизвестных закономерностях;
- устойчивость к шумам во входных данных;
- адаптирование к изменениям окружающей среды;
- потенциальное сверхвысокое быстродействие;
- отказоустойчивость при аппаратной реализации ИНС.

В [120-124] описано применение ИНС для идентификации промышленных источников загрязнения атмосферного воздуха. Кроме того, ИНС использованы для прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха аварийными источниками при изменяющихся метеоусловиях. В случае превышения значения ПДК в атмосферном воздухе с помощью ИНС определен самый потенциально возможный источник загрязнения, но не указаны какие уровни загрязнения всех возможных источников загрязнения, что не эффективно, если существует несколько источников, у которых приблизительные уровни загрязнения.

В [83-84] описан ряд недостатков ИНС:

- подходы для проектирования ИНС обычно являются эвристическими и часто не приводят к однозначным решениям;
- для построения модели объекта на основе ИНС необходимо выполнять многоцикловую настройку внутренних элементов и связей между ними;
- большая трудность нахождения достаточного количества обучающих примеров при подготовке обучающей выборки;
- обучение сети во многих случаях приводит к тупиковым ситуациям;
- большие временные затраты на выполнение процедуры обучения часто не позволяют применять ИНС в системах реального времени;
- поведение обученной ИНС может быть непредсказуемо, что увеличивает риск использования ИНС для управления дорогостоящими техническими объектами.

**Гибридные интеллектуальные системы (ГИС)** это совокупность аналитических моделей, имитационных статистических моделей и ряда интеллектуальных систем, методов как экспертных систем, искусственных нейронных сетей, нечетких систем, генетических алгоритмов [85-87].

По архитектуре ГИС выделяются на следующие типы: комбинированные, интегрированные, объединенные и ассоциативные. ГИС сочетает в себе численное и лингвистическое представление знаний, в системе используется иерархическая интеграция самоорганизующейся нечеткой нейронной сети и нечеткой экспертной системы, оптимизированной посредством генетического алгоритма [59].

**Системы поддержки принятия решений (СППР)** используются для решения слабоструктурированных задач, которые характеризуются неполнотой входных данных, частичной ясностью целей и ограничений. Человек сильно участвует в работе СППР, он может вмешиваться в ход решения, изменять входные данные, процедуры обработки, цели и ограничения задачи, выбирать стратегии оценки вариантов решений [60-61].

[78-82] описаны основные модули СППР:

- модуль постановки задач исходит из стратегии управления и зависит от целей проекта;
- модуль управления данными выполняет проверку качества данных, достоверности, полноты, релевантности, объективности, однозначности, актуальности и стоимости;
- модуль интеллектуального анализа, который может быть представляться информационно-аналитическими технологиями и ИНС, кадастровыми системами, атласными информационными системами и т.п.;
- блок тактического управления в соответствии с ситуационным уровнем.

В [90] описано использование СППР для управления безопасностью опасных промышленных объектов как химических производств. Разработанная СППР имеет сложную структуру. Она состоит из двух подсистем: информационно-моделирующей и управляющей. Информационно-моделирующая подсистема состоит баз данных вычислительных экспериментов по оценке рисков и ущербов по возможным сценариям возникновения и развития аварий на типовом оборудовании и установках химических производств и блока анализа и сравнения результатов. Управляющая подсистема СППР состоит из ЭС:

диагностики отказов; по технологическим нарушениям на установках и способам их устранения; по аварийным ситуациям и сценариям их развития, по мерам их локализации и ликвидации; по ликвидации последствий аварийных ситуаций.

В [91] применена СППР для управления качеством атмосферного воздуха на химических предприятиях. СППР реализована с использованием архитектуры «клиент–сервер», включающей распределенную базу данных и клиентскую программу, устанавливаемую на рабочие места лиц, принимающих решения, направленные на улучшение экологической обстановки. Даная СППР использована для управления качеством атмосферного воздуха в случае нарушения экологической обстановки на территориях, прилегающих к химическим предприятиям, что не эффективно, если используется для управления качеством атмосферного воздуха территории с большим количеством химико-промышленных предприятий.

### Выводы по первой главе

Промышленный комплекс, особенно комплекс химико-технологических предприятий, в списке негативного влияния на окружающую среду занимает ведущее место. Основными причинами, которые негативно влияют на окружающую среду, являются:

- устаревшие технологии производства и оборудования, высокий уровень энергоемкости и материалоемкости;
- отсутствие необходимых природоохранных систем или низкий уровень их эксплуатации;
- отсутствие надежных механизмов, которые позволяют развивать экологически безопасные технологии и природоохранные системы;
- высокая концентрация промышленных предприятий;
- неблагоприятное расположение промышленных объектов с высокой концентрацией экологически вредных объектов;
- отсутствие подходящего контроля экологического воздействия на выходе

производства.

На сегодняшний день на российских предприятиях внедрение международных стандартов ИСО 14000 и ИСО 9000 становится необходимостью. Обычно предприятия только уделяют задаче контроля загрязнения окружающей среды, поэтому информации об экологических воздействиях на окружающую среду не учитываются при управлении выбросами предприятий и их технологическими процессами в режиме реального времени.

Химико-технологические системы как сложные многосвязные объекты обладают неопределенностью поведения, нестационарностью параметров, большим энергоресурсом, большой динамической инерционностью. Поэтому, необходимо применить интеллектуальные методы, экспертные системы и новые информационные технологии в управлении сложными системами, что позволит обеспечить поддержку принятия решений при обработке ненормальных состояний контролируемых объектов.

Организация и ведение производственной деятельности на территории, особенно в регионах с большим количеством предприятий химической промышленности, с экологическими ограничениями приводят к увеличению затрат на продукцию. Поэтому необходимо совершенствование методов управления ХТС, чтобы обеспечить выпуск химической продукции требуемого качества с минимальными затратами и минимальным воздействием на окружающую среду. Для этого требуется использование методов оптимизации при решении задач автоматизированного управления ХТС.

Таким образом, в результате проведенного аналитического обзора, были намечены основные задачи, связанные с разработкой системы управления предприятиями производственного комплекса с учетом экологических параметров, функционирующей в условиях неопределенности и недостаточности информации. При разработке данной системы предложено применять методы и модели, основанные на знаниях, теории моделирования и искусственном интеллекте.

## Глава 2 Описание объекта исследования и управления

### 2.1 Общая характеристика промышленного кластера г.Новомосковска Тульской области

Город Новомосковск располагается в восточной части Средне-Русской возвышенности. Город Новомосковск состоит из двух частей: южная жилая часть в самом центре города и северная промышленная часть. На рисунке 1 представлен план-схема г.Новомосковска.

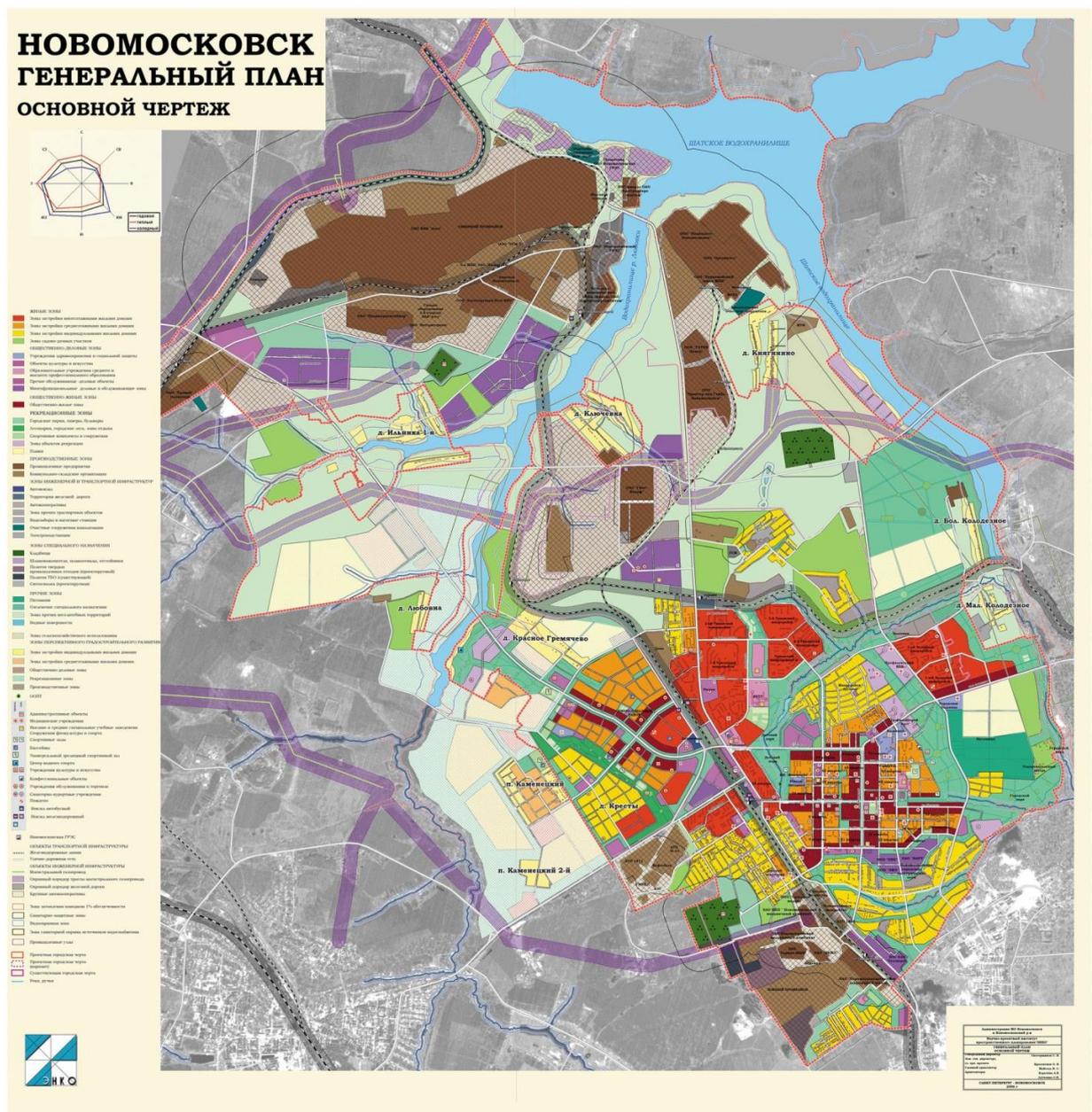


Рисунок 1 - План-схема г.Новомосковска Тульской области

На южной части г.Новомосковска расположены основные жилые районы, административный и культурный центр города. Ее территория включает в себя следующие микрорайоны и районы:

- непосредственно центральную часть города с прилегающими к ней кварталами, называемую просто «город»;
- северо-западный, который простирается на запад от центра города и на восток от поселка Каменецкий. В него входят микрорайоны: 1-6 Урванские микрорайоны, Гипсовый микрорайон, поселки 22 и 26 шахты, Северный микрорайон;
- 1-ый и 2-ой Залесные микрорайоны, находящие на востоке города;
- микрорайон «Луговая» - в восточной части города;
- район «Вахрушево» - расположен в юго-восточной части города;
- южный район - расположен на юге города, в него входят посёлки: Клин, Западный, Шамотный, Магэс.

Северная часть города находится на расстоянии 12 км к югу от городской черты. В ней расположены крупные предприятия химической промышленности (АК «Азот», АК «Новомосковскбытхим», ООО «Проктер энд Гембл Новомосковск» и др.), а также находятся жилые зоны, общественно-деловые зоны и рекреационные зоны, жилищный фонд санитарно-защитной зоны Северного промузла.

Из рисунка 1 отмечено, что предприятия расположены не рядом друг с другом. Расстояние между ними от несколько километров до несколько сотен метров. Кроме того, между ними почти нет взаимосвязи по производственной деятельности.

Парковая зона разделит северную часть г.Новомосковска на две части:

- верхнюю часть, где густо расположены среднеэтажные застройки и много высоких объектов предприятий химической промышленности;
- нижнюю часть, где не густо расположены дачи, индивидуальные дома, объекты культуры и искусства.

В г.Новомосковске Тульской области находятся промышленные предприятия из разных отраслей: химическое производство, металлообработка, машиностроение, производство строительных материалов, пищевая. Но самую большую роль играет химическое производство, на долю которого приходится около 80% выпускаемой продукции.

ОАО «Новомосковская акционерная компания “Азот”» (НАК «Азот») является самым крупным предприятием города Новомосковска Тульской области. Предприятие действует с 1933 года и специализировано на выпуске синтетического аммиака и азотных удобрений, в том числе карбамидо-аммиачной смеси и карбамида и др. химических продуктов.

На сегодняшний день НАК «Азот» является высокомеханизированным и автоматизированным предприятием с современными производствами на базе передовых технологий и оборудования. Продукция НАК «Азот» пользуется спросом в регионах Центрального и Южного федерального округов России. Предприятие обладает огромным техническим и экономическим потенциалом, выпуская в год продукции на сумму больше 15 миллиардов рублей. Продукция поставляется на экспорт в США, Великобританию, Словакию, Венгрию, Турцию, Бразилию, Мексику, Польшу, страны Балтии и другие страны. В таблице 5 представлен перечень продукции ОАО «НАК «АЗОТ» г. Новомосковск.

Таблица 5 - Перечень продукции ОАО «НАК «АЗОТ» г. Новомосковск

Наименование продукции	Производственная мощность, тыс. т/год	Стандарт на продукцию
Аммиак	1 530 030	ГОСТ 6221-90
Аммиачная селитра	1 142 300	ГОСТ 2-85
Карбамид	856 600	ГОСТ 2081-92
Метанол	447 800	ГОСТ 2222-95
КАС-32	360 000	ТУ 113-03-629-90
Азотно-известняковое удобрение	89 440	ТУ 2189-064-05761643-2003

Кроме того предприятие производит:

- крепкая азотная кислота (98,6%);
- удобрение NPK 11-10-11;
- азотно-фосфорное удобрение;
- сульфат аммония;
- поливинилхлорид суспензионный С-7058М;
- поливинилхлорид эмульсионный Е-6250-Ж;
- олигоэфиракрилаты ТГМ-3, МГФ-1, МГФ-9;
- аргон;
- аммиачная вода.

На рисунке 2 изображена структура НАК «Азот».

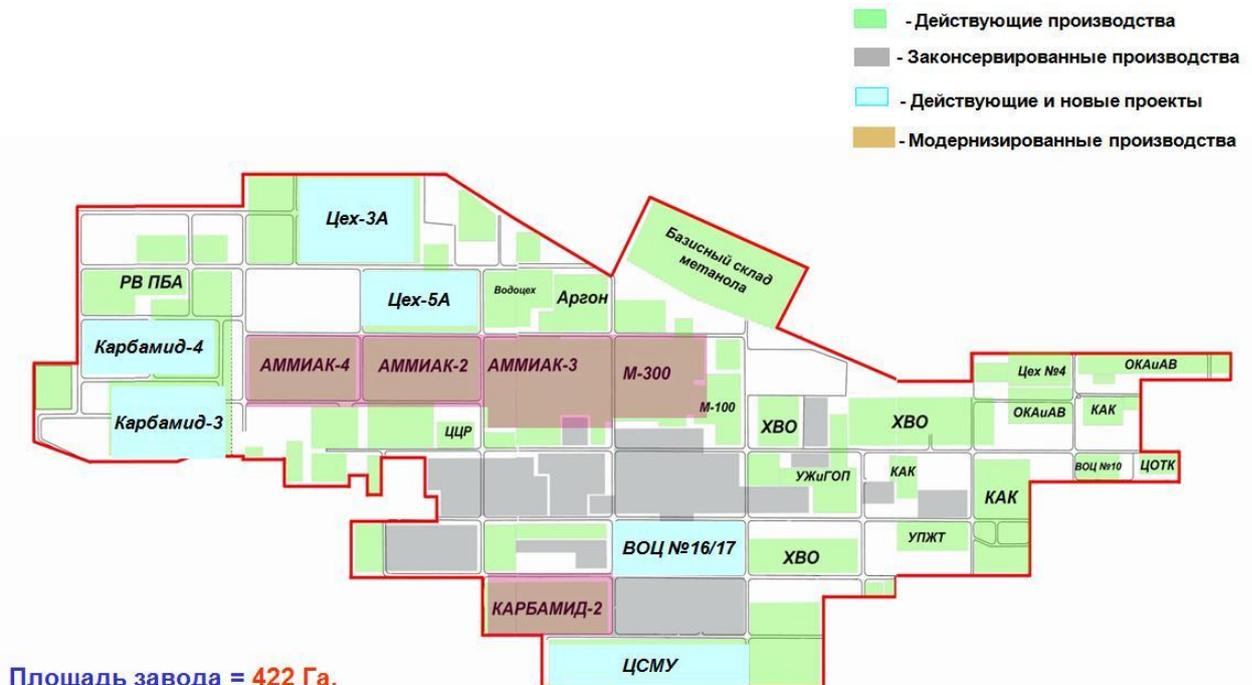


Рисунок 2 - Структура цехов НАК «Азот»

ООО «Проктер энд Гэмбл - Новомосковск» специализируется на выпуске товаров народного потребления: моющих средств Ariel, Tide и Миф; средства для мытья посуды Fairy и Миф, чистящего средства Comet Gel и Mr Proper, кондиционер Lenor. Ежегодно завод «Проктер энд Гэмбл-Новомосковск» производит 400 тысяч тонн порошков и 300 миллионов бутылок жидких средств.

Особое внимание предприятие уделяет качеству продукции, безопасности и комфортности работы персонала, развитию современных технологий и улучшению производственных процессов.

ОАО «КНАУФ ГИПС Новомосковск» является одним из лидеров строительного комплекса России. Основная деятельность предприятия связана с добычей и переработкой гипсового камня, а также производством на его основе современных строительных материалов: КНАУФ-листов, КНАУФ-гипсоплит, гипсового вяжущего. С 2013г. на предприятии «КНАУФ ГИПС Новомосковск» состоялся официальный запуск производства по выпуску сухих строительных смесей на гипсовой основе. Высококачественная экологически чистая и конкурентоспособная продукция предприятия поставляется в больше 18 регионов России.

ООО «Аэрозоль - Новомосковск» является достаточно крупным химическим предприятием района. Предприятие производит: средства ухода за волосами: лаки, муссы, пены, краски, шампуни, бальзамы; товары бытовой химии: освежители воздуха, полироли, репелленты, инсектициды; средства ухода за обувью: губки, кремы, дезодоранты, очистители, пропитку; алюминиевую упаковку: баллоны, тубы; жестяной баллон. Особое внимание предприятие уделяет контролю качества готовой продукции, сырья, комплектующих и полуфабрикатов.

ОАО «Поликонт - Новомосковск» является одним из крупнейших производителей полимерной упаковки для сыпучих продуктов. Предприятие производит: полиэтиленовые мешки; полипропиленовые мешки; клапанные полиэтиленовые и полипропиленовые мешки; контейнеры мягкие специализированные из полимерных тканей для продукции предприятий химической и металлургической промышленности; полипропиленовая ткань: обыкновенная, повышенной прочности, продуктовая, техническая, термо - и светостабилизированная, ламинированная; пленка полиэтиленовая для различных отраслей промышленности. На его территории расположены ООО «Полимерная Упаковка», ООО «Новомосковский трубный завод» и ТД «Полимер».

Предприятие развивается за счет строительства высокотехнологичных производств и монтаж монтажа новых высокоавтоматизированных линий.

ООО «Оргсинтез - Новомосковск» является одним из первых советских предприятий химической промышленности и единственным в России производителем бензолсульфокислоты. Предприятие производит: разные виды щавелевой кислоты, малеиновый ангидрид, фумаровую кислоту, резорцин, бензолсульфокислоту, тосол. Особое внимание предприятие уделяет освоению новых наукоемких технологий и мероприятию по обеспечению требований в области охраны окружающей среды и экологической безопасности.

ЗАО «ГОТЭК-Центр Новомосковск» является одним из крупнейших российских предприятий по производству упаковки из гофрокартона, входящее в состав гофродивизиона группы компаний «ГОТЭК». На предприятии выпускаются упаковка из гофрокартона и транспортная и потребительская упаковка с многоцветной печатью. Его основным ассортиментом продукции являются четырех клапанный ящик, изделия сложной конфигурации, крупногабаритная тара, гофрировальный картон. ЗАО "ГОТЭК-Центр Новомосковск" прошло ежегодный сертификационный аудит на соответствие требованиям глобального стандарта для упаковки и упаковочных материалов BRC/IOP Global Standard for Packaging and Packaging Materials, который установлен Британским консорциумом розничной торговли и Институтом упаковки Соединенного Королевства с целью регламентировать требования для национальных производителей-поставщиков упаковки и упаковочных материалов, предназначенных для пищевой промышленности.

Из всего вышесказанного, вполне можно сделать вывод, что в г.Новомосковске наблюдается рост валового продукта и мощности производства, что приводит к увеличению загрязнения окружающей среды, а, следовательно, и к непосредственному ухудшению экологической обстановки.

Самой важной проблемой является непосредственная близость ряда жилых и производственных - большое количество жилищного фонда находится в пределах санитарно-защитных зон предприятий. Общая эколого-планировочная

стратегия реорганизации производственных территорий определяется сложной экологической ситуацией г.Новомосковска, особенностями планировочного размещения производственных территорий в непосредственной близости от селитебных зон. Производственный комплекс города сосредоточивается в Северном и Южном промышленных узлах.

Основными стратегиями реорганизации производственных зон г.Новомосковска являются сокращение негативного воздействия предприятий и других источников в результате проведения природоохранных мероприятий; резервирование территорий для развития новых производственно-деловых зон; увеличение территорий научно-производственных, которые эффективно обслуживают и коммерческо-деловые назначения; формирование качественно новых мест приложения труда.

## 2.2 Структура и характеристики систем управления

Производственная структура является одной из основных характеристик предприятий и во многом диктует подходы к управлению этими объектами. Для предприятий химической отрасли сложно указать единую смешанную структуру [62].

Предприятия химической промышленности различаются не только производственной структурой, но и по другим признакам как: организационная структура, характер выпускаемой продукции, тип технологического процесса, объем производства. По размеру предприятия разделяются на: крупные, средние, мелкие. Размер производства определяется объемом производства, количеством работников, стоимостью основных фондов, занимаемой территорией и т.п.

Предприятия химической отрасли подразделяются на следующие группы: крупные предприятия или производственные объединения, предприятия средней мощности, создаваемые предприятия с агрегатами большой единичной мощности.

Для комплекса промышленных предприятий требуется соответствующая организованная система управления. Для большинства предприятий химической

промышленности используется цеховая организация производства. При этом цехи - это обособленные части производства, которые осуществляют законченные производственные процессы. Цехи имеют не только производственную, но и определенную административно-хозяйственную самостоятельность. На крупных предприятиях группы технологических взаимосвязанных цехов часто объединяются в отдельные производства.

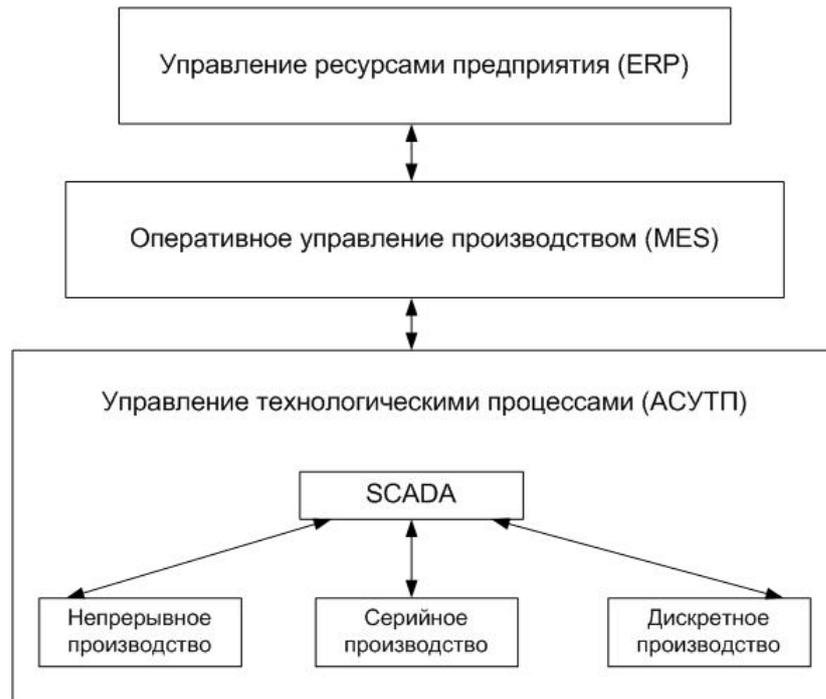


Рисунок 3 - Структура трех уровней управления промышленным предприятием

Автоматизированная система управления промышленным предприятием представляется в виде трех взаимосвязанных уровней управления (см. рисунок 3).

Верхний уровень управления предприятием организуется руководством предприятия и его функциональными отделами. Он решает стратегические задачи. Средний уровень управления решает задачи оперативного управления процессом производства на уровне участка, цеха, предприятия. Нижний уровень управления решает задачи управления технологическими процессами.

В [73-77] рассмотрены три группы подсистем АСУП на предприятиях химической промышленности с учетом функционального назначения, характера решаемых задач. К первой группе относятся подсистемы управления, обслуживающие основное производство, т.е. обеспечивающие его сырьем,

материалами, кадрами, финансами и т.д. Ко второй группе – подсистемы планирования и управления основным производством. В третью группу выделены подсистемы, связывающие вместе разные стороны деятельности предприятия по соответствующим фазам управления.

На территории МО город Новомосковск Тульской области расположено большое количество предприятий химической технологии. Все эти предприятия во время своей работы выбрасывают в атмосферу большое количество загрязняющих веществ. При этом может возникнуть ситуация, когда суммарная концентрация загрязняющего вещества в атмосфере превысит ПДК, однако концентрации этого загрязняющего вещества, выбрасываемого отдельными предприятиями в атмосферу, не превышает ПДК.

В результате проведенных исследований были получены данные о распространении загрязненных воздушных потоков по территории северной части МО г.Новомосковска Тульской области. Из этих данных показано, что распределение скоростей ветра неравномерно, что сильно влияет на распределение уровня концентраций ЗВ по территории северной части г.Новомосковска Тульской области и также по всему региону. Кроме того, в результате совещаний с экспертами были получены необходимые данные для создания баз данных и баз знаний.

Исходя из вышеизложенного была разработана структурная схема системы управления предприятиями химического комплекса г.Новомосковска Тульской области (рисунок 4).

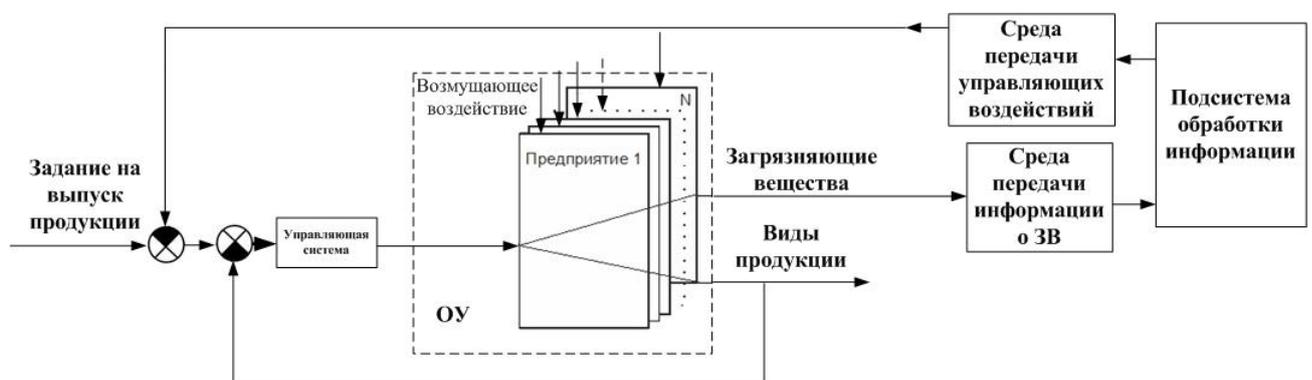


Рисунок 4 - Схема системы управления предприятиями химического комплекса г.Новомосковска Тульской области

По данным многолетних наблюдений, по заключениям экспертов, были получены сведения о ЗВ, выбрасываемых в атмосферу предприятиями, входящими в химико-технологический комплекс, о значениях концентраций ЗВ в атмосфере в различные периоды работы предприятий и времени года. Эта информация в дальнейшем была использована при построении БД и БЗ для ЭС выработки управляющих воздействий для лиц, принимающих решений (ЛПР) на предприятиях. Она также послужила исходными данными для определения вкладов предприятий в общий валовой выброс ЗВ в атмосферный воздух региона.

### 2.3 Проблемы при создании канала управления, учитывающего выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Большинство промышленных предприятий находится на северной части г.Новомосковска Тульской области в удалении от центральной жилой части. На предприятиях химической технологии города 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. Выбросы этих предприятий распространяются в атмосферном воздухе под влиянием метеорологических параметров и местного рельефа на дальнейшее расстояние до жилой зоны. Поэтому, до сих пор вопросы о вкладе различных источников выбросов (какое предприятие является источником загрязнения? и в каком количестве выброса?) при формировании высокой степени загрязнения атмосферного бассейна города и района в целом недостаточно изучены.

Лабораторные исследования загрязнений г.Новомосковска Тульской области проводятся по следующим показателям: азота диоксид, серы диоксид, формальдегид, углерода оксид, взвешенные вещества, дигидросульфид, аммиак. Формальдегид и аммиак – вещества аварийно химически опасные. Для оценки степени техногенного загрязнения атмосферного воздуха использовали предельно допустимую максимально разовую концентрацию вредных веществ в воздухе

населенных мест. С июня 2013 года до настоящего времени жители г. Новомосковска ощущают неприятный резкий запах химического происхождения. В одном из районов указанного 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, увеличились случаи обращения граждан в медицинские учреждения.

В южной части г.Новомосковска действует автоматизированная система контроля загрязнения воздушного бассейна города «Атмосфера». Эта система обрабатывает и анализирует собранные в автоматическом режиме данные по приоритетным загрязняющим веществам (аммиак, диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, оксид углерода) с 3-х стационарных постов наблюдения загрязнения (ПНЗ), расположенных в различных районах города (ПНЗ №1 на ул. Мира д. 54; ПНЗ №2 на ул. Калинина, 14; ПНЗ №3 на ул. Школьная, школа №8). В дальнейшем эти данные используются для контроля выбросов промышленных предприятий города и принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды, а так же передаются всем заинтересованным контролирующим федеральным органам (Управление МЧС и МГО, Роспотребнадзор, администрации МО г.Новомосковска и т. п.).

В аварийном случае или в случае загрязнения местности выше ПДК Лица, Принимающие Решения (ЛПР) необходимо принять соответствующие решения по снижению концентрации загрязняющих веществ и оповещать предприятия об изменении производственной нагрузки.

Из-за характеристики расположения предприятий в большом удалении от центральной части возникает проблема доведения результатов исследования и рекомендаций ЛПР до предприятий. Эти переданные данные необходимо защищать от несанкционированного доступа.

## Выводы по второй главе

1. Подробно описан промышленный кластер г.Новомосковска Тульской области как города с большим количеством вредных и опасных предприятий химической промышленности, активно загрязняющих атмосферный воздух.
2. Описаны особенности расположения предприятий относительно к жилой центральной части г.Новомосковска Тульской области.
3. Большинство существующих систем управления промышленными предприятиями реализуют на практике только контроль качеством и количеством продукции. Эти системы отсутствуют возможность учета параметров загрязнения окружающей среды.
4. Проанализированы проблемы при управлении степенью загрязнению атмосферного воздуха промышленных регионов.
5. Возможна ситуация, когда отдельно взятое предприятие во время своей работы выбрасывает в атмосферу загрязняющие вещества, концентрация которых не превышает ПДК, в соответствии с регламентом, однако, если несколько предприятий также выбрасывают в атмосферу те же загрязняющие вещества, концентрация которых также не превышает ПДК, то суммарная концентрация в валовом выбросе может превышать ПДК.

### Глава 3 Научно-методические основы построения интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу химико-технологическими предприятиями

В результате функционирования современных химико-технологических производств, в атмосферу выбрасывается огромное количество загрязняющих веществ (ЗВ), оказывающих вредное воздействие на человека. В зависимости от местного рельефа, высоты точки выброса и от метеоусловий, загрязненные воздушные потоки могут распространяться локально или на большие расстояния. Поэтому, контроль и управление загрязнению атмосферного воздуха от промышленных источников, особенно от предприятий химической, нефтяной и газовой промышленности, имеет важное значение для улучшения качества воздуха, уменьшения ущерба здоровья человека.

Практически все существующие системы управления не учитывают изменения экологических параметров в реальном времени при управлении производственными процессами. Учет влияния производственных процессов на окружающую среду происходит в основном только после анализа данных наблюдений за загрязнением атмосферы за достаточно большой период (обычно за год). Если за этот период происходили неоднократные превышения ПДК и точно установлено, что виновником является конкретное предприятие, то в этом случае это предприятие могут наказать. Однако за это время предприятие может уже установить дополнительные фильтры очистки выбросов, снизить выпуск продукции или совсем закрыться и т.п. Таким образом, существует актуальная проблема учета экологических параметров при управлении химико-технологическим предприятием в реальном времени.

Основные проблемы системы управления предприятиями промышленного комплекса:

- отсутствие аналитической зависимости между метеоусловиями, режимами работы предприятий и концентрацией ЗВ в атмосфере. Отсутствие моделей, описывающих взаимосвязь между производственной нагрузкой предприятий и

распределением концентрации вредных веществ, выделяемых в атмосферу в результате функционирования этих предприятий;

- существующая информация о состоянии загрязнения атмосферного воздуха характеризуются большой степенью неполноты и нечеткости. До настоящего времени недостаточно изучен вопрос о вкладе различных источников выбросов комплекса химико-технологических предприятий при формировании высокой степени загрязнения атмосферного воздуха по городу и району;

- полученная информация о состоянии загрязнения атмосферы по городу и району не учитывается при управлении технологическими процессами химико-технологических предприятий. До настоящего времени попытки разработки различных систем управления состоянием загрязнения атмосферы оказались неэффективны, не работают на практике;

- в законодательстве РФ отсутствует механизм, позволяющий при необходимости изменять нагрузку предприятий - источников загрязнения в случае, если суммарное загрязнение атмосферы городов превышает нормы, а выбросы отдельных предприятий - нет. Поэтому, необходимо разработать методом совместного проектирования систему управления, в которой предприятия незначительно будут изменять свою нагрузку, а экологическое состояние города постепенно будет улучшаться.

### 3.1 Функциональная структура интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу

На сегодняшний день в современных предприятиях обычно внедрение систем экологического менеджмента, соответствующих стандарту ИСО 14000 [3] кроме своей основной направленности - охраны окружающей среды - способно повысить конкурентоспособность предприятия на мировом рынке. Обычно предприятия только уделяют задаче контроля загрязнения окружающей среды, поэтому информации об экологических воздействиях на окружающую среду не учитываются при управлении выбросами предприятий и их технологическими

процессами.

Промышленные предприятия стремятся увеличить выпуск продукции для получения максимальной прибыли, что ведет к увеличению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Увеличение выбросов негативно сказывается на уровне безопасности проживания людей на территории региона. В рыночных условиях иногда предприятия производят не на максимальной мощности, а в соответствии со спросом субъектов рынка.

Т.к. химико-технологические предприятия, входящие в рассматриваемый комплекс, могут выбрасывать в атмосферу различные вещества, то эти вещества можно разбить на два больших класса: общие для всех предприятий и специфические для каждого предприятия. Будем рассматривать далее класс общих для всех предприятий ЗВ.

На рисунке 5 представлена функциональная структура предложенной интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу.

Основное отличие от существующих ранее систем управления заключается в том, что в предлагаемой системе для решения поставленных задач добавляется интеллектуальная управляющая система [139]. В отличие от описанных в литературных источниках, предлагаемая управляющая система состоит из 2 подсистем: подсистемы определения вклада каждого предприятия на основе нечеткого вывода и подсистемы расчета управляющего воздействия по генетическому алгоритму.

В подсистеме сбора и хранения данных происходит разбор информации и первичная обработка, после этих операций данные записываются в локальную базу данных. Подсистема сбора и хранения данных располагается на рабочей станции и сохраняет данные измерительной системы. Датчики подсистемы сбора и хранения данных осуществляют замеры концентрации ЗВ.



Рисунок 5 - Функциональная структура интеллектуальной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу:

ПНЗА - пост наблюдения за загрязнениями атмосферы; БД - база данных; БЗ - база знаний; ЭС - экспертная система; ЛПР - Лицо, Принимающее Решение

На основании полученных данных в предложенной системе управления операторы предприятий, ведущие технологические процессы предприятий и т.д., могут управлять производственными процессами в реальном времени в соответствии с долями изменения нагрузки и рекомендациями по ведению технологических процессов.

### 3.2 Применение нечеткой логики для вычисления вклада предприятий в суммарное загрязнение окружающей среды

Обычно предприятия расположены вокруг основной части города и удалены на значительное расстояние от жилой его части. Измерительная система за загрязнениями обычно расположена на территории жилой части города. Поэтому применение традиционных методов не позволяет эффективно идентифицировать источники загрязнения (предприятия и т.п.) с помощью полученных в измерительной системе контроля загрязнения промышленного региона и определить их вклад в загрязнение в точках измерения.

Для определения вклада отдельных источников в суммарный вклад ЗВ предлагается использовать математический аппарат нечеткой логики [92-93]. Это обусловлено следующими причинами:

- использование нечеткой логики позволяет упрощать решение ряда промышленно-экологических задач;
- возможность одновременно использовать наряду с определенной, также и неопределенную информацию;
- возможность нечетко формализовать критерии оценки и сравнения;
- возможность проводить качественные оценки, как входные данные, так и выходные результаты;
- возможность оперировать нечеткими входными данными;
- возможность проводить быстрое моделирование сложных динамических систем и их сравнительный анализ с заданной степенью точности [94].

Из-за отсутствия статистических данных о взаимосвязи нагрузки предприятий и распределения концентрации вредных веществ в атмосфере для формирования базы правил и настройки параметров нечеткой модели предлагается использовать результаты математического моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосфере с учетом оценки экспертов.

Характерной особенностью разрабатываемой системы управления является наличие большого объема данных многолетних наблюдений, отсутствие точных и

полных данных о текущем состоянии экологических параметров, поэтому в системе широко используются знания экспертов и результаты моделирования.

Чтобы эффективно и удобно использовать большой объем данных наблюдений за длительный период, была спроектирована и оптимизирована база данных в соответствии с требованиями реляционной алгебры и приведена к третьей нормальной форме. Структура такой базы данных представлена на рисунке 6.

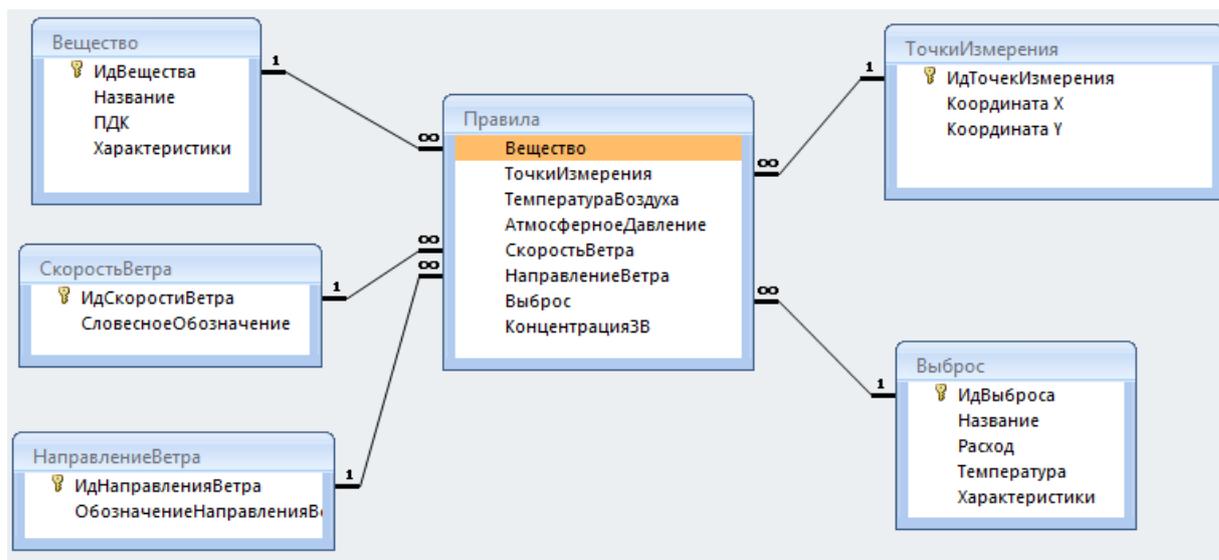


Рисунок 6 - Структура базы данных правил нечеткой системы

На рисунке 6 в созданной схеме базы данных правил нечеткой системы [138] все связи отмечены символами 1, ∞, что свидетельствует об установлении связей типа "один ко многим", для которых будет обеспечиваться целостность данных. Сторона связи "один ко многим", которой соответствует первичный ключ, обозначается символом ключа. Сторона связи, которой соответствует внешний ключ, обозначается символом бесконечности. Данная база данных спроектирована и оптимизирована в соответствии с требованиями реляционной алгебры и приведена к третьей нормальной форме [51].

В таблице базы данных «Вещество» содержится информация о ЗВ окружающей среды. В таблицах базы данных «Скорость Ветра», «Направление Ветра» содержится информация о двух значениях метеорологических параметров: скорость и направление ветра. Таблица «Правила» содержит производные

правила определения взаимосвязи между измерительной концентрацией ЗВ в точках измерения и метеорологическими параметрами, режимами работы предприятий вида «Если..., то...». Таблица «Точки Измерения» содержит данные о координатах точек измерения по осям ОХ, ОУ на системе координат программного комплекса моделирования. Таблица «Выброс» содержит информацию о выбросах предприятий по регламенту и их характеристиках.

В таблице 6 представлено сводное описание таблиц базы данных правил нечеткой системы.

Таблица 6 - Сводное описание таблиц базы данных правил нечеткой логики

Название поля	Тип данных
Ид Вещества	Счетчик
Название	Текстовый
ПДК	Числовой
Характеристики	Текстовый
Ид Скорости Ветра	Счетчик
Словесное Обозначение	Текстовый
Ид Направление Ветра	Счетчик
Обозначение Направления Ветра	Текстовый
Вещество	Текстовый
Точки Измерения	Текстовый
Температура Воздуха	Числовой
Атмосферное Давление	Числовой
Скорость Ветра	Текстовый
Направление Ветра	Текстовый
Выброс	Текстовый
Концентрация ЗВ	Числовой
Ид Точек Измерения	Счетчик
Координата Х	Числовой
Координата У	Числовой
Ид Выброса	Счетчик
Название	Текстовый
Расход	Числовой
Температура	Числовой
Характеристики	Текстовый

Для определения вклада предприятия необходимо рассмотреть изменение этого вклада в зависимости от режима его работы 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 нечеткой системы определяются соответствующие базовые вклады предприятий  $u_1, u_2, \dots, u_N$ . Базовые вклады предприятий пропорциональны концентрациям ЗВ, полученных в результате моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосфере с учетом оценки экспертов [134].

Для формализованного представления знаний в системе предложено сформировать множество 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 загрязняющего вещества 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 загрязняющего вещества в точке измерения. В виде продукционной модели данная формулировка можно представить следующим образом:

$$\forall(i, j, k, m): A_o \equiv [\bar{x}_i^j, \bar{y}_k \rightarrow \bar{u}_m^i], i \in I; j \in J; k \in K; m \in M \quad (3.1)$$

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.

Логико-лингвистические методы описания нечеткой системы определения вкладов основаны на том, что поведение исследуемой системы описывается в

естественном языке в терминах лингвистических переменных. Входные и выходные параметры системы рассматриваются как лингвистические переменные, а качественное описание процесса задается совокупностью высказываний следующего вида:

$L_1$ : если  $A_{11}$  и/или  $A_{12}$  и/или ... и/или  $A_{1m}$ , то  $B_{11}$  и/или ... и/или  $B_{1n}$ ,

$L_2$ : если  $A_{21}$  и/или  $A_{22}$  и/или ... и/или  $A_{2m}$ , то  $B_{21}$  и/или ... и/или  $B_{2n}$ ,

.....

$L_k$ : если  $A_{k1}$  и/или  $A_{k2}$  и/или ... и/или  $A_{km}$ , то  $B_{k1}$  и/или ... и/или  $B_{kn}$ ,

где  $A_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ ,  $j = 1, 2, \dots, m$  - нечеткие высказывания, определенные на значениях входных лингвистических переменных, а  $B_{ij}$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$  - нечеткие высказывания, определенные на значениях выходных лингвистических переменных. Эта совокупность правил носит название нечеткой базы знаний [139].

Традиционно 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» [136].

При построении базы правил нечеткой системы определения вклада каждого предприятия необходимо обрабатывать экспертную информацию, чтобы пополнять базу знаний и оформить продукционные правила разрабатываемой системы. Основными используемыми видами опроса экспертов [95] являются анкетирование, интервьюирование, дискуссии, метод «мозгового штурма» («мозговой атаки»), метод Дельфы.

К основным способам обработки экспертной информации относятся:

- ранжирование;
- непосредственная оценка;
- парное сравнение.

Структура системы нечеткого вывода содержит следующие модули [96]:

- фаззификатор, преобразующий фиксированный вектор влияющих векторов ( $X$ ) в вектор нечетких множеств  $\tilde{X}$ , необходимых нечеткого вывода;
- нечеткая база знаний, содержащая информацию о зависимости  $Y = f(X)$  в виде лингвистических правил <Если - то>;
- функции принадлежности, используемые для представления лингвистических термов в виде нечетких множеств;
- машина нечеткого вывода, которая на основе правил базы знаний определяет значение выходной переменной в виде нечеткого множества  $\tilde{Y}$ , соответствующего нечетким значениям входных переменных ( $\tilde{X}$ );
- дефаззификатор, преобразующий выходное нечеткое множество  $\tilde{Y}$  в четкое число  $Y$ .

В качестве инструментального средства реализации выше поставленной задачи предлагается использовать пакет Fuzzy Logic Toolbox вычислительной системы Matlab [97-98]. Пакет Fuzzy Logic Toolbox поддерживает все фазы разработки нечетких систем, включая синтез, исследование, проектирование, моделирование и внедрение в режиме реального времени. Он обеспечивает легкое продвижения по всем ступенькам проектирования нечетких систем и возможность визуализации результатов в виде двумерных и трехмерных графиков.

В составе пакета Fuzzy Logic Toolbox вычислительной системы Matlab присутствуют пять средств графического интерфейса пользователя, которые обеспечивают доступ к инструментарию нечеткой логики: редакторы системы нечеткого вывода, функции принадлежности (ФП), правил вывода, а также средства просмотра правил и поверхности и поверхности вывода. Эти средства связаны между собой динамически и производимые изменения в одном из них влекут изменения в других. Алгоритм работы состоит из четырех этапов (шагов):

**Шаг 1.** Вызываем редактор для создания системы определения вклада предприятий, набирая в командной строке *fuzzy*. Добавляем входную переменную посредством выбора в меню *Edit* пункта *Addinput*. В результате получаем

следующую структуру нечеткой системы определения вклада предприятий (см. рисунок 7): четыре (скорость ветра, направление ветра, температуры атмосферы и режимы работы) входа, механизм нечеткого вывода по Мамдани или Сугэно, N (количество предприятий) выходов.

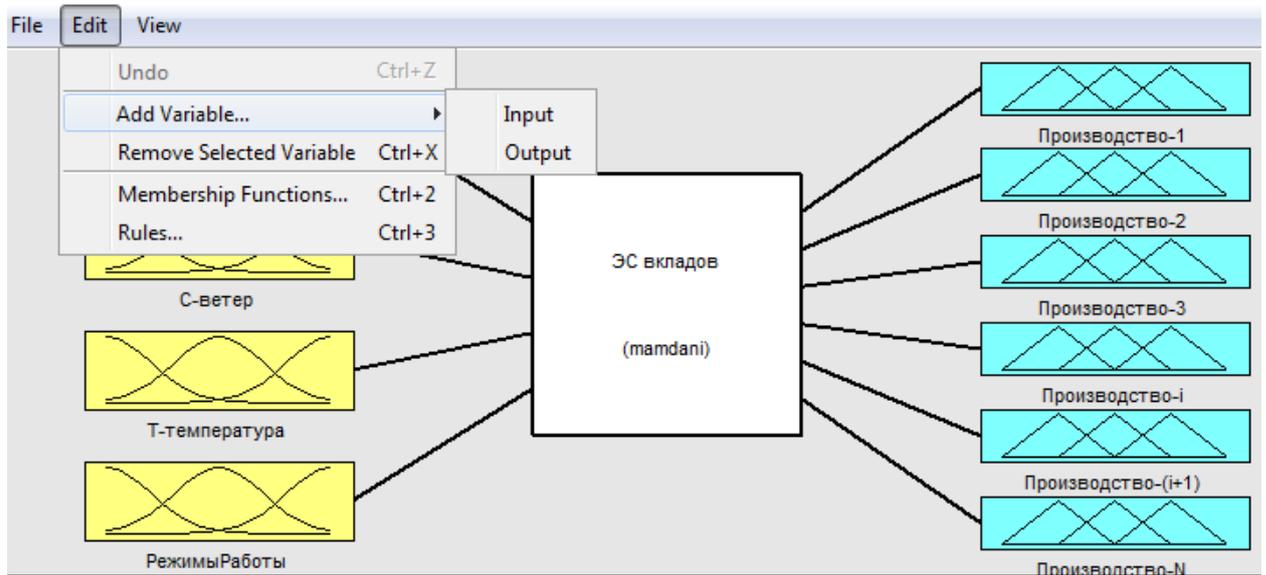


Рисунок 7 - Редактирование структуры нечеткой системы определения вклада предприятий

В нашей системе использован механизм нечеткого вывода по Мамдани. Основное отличие между системами Мамдани и Сугэно заключается в разных способах задания значений выходных переменных в правилах, образующих базу знаний. В системах типа Мамдани значения выходных переменных задаются нечеткими термами, в системах типа Сугэно - как линейная комбинация входных переменных.

**Шаг 2.** Каждую входную и выходную переменную поставим в соответствие набор ФП. Такая процедура реализуется в редакторе ФП (см. рисунок 8). Для каждой входной и выходной переменной необходимо задать лингвистические термы, соответствующие некоторым диапазонам четких значений. Степень принадлежности четких значений термам задается с помощью функций принадлежности. Стандартные формы ФП: треугольная, трапецеидальная, S - типа, или функция “фильтра”, Z - типа, колоколообразная. Так, для

лингвистической переменной «скорость ветра», для которой используются 7 термов «Штиль», «Тихий», «Легкий», «Слабый», «Умеренный», «Свежий», «Сильный», соответствующие шкале скорости ветра Бофорта и степень принадлежности имеет форму трапеции. Аналогично, термы для оставшихся входных переменных.

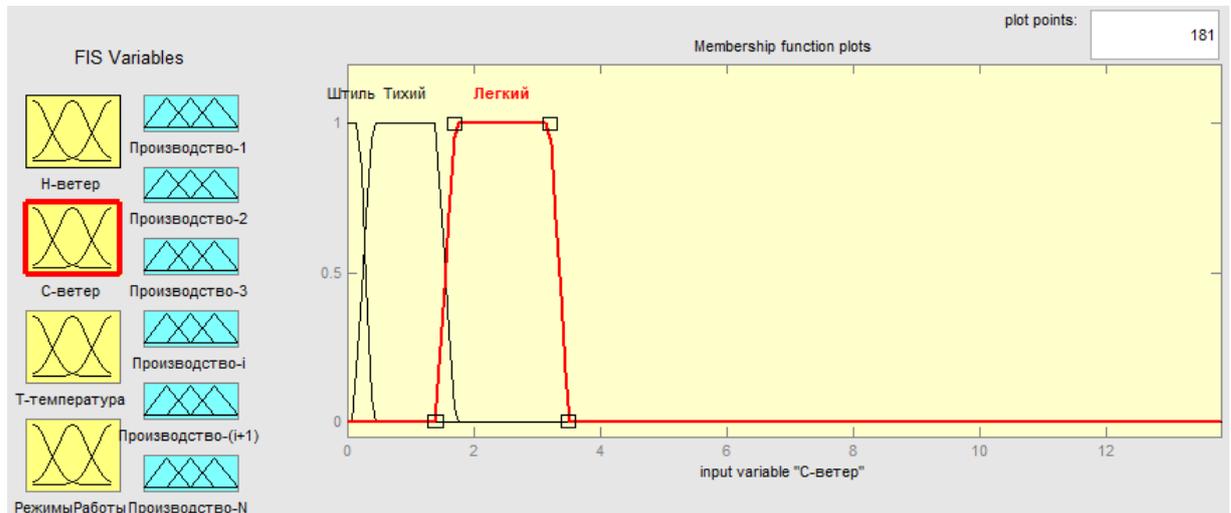


Рисунок 8 - Редактирование ФП

**Шаг 3.** Следующим этапом построения системы определения вклада предприятий является определение набора правил (см. рисунок 9), которые задают связь между входными и выходными переменными. Эти правила сформированы базой данных нечеткой системы определения вклада каждого предприятия.

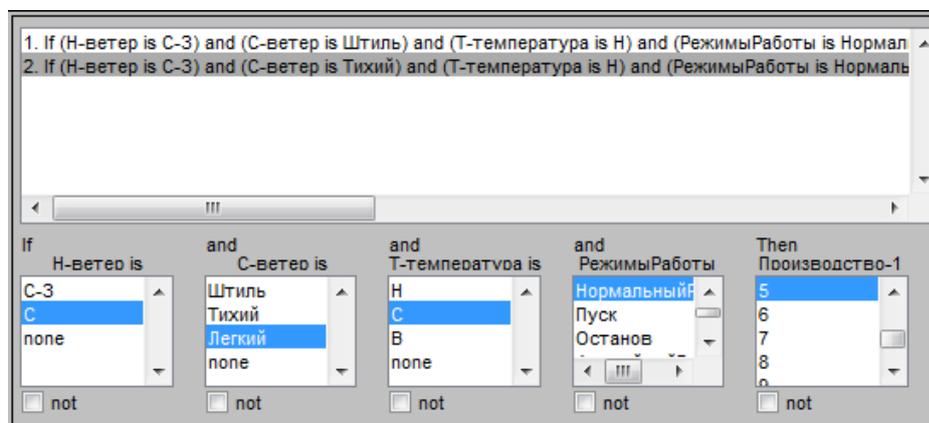


Рисунок 9 - Редактирование правил вывода

**Шаг 4.** Последним этапом построения нечеткой системы определения вклада предприятий является задание значений входных переменных и расчет искомого результата, посредством дефаззификации результатов аккумуляции (см. рисунок 10).

Изменение значений входных переменных допускается двумя способами:

- путем ввода в поле *Input* значения входных переменных;
- щелчком мыши в любом графическом окне, которое относится к входной переменной.

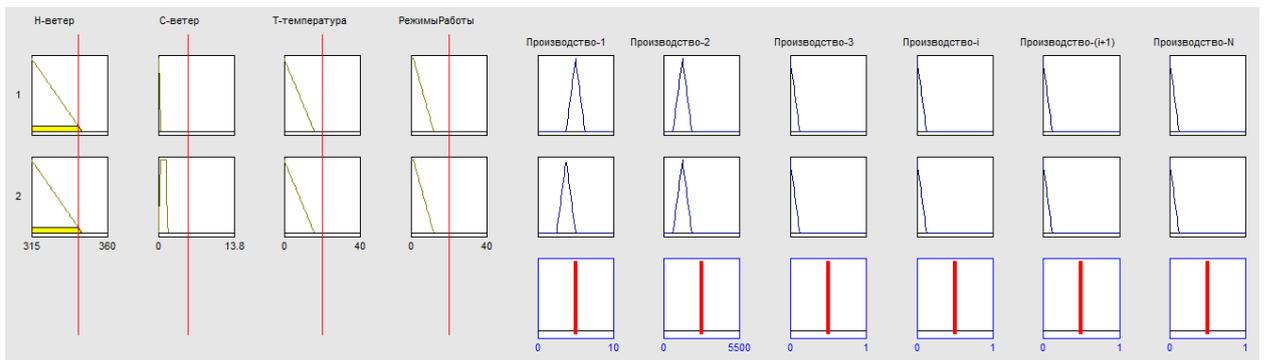


Рисунок 10 - Модуль визуализации нечеткого вывода

Модуль визуализации нечеткого вывода системы определения вклада предприятий позволяет наблюдать ход логического вывода по каждому правилу, получение результирующего нечеткого множества и выполнение процедуры дефаззификации. Каждое правило базы знаний нечеткой системы определения вклада предприятий представляется в виде последовательности горизонтально расположенных прямоугольников. Выходные переменные изменяются соответственно со логическим выводам по всем правилам входных переменных [92].

В результате информация, которая хранится в базе данных и подвергается обработке с помощью математического аппарата нечеткой логики, характеризуют вклад каждого предприятия, входящего в состав комплекса, в суммарном вкладе выбросов в окружающую среду.

### 3.3 Расчет рекомендуемых управляющих воздействий по изменению режимов работы предприятий на основе генетического алгоритма с целью снижения уровня загрязнения окружающей среды

Расчет вклада каждого предприятия в суммарный вклад ЗВ позволяет выявить источники загрязнения, но не позволяет давать четкие рекомендации (как изменить и на сколько процентов изменить на определенное время) об изменении нагрузки предприятий особенно в случае вклады предприятий приблизительно.

Необходимо вычислять оптимальные доли снижения нагрузки предприятий в соответствии с их долями в валовых выбросах загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферу с учетом экономических и экологических факторов.

Если при  $k$ -ом состоянии метеоусловий на ПНЗА измеренная концентрация загрязняющего вещества  $c > \text{ПДК}$ , то концентрация загрязняющего вещества, создаваемая выбросами  $i$ -го предприятия в контрольной точке ( $c_i$ ) вычисляется по следующей формуле:

$$c_i = c \frac{u^i}{\sum_{j=1}^N u^j}. \quad (3.2)$$

Обозначим: -  $c_i'$  - концентрацию загрязняющего вещества, 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 загрязняющего вещества, создаваемая им в контрольной точке.

Тогда:

$$\sum_{i=1}^N c_i' \leq \text{ПДК}; \quad \forall i = \overline{1, N} : 0 \leq c_i' \leq c_i, 0 \leq Q_i' \leq Q_i. \quad (3.3)$$

Любое предприятие заинтересовано в минимальных затратах, необходимых для установления нормативных выбросов  $Q_i'$ . Для этой цели, к поставленной системе неравенств добавляем целевую функцию:

$$\sum \gamma_i (Q_i - Q_i') \rightarrow \min, \quad (3.4)$$

где в общем случае  $\gamma_i$  - стоимость снижения на единицу выброса 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  $Q_i = Q_i^{рег.л}$

$$\text{Выражение (3.4) эквивалентно } \gamma_0 \sum Q_i^{рег.л} \cdot q_i \rightarrow \min, \quad (3.5)$$

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

Пользуясь линейной зависимостью концентрации выбрасываемого вещества от массы выбросов по методике ОНД-86 [105] и Гауссовской моделью рассеивания [38] ЗВ по выбросам одного источника можно представить загрязнение атмосферы в контрольных точках в виде линейной формы:

$$c = a \cdot Q, \quad (3.6)$$

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

Из (3.6) следует, что для  $i$ -ого предприятия  $\frac{c_i}{c_i} = \frac{Q_i}{Q_i}$  или:

$$\frac{c_i - c_i'}{c_i} = \frac{Q_i - Q_i'}{Q_i} = q_i. \quad (3.7)$$

Из (3.7) следует, что:

$$\sum_{i=1}^N (c_i - c_i') = \sum_{i=1}^N c_i \cdot q_i. \quad (3.8)$$

Из (3.2) и (3.8) следует, что:

$$c - \sum_{i=1}^N c_i = \sum_{i=1}^N c_i \frac{u^i}{\sum_{j=1}^N u^j} q_i. \quad (3.9)$$

Из (3.3) и (3.9) следует, что:

$$1 - \frac{\text{ПДК}}{c} \leq \sum_{i=1}^N \frac{u^i}{\sum_{j=1}^N u^j} q_i ; \forall i = \overline{1, N} : 0 \leq q_i \leq 1. \quad (3.10)$$

Следовательно, задача сводится к поиску долей сокращения выбросов для всех предприятий  $(q_i; i = \overline{1, N})$ , при которых целевая функция (3.5) с ограничениями (3.10) 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 [138].

Для оптимального решения этой задачи будем использовать генетический алгоритм (ГА). ГА дает преимущества при решении практических задач разного рода. Одно из них – это адаптация к изменяющейся окружающей среде. В реальной жизни проблема, которая была поставлена для решения изначально, может претерпеть огромные изменения в процессе своего решения [99].

ГА обычно состоит из следующих шагов: 1 - выбрать исходную популяцию хромосом; 2 - оценивать приспособленность хромосом в популяции; 3 - проверить условие остановки алгоритма; 4 - селективировать хромосомы; 5 - применить генетические операторы; 6 - формировать новую популяцию; 7 - выбрать «наилучшую» хромосому.

В нашем случае «хромосома» является множеством долей сокращения выбросов для предприятий. Тогда наилучшая «хромосома» является оптимальными долями сокращения выбросов для предприятий.

Блок-схема основного генетического алгоритма изображена на рисунке 11.



Рисунок 11 - Блок-схема работы генетического алгоритма

В качестве инструментального средства реализации алгоритмического алгоритма используется пакет Genetic Algorithm Toolbox (Optimization Toolbox) [100] вычислительной системы Matlab. Genetic Algorithm Toolbox поможет решить оптимальные задачи, которые невозможно решить традиционными математическими методами.

Для реализации выше поставленной задачи сначала составим следующий М-файл редактора Matlab под именем optimization\_fitness.m (рисунок 12):

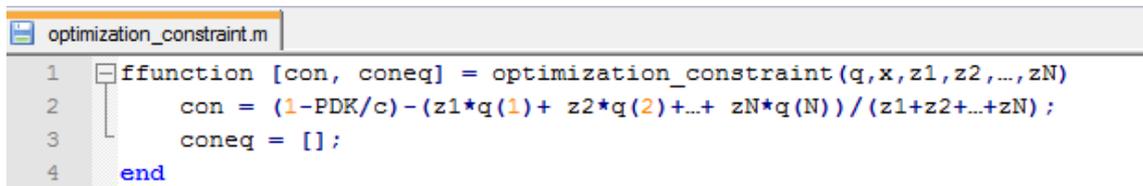
```

optimization_fitness.m
1 function y = optimization_fitness(q)
2     y = Q1*q(1) + Q2*q(2)+...+ QN*q(N);
3 end
  
```

Рисунок 12 - Целевая функция (М-файл редактора Matlab)

Где:  $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$  - выбросы предприятий по регламенту работы и задаются с учетом оценки экспертов.

Далее создадим следующий М-файл под именем `optimization_constraint.m`, который включал бы в себя вводимые в задачу ограничения (рисунок 13):



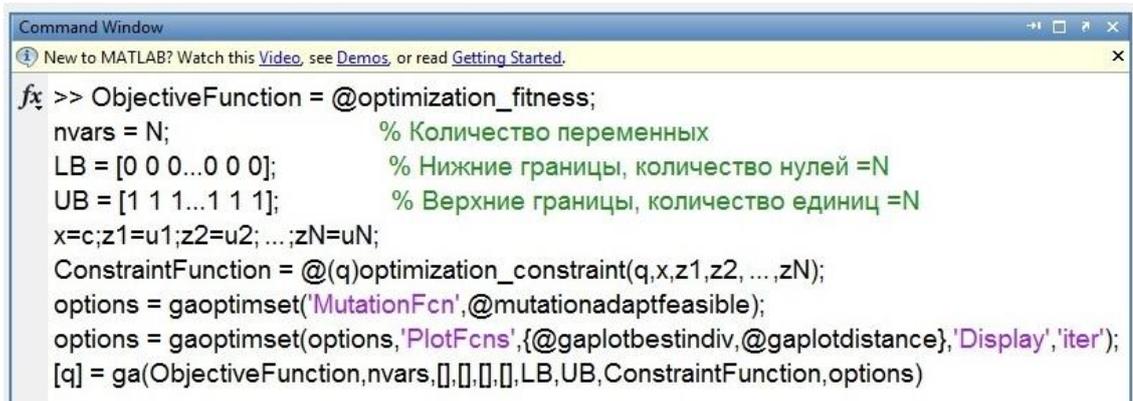
```

1  ffunction [con, coneq] = optimization_constraint(q,x,z1,z2,...,zN)
2      con = (1-PDK/c) - (z1*q(1)+ z2*q(2)+...+ zN*q(N))/(z1+z2+...+zN);
3      coneq = [];
4  end

```

Рисунок 13 - Ограничения (М-файл редактора Matlab)

Для выполнения задачи оптимизации следует выполнить команду в окне команд MATLAB (рисунок 14):



```

fx >> ObjectiveFunction = @optimization_fitness;
nvars = N; % Количество переменных
LB = [0 0 0...0 0 0]; % Нижние границы, количество нулей =N
UB = [1 1 1...1 1 1]; % Верхние границы, количество единиц =N
x=c;z1=u1;z2=u2;...;zN=uN;
ConstraintFunction = @(q)optimization_constraint(q,x,z1,z2,...,zN);
options = gaoptimset('MutationFcn',@mutationadaptfeasible);
options = gaoptimset(options,'PlotFcns',{@gaplotbestindiv,@gaplotdistance},'Display','iter');
[q] = ga(ObjectiveFunction,nvars,[],[],[],LB,UB,ConstraintFunction,options)

```

Рисунок 14 - Команда оптимизации в окне команд Matlab

Где:  $c$  - суммарная концентрация ЗВ в контрольной точке;  
 $u_1, u_2, \dots, u_N$  - базовые вклады предприятий, рассчитаны по ЭС базовых вкладов.

По окончании оптимизации результаты выполнения операции отображены на панели *Status and results* и на панели *Final point* (см. рисунок 15) .

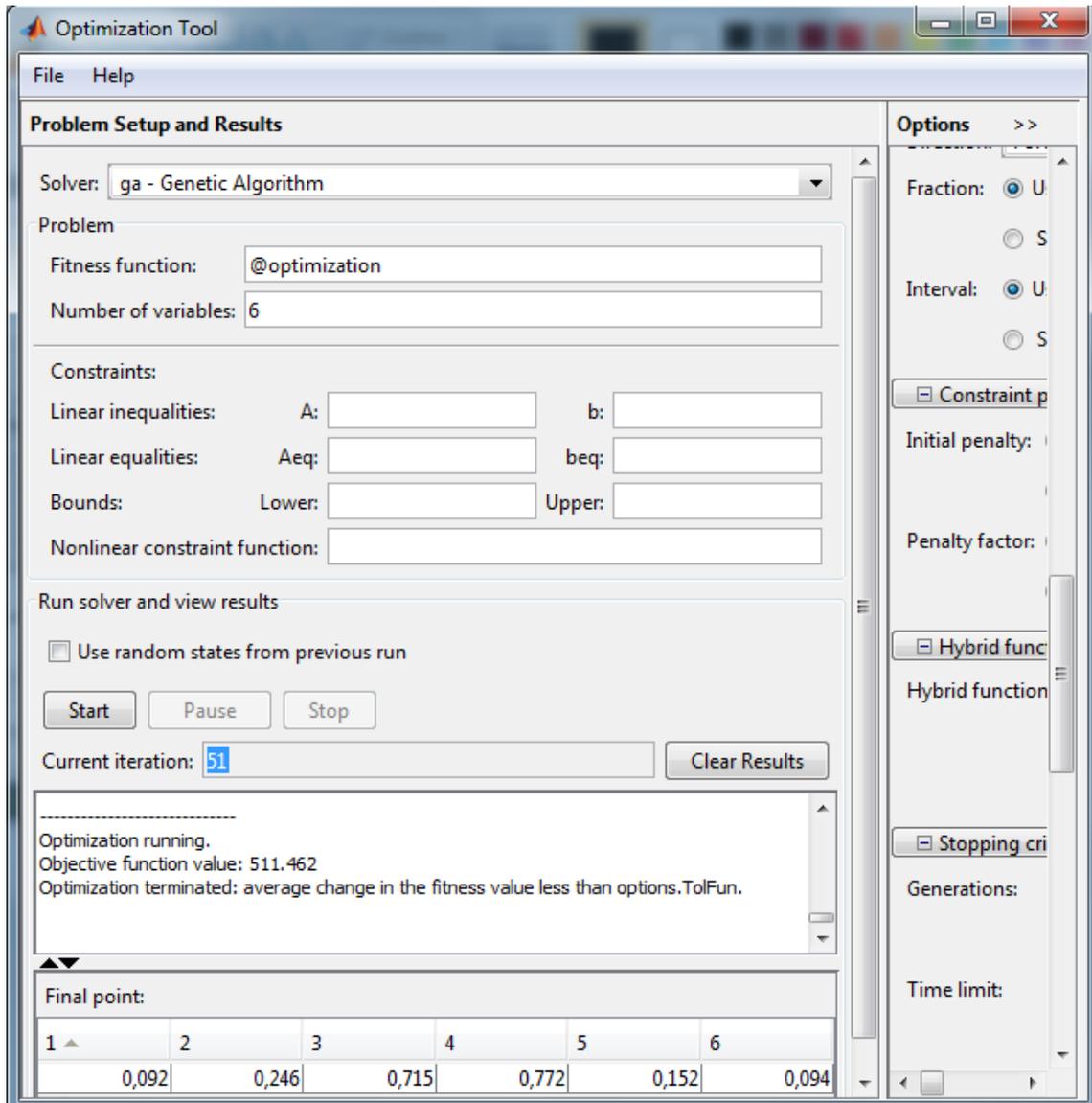


Рисунок 15 - Результаты оптимизации на Optimization Tool

На панели *Status and results* отображаются следующие информации:

- сообщение: Optimization run;
- значение целевой функции в конечной точке;
- причина останова выполнения команды прямого поиска:
  - + *Exit*: останов алгоритма (найденно решение),
  - + превышение максимального числа поколений.

На панели *Status and results* отображаются параметры найденной точки минимума.

В результате работы генетического алгоритма вычисляются управляющие воздействия, которые содержат информацию о том, на сколько необходимо изменить нагрузку химико-технологических предприятий с целью снижения выбросов в окружающую среду.

### 3.4 Методы выбора оптимальных параметров и структуры системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу

#### 3.4.1 Метод выбора оптимальных параметров нечеткой системы определения вкладов предприятий

Основными параметрами интеллектуальной системы снижения валового выброса, которые влияют на функционирование и точность ее работы, являются форма функций принадлежности переменных (ФПП) и методы дефаззификации (МД) подсистемы определения вклада каждого предприятия на основе нечеткого вывода. Далее, будем рассматривать только эти параметры (ФПП, МД) для упрощения процесса выбора оптимальных параметров нечеткой системы определения вклада каждого предприятия.

Выбор оптимальных параметров нечеткой системы определения вкладов предприятий осуществляется методом перебора всех возможных комбинаций методов дефаззификации и функций принадлежности [98]. Для выбора оптимальной комбинации МД и ФПП рассчитывается коэффициент согласованности заключений экспертов [118]. Максимальное значение коэффициента соответствует оптимальной комбинации МД и ФПП. Процесс выбора оптимальных параметров интеллектуальной системы снижения валового выброса корректируются через определенный интервал в зависимости от конкретной ситуации (например, раз в квартал, пол-года или год).

На рисунке 16 представлен метод выбора оптимальных параметров нечеткой системы определения вкладов предприятий.

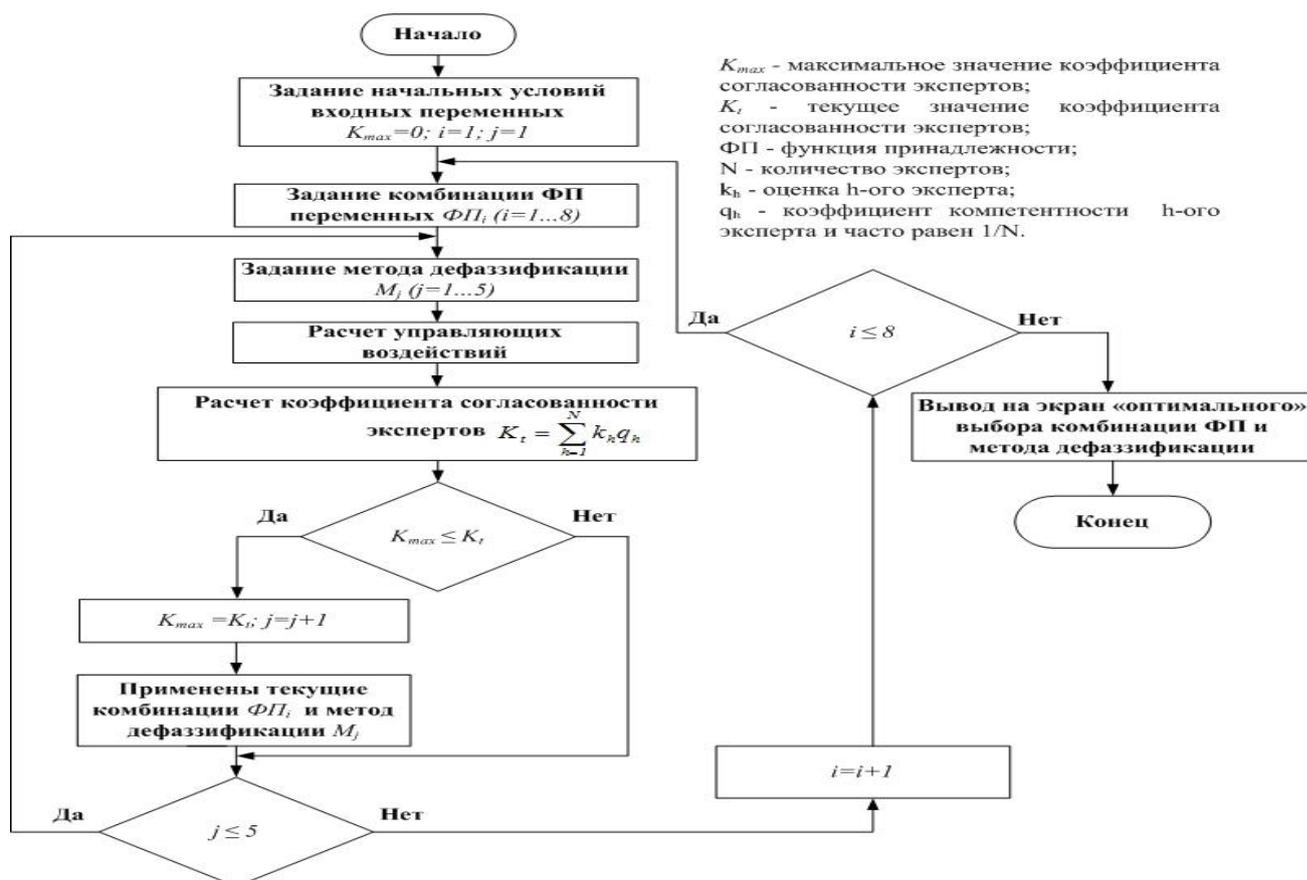


Рисунок 16 - Метод выбора оптимальных параметров нечеткой системы определения вкладов предприятий

Опишем кратко методику выбора оптимальных параметров нечеткой системы определения вкладов предприятий:

- 1 задание начальных условий входных переменных  $i=1$ ,  $j=1$ , и максимального значения коэффициента согласования экспертов  $K_{max} = 0$ ;
- 2 задание комбинации ФПП  $ФПП_i$ ,  $i=1...M$ ,  $M$  - количество комбинаций ФПП;
- 3 задание МД  $МД_j$ ,  $j=1...L$ ,  $L$  - количество МД;
- 4 расчет управляющих воздействий;
- 5 расчет текущего коэффициента согласованности экспертов  $K_i$ ;

6 если максимальное значение коэффициента согласованности экспертов  $K_{\max} \leq K_i$ , текущего значения коэффициента согласованности экспертов, то перейти к пункту 7, иначе перейти к пункту 9;

7 считать текущий коэффициент согласованности наилучшим (максимальным)  $K_{\max} = K_i$ ,  $j = j + 1$ ;

8 запоминание и применение текущей комбинации ФПП<sub>*i*</sub> и МД<sub>*j*</sub> для дальнейших расчетов;

9 если  $j \leq L$ , то перейти к пункту 3, иначе перейти к пункту 10;

10 выбор следующего значения ФПП  $i = i + 1$ ;

11 если все значения ФПП перебраны  $i \leq M$ , то перейти к пункту 2, иначе перейти к пункту 12;

12 вывод на экран «оптимального» выбора комбинации ФПП и МД.

Поясним некоторые шаги алгоритма. На шаге 2 первоначальное множество комбинаций ФПП задается экспертом. Количество комбинаций ФПП  $M$  зависит от заданных ранее экспертом комбинаций ФПП.

На шаге 3 обычно выбирается один из пяти методов дефаззификации: метод центра тяжести, метод центра тяжести для одноточечных множеств, метод центра площади, метод левого модального значения и метод правого модального значения. Выбор осуществляется произвольным образом, например, случайно.

На шаге 4 с помощью нечеткой системы определения вкладов предприятий рассчитываются управляющие воздействия - доли изменения нагрузки предприятий при заданной комбинации ФПП и МД. Далее, эксперты дают оценку для текущей комбинации.

На шаге 5 определяется значение коэффициента согласованности экспертов по рассчитанным значениям управляющих воздействий по данной комбинации ФПП и МД. Существуют разные методы определения коэффициента согласованности экспертов: метод парных сравнений, метод ранжирования и метод непосредственного оценивания. В данном случае выбран метод

непосредственного оценивания для определения текущего коэффициента согласованности  $K_i = \sum_{h=1}^N k_h q_h$ , где  $N$  – количество экспертов,  $k_h$  – оценка  $h$ -ого эксперта,  $q_h$  – коэффициент компетентности  $h$ -ого эксперта. Он часто равен  $\frac{1}{N}$ . Метод парных сравнений и метод ранжирования обычно используются для расположения объектов в порядке возрастания или убывания какого-либо присущего им свойства.

### 3.4.2 Метод выбора оптимальной структуры системы управления

На рисунке 17 представлена структура автоматизированной системы управления предприятиями промышленного комплекса.

Объект управления (ОУ) является многосвязным [63], т.е. имеют несколько входов и несколько выходов. При управлении такими объектами изменение связанных между собой управляемых и управляющих величин в разных контурах управления вызывает изменение всех остальных, что, в свою очередь, усложняет задачу управления. Для выбора оптимальной структуры предложенной автоматизированной системы необходимо оценить степень влияния входных воздействий многосвязного объекта на уровень изменения показателей качества процесса управления.

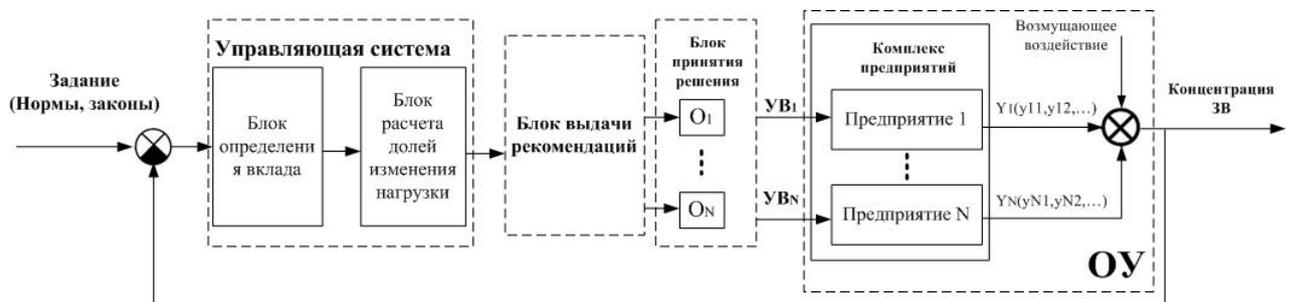


Рисунок 17 - Структура автоматизированной системы управления предприятиями промышленного комплекса: УВ – управляющее воздействие;

ОУ – объект управления;

$O_i$  – оператор диспетчерского отдела  $i$ -ого предприятия;

$Y_i(y_{i1}, y_{i2}, \dots)$  – совокупность ЗВ, выбрасываемых  $i$ -ым предприятием

К системам управления многосвязными объектами управления предъявляются не только требования устойчивости процессов управления. Для работоспособности таких систем также необходимо, чтобы процесс управления осуществлялся при обеспечении определенных показателей качества процесса управления (время переходного процесса, максимальное отклонение управляемой переменной от заданного значения). При наличии многосвязных контуров управления рассчитать оптимальные параметры интеллектуальной системы снижения валового выброса довольно сложно, а иногда практически невозможно, так как к взаимному влиянию контуров друг на друга могут добавляться ограничения на управляющие воздействия. Рассчитанные традиционными методами, особенно без учета взаимного влияния, «одноконтурные» системы управления таких объектов работают неэффективно. Чтобы повысить эффективность функционирования системы управления в целом, мы предлагаем ранжировать с помощью интеллектуальных технологий «входы» объекта управления по степени влияния на его «выходы», а затем, в первую очередь, пытаться проводить расчет наиболее «влияющих» на управляемую величину контуров управления.

Для определения степени влияния входных воздействий на выходные параметры можно использоваться нечеткий вывод.

В данном случае введем следующие лингвистические переменные:  $t_p^i$  (уровень изменения времени переходного процесса) и  $\Delta max^i$  (уровень изменения максимального отклонения управляемой переменной от заданного значения) в соответствии изменения входа объекта управления  $x_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

Значения лингвистических переменных  $x_i$  ( $i = \overline{1, N}$ ) определяются термами: «Малое», «Небольшое», «Большое», «Очень большое». Так, для получения численной оценки лингвистических переменных  $x_i$  «изменение входа объекта управления» зададим интервал значений оценки от 0 до 1, где 0 – значение входа не изменяется. На основе экспертных оценок, можно утверждать, что при малом изменении входа объекта управления оценка лингвистических переменных  $x_i$

будет колебаться от 0 до 0,2 баллов. Переменные  $x_i$  примут значения в интервале от 0,2 до 0,5 баллов, если немного изменяется значение входов объекта управления. Переменные  $x_i$  примут значения в интервалах от 0,5 до 0,7 и от 0,7 до 1 баллов, соответственно, при большом и очень большом изменении значения входов объекта управления. Данные баллы присваиваются группой экспертов, непосредственно привлекаемых к процессу управления многосвязными объектами. На рисунке 18 изображен графический вид лингвистических переменных  $x_i$ , где по оси X располагаются значения «изменения входа объекта управления» в долях единицы, а по оси Y – значения функции принадлежности для термов лингвистических переменных  $x_i$ . Графический вид этих переменных отличаться будет лишь смещением узлов в зависимости от конкретного входа объекта управления.

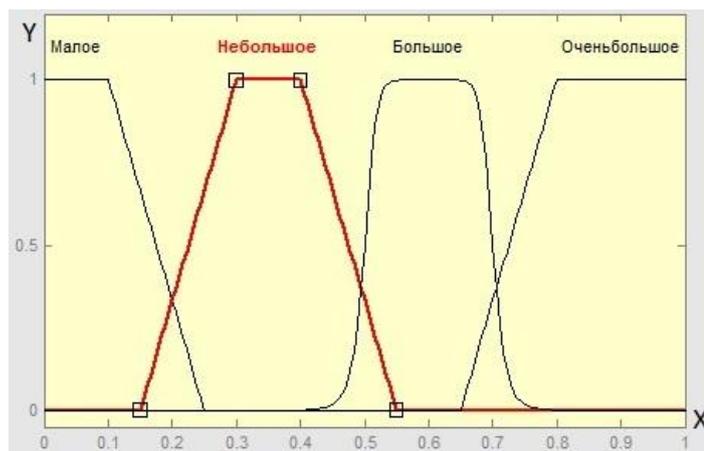


Рисунок 18 - Графический вид термов переменных  $x_i$

Согласно положениям теории нечетких множеств, в таком случае каждому изменению значения входов объекта управления может быть поставлено в соответствие некоторое число, от 0 до 1, которое определяет степень принадлежности данного изменения значения входов объекта управления к тому или иному терму лингвистической переменной  $x_i$ .

В теории нечетких множеств функция принадлежности играет значительную роль, так как это основная характеристика нечеткого объекта, а все действия с нечеткими объектами производятся через операции с их функциями

принадлежности. Функция принадлежности строится либо на основе статистической информации, либо при участии эксперта. В первом случае степень принадлежности приблизительно равна вероятности события, во втором случае степень принадлежности приблизительно равна интенсивности проявления некоторого свойства [119]. В данном случае для построения функций принадлежности переменных использован метод экспертных оценок.

Аналогично, для лингвистических переменных «уровень изменения времени переходного процесса»  $t_p^i$  и «уровень изменения максимального отклонения управляемой переменной от заданного значения»  $\Delta max^i$ ,  $i = \overline{1, N}$  этот будут термы: «Ноль», «Низкий», «Средний», «Высокий», «Очень высокий». Для получения численной оценки этих лингвистических переменных  $t_p^i$  и  $\Delta max^i$  зададим интервал значений оценки от 0 до 100. На рисунке 20 изображен общий вид лингвистических переменных  $t_p^i$  и  $\Delta max^i$ , где по оси X располагаются значения «уровня изменения времени переходного процесса» и «уровня изменения максимального отклонения управляемой переменной от заданного значения» в процентах, а по оси Y – значения функции принадлежности для термов лингвистических переменных  $t_p^i$  и  $\Delta max^i$ . Особенность этих переменных заключается в том, что они содержат одновременно разные виды функций принадлежности в зависимости от конкретных термов (см. рисунки 18, 19).

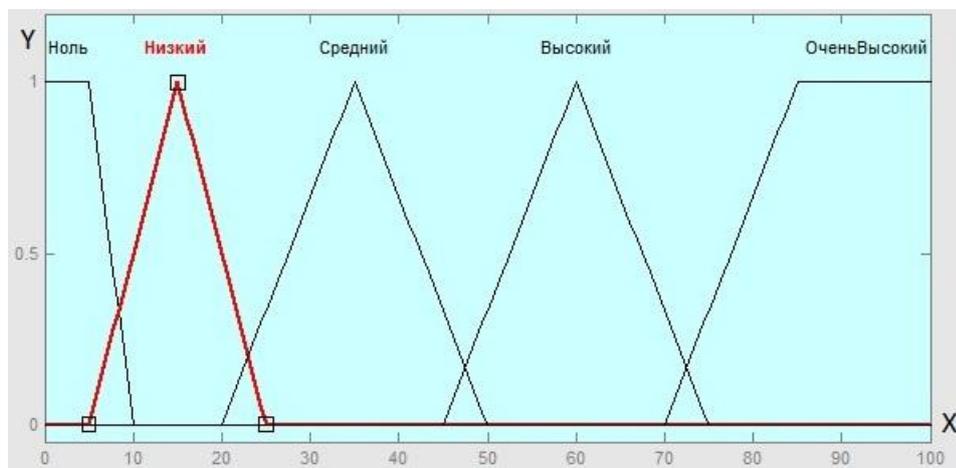


Рисунок 19 - Общий вид термов переменных  $t_p^i$ ,  $\Delta max^i$

На основе экспертных оценок для создания системы нечеткого вывода формулируются когнитивные правила:

$R_1$ : если малое изменение  $x_1$  и/или малое изменение  $x_2$  и/или ... и/или малое изменение  $x_N$ , то «Ноль» уровень изменения  $t_p^i$  и/или «Ноль» уровень изменения  $\Delta max^i$ ;

$R_2$ : если малое изменение  $x_1$  и/или небольшое изменение  $x_2$  и/или ... и/или не большое изменение  $x_N$ , то низкий уровень изменения  $t_p^i$  и/или низкий уровень изменения  $\Delta max^i$ ;

.....

$R_k$ : если очень большое изменение  $x_1$  и/или очень большое изменение  $x_2$  и/или ... и/или очень большое изменение  $x_N$ , то очень высокий уровень изменения  $t_p^i$  и/или очень высокий уровень изменения  $\Delta max^i$ .

Эта совокупность правил носит название нечеткой базы знаний. В идеальном случае нечеткая база знаний должна быть и компактной, и адекватной. Достичь этого в реальных задачах невозможно, потому на практике пытаются выбрать базу знаний с корректным балансом между этими противоречивыми критериями [97]. Необходимым условием такого баланса является попадание базы знаний на Парето-фронт в координатах «сложность модели – точность модели».

Предложенный метод определения степени влияния входных переменных многосвязных объектов управления на показатели качества процесса управления, основанный на интеллектуальной технологии нечеткого вывода, показал свою эффективность и позволил выбрать оптимальную структуру системы управления многосвязного объекта за счет сокращения числа контуров и мало влияющих входных переменных [142].

### 3.5 Разработка системы передачи информации о рассчитанных управляющих воздействиях для лиц, принимающих решения на предприятиях

Так как предприятия, входящие в комплекс, территориально удалены от системы измерения обработки и вычисления управляющих воздействий, то необходимо создать подсистему передачи информации.

В аварийном случае или в случае загрязнения местности выше ПДК Лица, Принимающие Решения (ЛПР) необходимо принять соответствующие решения по снижению концентрации загрязняющих веществ и оповещать предприятия о изменении производственной нагрузки.

Подсистема передачи данных (ППД) играет роль обеспечения передачи результатов расчета и рекомендаций ЛПР до предприятий (руководителей, производственно-диспетчерского отдела, начальников цеха и т.п.). Канал связи может быть телефонной линией или удаленным доступом через Интернет к компьютеру управляющего отдела производства.

Результаты расчета представляют в виде таблиц данных и графиков. На основании этих данных через систему передачи результатов расчета ЛПР выполняет видеоконференции, консультант с предприятиями и им дает рекомендации о изменении производственной нагрузки. Переданные данные имеют большой объем и их необходимо защищать от несанкционированного доступа.

На сегодняшний день в каждом предприятии есть своя сеть компьютеров и на этих компьютерах есть доступ к интернету. Поэтому мы предлагаем в качестве среды передачи информации использовать Интернет.

Т.к. Интернет это общая доступная глобальная сеть то в целях безопасности, надежности передачи информации и т.п. будем использовать технологию VPN (Virtual Private Network - Виртуальная Частная Сеть) [101]. Это даст нам возможность:

- объединить локальные сети или отдельные машины, подключенные к сети общего пользования (интернет);

- защищать (конфиденциальность, подлинность и целостность) передаваемую по открытым сетям информацию;
- контролировать доступ в защищаемый сектор сети;
- создать безопасный доступ пользователей VPN к ресурсам открытых сетей;
- организовать между органами видеоконференции, видеотелефонию и видеотрансляцию.

Все технологии VPN можно разделить на два класса [102] в зависимости от того, каким образом они обеспечивают безопасность передачи данных:

- технологии разграничения трафика (ATM VPN, Frame Relay VPN, MPLS VPN);
- технологии шифрования (IP Security, Secure Sockets Layer, Point-to-Point Tunneling Protocol, Layer 2 Tunneling Protocol и т.п.).

Существуют три основных вида виртуальных частных сетей [103]:

- VPN с удаленным доступом (Remote Access);
- внутрикорпоративные сети VPN (Intranet-VPN);
- межкорпоративные сети VPN (Extranet-VPN).

Для реализации системы передачи результатов расчета через Интернет в нашем случае выбран вид VPN сети с удаленным доступом [140]. На рисунке 20 представлена виртуальная частная сеть передачи результатов расчета через интернет.

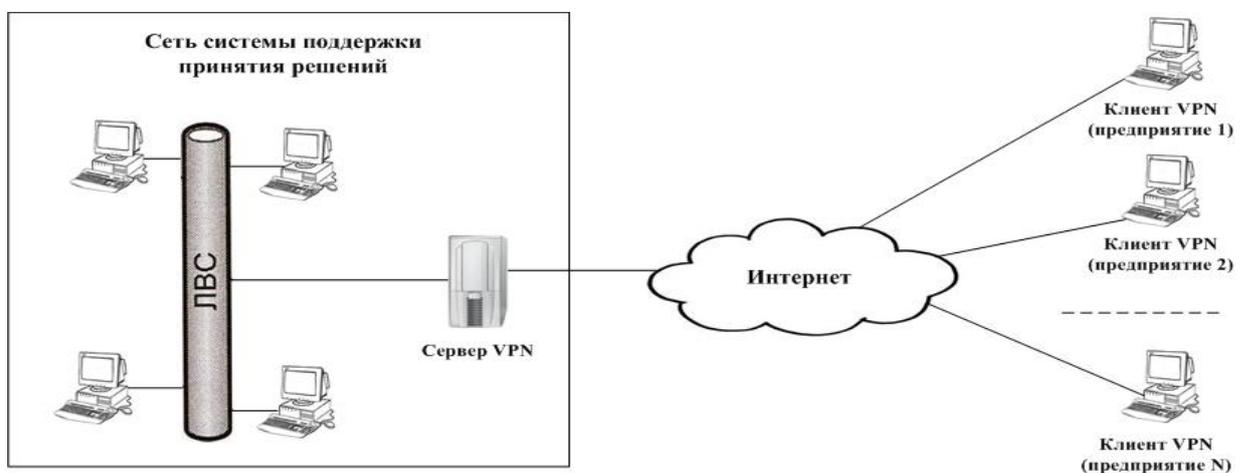


Рисунок 20 - Виртуальная частная сеть с удаленным доступом

Принцип работы VPN передачи результатов расчета: 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.

Необходимо настроить серверную и клиентскую части VPN. Серверная часть это VPN PPTP-сервер для защищенного подключения клиентов. Т.к. больше часть компьютеров промышленных предприятий имеют операционную систему семейства MS Windows, то VPN сервер может быть настроен на серверных версиях MS Windows Server. Он настраивается как сервер удаленного доступа (RAS-сервер) в службе RRAS (Маршрутизация и удаленный доступ). А клиентская часть это VPN клиент, который может быть настроен на MS Windows на компьютере предприятия.

Такой подход не «привязывает» нас к определенной платформе, так как организовать VPN можно и другими программными средствами (Linux, Unix, Mac, Android и т.п.).

### Выводы по третьей главе

1. Разработана функциональная структура интеллектуальной системы снижения валового выброса.
2. Приведено оформление баз данных для ЭС по результатам моделирования процесса распространения загрязнения.
3. Разработан комбинированный метод компьютерного математического и нечеткого моделирования, определяющий вклад каждого источника выброса вредных веществ в общий выброс в атмосферном воздухе.

4. Разработан новый метод вычисления оптимальных долей сокращения выбросов предприятий в соответствии с их долям в валовых выбросах загрязняющих веществ в атмосферу с учетом экономических и экологических факторов в режиме реального времени.

5. Разработаны методы выбора оптимальных параметров и структуры автоматизированной системы управления многосвязными объектами.

6. Приведено обоснование выбора программного комплекса вычислительной системы Matlab для разработки ЭС определения вклада каждого предприятия на основе нечеткой логики и ЭС расчете доли снижения нагрузки предприятия на основе генетического алгоритма, которое обладает всем необходимым инструментарием для создания ЭС.

7. Приведено обоснование выбора технологии VPN для обеспечения в защищенном режиме передачи информации о рассчитанных управляющих воздействиях для лиц, принимающих решения на предприятиях.

## Глава 4 Практическое применение интеллектуальной системы снижения валового выброса в атмосферу химико-технологическими предприятиями промышленного кластера г.Новомосковска Тульской области

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

В больших случаях при реализации систем управления производством не предусмотрен механизм контроля экологического воздействия на выходе производства. То есть, схемы управления производством как источником загрязнения окружающей среды. Обычно предприятия только заинтересуют о количестве и качестве продукции. Схема такой системы представлена на рисунке 21.



Рисунок 21 - Структура системы управления производством

На сегодняшний день, экологический контроль существует на каждом предприятии: этого требует российское законодательство. Но зачастую он не соответствует современным требованиям. В такой системе только есть обратная связь для оценки качества продукции, но отсутствует обратная связь для оценки экологического воздействия. Схема такой системы представлена на рисунке 22.

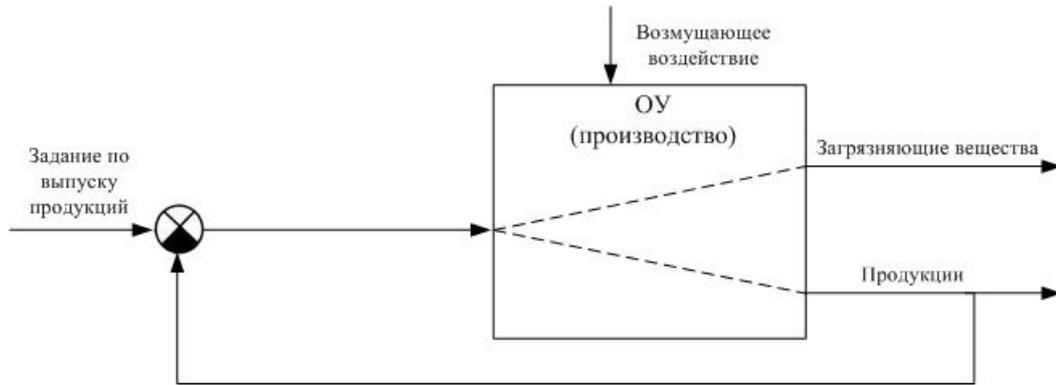


Рисунок 22 - Структура системы управления производством без учета параметров загрязнения окружающей среды

Исходя из всего вышесказанного, для реализации функции поддержки принятия решений по управлению предприятиями промышленного комплекса с помощью полученных данных к измерительной системе контроля загрязнения промышленного региона необходимо добавить в существующую систему новый структурный элемент.

На рисунке 23 химико-технологические производства рассматриваются как источники загрязнения атмосферного воздуха региона.

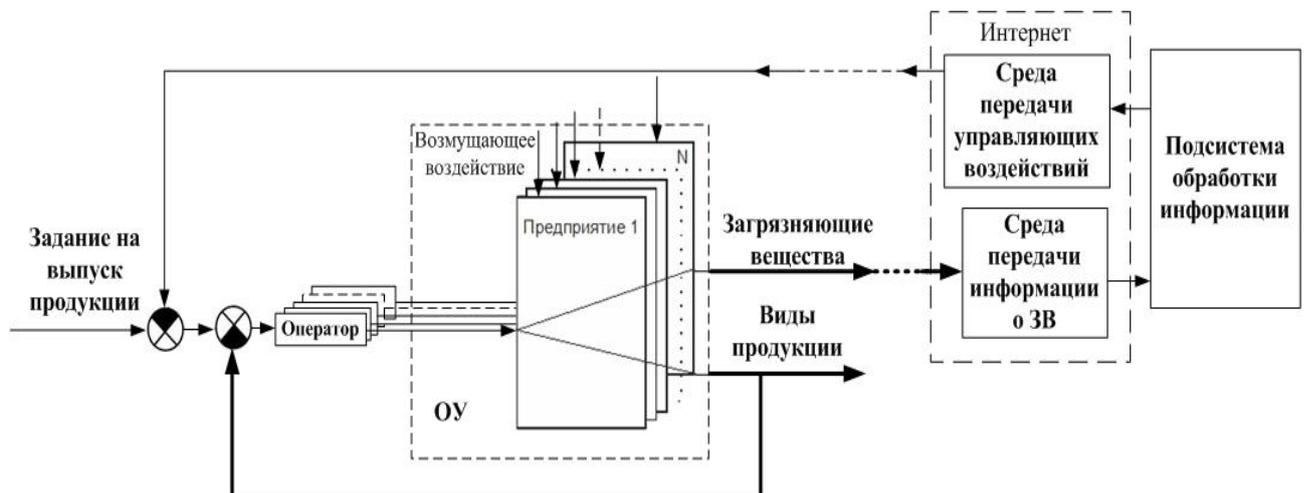


Рисунок 23 - Структура системы управления производствами с обратной связью и возможностью учета параметров загрязнения окружающей среды

В такой структуре учитывают виды продукции и ЗВ на выходе производства для управления предприятиями промышленного комплекса в режиме реального времени.

## 4.2 Подсистема вычисления вклада предприятий в суммарное загрязнение атмосферного воздуха

Подсистема расчета базовых вкладов предназначена для расчета вклада каждого предприятия в суммарную концентрацию загрязняющего вещества в точке измерения (ПНЗА). Вклад каждого предприятия изменяется в зависимости от режима его работы и метеоусловий.

### 4.2.1 Блок моделирования

Моделирование распространения ЗВ в атмосфере проводилось с помощью модуля Earth Science Module комплекса программ интерактивной моделирующей среды COMSOL Multiphysics [115].

В COMSOL Multiphysics существует приложение дифференциальных уравнений в частных производных (PDE) для моделирования на основе уравнения. Единственная зависимая переменная  $u$  - неизвестная функция в решаемой области. В коэффициентной форме PDE вычисляется по следующим формулам:

$$e_a \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + d_a \frac{\partial u}{\partial t} + \nabla * (-c \nabla u - \alpha u + \gamma) + \beta * \nabla u + a u = f \quad \text{в } \Omega \quad (4.1)$$

$$n * (c \nabla u + \alpha u - \gamma) + q u = g - h^T \mu \quad \text{в } \partial \Omega \quad (4.2)$$

$$h u = r \quad \text{в } \partial \Omega \quad (4.3)$$

где  $\Omega$  – решаемая область – объединение всех подобластей,

$\partial \Omega$  – граница области,

$n$  – единичный нормальный вектор направленный наружу от границы области.

Первое уравнение PDE должно быть удовлетворено в решаемой области. В прикладных режимах данное уравнение представляется в упрощенном виде без лишних членов. Второе и третье уравнения (граничные условия) должны фиксироваться на границах решаемой области. Второе уравнение PDE -

обобщенное граничное условие Ньюмана. Такое уравнение немного отклоняется от традиционного использования в теории потенциала, где условие Ньюмана обычно относится к случаю когда  $q=0$ . В терминологии метода конечных элементов граничные условия Ньюмана называются естественными граничными условиями, так как они не встречаются явно в слабой форме PDE. Третье уравнение PDE - граничное условие Дирихле. Условия Дирихле называются неотъемлемыми граничными условиями, потому что они ограничивают решаемую область.

Моделирование распространения загрязнения решается на основе уравнения турбулентной диффузии [137]. Для чистой диффузии, в общем случае нестационарное уравнение:

$$\delta_{ts} \frac{\partial c}{\partial t} + \nabla^* (-D \nabla c) = R, \quad (4.4)$$

где  $D$  - коэффициент диффузии м<sup>2</sup>/с,

$R$  - константа скорости реакции,

$c$  - искомое поле концентраций,

$\delta_{ts}$  - временной коэффициент.

Граничное условие третьего рода:

$$-n^* (-D \nabla c) = N_0 + k_c (c_b - c), \quad (4.5)$$

где  $N_0$  - произвольное выражение потока,

$k_c$  - коэффициент массопереноса,

$c_b$  - объемная концентрация.

Для прикладного режима конвекции и диффузии уравнение (4.4) изменяется следующим образом:

$$\delta_{ts} \frac{\partial c}{\partial t} + \nabla^* (-D \nabla c + cu) = R, \quad (4.6)$$

добавляется поле скоростей, граничное условие:

$$-n^* (-D \nabla c + cu) = N_0. \quad (4.7)$$

Для создания и расчета задачи рекомендованы следующие шаги:

- выбирать размерность модели;

- определять физический раздел в Model Navigator (Навигаторе моделей) и стационарный или нестационарный анализ концентрационного и скоростного полей;
- определять рабочую область и задаем геометрию;
- задать исходные данные, зависимости переменных от координат и времени;
- указывать физические свойства воздуха, ЗВ и начальные условия;
- указывать граничные условия решаемой области;
- задать параметры и строить сетку;
- определять параметры решающего устройства и запускать расчет;
- настраивать режим отображения результатов моделирования;
- получать результаты моделирования [116].

Для оценки концентрации ЗВ в расчетной области задаются следующие элементы:

- здания предприятий;
- вентиляционные трубы;
- жилые застройки;
- лес (представляется в виде пористой среды);
- вспомогательные здания и другие объекты.

В качестве исходных данных для параметров и элементов расчетной области рассмотрен план-схема г.Новомосковска Тульской области (см. рисунок 1).

В расчетах были использованы следующие значения исходных величин:

- плотность воздуха и вязкость воздуха (см. таблицу 7);
- максимальная скорость ветрового потока 20;
- коэффициент молекулярной диффузии для химических веществ в воздухе (см. таблицу 8);
- температура окружающей среды 253-293.

Таблица 7 - Основные физические свойства воздуха

Коэффициент динамической вязкости (при н.у.)	17,2 мкПа·
Давление (при н.у.)	101325 Па
Плотность	1,424 кг/м <sup>3</sup> при -25 °С
	1,2929 кг/м <sup>3</sup> при 0 °С
	1,2047 кг/м <sup>3</sup> при 20 °С

Таблица 8 - Коэффициенты молекулярной диффузии

Диффундирующий газ	H <sub>2</sub>	Водяной пар	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	Cl <sub>2</sub>
Коэфф. (x10 <sup>-5</sup> )	5,47	2,82	2,16	1,96	1,53	1,42	1,34	0,93

**Навигатор Моделей:** открыть Model Navigator на вкладке New. В списке Space dimension выберем 3D и нажать ОК.

**Создание Геометрии:**

- выбрать пункт меню Draw>Specify Objects>Line;
- в открывшемся окне ввести размеры рабочей области и нажать ОК.

На рисунках 24, 25 показаны рабочие области центральной части и северной части г.Новомосковска с координатной осью и кнопками для рисования геометрии. В режиме 3D с помощью кнопок можно создать параллелепипеды, эллипсоиды и другие фигуры, а также управлять расположением координатных осей и освещением фигуры.

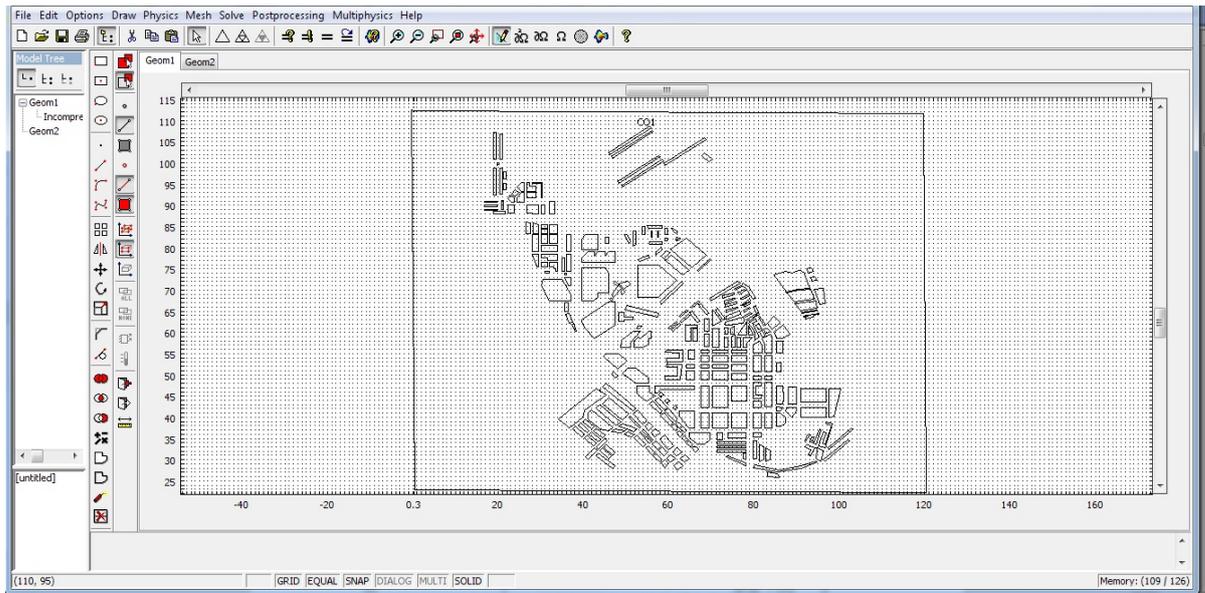


Рисунок 24 - Рабочая область центральной части города

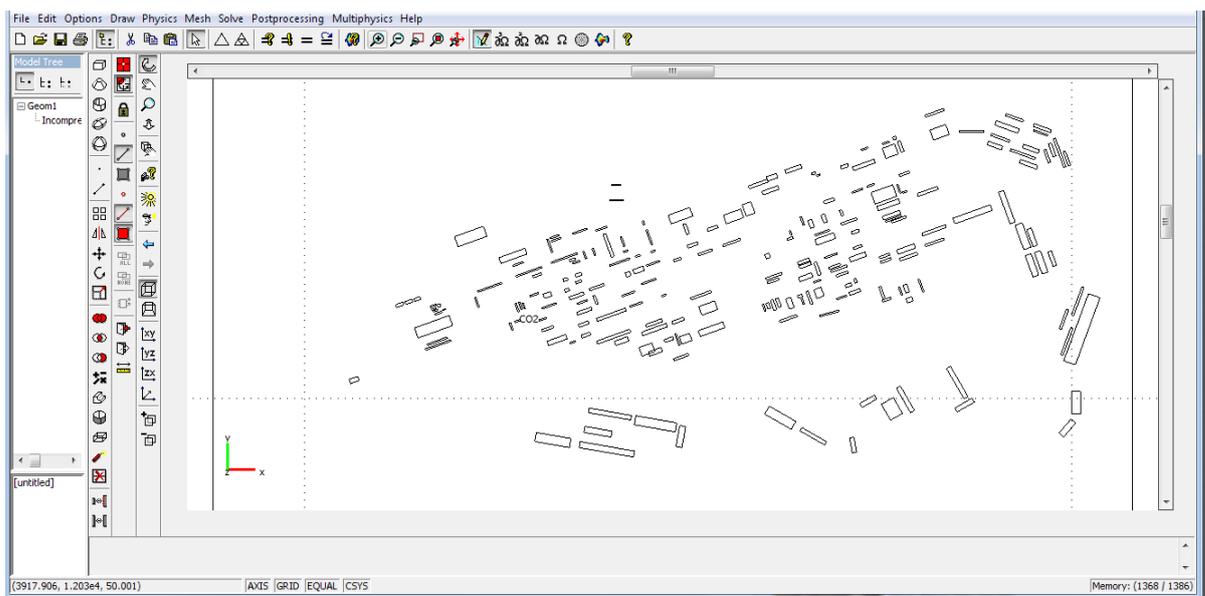


Рисунок 25 - Рабочая область северной части города

В меню Options находится большинство команд для работы с константами и функциями: Constants (Константы), Expression (Выражения), Coupling Variables (Переменные связи), Functions (Функция), Coordinate systems (Системы координат), Material/Coefficients Library (Библиотека материалов), Visualization/Selection settings (Установки визуализации), Suppress (Скрытие) [117].

### Граничные условия:

- в меню Physics открыть Boundary Settings;

- устанавливать граничные условия и нажать ОК.

### **Генерация сетки:**

- определять сетку конечных элементов командой Mesh>Initialize Mesh или кнопкой ;

- для увеличения количества точек нажать на кнопку  или пункт меню Mesh>Refine Mesh.

### **Расчет:**

- в меню Solve (Решать) выбрать Solver Parameters;

- в списке Solver (Решатель) выбрать Time dependent;

- на вкладке General в поле Times вместо 0:0.1:1 вводить 0:30:6000 и нажать ОК.

- нажать на кнопку Solve (Решать).

**Визуализация:** после окончания расчета выводится распространение ЗВ в атмосфере по центральной и северной частям г.Новомосковска Тульской области в момент времени 6000 секунд.

На рисунках 26 А, 26 В, 27 А, 27 В, 28 А, 28 В, 29 А, 29 В показано распространение ЗВ в северной части при направлениях восточного ветра, южного ветра, северного ветра и северо западного ветра. С помощью карт концентраций ЗВ определяются места, где повышенная концентрации ЗВ.

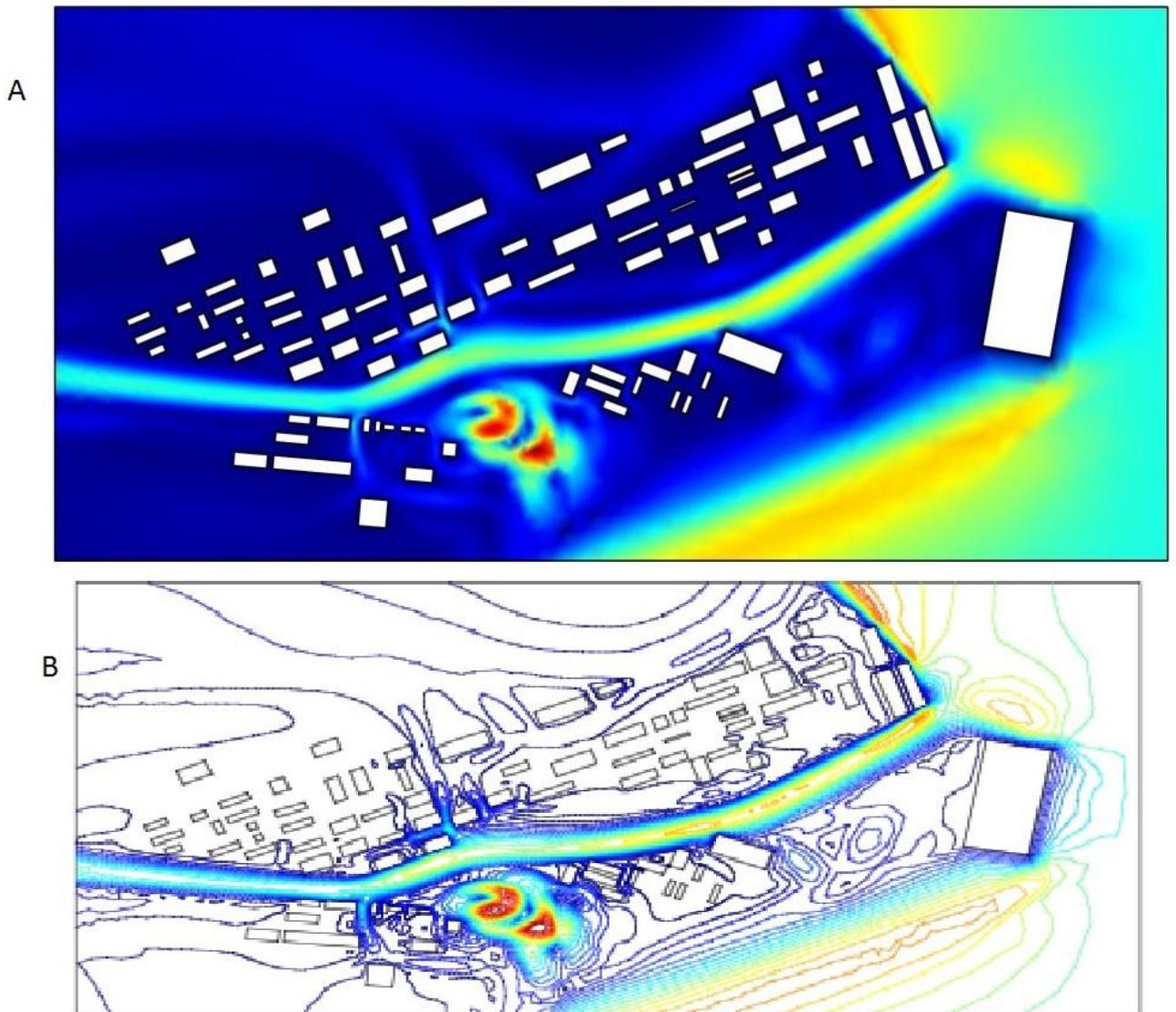


Рисунок 26 - Распространение 3В в северной части при направлении восточного ветра: А - в виде 3D поверхности, В - в виде изолиний

При восточном направлении ветра Маклецкое шоссе является местом, где повышена вероятность высокой концентрации 3В в атмосфере.

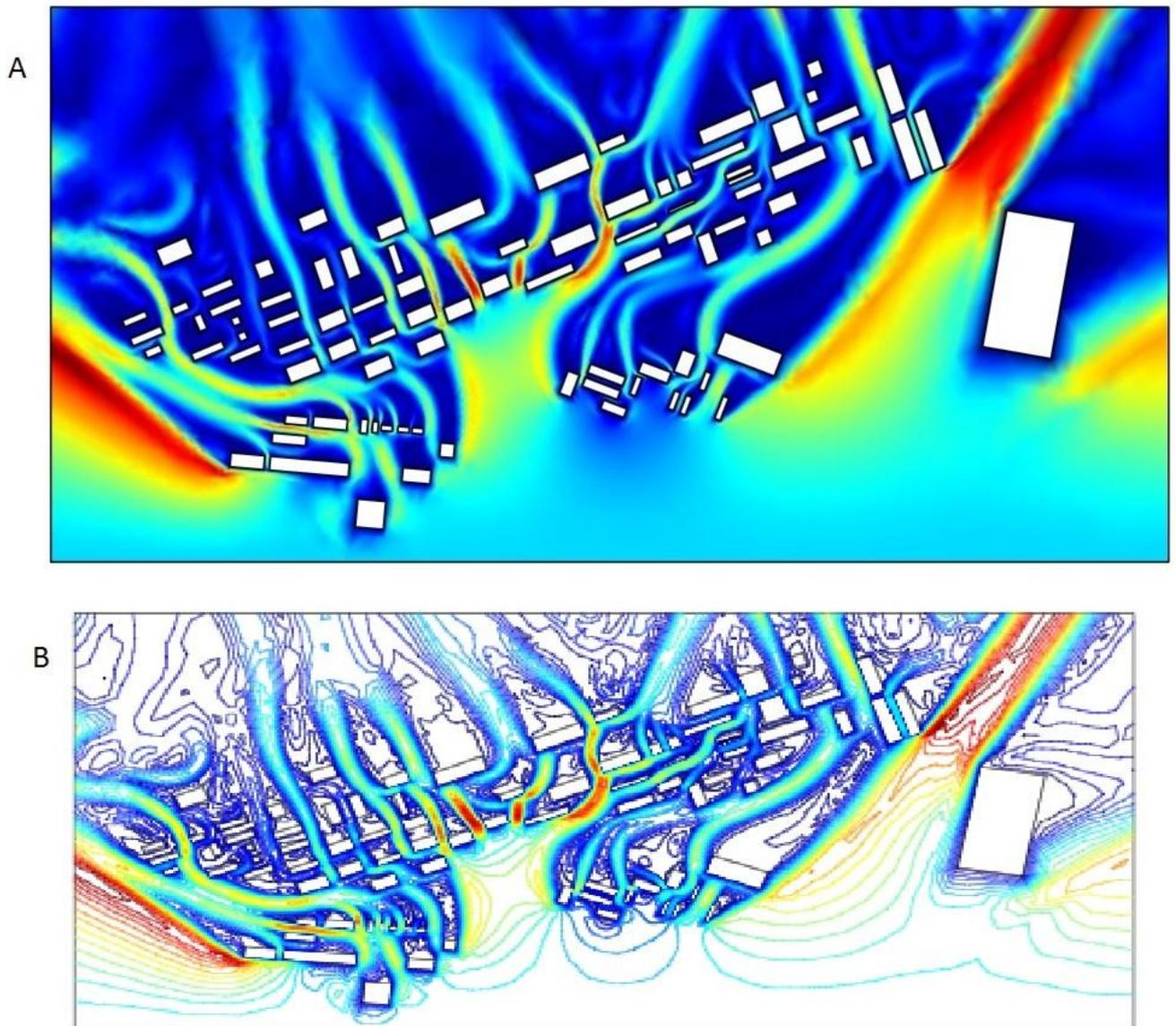


Рисунок 27 - Распространение ЗВ в северной части города при южном направлении ветра: А - в виде 3D поверхности, В - в виде изолиний

При южном направлении ветра платформа Заводской парк и платформа ГРЭС являются местами, где велика вероятность высокой концентрации ЗВ в атмосфере.

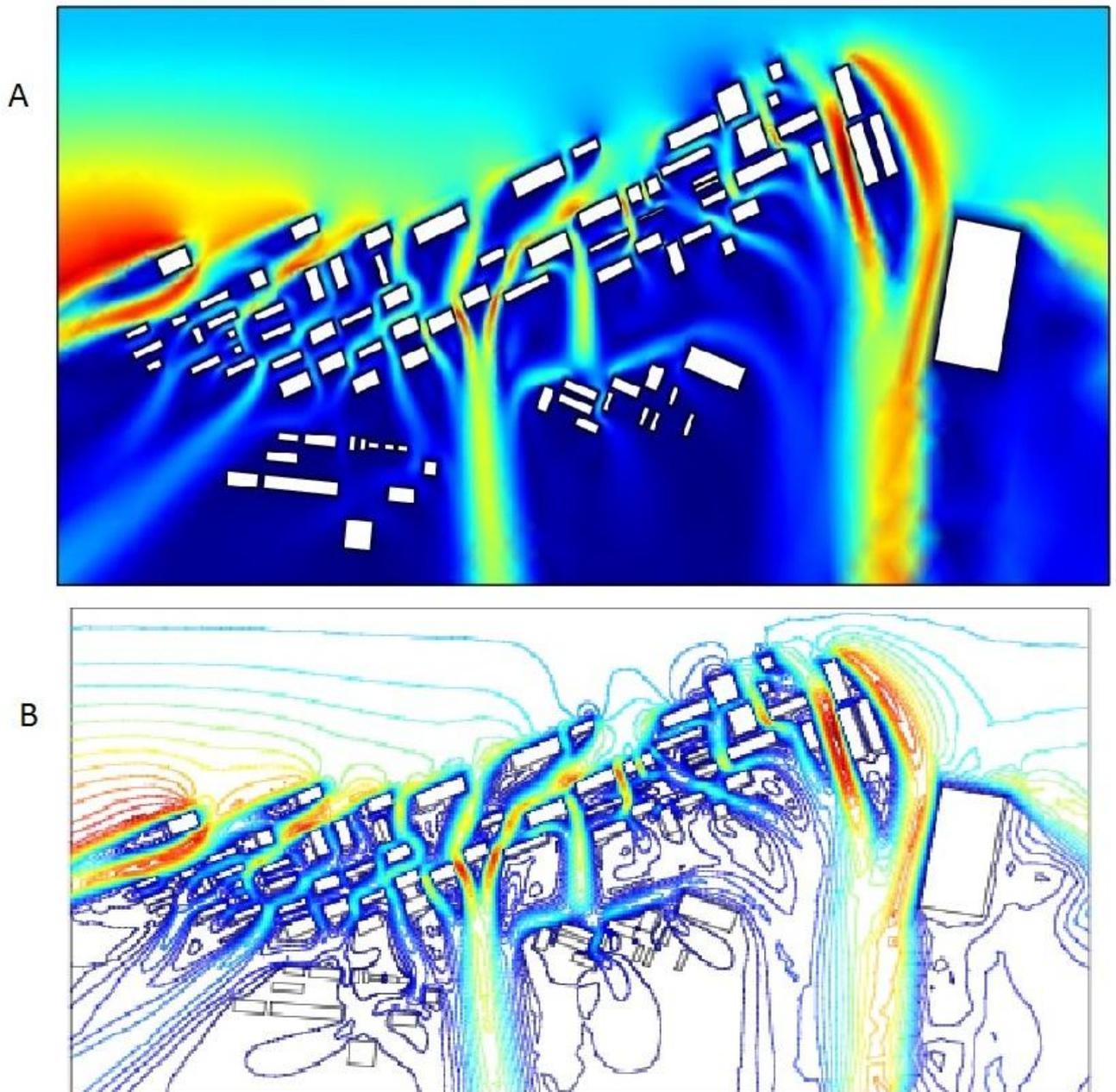


Рисунок 28 - Распространение ЗВ в северной части города при северном направлении ветра: А - в виде 3D поверхности, В - в виде изолиний

При северном направлении ветра территория НАК «Азот» является местом, где велика вероятность высокой концентрации ЗВ в атмосфере.

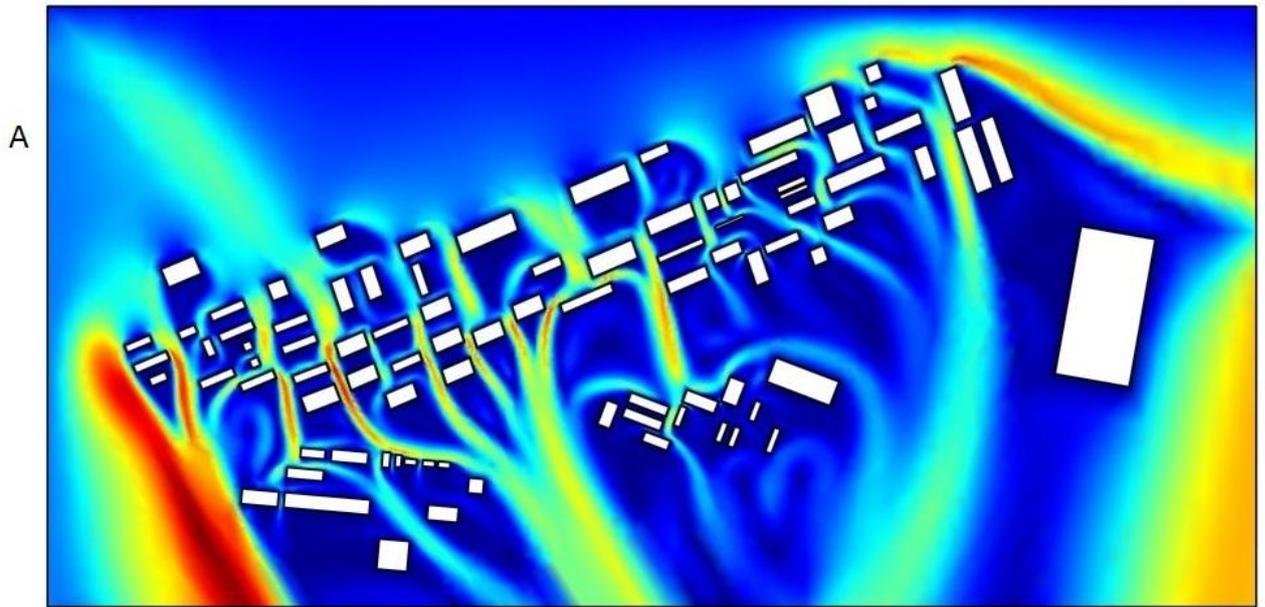


Рисунок 29 - Распространение ЗВ в северной части города при северо-западном направлении ветра: А - в виде 3D поверхности, В - в виде изолиний

Из рисунков 26-29 видно, что распространение ЗВ неравномерно из-за влияния застройки и рельефа местности. Анализ моделирования показал, что существуют места, где вероятность высокой концентрации ЗВ в атмосфере может быть при любом направлении ветра.

#### 4.2.2 Блок нечеткого вычисления

Структура подсистемы определения вкладов предприятий в среде Matlab представлена на рисунке 30. Входными переменными являются скорость и направление ветра, температура атмосферы и режимы работы предприятий.

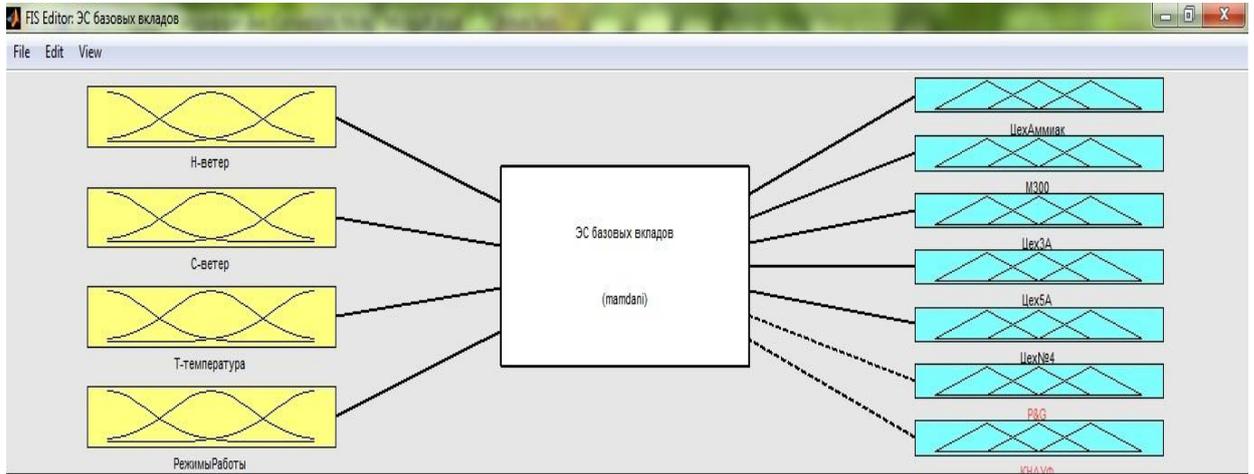


Рисунок 30 - Структура подсистемы базовых вкладов ЗВ

Для построения данной подсистемы в командной строке основного окна Matlab необходимо набрать команду *fuzzy*. Окно редактора новой системы нечеткого вывода содержит следующие переменные: входную *input1* и выходную *output1*. Модуль *fuzzy* позволяет строить нечеткие системы двух типов - Мамдани и Сугэно [98].

Для каждой входной, выходной переменной необходимо задать лингвистические термы. Так, для лингвистической переменной «скорость ветра», для которой используются 7 термов «Штиль», «Тихий», «Легкий», «Слабый», «Умеренный», «Свежий», «Сильный», соответствующие шкале скорости ветра Бофорта (см. рисунок 31). Для переменной «скорость ветра» ФП имеют форму трапеции.

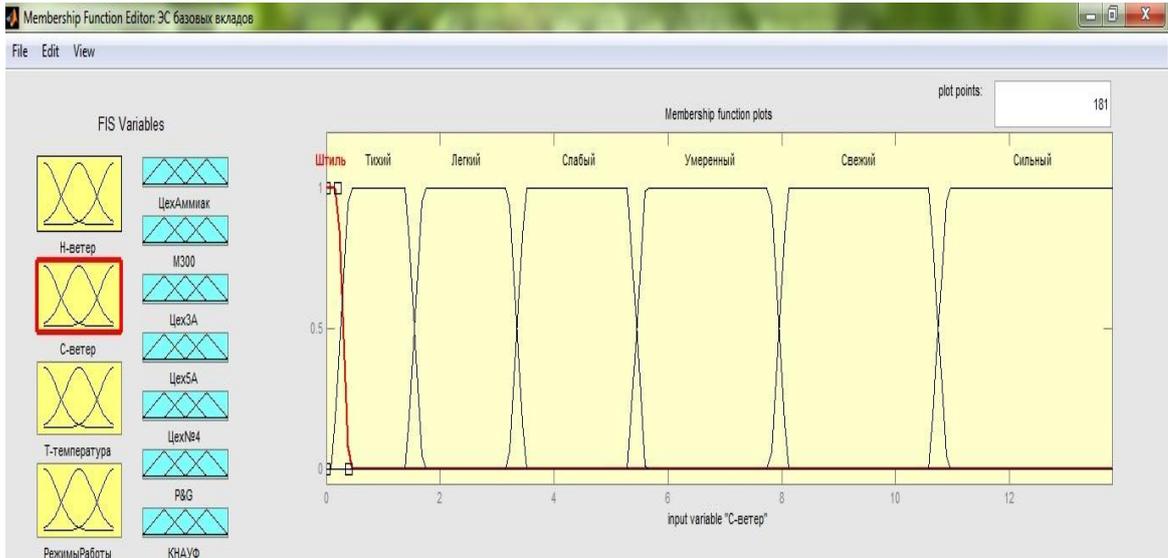


Рисунок 31 - Лингвистическая переменная «скорость ветра»

Аналогично, термы для оставшихся входных переменных. Все крупные предприятия находятся на северной части г.Новомосковска поэтому, для переменной «направление ветра» используются 2 терма «С» - северный и «С-3» - северно западный (см. рисунок 32).

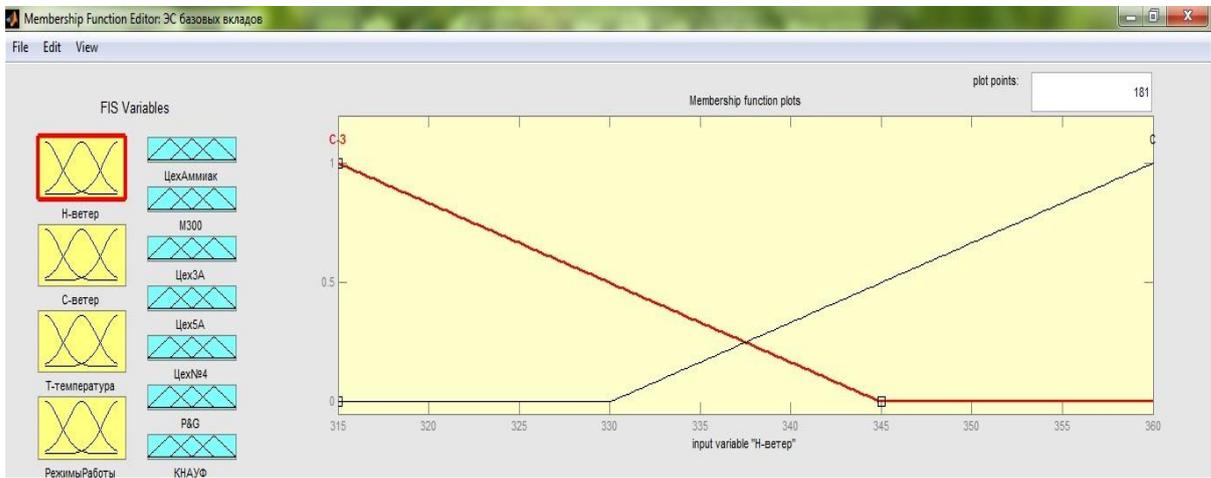


Рисунок 32 - Лингвистическая переменная «направление ветра»

Для переменной «направление ветра» ФП имеют форму треугольников.

На рисунке 33 представлена переменная «Т-температура» с 3 термами «Н» - низкая, «С» - средняя, «В» - высокая».

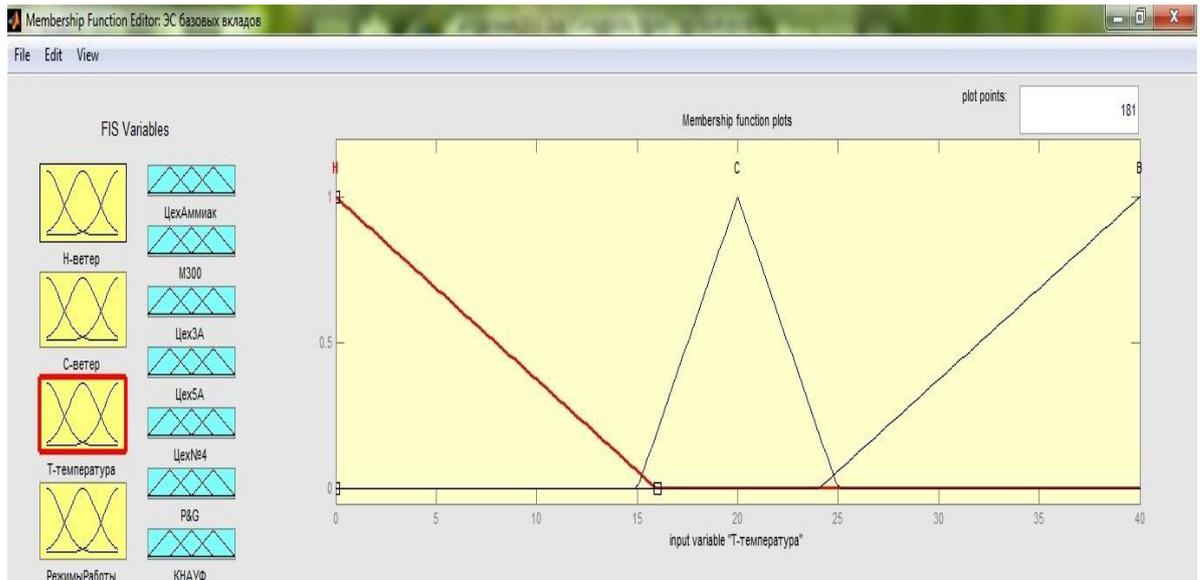


Рисунок 33 - Лингвистическая переменная «Т-температура»

Для переменной «Т-температура» ФП также имеют форму треугольников.

На рисунке 34 представлена переменная «режимы работы» с 4 термами «нормальный режим», «пуск», «останов» и «аварийный режим». Для этой переменной ФП имеют форму трапеции.

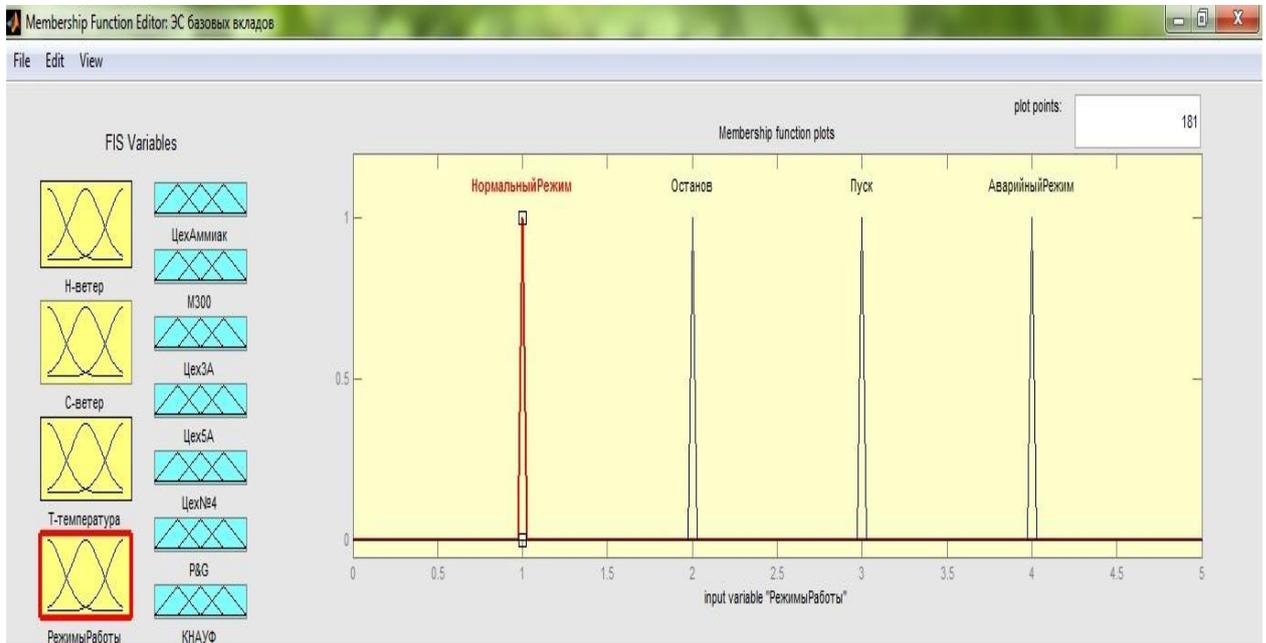


Рисунок 34 - Лингвистическая переменная «режимы работы»

Уточненные вклады экспертами не превышают 10, поэтому базовый вклад предприятий находится в диапазоне [0, 10] и разделен на 9 термов. На рисунке 35

представлена переменная базового вклада «НАК Азот». Термы для остальных предприятий аналогичны.

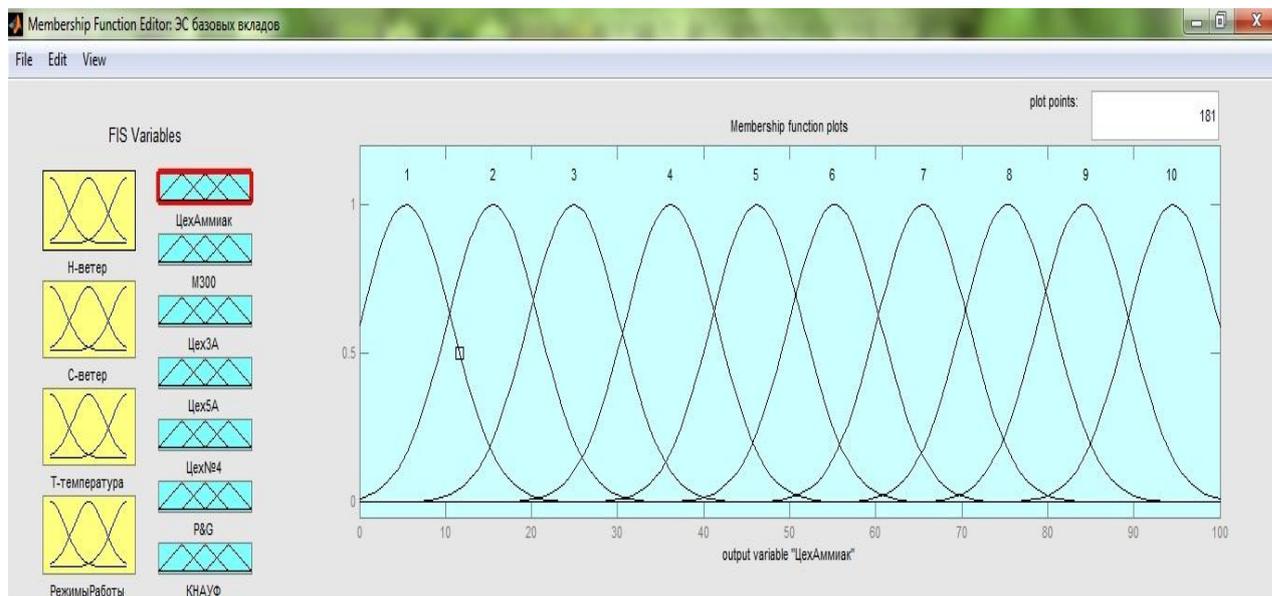


Рисунок 35 - Лингвистическая переменная базового вклада «НАК Азот»

В данном случае для выходных переменных ФП имеют форму Гаусса.

Следующим этапом построения подсистемы определения вклада предприятий является определение набора правил. На рисунке 36 представлено окно редактора продукционных правил вывода подсистемы базовых вкладов.

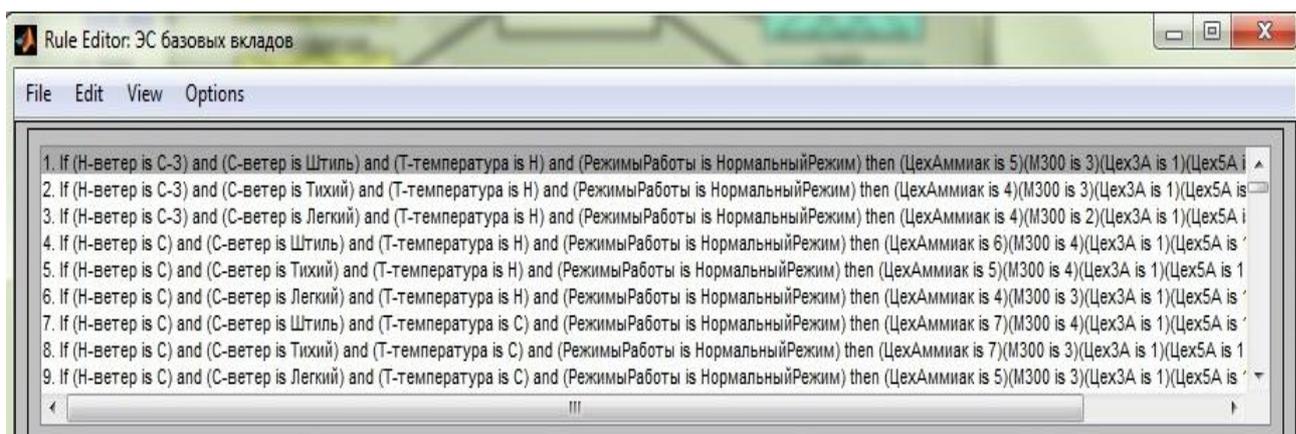


Рисунок 36 - Продукционные правила вывода подсистемы базовых вкладов

Завершающим этапом построения нечеткой системы определения вклада предприятий является задание значений входных переменных (режимы работы предприятий и метеоусловия) и расчет искомого результата (вклад каждого

предприятия), посредством дефаззификации результатов аккумуляции. На рисунке 37 показано окно средства просмотра правил нечеткой системы определения вклада предприятий.

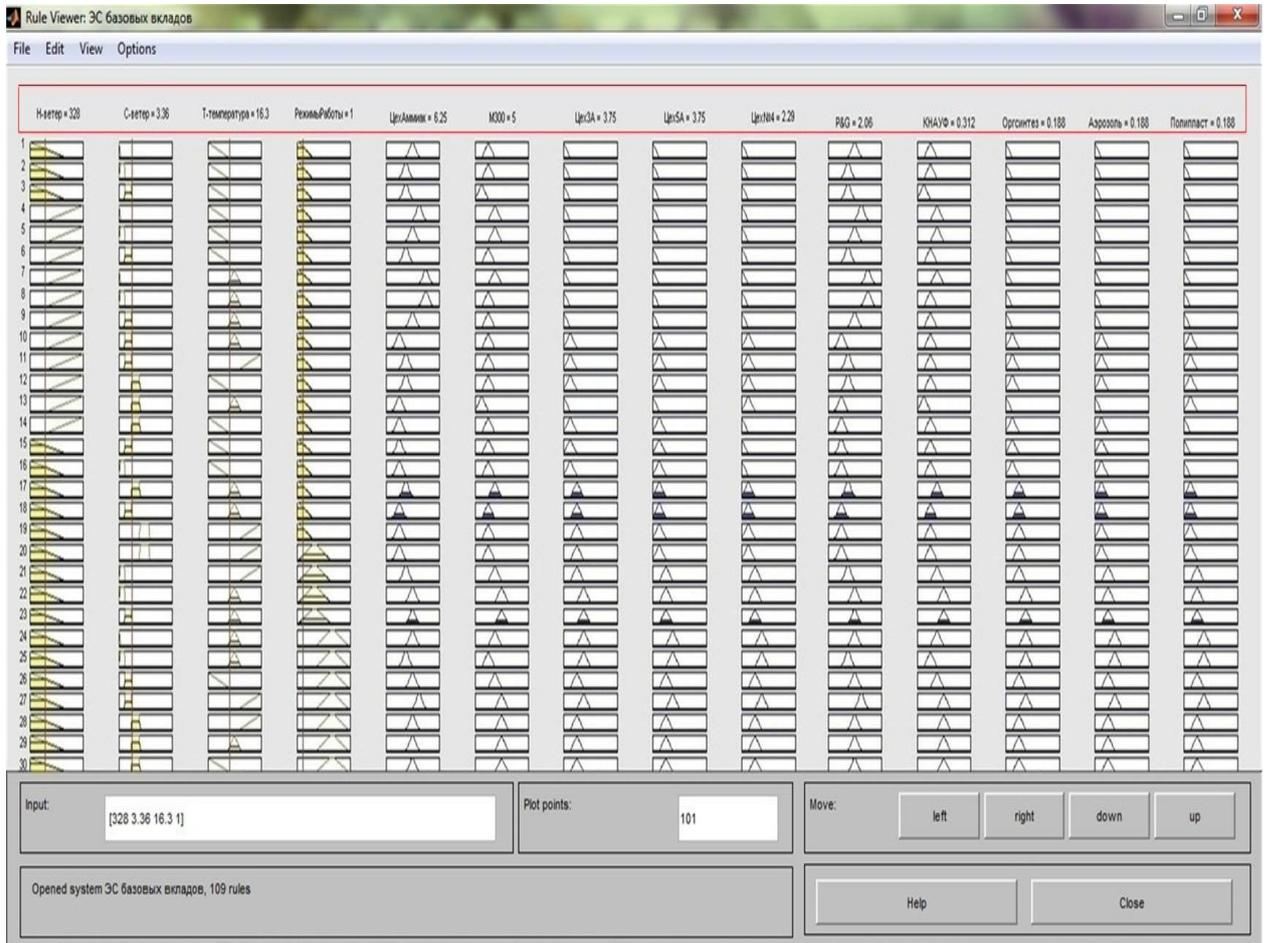


Рисунок 37 - Окно средства просмотра правил вывода

Исходные входные переменные задаются набором красных вертикальных прямых на окне средства просмотра правил нечеткой системы определения вклада предприятий.

Для системы определения вклада предприятий, рассмотренной в данном примере, при входном векторе [328 3.36 16.3 4.75] (направление ветра – 328°, скорость ветра – 3.36 м/с, температура – 16.3 °С, режим работы - нормальный) результат (базовый вклад для предприятий) будет: для производства Аммиака НАК «Азот» 6.25, для цеха М300 НАК «Азот» 5, для цеха 3А НАК «Азот» 3.75, для цеха 5А НАК «Азот» 3.75, для цеха №4 НАК «Азот» 2.29, для «P&G - Новомосковск» 2.06, для КНАУФ-ГИПС-Новомосковск 0.312, для ООО

«Оргсинтез» 0.188, для ООО «Аэрозоль-Новомосковск» 0.188, для ООО «Полипласт» 0.188.

#### 4.3 Подсистема вычисления управляющих воздействий по изменению режимов работы предприятий

Разрабатываемая подсистема вычисления долей сокращения выбросов решает поставленную выше задачу на основе генетического алгоритма в среде Matlab.

Как было сказано выше, необходимо найти минимум функции:

$$\gamma_0 \sum Q_i^{pegl} \cdot q_i \rightarrow \min$$

при условии выполнения следующих ограничений:

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

Для решения поставленной задачи в GATool вычислительной системы Matlab необходимо заполнить следующие поля:

- *Fitness function* это подлежащая оптимизации функция, которая составляется в виде М-файлов функций.

- *Number of variables* это число независимых переменных для целевой функции.

Для получения наилучших результатов обычно проводят расчеты с различными значениями опций. Выбор наилучшего вида значений опций основывается на методе проб и ошибок. На рисунке 38 показана панель опций (*Options*), которая позволяет устанавливать различные настройки для работы генетических алгоритмов.

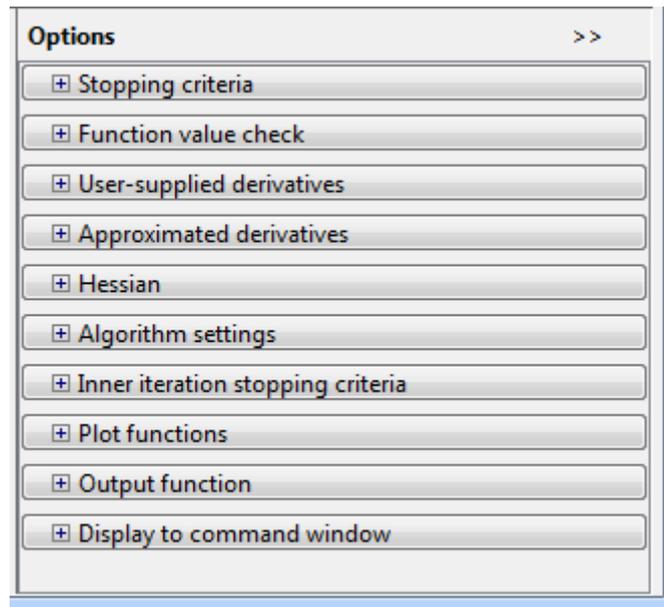


Рисунок 38 - Панель опций генетического алгоритма

Основными параметрами в GATool вычислительной системы Matlab являются:

- *Population* (популяция);
- *Fitness Scaling* (масштабирование);
- *Selection* (оператор отбора);
- *Reproduction* (оператор репродукции);
- *Mutation* (оператор мутации);
- *Crossover* (оператор скрещивание);
- *Migration* (перенесение особей между популяциями);
- *Algorithm settings* (настройка алгоритма);
- *Hybrid function* (гибридная функция);
- *Stopping criteria* (критерий остановки алгоритма);
- *Plot Functions* (вывод различной дополнительной информации по ходу работы генетического алгоритма);
- *Output function* (функция выходных переменных);
- *Display to command window* (набор информации для вывода в командное окно);

- *User function evaluation* (вычисление значений оптимизированной и ограничивающей функций).

На таблице 9 представлены выбросы основных источников загрязнения комплекса промышленных предприятий.

Таблица 9 - 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

Для выполнения задачи оптимизации следует выполнить команду в окне команд MATLAB (рисунок 39):

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.
fx >> ObjectiveFunction = @optimization_fitness;
nvars = 10; % Number of variables
LB = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]; % Lower bound
UB = [0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2]; % Upper bound
c=2;u1=2.8;u2=5.2;u3=12.8;u4=9;u5=4.7;u6=9.7;u7=7.7;u8=6.7;u9=8.7;u10=9.7;
ConstraintFunction = @(q)optimization_constraint(q,c,u1,u2,u3,u4,u5,u6,u7,u8,u9,u10);
options = gaoptimset('MutationFcn',@mutationadaptfeasible);
options = gaoptimset(options,'PlotFcns',{@gaplotbestindiv,@gaplotdistance},'Display','iter');
[q] = ga(ObjectiveFunction,nvars,[],[],[],LB,UB,ConstraintFunction,options)

X0 = [0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1]; % Start point (row vector)
options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',X0);
[q] = ga(ObjectiveFunction,nvars,[],[],[],LB,UB,ConstraintFunction,options)
  
```

Рисунок 39 - Команда оптимизации в окне команд Matlab

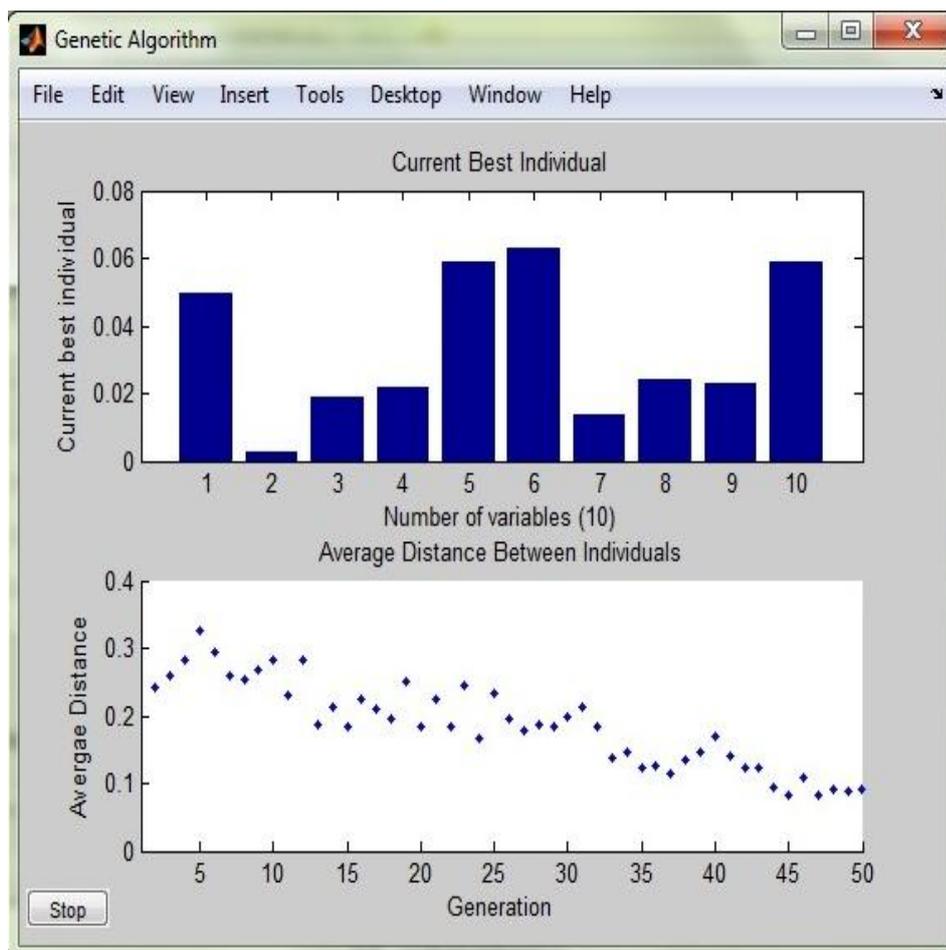


Рисунок 40 - Графический анализ решения

В результате оптимизации получим графический анализ решения (см. рисунок 40). На верхней диаграмме изображена наилучшая «особь», которая в данном случае является оптимальными долями сокращения выбросов соответственно для предприятий КНАУФ-ГИПС-Новомосковск, «P&G - Новомосковск», ОАО НАК «Азот», ООО «Оргсинтез», ООО «Аэрозоль-Новомосковск», ООО «Полипласт». На нижней диаграмме показано изменение расстояния между «особями» в «поколениях» (итерациями). Из этого графика хорошо видно, что расчет по генетическому алгоритму практически прекращается после выполнения примерно 38 поколений (итераций), т.е. нет заметного улучшения в целевой функции после 38 «поколений».

Final point									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,06	0,02	0,065	0,015	0,025	0,06	0,02	0,02	0,01	0,044

Рисунок 41 - Вычисленные доли сокращения выбросов для предприятий

На рисунке 41 представлены доли сокращения выбросов для предприятий при условии, что измеренная концентрация NO в контрольной точке в 2 раза превышает ПДК. Вычисленные по разработанной методике доли сокращения выбросов ЗВ 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 %. Разрабатываемая система рекомендует этим предприятиям именно в таком соотношении снизить нагрузку, до тех пор, пока концентрация ЗВ не станет ниже ПДК, т.е. придет в норму.

#### 4.4 Выбор оптимальных параметров и структуры автоматизированной системы снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферу

Для проверки работоспособности предложенного метода выбора оптимальных параметров и структуры интеллектуальной системы снижения валового выброса было произведено имитационное моделирование работы системы управления химико-технологическими предприятиями промышленного комплекса г. Новомосковска Тульской области, проведен анализ и сравнение результатов моделирования с данными многолетних наблюдений за прошедшие 10 лет. В итоге сделаны выводы о том, что зимой для использования в интеллектуальной системе снижения валового выброса лучше использовать МД центра тяжести, а летом - метод центра площади, в 90% случаев переменные

режимов работы имеют форму трапеции, а в 88% случаев переменные метеоусловий имеют форму треугольника.

Определим степени влияния химико-технологических предприятий г. Новомосковска Тульской области на уровень изменения максимального отклонения концентрации загрязняющих веществ  $\Delta_{max}$  от ПДК и уровень изменения времени  $t_p$ , за которое концентрация загрязняющих веществ снизится до ПДК. Результаты расчета степеней влияния предприятий на уровень изменения  $t_p$  и  $\Delta_{max}$  в случае нормального режима работы, направления ветра «северо-западный», скорости ветра «легкий», температуры 20 °С представлены в таблице 10.

Таблица 10 - Уровень изменения  $t_p$  и  $\Delta_{max}$

Наименование объекта	Изменение $t_p$	Изменение $\Delta_{max}$
ОАО «КНАУФ - ГИПС-Новомосковск»	90,4	67,3
ООО «Проктер энд Гэмбл»	87,7	60,4
ООО «Оргсинтез»	79,6	18,9
ООО «Аэрозоль-Новомосковск»	15,3	9,1
ООО «Полипласт»	12,4	14,5
Производство Аммиака - НАК «Азот»	72,8	75,7
Цех 3А - НАК «Азот»	63,2	44,7
Цех 5А - НАК «Азот»	65,4	40,2
Цех №4 - НАК «Азот»	60,9	55,8
Цех М300 - НАК «Азот»	50,5	48,6

Из таблицы 10 следует, что ООО «Аэрозоль-Новомосковск» и ООО «Полипласт» слабо влияют на уровень изменения  $t_p$  и  $\Delta_{max}$  при указанных условиях. Следовательно, при данных условиях можно не учитывать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от ООО «Аэрозоль-Новомосковск» и ООО «Полипласт» в процессе выработки управляющих воздействий по снижению выбросов в атмосферу.

Многие ошибки и неадекватности можно выявить только в процессе эксплуатации интеллектуальной системы снижения валового выброса в реальной ситуации. Причины ошибок экспертов могут быть разными, например, профессиональные некомпетентность эксперта или дефекты органов чувств эксперта и его неординарные психические состояния и т.п. Для минимизации ошибок экспертов при разработке разработанной системы управления в качестве экспертов выбраны работники предприятий и контролирующих органов, сотрудники института кафедры БЖД и специалисты, защитившие по данной тематике. Общее количество экспертов составило больше 20.

Анализ результатов расчета степеней влияния предприятий химической технологии города Новомосковск Тульской области на уровень изменения максимального отклонения концентрации загрязняющих веществ  $\Delta_{max}$  от ПДК и уровень изменения времени  $t_p$ , за которое концентрация загрязняющих веществ снизится до ПДК показал, что применение данного метода сократило число контуров автоматизированной системы управления предприятиями промышленного комплекса города Новомосковск Тульской области на 20%, а это в свою очередь упростило расчет управляющих воздействий по генетическому алгоритму и сократило общее время расчета на 35% [142].

#### 4.5 Подсистема передачи информации о рассчитанных управляющих воздействиях

##### 4.5.1 Настройка серверной части

Проанализировав все варианты, мы пришли к выводу, что на сегодняшний день самый дешевый вариант настройки VPN сервера является операционная система Windows 2000/2003 Server, поэтому мы её выбрали. Для того чтобы начать настройку сервера VPN нужно запустить службу «Маршрутизация и удаленный доступ» и зайти в свойства сервера как на рисунке 42.

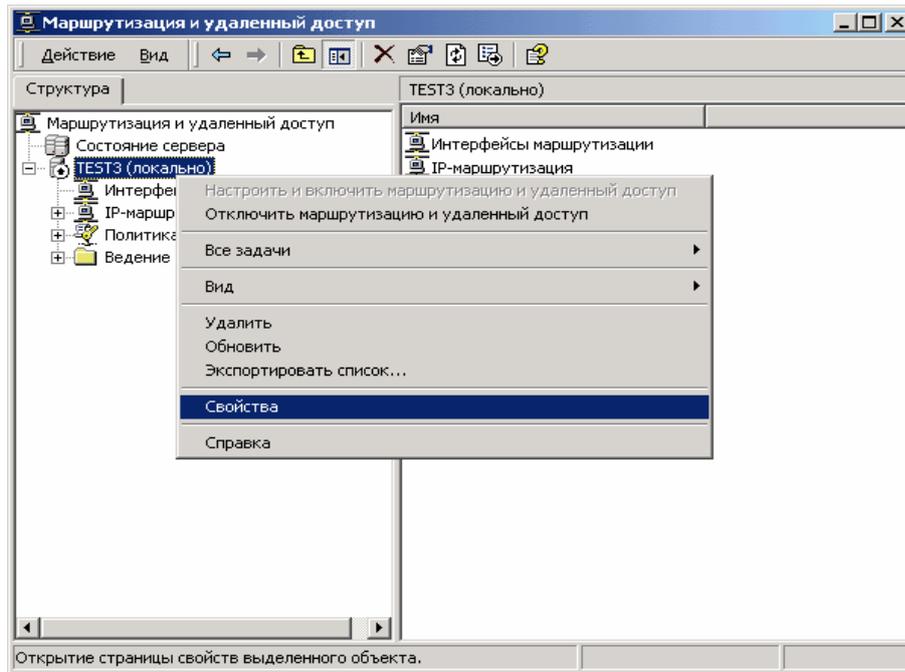


Рисунок 42 - Маршрутизация и удаленный доступ

Выставить параметр "локальной сети и вызова по требованию", а также "сервер удаленного доступа", см. рисунок 43.

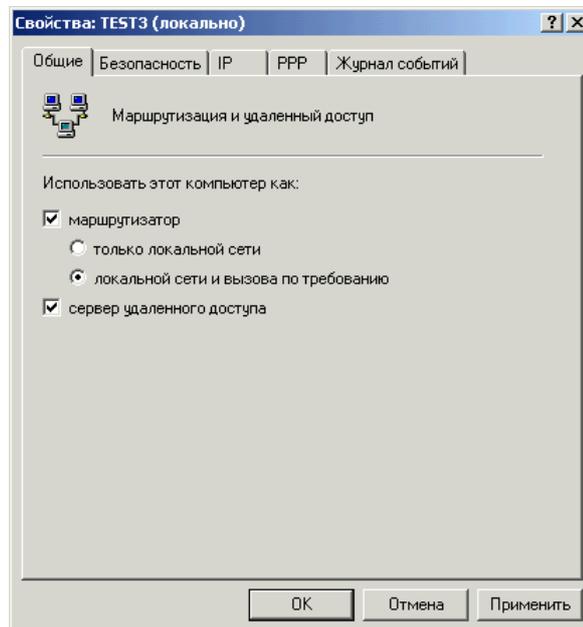


Рисунок 43 - Свойства сервера

Зайти во вкладку "IP", выбрать название внутреннего адаптера и создать статический пул адресов отличного от внутреннего, который будет присваиваться VPN клиентам. Затем, нажать на кнопку "Добавить", см. рисунок 44.

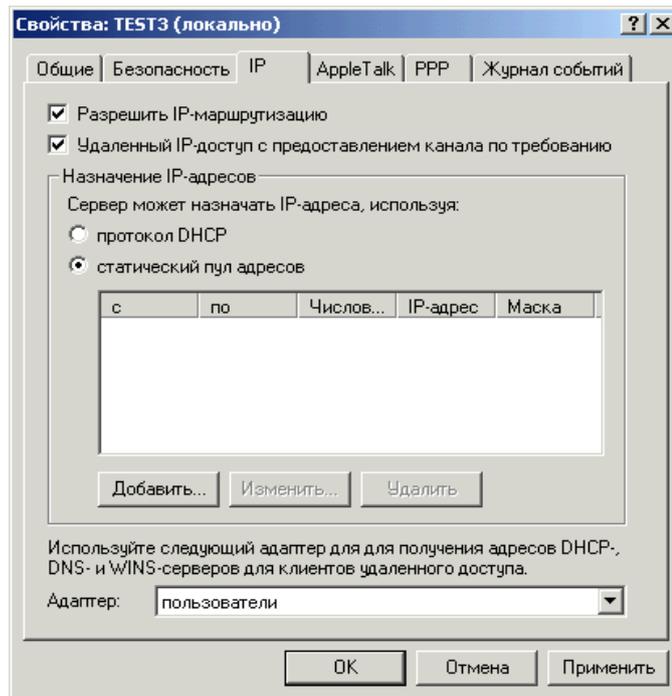


Рисунок 44 - Вкладка "IP"

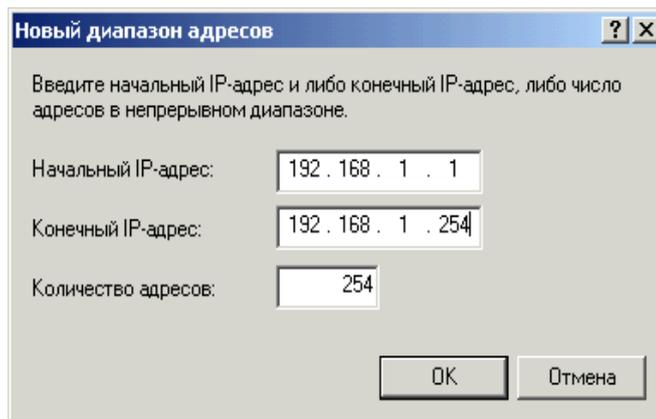


Рисунок 45 - Новый диапазон адресов

Далее во вкладке "PPP" снимать галку с "Многоканальные подключения" для ускорения работы Интернета.

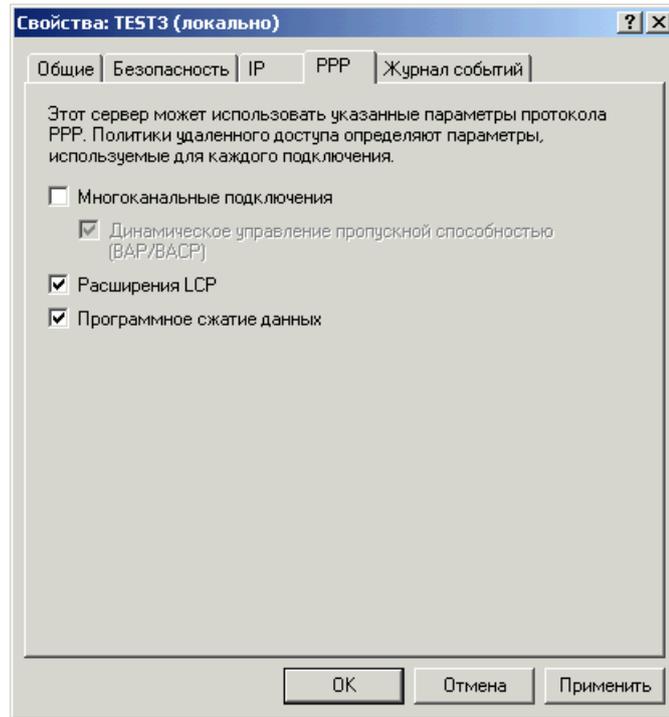


Рисунок 46 - Вкладка "PPP"

Во вкладке "Журнал событий" выставить параметр "вести журнал всех событий", см. рисунок 47.

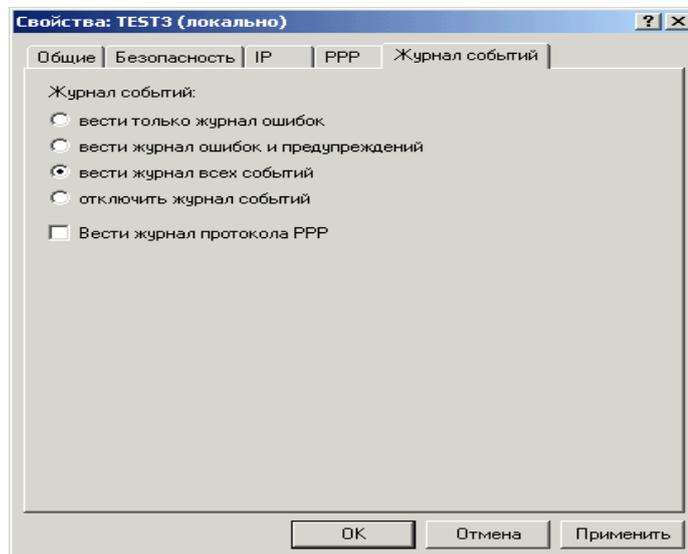


Рисунок 47 - "Журнал событий"

Следующий шаг это конфигурирование портов. Зайти в свойства "Порты". По умолчанию RRAS создаст 5 "PPTP", 5 "L2TP" и 1 "Прямой параллельный". Для стабильной и устойчивой работы сервера необходимо удалить ненужные

порты и создать порты, количество которых больше чем одновременных подключений.

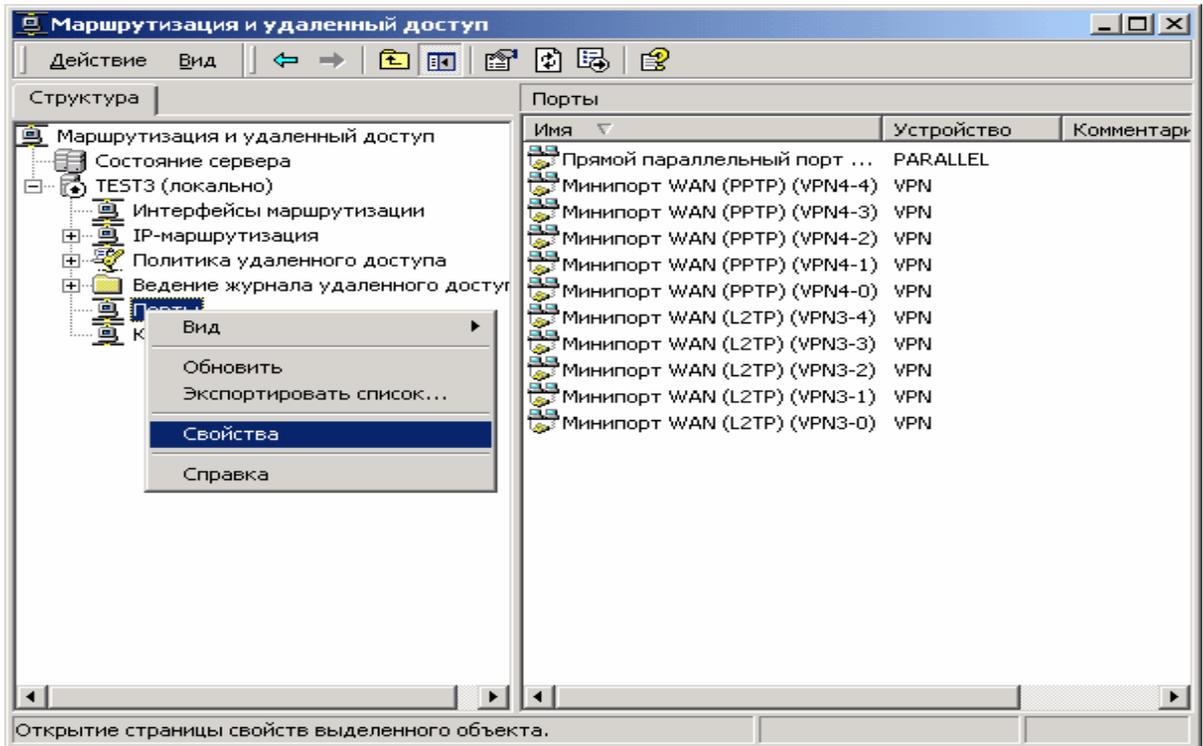


Рисунок 48 - Маршрутизация и удаленный доступ

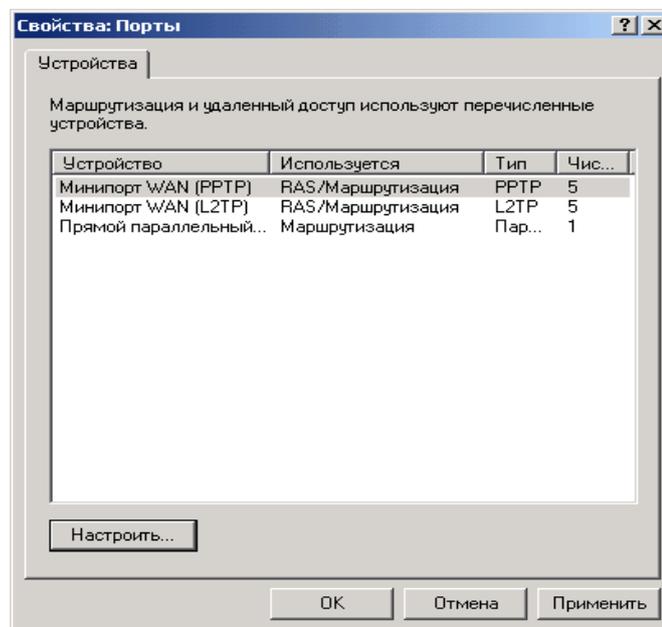


Рисунок 49 - Свойства портов

Удалять порты WAN(L2TP)

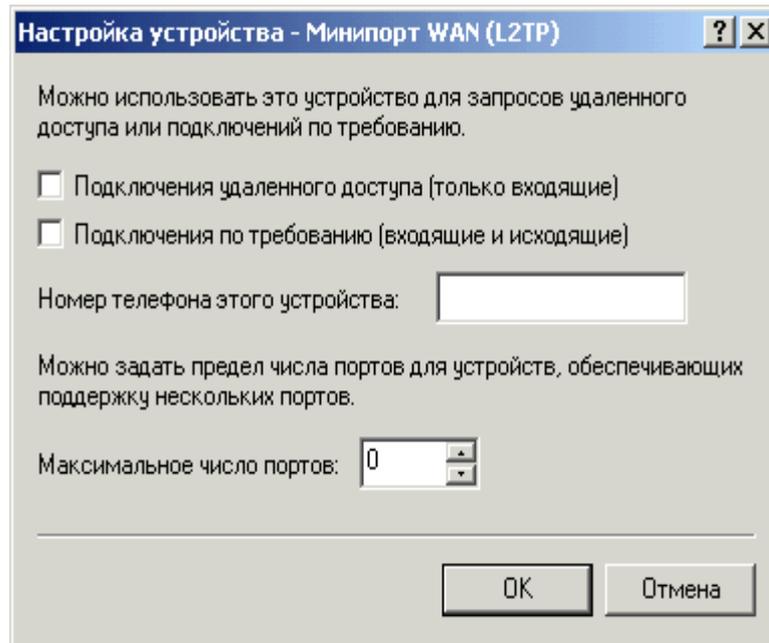


Рисунок 50 - Минипорт WAN(L2TP)

Выставить максимальное число PPTP портов, см. рисунок 51.

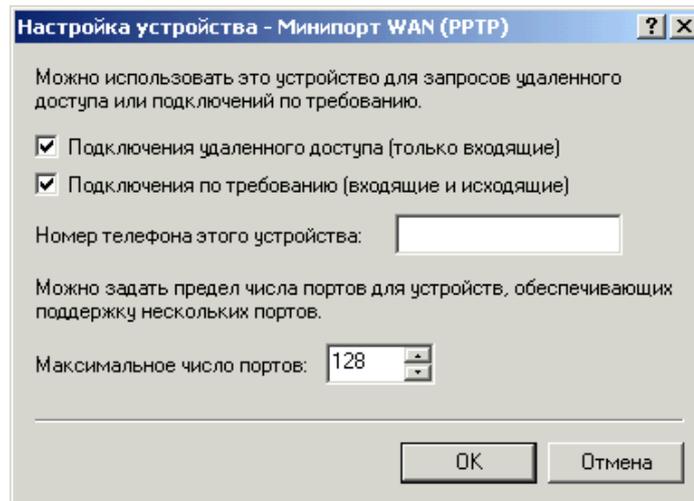


Рисунок 51 - Минипорт PPTP

В итоге получить следующее окно см. рисунок 52.

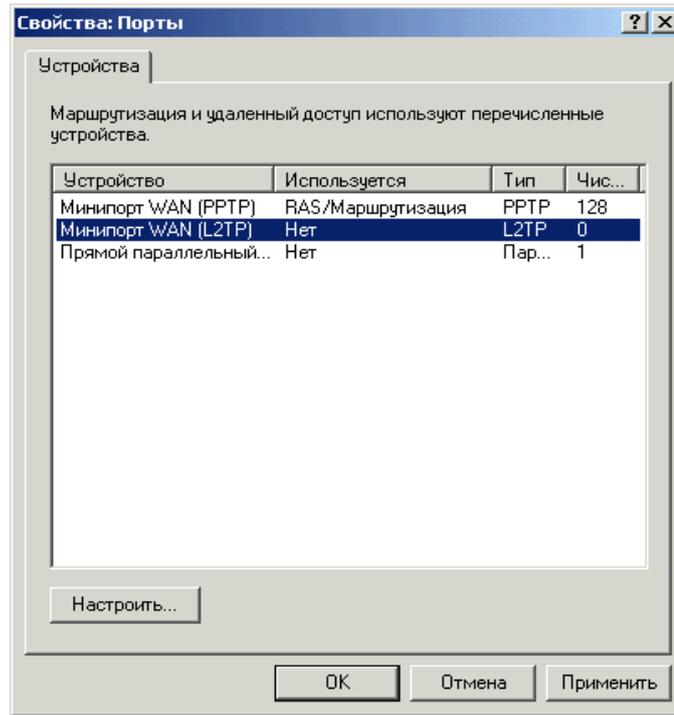


Рисунок 52 - Свойства портов

Чтобы создать нового пользователя необходимо зайти в "Управление компьютером", далее в "Локальные пользователи и группы", "Пользователи".

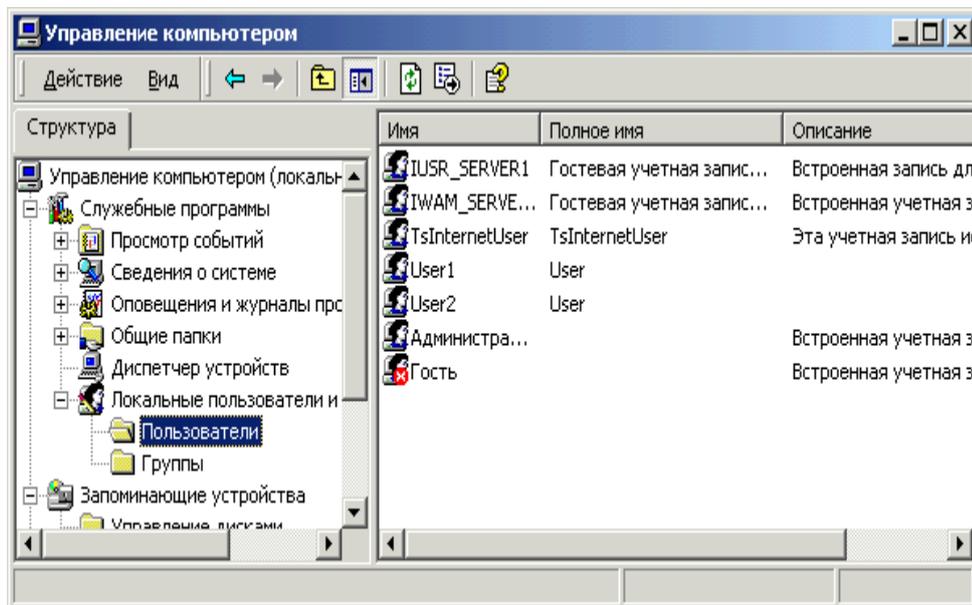


Рисунок 53 - Управление компьютером

Имена пользователей должны совпадать с именами клиентов заведенных в учетной записи, далее зайти во вкладку "Входящие звонки".

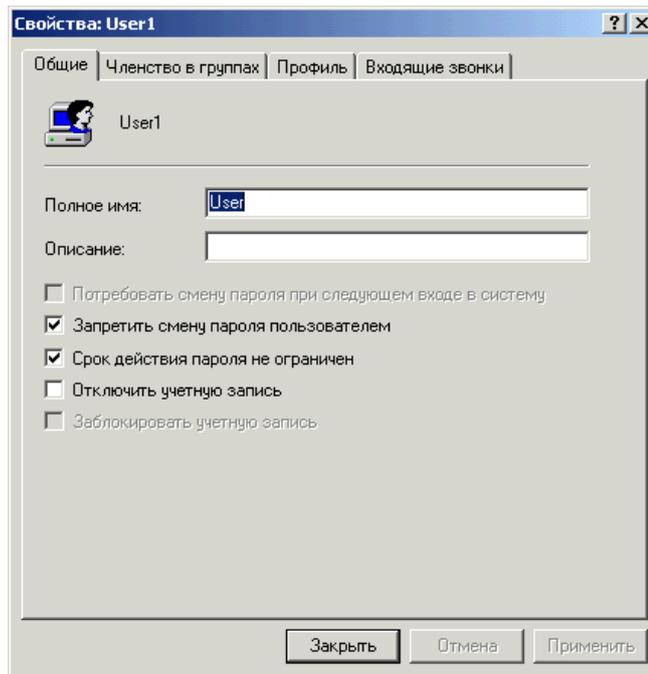


Рисунок 54 - Свойства клиентов

Удаленный доступ тестового пользователя разрешится в пункте "Разрешение на удаленный доступ (VPN или модем)". А для других пользователей рекомендованно указать их IP адрес в пункте "Статический IP-адрес пользователя".

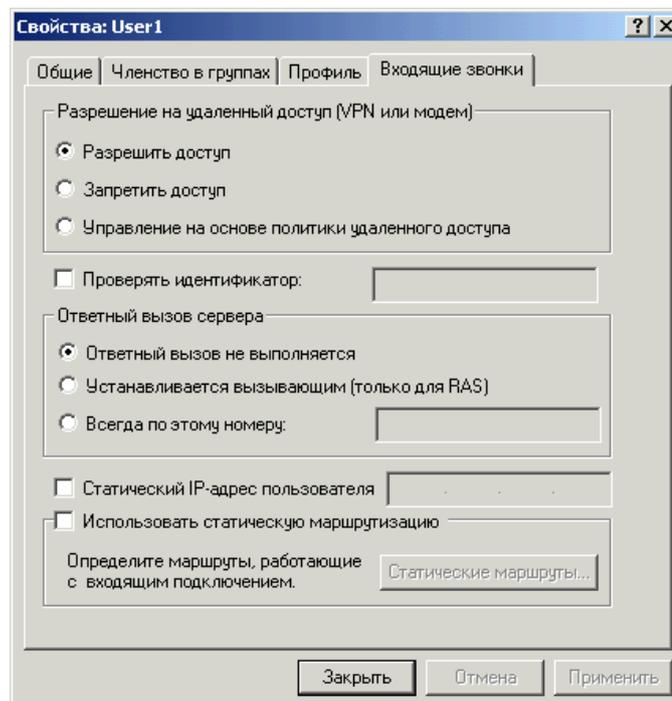


Рисунок 55 - Входящие звонки

Для создания политики удаленного доступа необходимо зайти в свойства "Разрешить доступ, если разрешены входящие подключения" как на рисунке 56.

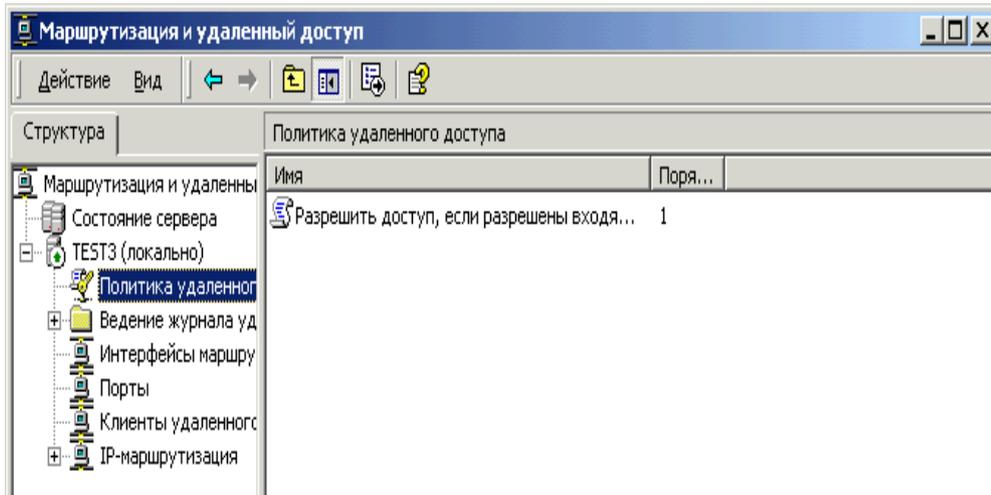


Рисунок 56 - Маршрутизация и удаленный доступ

Нажать на кнопку "Изменить профиль"

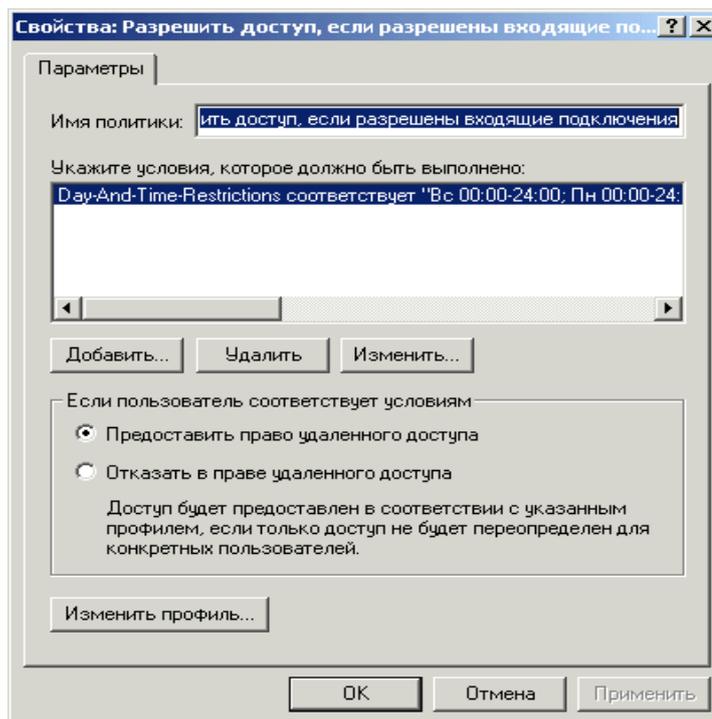


Рисунок 57 - Свойства "Разрешить доступ, если разрешены входящие подключения»

На вкладке «Проверка подлинности» необходимо выбрать два параметра проверки подлинности MS-CHAP для ОС Windows и CHAP для других ОС.

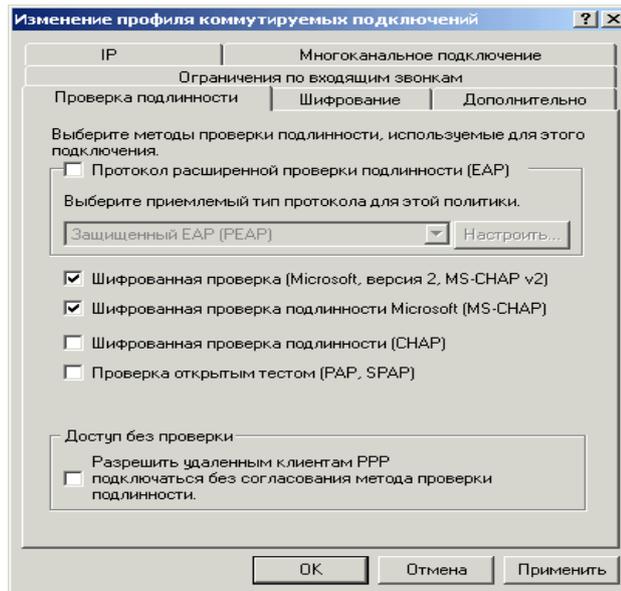


Рисунок 58 - Вкладка "Проверка подлинности"

В последний шаг зайти на вкладку "Шифрование" и выбрать параметры шифрования (см. рисунок 59).

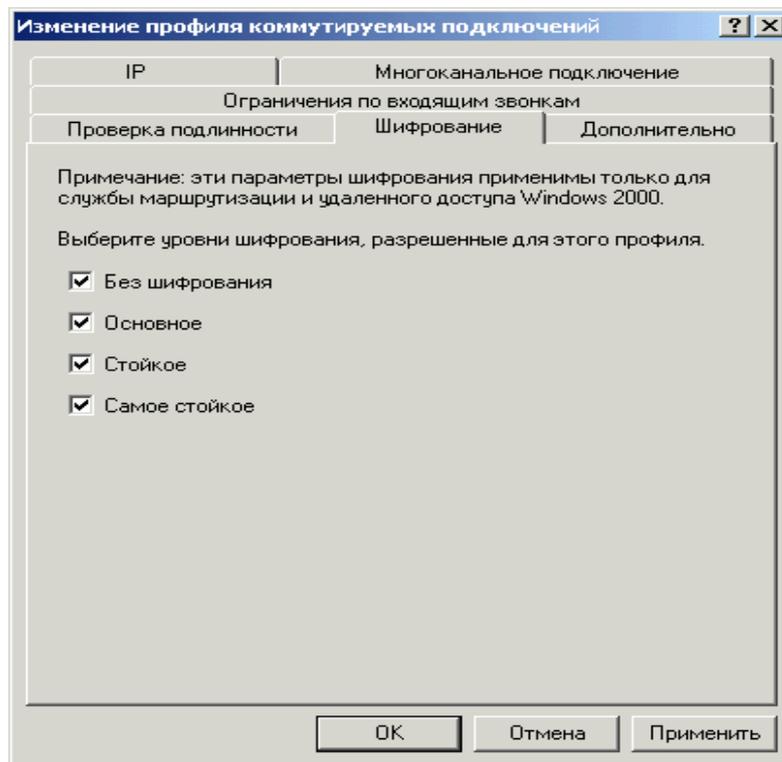


Рисунок 59 - Вкладка "Шифрование"

Все произведенные настройки серверной части VPN должны быть идентичны с настройкой клиентской части VPN.

#### 4.5.2 Настройка клиентской части

В данном случае отображается настройка клиентской части VPN для операционных систем Windows XP. В других операционных системах от корпорации Microsoft процедура настройки выполняется аналогичным образом.

В первом шаге необходимо создать новое подключение-VPN с помощью "Создание нового подключения" в рисунок 60.

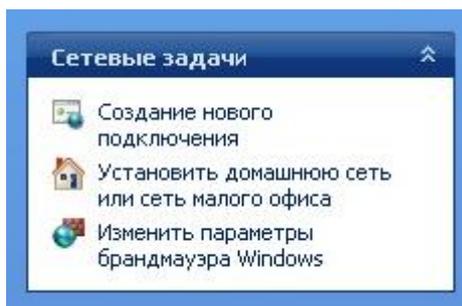


Рисунок 60 - Создание нового подключения

Откроется "Мастер новых подключений", см. рисунок 61.

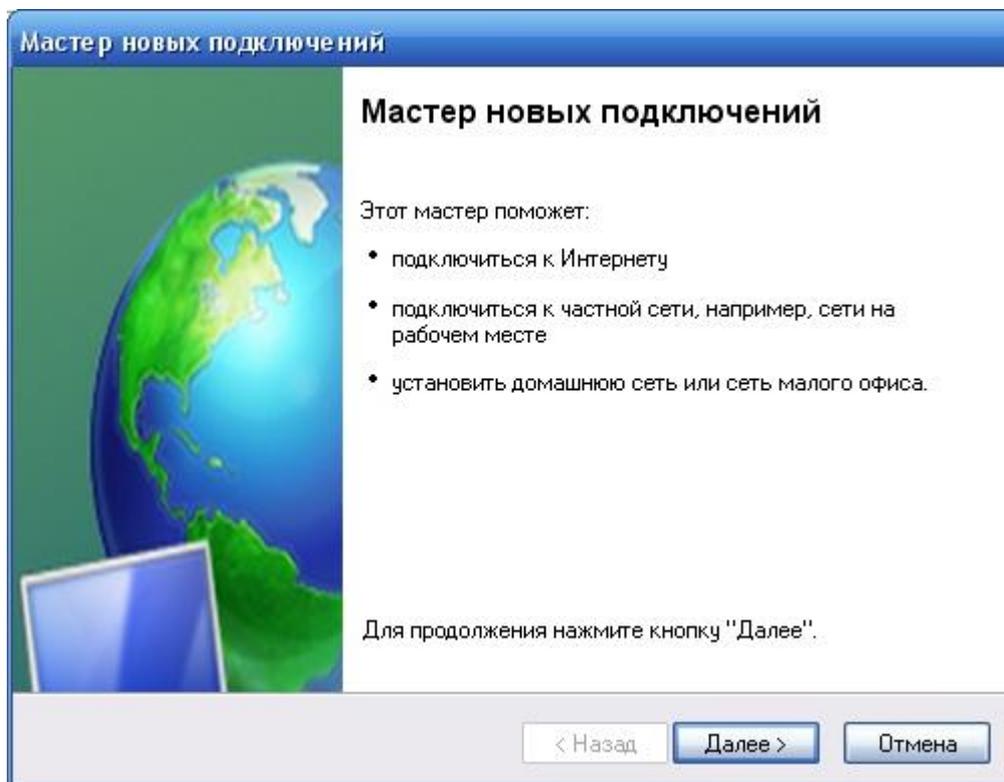


Рисунок 61 - Мастер новых подключений

После нажатия на кнопку "Далее" выбрать "Подключить к сети на рабочем месте", см. рисунок 62.

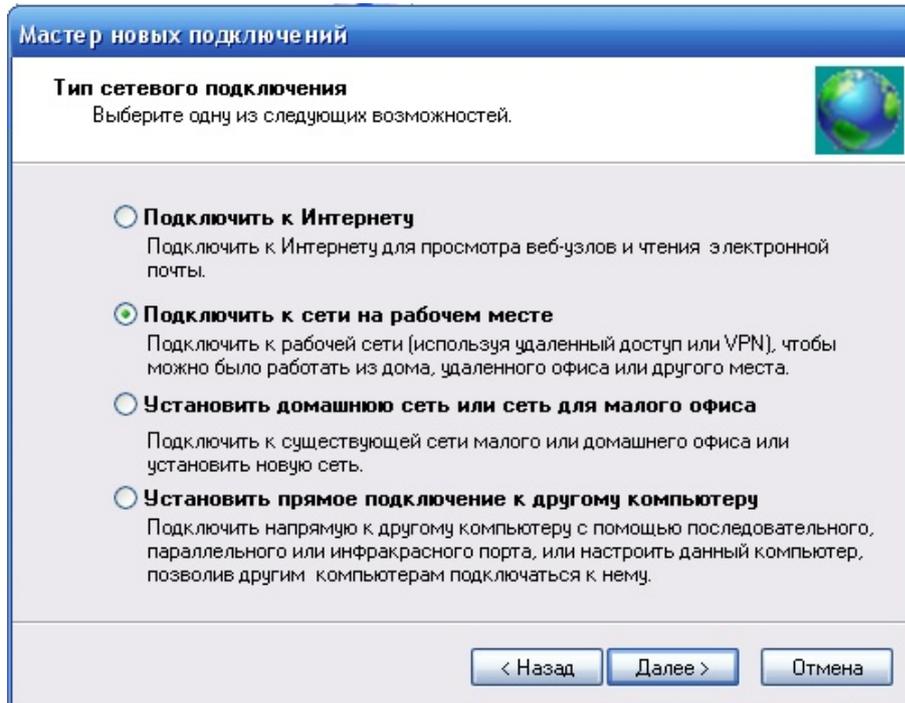


Рисунок 62 - Подключить к сети на рабочем месте

Затем в окне "Мастер новых подключений" выбрать "Подключение к виртуальной частной сети".

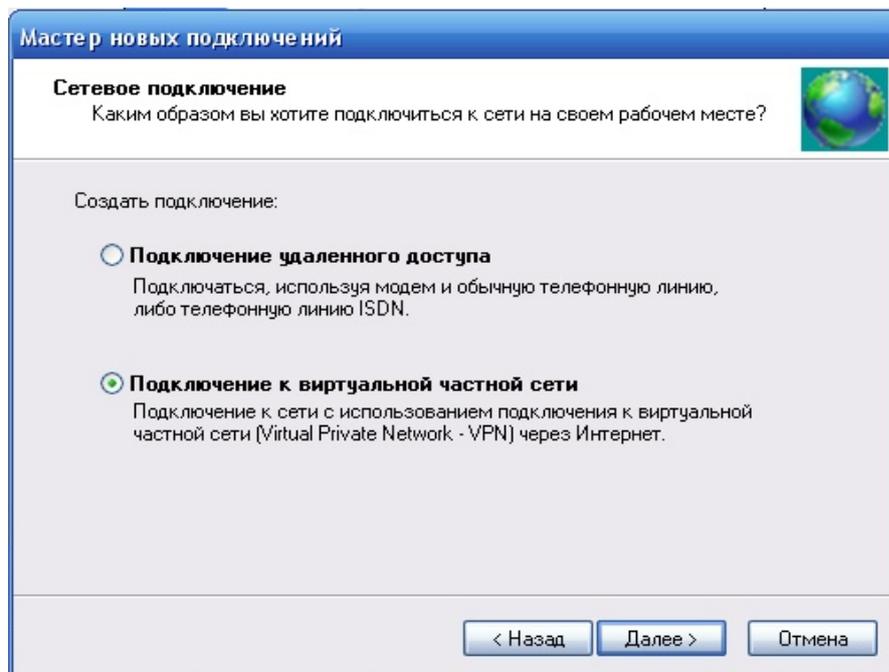


Рисунок 63 - Подключение к виртуальной частной сети

Задать название соединения, например " NAK-Azot " для НАК «Азот».  
Аналогично для других предприятий тоже задать название соединения.

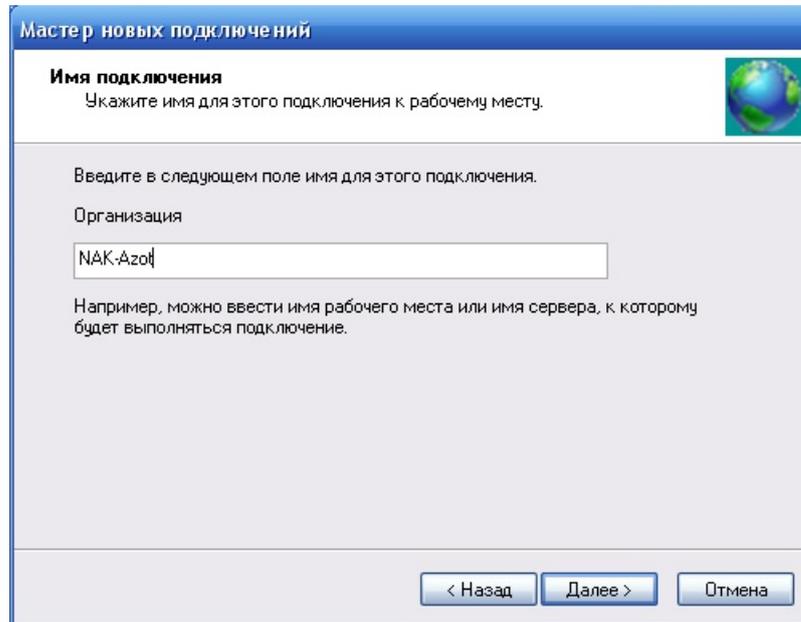


Рисунок 64 - Мастер новых подключений - Организация

После нажатия на кнопку "Далее" необходимо указывать адрес VPN сервера. В данном случае это "vpn.novomoskovsk.ru".

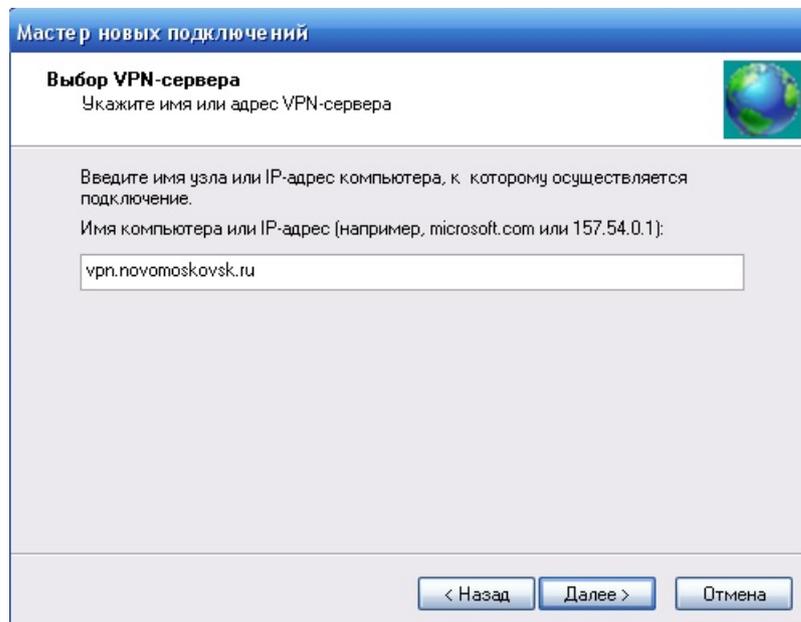


Рисунок 65 - Мастер новых подключений - Выбор VPN-сервера

В следующем шаге необходимо настроить новое подключение-VPN, которое создано наверху.

После нажатия на кнопку "Завершить" в "Мастер новых подключений" появляется диалоговое окно подключения для VPN, см. рисунок 66.

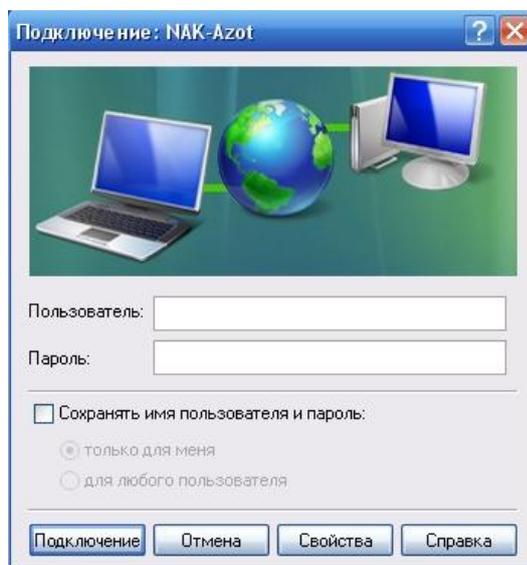


Рисунок 66 - Окно "Подключение"

Нажать на клавишу "Свойства". В открывшемся окне на закладке "Общие" можно исправить VPN сервер, если он указан неверно или изменился. Он должен быть "vpn.novomoskovsk.ru", см. рисунок 67.

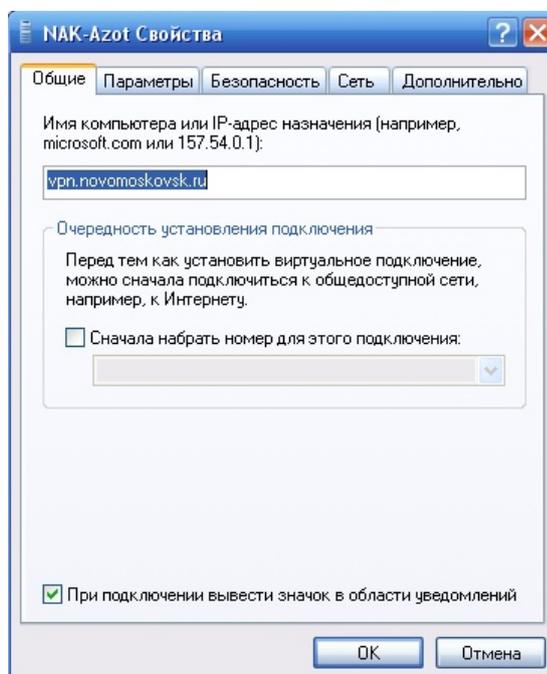


Рисунок 67 - Закладка "Общие"

На закладке "Параметры" увеличивать число повторений набора номера до 100, см. рисунок 68.

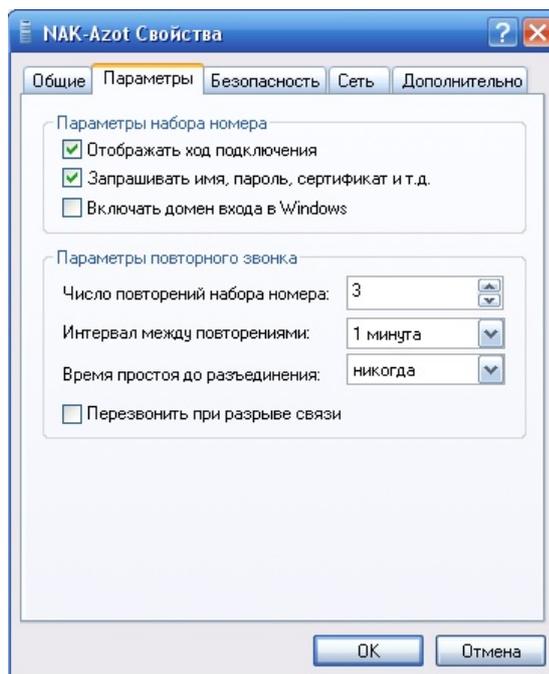


Рисунок 68 - Закладка "Параметры"

Настройка безопасности осуществляется на закладке "Безопасность" (см. рисунок 69).

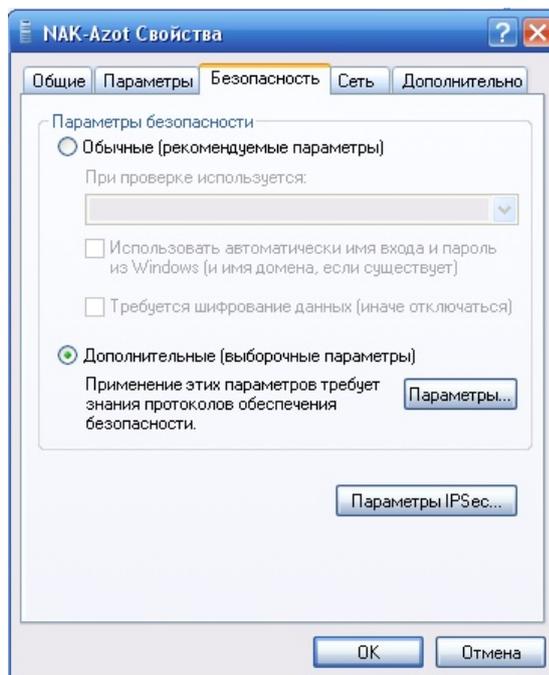


Рисунок 69 - Закладка "Безопасность"

Нажать на кнопку "Параметры" в меню "Дополнительные (выборочные параметры)" и настраивать дополнительные параметры безопасности, см. рисунок 70.

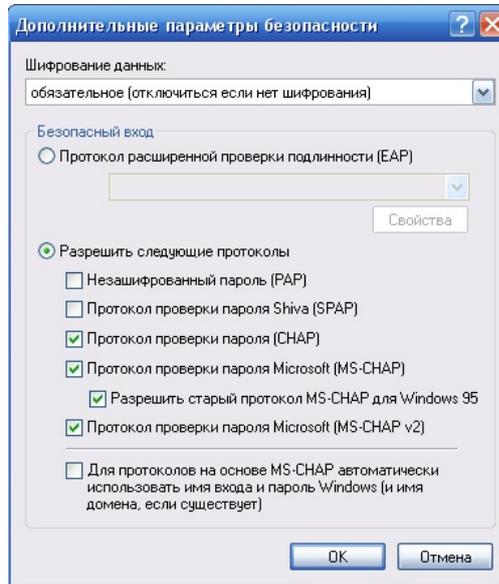


Рисунок 70 - Дополнительные параметры безопасности

Нажать на кнопку "ОК" и переходить к следующей закладке "Сеть". В этой закладке выбрать тип VPN "PPTP VPN", см. рисунок 71.

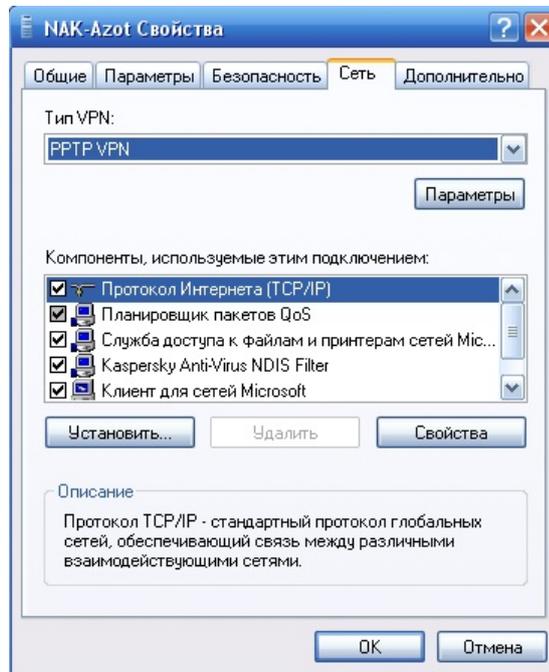


Рисунок 71 - Закладка "Сеть"

После нажатия на кнопку "ОК" соединение VPN создано и настроено. Вводить логин и пароль в диалоговом окне подключения клиента, см. рисунок 72.

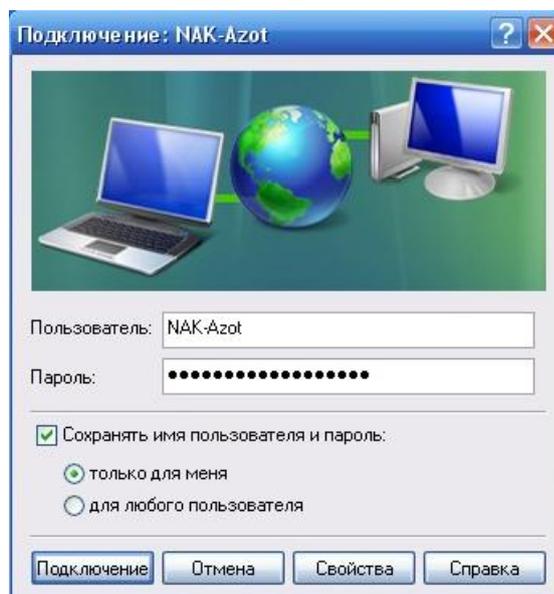


Рисунок 72 - Окно "Подключение"

После нажатия на кнопку "Подключение" связь между клиентом VPN и сервером VPN соединена. Внутри туннеля VPN шифруются все данные, которые передаются в Интернет и приходят из Интернета.

## 4.6 Обсуждение результатов и рекомендации

### 4.6.1 Общие рекомендации

Химические предприятия относятся к экологически опасным производствам. Это предъявляет повышенные требования для химических предприятий к совершенствованию технологии и модернизации оборудования, к уровню автоматизации, к системе управления непрерывным производством и т.п. Постоянное совершенствование технологии и модернизация оборудования на химических предприятиях позволяют снижать потерь вредных веществ на всех стадиях технологического процесса.

На почти всех предприятиях химической промышленности установлена система фильтров для улавливания аэрозолей, очистки выбрасываемых газов от технологических процессов, аппаратов. В течение определенного времени эти фильтры устареют и начнут неэффективно работать. Но замена этих фильтров сильно влияет на все процессы работы предприятий. Поэтому необходимо использовать дополнительные фильтры на выбросе, чтобы обеспечить экологическую безопасность.

Выше сказано, что комплекс промышленных предприятий находится на значительном удалении от жилой зоны, а измерительная система контроля загрязнения находится в этой жилой зоне. Поэтому измерение концентрации ЗВ в измерительной системе неактуально и своевременно не отражает изменение режимов работы предприятий. Поэтому предлагается переместить полностью или частично измерительную часть на территории комплекса промышленных предприятий. В таком случае интеллектуальная система снижения валового выброса будет эффективнее и точнее выработывает рекомендации предприятиям с целью обеспечения оптимального качества воздуха.

Существует «экологический» конфликт интересов проверяющих уполномоченных органов и производителей. Предприятие хочет получить максимум чистой приведенной стоимости и минимум выставленных ему управляющим органом экологических штрафов. Система расчета штрафов должна быть достаточно гибкая. Их можно было бы корректировать с учетом реальных различий между схожими нарушениями. Выполнение рекомендаций, выработанных интеллектуальной системой управления предприятиями промышленного комплекса, поддержит принятие решений по снижению уровня экологических штрафов. Если нарушитель имеет высокую степень выполнения рекомендаций по системе управления предприятиями промышленного комплекса (степень сотрудничества/отказа сотрудничать с контрольно-надзорным органом), то он имеет право на снижение размера штрафа и платы за загрязнением окружающей среды. В целом, чем скорее после выявления нарушения нарушитель

начал принимать корректирующие меры и чем полнее эти корректирующие меры, тем более значительное сокращение штрафа следует рассмотреть.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе В курсах: «Экология», «Безопасность жизнедеятельности», «Интеллектуальные системы», «Автоматизация производственных процессов» и т.п.. Методика создания интеллектуальной системы снижения валового выброса позволит студентам приобрести практические навыки по моделированию распространения ЗВ в атмосфере и проведению расчетов вклада источников в суммарную приземную концентрацию ЗВ средствами нечеткой логики, расчета оптимальных долей изменения нагрузки предприятий в соответствии с их вкладами и получить экологические и метеорологические параметры, необходимые для практических занятий, выполнения курсовых и дипломных проектов и работ.

#### 4.6.2 Вспомогательные рекомендации предприятиям по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Вспомогательные рекомендации имеют нестандартный характер и применяются нерегулярно, в зависимости от ситуации. Эти рекомендации используются как советы и консультации для предприятий при управлении экологической безопасностью.

В первой очереди необходимо рассматривать рекомендации по сокращению выбросов, не связанные со снижением объемов производства и с существенными изменениями технологического режима.

В случае невозможно обеспечить необходимое снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха региона, то рассматриваются рекомендации, связанные с остановкой некоторых второстепенных производств. Если, согласно предупреждению, концентрация какого-либо ЗВ в атмосферном воздухе за требуемый период времени будет ниже предельно допустимой, то рекомендации

по регулированию выбросов не проводятся. В этом случае необходимо контролировать соблюдение установленных нормативов выбросов.

В зависимости от расчета долей сокращения выбросов выдаются рекомендации по-разному, с учетом оценки экспертов.

В случае доли сокращения выбросов до 10% на основе рассмотрения методики [114] и согласования экспертов отнесены следующие рекомендации для предприятия:

- усилить контроль за точным соблюдением технологического регламента производства;
- запрещать работу оборудования на форсированном режиме;
- рассредоточить во времени работы технологических агрегатов, не участвующих в едином непрерывном технологическом процессе, при работе которых выбросы ЗВ в атмосферу достигают максимальных значений;
- усилить контроль за работой контрольно-измерительных приборов и автоматических систем управления технологическими процессами;
- запрещать продувку и чистку оборудования, газоходов, емкостей, в которых хранились ЗВ, ремонтные работы, связанные с повышенным выделением ЗВ в атмосферу;
- усилить контроль за герметичностью газоходных систем и агрегатов, мест пересыпки пылящих материалов и других источников пылегазовыделения;
- усилить контроль за техническим состоянием и эксплуатацией всех газоочистных установок;
- обеспечить бесперебойную работу всех пылеочистных систем и сооружений и их отдельных элементов, не допускать снижения их производительности, а также отключения на профилактические осмотры, ревизии и ремонты;
- обеспечить максимально эффективное орошение аппаратов пылегазоулавливателей;
- проверить соответствие регламенту производства концентраций поглотительных растворов, применяемых в газоочистных установках;

- ограничить погрузочно-разгрузочные работы, связанные со значительными выделениями в атмосферу ЗВ;
- использовать запасы высококачественного сырья, при работе на котором обеспечивается снижение выбросов ЗВ;
- интенсифицировать влажную уборку производственных помещений предприятия, где это допускается правилами техники безопасности;
- прекратить испытание оборудования, связанного с изменениями технологического режима, приводящего к увеличению выбросов ЗВ в атмосферу;
- обеспечить инструментальный контроль степени очистки газов в пылегазоочистных установках, выбросов ЗВ в атмосферу непосредственно на источниках и на границе санитарно-защитной зоны [114].

В случае доли сокращения выбросов от 10% до 20% на основе рассмотрения методики [114] и согласования экспертов отнесны следующие рекомендации для предприятия:

- снизить производительность отдельных аппаратов и технологических линий, работа которых связана со значительным выделением в атмосферу ЗВ;
- уменьшить интенсивность технологических процессов, связанных с повышенными выбросами ЗВ в атмосферу на тех предприятиях, где за счет интенсификации и использования более качественного сырья возможна компенсация отставания;
- принять меры по предотвращению испарения топлива;
- запретить сжигание отходов производства и потребления, если оно осуществляется без использования специальных установок, оснащенных пылегазоулавливающими аппаратами;
- запретить работу на холодильных и других установках, связанных с утечкой загрязняющих веществ [114].

В случае доли сокращения выбросов от 20% до 30% на основе рассмотрения методики [114] и согласования экспертов отнесны следующие рекомендации для предприятия:

- снизить нагрузку или остановить производство, сопровождающееся значительными выделениями ЗВ;
- отключить аппараты и оборудование, работа которых связана со значительным загрязнением воздуха;
- остановить технологическое оборудование в случае выхода из строя газоочистных устройств;
- запретить отгрузку готовой продукции, сыпучего исходного сырья и реагентов, являющихся источником загрязнения;
- перераспределить нагрузки производств и технологических линий на более эффективное оборудование;
- остановить пусковую работу на аппаратах и технологических линиях, сопровождающихся выбросами в атмосферу;
- снизить нагрузку или остановить производство, не имеющее газоочистных сооружений;
- провести поэтапное снижение нагрузки параллельно работающих однотипных технологических агрегатов и установок [114].

Кроме вышеуказанных рекомендаций по изменению нагрузки, в зависимости от вида деятельности и своих особенностей предприятия могут регулировать нагрузку по-разному. Например, в случае, когда оператор производства аммиака-2 НАК «Азот» получает управляющие рекомендации по снижению нагрузки до 20%, то он должен регулярно контролировать объем, температуру дымовых газов трубчатой печи поз.101-В, вспомогательного котла поз.101-ВU и их состав.

В [143] написано что, разработанная для отечественных азотнокислотных заводов система автоматического регулирования технологического процесса производства азотной кислоты предусматривает, прежде всего, регулирование нагрузки агрегата, соотношения расхода аммиака и воздуха, давления, уровня воды в паровом котле и кислоты в башнях и регулирования концентрации продукционной кислоты. Нагрузка агрегата регулируется изменением подачи воздуха в смеситель аммиака и воздуха.

В [144] написано что, наличие резервной производственной мощности обусловлено необходимостью периодической остановки части оборудования для выполнения ремонтных и регламентных (профилактических) работ, а также для регулирования объема производства продукции. Наиболее оптимальные нагрузки оборудования, как правило, находятся в диапазоне 80-90% от их максимальных значений.

В [145] описана характеристика «гибкость» производства карбамида: превосходная гибкость технологического процесса производства карбамида позволяет производить почти все запрашиваемые гранулометрические составы, начиная со среднего диаметра 2-7 мм, на одной установке без остановки при переходе на другой размер гранулята. Гранулятор пускается и отключается простыми операциями, а его минимальная рабочая нагрузка составляет 40 % номинальной производительности.

В [146] определена приоритетность регулирования текущих технологическимх параметров процесса получения полиэтилена и параметров отклонений по дням выхода полученной продукции (отклонениях от нормы). Регулирование нагрузки по полиэтилену является наиболее важным, поскольку отклонение его от нормы ведет к увеличению расхода катализатора и дальнейшему увеличению расхода водорода, и, как следствие - ухудшение показателя текучести расплава гранул и порошка.

Эти данные говорят о возможности изменения нагрузки (производительности) на непрерывных химико-технологических предприятиях во время их нормального функционирования в соответствии с технологическим регламентом.

Разработанные методы и полученные рекомендации носят универсальный характер. Так между автором диссертации и компаниями ООО «Интер-П», ООО «Интер-Капитал», ООО «Интер-Плюс» были заключены договоры о сотрудничестве. В рамках этих договоров были проведены исследования, на основании которых автор диссертации с помощью разработанной в данной диссертации методики провел расчеты долей изменения нагрузки основных цехов

этих предприятий в соответствии с их вкладами в общее загрязнение атмосферного воздуха и сформировал рекомендации для каждого источника загрязнения - цеха этих предприятий. ООО «Интер-П», ООО «Интер-Капитал», ООО «Интер-Плюс» применили разработанные рекомендации и подтвердили, что был получен положительный эффект.

#### Выводы по четвертой главе

1. Разработана структура системы управления предприятиями промышленного комплекса с обратной связью и возможностью учета параметров загрязнения окружающей среды.

2. Дано научное обоснование построения интеллектуальной системы снижения валового выброса, произведены исследования, подтверждающие эффективность выбранных методов реализации данной интеллектуальной системы с целью снижения концентрации загрязняющих веществ в выбросах в атмосферу, которые позволяют ей эффективно функционировать.

3. Описана практическая реализация разработанной интеллектуальной системы снижения валового выброса ЗВ в атмосферу химико-технологическими предприятиями промышленного кластера г.Новомосковска Тульской области.

4. Реализованы методы выбора оптимальных параметров и структуры автоматизированной системы снижения валового выброса ЗВ в атмосферу химико-технологическими предприятиями промышленного кластера г.Новомосковска Тульской области.

5. В результате использования ЭС вкладов стало возможно определить вклад каждого предприятия - источника загрязнения в суммарную концентрацию загрязняющих веществ, выявлять химико-технологические предприятия – наиболее потенциальные источники загрязнения атмосферного воздуха в промышленном регионе, получать информацию для более точного принятия решения по управлению степенью загрязнения в реальном времени.

6. С помощью разработанной интеллектуальной системы снижения

валового выброса стало возможно поддерживать загрязнение атмосферы в пределах норм при больших суммарных выбросах, определить или прогнозировать в условиях неопределенности в реальном времени развитие экологических и социально-экологических ситуаций, а также получить соответствующие рекомендации по их регулированию. В результате такого решения предприятия могут существенно снизить платежи за сверхнормативный выброс в атмосферу.

7. Дано научное обоснование построения виртуальных сетей VPN для обеспечения в защищенном режиме передачи информации о рассчитанных управляющих воздействиях для лиц, принимающих решения на предприятиях.

8. Выработаны рекомендуемые управляющие воздействия предприятиям в соответствии с их долями в валовых выбросах ЗВ в атмосферу.

## Заключение

В результате проведенного аналитического обзора современного состояния химико-технологических систем и особенностей их воздействий на окружающую среду был сделан вывод об актуальности разработки автоматизированной системы управления предприятиями промышленного комплекса с учетом экологических факторов, функционирующей в условиях неопределенности и недостаточности информации. При разработке данной системы необходимо использовать интеллектуальные методы и модели, основанные на знаниях, теории моделирования и искусственном интеллекте.

На основе проведенного анализа был сделан вывод, что построение интеллектуальной системы снижения валового выброса ЗВ в атмосферу химико-технологическими предприятиями является целесообразным в совокупности с использованием интеллектуальных методов и новых информационных технологий в экологической безопасности отрасли.

Исходя из выявленных проблем, для решения поставленных задач, была разработана интеллектуальная система снижения валового выброса с целью снижения концентрации загрязняющих веществ в выбросах в атмосферу, которая учитывает экономические и экологические факторы в режиме реального времени в условиях неопределенности и недостаточности информации.

В данной работе были проанализированы возможные подходы создания системы искусственного интеллекта и выбраны наиболее подходящие варианты из них для реализации интеллектуальной системы снижения валового выброса ЗВ в атмосферу промышленными предприятиями.

Разработана интеллектуальная система снижения валового выброса с целью уменьшения концентрации ЗВ в выбросах в атмосферу, которая учитывает экономические и экологические факторы в режиме реального времени и 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 валовых выбросах ЗВ в атмосферу в условиях неполной и нечеткой информации.

Разработана структурная схема системы снижения валового выброса с учетом экологических параметров, включающая ЭС вкладов, ЭС вычисления долей изменения нагрузки и базы знаний.

Разработан комбинированный метод 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.

Разработан метод вычисления оптимальных долей изменения нагрузки предприятий в соответствии с их долям в валовых выбросах ЗВ в атмосферу с учетом экономических и экологических факторов в режиме реального времени.

Предложенные в работе модели и методы реализованы в интеллектуальной системе снижения валового выброса и использованы для практической реализации системы управления химико-технологическими предприятиями промышленного кластера г.Новомосковска Тульской области.

Дано обоснование построения виртуальных сетей VPN для обеспечения в защищенном режиме передачи информации о рассчитанных управляющих воздействиях для ЛПР.

Выработаны рекомендуемые управляющие воздействия предприятиям в соответствии с их долями в валовых выбросах ЗВ в атмосферу.

Разработана новая методика построения интеллектуальной системы снижения валового выброса с учетом экологических параметров в условиях неопределенности и недостаточности информации, которая может быть рекомендована в качестве типовой структуры системы управления в аналогичном промышленном регионе.

С помощью разработанной интеллектуальной системы снижения валового выброса стало возможно поддерживать загрязнение атмосферы в пределах норм при больших суммарных выбросах, определить или прогнозировать в условиях неопределенности в реальном времени развитие экологических и социально-

экологических ситуаций, а также получить соответствующие рекомендации по их регулированию. В результате такого решения предприятия могут существенно снизить платежи за сверхнормативный выброс в атмосферу.

Сделан вывод о возможной применимости разработанных способов и алгоритмов решения аналогичных задач по построению подобных автоматизированных систем управления.

Разработана и внедрена в компаниях ООО «Интер-П», ООО «Интер-Капитал», ООО «Интер-Плюс» методика расчета долей изменения нагрузки основных цехов этих предприятий в соответствии с их вкладами в общее загрязнение атмосферного воздуха, которая дала положительный эффект.

## Список литературы

1. Об охране окружающей среды. Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2012 (ред. от 12.03.2014 № 27-ФЗ).
2. ОНД-90. Руководство по контролю источников загрязнения атмосферы. СПб., 1992.
3. Стандарты ИСО: ГОСТ Р ИСО 9001-96, 9002-96, 9003-96; ГОСТ Р ИСО 14000, 14001, 14004.
4. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В. Анализ риска, оценка последствий аварий и управление безопасностью химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. М.: КолосС, 2010. 526 с.
5. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Промышленная экология. Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 247 с.
6. Макаров В. В., Сбоева Ю. В. Многокритериальная оптимизация ассортимента и качества химической продукции [Текст]: учебное пособие. Министерство образования и науки Российской Федерации, Российский химико-технологический ун-т им. Д. И. Менделеева. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. 99 с.
7. Макаров В.В. Оптимальная организация производств многономенклатурной химической продукции. Хим. Пром-сть, № 1 2008. с. 29-35.
8. Сбоева Ю.В. Многокритериальная оптимизация блочно-модульных химико-технологических систем (на примере производства азокрасителей): дис. канд. техн. наук., М., 1995. 139 с.
9. Лотов А.В., Пospelова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2008. 197 с.
10. Зайцев М.Г., Варюхин С.Е. Метод оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы: учебное пособие. 2-е изд., испр. М.: Издательство «Дело» АНХ, 2008. 664 с.
11. Мухленов И.П. Общая химическая технология, ч 1, 2. М.: Высшая школа, 1984. 255 и 263 с.

12. Гумеров Ас.М., Валеев Н.Н., Гумеров Аз.М., Емельянов В.М. Математическое моделирование химико-технологических процессов. Учебное пособие. Казань, 2006. 216 с.
13. Гордеев Л.С., Кадосова Е.С., Макаров В.В., Сбоева Ю.В. Математическое моделирование химико-технологических систем. Часть 1. Методологические и теоретические основы. М.: РХТУ, 1999. 48 с.
14. Черномуров Ф.М., Ануфриев В.П., Теслюк Л.М. Энерго- и ресурсосбережение в нефтегазохимическом комплексе. Учебное пособие. Екатеринбург, 2014. 252 с.
15. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем. Учебник для вузов. М.: Химия, 1991. 432 с.
16. Бесков В.С., Фурмер И.Э., Давидханова М.Г. Химико-технологические системы. М.: РХТУ, 1984. 48 с.
17. Дементиенко А.В., Кузьмина Ю.А., Савицкая Т.В. Разработка баз данных информационно-моделирующей системы мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXVII, №1 (141). М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. С. 7-12.
18. Кузнецова, Харлампики, Иванов: Общая химическая технология. Основные концепции проектирования химико-технологических систем. Издательство: Лань, 2014. 384 с.
19. Островский Г. М., Волин Ю. М., Зиятдинов Н. И. Методы оптимизации химико-технологических процессов. Учебное пособие. Издательство: Книжный дом "Университет" (КДУ), 2008. 424 с.
20. Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Островский Г.М. Новые подходы к проектированию химико-технологических процессов, аппаратов и систем в условиях интервальной неопределенности. М.: Издательский дом «Спектр», 2012. 344 с.
21. Симанков В.С., Луценко Е.В. Адаптивное управление сложными системами на основе распознавания образов. Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. 318 с.

22. Афанасьева О.В., Голик Е.С., Первухин Д.А. Теория и практика моделирования сложных систем Д.А. СПб: СЗТУ, 2005. 131с.
23. Гизатуллин Х.Н. Проблемы управления сложными системами. Вестник ОГУ, 2005. С. 17-21.
24. Гордеев Л.С., Бобров Д.А., Макаров В.В., Сбоева Ю.В. Оптимизация ассортимента многономенклатурной продукции и моделирование многопродуктовых химико-технологических систем: РХТУ им. Д.И. Менделеева. М., 2002. 56 с.
25. Герасименко М.В., Савицкая Т.В. Алгоритм управления безопасностью химико-технологических систем // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXVI , № 1 (130). М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. С. 34-37.
26. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В. Управление безопасностью химических производств на основе новых информационных технологий. М.: Химия, КолосС, 2004. 416 с.
27. Мешалкин В. П. Экспертные системы в химической технологии. Основы теории, опыт разработки и применения. М. : Химия, 1995. 368 с.
28. Кафаров В. В., Дорохов И. Н., Марков Е. П. Системный анализ процессов химической технологии. Применение метода нечетких множеств. М.: Наука, 1986. 359 с.
29. Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Эдельштейн Ю.Д., Вент Д.П. Экологический мониторинг окружающей среды. Учебное пособие. М.:Химия, 2005. 403 с.
30. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1982. 320 с.
31. Бачкала О.В. Информационно-аналитическая система управления безопасным обращением химической продукции: дис. канд. тех. наук. М.: 2013. 191 с.
32. Кольцов Ю.В., Бобошко Е.В. Сравнительный анализ методов оптимизации для решения задачи интервальной оценки потерь электроэнергии. Журнал «Компьютерные исследования и моделирования», Т.5 №2, 2013. С. 231-239.

33. Минаков И.А. Сравнительный анализ некоторых методов случайного поиска и оптимизации. Известия Самарского научного центра РАН, №2, 1999. С. 286-293.
34. Газизов Т.Т. Классификация методов глобальной оптимизации для решения задач безопасности. Доклады ТУСУРа, №2 (18), часть 1, 2008. С. 130-131.
35. Мастяева И.Н., Семенихина О.Н. Методы оптимизации. Учебное пособие. М.: МЭСИ, 2003. 135 с.
36. Ларин Р.М., Плясунов А.В., Пяткин А.В. Методы оптимизации. Учебное пособие. Новосибирск. Ун-т Новосибирск, 2003. 115 с.
37. Рачков М.Ю. Оптимальное управление детерминированными и стохастическими системами. Учебное пособие. М.: МГИУ, 2005. 136 с.
38. Клименко Е.Т. Гауссовская математическая модель рассеяния вредных веществ в атмосфере. М.: ООП ГАНГ, 1998. 26 с.
39. Ньюстадт и Ван Доп Х. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 351 с.
40. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. Серия: Информатика: неограниченные возможности и возможные ограничения. М.: Наука, 2006. 410 с.
41. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Вент Д.П., Эдельштейн Ю.Д., Дмитриева О.В. Разработка интегрированной автоматизированной системы контроля и управления качеством атмосферного воздуха. Химическая промышленность, 1999. С. 387-398.
42. Смирнов В. Н. Принципы автоматизированного управления природо-промышленными комплексами «химическое производство-окружающая среда»: дисс. д-ра. техн. Наук. М., 1998. 377 с.
43. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с.
44. Примак А. В., Кафаров В. В., Качиашвили К. И. Системный анализ контроля и управления качеством воздуха и воды. Киев: Наукова думка, 1991. 390 с.

45. Джарратано Джозеф, Райли Гари. Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание.: Пер. с англ. М.: “И.Д. Вильямс”, 2007. 1152 с.
46. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 6. С. 114-123.
47. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Поиск решения на основе структурной аналогии для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Известия РАН. Теория и системы управления, № 1, 2005. С. 97-109.
48. Машкин М.Н. Информационные технологии. Учебное пособие. М.: ВГНА, 2008. 200 с.
49. Стюарт Рассел, Питер Норвиг. Искусственный интеллект современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. М.: издательский дом “Вильямс”, 2006. 1408 с.
50. Керов Л.А., Частиков А.П., Юдин Ю.В., Юхтенко В.А. Экспертные системы: Инструментальные средства разработки: Учебн. пособие. СПб.: Политехника, 1996. 220 с.
51. К. Дж. Дейт. Введение в системы баз данных. Восьмое издание. Издательство Вильямс, 2006. 1328 с.
52. Горшков М.В. Экологический мониторинг. Учеб. пособие. 2-е изд. испр. и доп. Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. 300 с.
53. Заенцев И.В. Нейронные сети: основные модели. Учебное пособие к курсу «Нейронные сети» для студентов 5 курса магистратуры к. электроники физического ф-та Воронежского Государственного университета, 1999. 74 с.
54. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. М.: Мир, 1992. 184 с.
55. Pankaj Mehra, Benjamin W. Wah. Artificial Neural Networks: Concepts and Theory, IEEE Computer Society Press, 1992. 667 p.
56. Минаев Ю.Н., Филимонова О.Ю., Бенамеур Л. Методы и алгоритмы решения задач идентификации и прогнозирования в условиях неопределенности в нейросетевом логическом базисе. Издательство: Горячая Линия - Телеком, 2003. 208 с.

57. Жианчанг Мао, Энил Джейн. Введение в искусственные нейронные сети. Выпуск 29, номер 3, Мичиганский Государственный университет, США, 1996. С. 3-14.
58. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. 382 с.
59. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы: Монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 142 с.
60. Липатова С.В. Сборник задач по курсу «Интеллектуальные информационные системы». Учебное пособие. - Ульяновск: УлГУ, 2010. 64 с.
61. Афоничкин А.И., Матвеев Л.А., Макаркин Н.П., Сажин Ю.В. Системы поддержки в теории и практике оценки управленческих решений. Учебное пособие. – Саранск: изд-во Мордов. Ун-та, 1995. 224 с.
62. Янкина И.А. Методическое пособие по Дисциплине «Интегрированные системы проектирования и управления». М.: МГУИЭ, 2011. 26 с.
63. Зырянов В.Г. Системы управления многосвязными объектами: учебное пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. 112 с.
64. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф., Схиртладзе А.Г. Интегрированные системы проектирования и управления. Структура и состав: Учеб. Пособие. М.: Издательство Машино-строение-1, 2006. 172 с.
65. Мамиконов А.Г. Методы разработки автоматизированных систем управления. М.: Энергия, 2009. 336 с.
66. Харазов В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами, 2009. 550 с.
67. Шапиро Ю. З. АСУ химическими производствами. Унифицированные решения. - М.: Химия, 1983. 224 с.
68. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. Учебн. для техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1985. 352 с.
69. Голованов О.В. Системы оперативного управления химических производств. М.: Химия, 1972. 200с.

70. Пиггот С.Г. Интегрированные АСУ химическими производствами. М.: Химия, 1985. 120 с.
71. Муравьева Е.А. Интегрированные системы проектирования и управления: Учебное пособие. Уфа: Издательство УГНТУ, 2008. 337 с.
72. Власов Б.В. Автоматизированная система управления предприятием. Уч. пособие. М.: «Высш. школа», 1977. 224 с.
73. Пляскин А.К. Основы автоматизированных систем управления предприятием. Учебное пособие: Часть 1. Хабаровск: ДВГУПС, 2005. 119 с.
74. Ицкович Э.Л. Оперативное управление непрерывным производством: задачи, методы, модели. Первозванский; АН СССР, Ин-т пробл. управления. М.: Недра, 1989. 154 с.
75. Пятковский О.И. Автоматизированная система управления производством предприятия: Учебное пособие. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. 95 с.
76. Зеленков А.В., Латкин М.А., Митрахович М.М. Автоматизированные системы управления предприятия. Учебное пособие. Харьков: Нац. аэрокосмический университет «Харьк. Авиаци. Ин-т», 2002. 45 с.
77. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. М.: Химия, 1982. 295 с.
78. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы: Учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 1996. 320 с.
79. Поллак Г.А. Инструментальные средства разработки экспертных систем: Учебное пособие. Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2003. 65 с.
80. Герман О.В. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний. М.: ДизайнПРО, 1995. 255 с.
81. Осуги С., Саэки Ю. Приобретение знаний: Перевод с япон. М.: Мир, 1990. 304 с.
82. Осуга С. Обработка знаний: Пер. с япон. М.: Мир, 1990. - 293 с.
83. Мохов В.А. Разработка алгоритмов прямого синтеза аппроксимирующих искусственных нейронных сетей: дис. канд. тех. наук. Ростов на Дону, 2005. 179 с.

84. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика, 2002. 344 с.
85. Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В., Румовская С.Б., Доманицкий А.А. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М.: ИПИ РАН, 2011. 295 с.
86. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технологии разработки. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001. 710 с.
87. Kandel A. Fuzzy intelligent hybrid expert system and their application. IEEE, 1995. P. 2275-2280.
88. Кудинов Ю.И., Дохоров И. Н., Пашенко Ф. Ф. Нечеткие регуляторы и системы управления. Журнал «Проблемы управления», Выпуск № 3, Институт проблемы управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2004, Москва. С. 2-14.
89. Дорохов И.Н., Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Экспертные системы для совершенствования промышленных процессов гетерогенного катализа. М.: Наука, 1989. 376 с.
90. Михайлова П.Г. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению безопасностью химических производств: дис. канд. тех. наук. М.: 2006. 194 с.
91. Лёвшукина С.А. Интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению качеством атмосферного воздуха на химических предприятиях: дис. канд. тех. наук. М.: 2010. 186 с.
92. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: Универсум, 2001. 756 с.
93. Коньшева Л.К., Назаров Д.М. Основы теории нечетких множеств. Учебное пособие. Издательство: Питер, 2011. 192 с.
94. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Физматлит, 2001. 201 с.
95. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. Издательство: Финансы и статистика, 2009. 320 с.

96. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. К.: Радиоаматор, 2008. 972 с.
97. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.
98. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 736 с.
99. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. М.: ФизМатЛит, 2006. 320 с.
100. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы. Учебно-методическое пособие. Астрахань: АГУ, 2007. 87 с.
101. Стивен Браун. Виртуальные частные сети. Издательство: Лори, McGraw-Hill Companies, 2001. 503 с.
102. Олифер В.Г, Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 3-е издание, издательство: Питер, 2007. - 960 с.
103. Запенчинков С.В., Милославская Н.Г., Толстой А.И. Основы построения виртуальных частных сетей: Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2003. 249 с.
104. Гусев Д.М., Дударов С.П. Исследование и настройка генетического алгоритма вещественного кодирования с использованием тестовой функции Швевеля // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXVII, № 1 (141). М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2013. С. 37-42.
105. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Ленинград: Изд-во Гидрометеоздат, 1987. 94 с.
106. Методика расчета нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для групп источников загрязнения. МРН-87, 1995. 25 с.
107. ГОСТ 17.2.3.02-2014. Межгосударственный стандарт. Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями. Приказом Росстандарта от 20.03.2014 N 208-ст.

108. СН 2.2.1.1312-03. Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий. Москва, 2003.
109. Рекомендациями по оформлению и содержанию проекта нормативов ПДВ в атмосферу для предприятий, 1987.
110. РД 52.04.253-90. Руководящий документ. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. Ленинград: Изд-во Гидрометеиздат, 1990. 24 с.
111. Положение об оценке воздействия на окружающую среду в Российской Федерации, Министерство охраны природы и воспроизводства природных ресурсов РФ, приказ №222 от 18.07.94.
112. Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/час. - Ленинград: Гидрометиздат, 1985.
113. РД 34.02.305-98. Методика определения валовых и удельных выбросов вредных веществ в атмосферу от котлов тепловых электростанций, 1998.
114. РД 52.04.52-85. Методические указания. Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987.
115. Earth Science Module. User's Guide. - Version: November 2008, COMSOL 3.5a, COMSOL Ltd, Hertfordshire, UK, p. 158.
116. Красников Г.Е., Нагорнов О.В., Старостин Н.В. Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics. Учебное пособие. М.: МИФИ, 2012. 184 с.
117. Горбунов В.А. Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете FEMLAB. Учеб. пособие. Иваново, 2008. 216 с.
118. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. Изд-во 2-е. М.: Статистика, 1980. 263с.
119. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и Связь, 1982. 431 с.

120. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Дударов С.П. Использование искусственных нейронных сетей для прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха промышленными источниками выбросов опасных химических веществ // Химическая технология, № 1, 2004. С. 35-42.
121. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Дударов С.П. Использование искусственных нейронных сетей для идентификации промышленных источников загрязнения атмосферного воздуха. Часть 1. Идентификация аварийных источников загрязнения атмосферного воздуха // Химическая промышленность сегодня, 2004, №6. С. 39–45.
122. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Дударов С.П. Использование искусственных нейронных сетей для идентификации промышленных источников загрязнения атмосферного воздуха. Часть 2. Идентификация аварийных источников загрязнения атмосферного воздуха // Химическая промышленность сегодня, 2004, №8. С. 32–41.
123. Егоров А. Ф., Дударов С. П., Лёвушкин А. С. Информационная система нейросетевого моделирования загрязнения воздуха промышленными источниками на основе генетического алгоритма обучения. Химическая промышленность сегодня, 2009, № 12. С. 21-29.
124. Савицкая Т. В., Дударов С. П., Лёвушкина С. А., Егоров А. Ф., Лёвушкин А. С. Использование искусственных нейронных сетей для прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха аварийными источниками при изменяющихся метеоусловиях. Экологические системы и приборы, 2007, № 10. С. 45–50.
125. Гусев Д.М., Дударов С.П. Исследование и настройка генетического алгоритма вещественного кодирования с использованием тестовой функции Швифеля // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXVII, № 1 (141). М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. С. 37-42.
126. Иванов Д.Я. Использование принципов роевого интеллекта для управления целенаправленным поведением массово-применяемых микророботов в экстремальных условиях. «Известия высших учебных заведений. Машиностроение», Выпуск № 9, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. С. 70-78.

127. Земских Л.В., Самаров Е.К., Жданов А.А., Бабкова В.В. Применение генетических алгоритмов для оптимизации адаптивной системы управления мобильного робота на параллельном вычислительном комплексе. Труды Института системного программирования РАН, Том 7, 2004. С. 79-104.
128. Запасная Л.А. Интеллектуальная автоматизированная система подготовки химиков-технологов: дис. канд. тех. наук. М.: 2014. 227 с.
129. До Мань Хунг. Информационная система контроля и управления технологическими процессами первичной переработки нефти по показателям качества продукции: дис. канд. тех. наук. М.: 2013. 182 с.
130. Егоров А.Ф., Михайлова П.Г., До Мань Хунг. Нечеткая система управления показателями качества продукции первичной переработки нефти // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Том 19, № 4, 2013. С. 758-764
131. Дык Л.Х., Волков В.Ю., Самахар Башир, Харламов М.И. Обзор состояния автоматизированных систем экологического мониторинга в начале XXI века // Вестник МАСИ. Информатика, экология, экономика. Том 12 Часть II. М., 2010. С. 29-33.
132. 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. Том 14 Часть I. М., 2012. С. 172-179.
133. Луэ Ху Дык, Волков В.Ю. Проблема контроля за технологическими выбросами в атмосферу на вредных и опасных производствах // Вестник МАСИ. Информатика, экология, экономика. Том 13 Часть I. М., 2011. С. 175-178.
134. 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.
135. 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 конференции молодых ученых, студентов, аспирантов, Часть II, НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковск, 2012. С. 69-70.

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

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

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

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

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

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

142. 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. Тула, 2014, выпуск 2. С. 159-165.

143. Атрощенко В. И., Каргин С. И. Технология азотной кислоты. М.: Химия, 1962. 524 с.

144. Ильенкова С.Д., Бандурин А.В., Горобцов Г.Я. Производственный менеджмент. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 583 с.
145. Бабкин В.В., Успенский Д.Д. Химические кластеры и припортовые заводы: Новый взгляд. М., 2013. 159 с.
146. Вильданов Р.Г., Капустин Г.В., Крючко Е.Ю. Статические методы управления в производстве // Современные проблемы науки и образования, выпуск № 3, 2014. [Электронный ресурс]: Режим доступа - [www.science-education.ru/117-13392](http://www.science-education.ru/117-13392) - загл. с экрана. Дата обращения: 09.09.2015.

## Приложение А

**ООО «ИНТЕР-П»**

ОГРН 1025004858405 ИНН 5037044589 КПП 503701001

Московская область, г.Протвино, Кременковское шоссе, д.2 тел. 8 (4967) 31-00-56

№ 1-16 от 06.08.15**АКТ ВНЕДРЕНИЯ****результатов диссертационного исследования**

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Луэ Ху Дыка были использованы в ООО «ИНТЕР-П» при создании методики изменения режимов работы основных цехов предприятия в соответствии с их вкладами в общее загрязнение атмосферного воздуха, применение которой позволило снизить загрязнение на 15%, при этом экономия на штрафах составила 40%, а прибыль предприятия от уменьшения нагрузки за отчетный период существенно не изменилась.

Руководство ООО «ИНТЕР-П» отмечает целесообразность использования положений, разработок и практических рекомендаций кандидатской диссертации Луэ Ху Дыка в практической работе промышленных предприятий по обеспечению их экологической устойчивости.

Директор предприятия  
ООО «ИНТЕР-П»  Карташева С.В.



## Приложение Б

**ООО «ИНТЕР-КАПИТАЛ»**

ОГРН 1085043001614 ИНН 5037005558 КПП 503701001

Московская область, г.Протвино, Кременковское шоссе, д.2

Тел. 8 (4967) 31-00-56

№ 1-10 от 06.08.15**Для представления  
в диссертационный совет****АКТ О ВНЕДРЕНИИ****результатов диссертационного исследования**

Настоящим удостоверяется, что рекомендации, содержащиеся в диссертационном исследовании Луэ Ху Дыка, использовались в ООО «ИНТЕР-КАПИТАЛ» для разработки мероприятий по уменьшению выбросов в атмосферу, что позволило управлять производственными процессами с учетом экологических параметров.

Наше предприятие выражает глубокую признательность Луэ Ху Дыку за предоставленную возможность практического применения столь интересных результатов его диссертационного исследования и надеется на активное продолжение его работ и нашего сотрудничества.

Директор предприятия

ООО «ИНТЕР-КАПИТАЛ»



Карташева С.В.

## Приложение В

ООО «ИНТЕР-ПЛЮС»

ОГРН 1085043001614 ИНН 5037005558 КПП 503701001

Московская область, г.Протвино, Кременковское шоссе, д.22А тел. 8 (4967) 31-15-57

«Утверждаю»  
Ген. Директор  
ООО «ИНТЕР-ПЛЮС»  
/Дидок К.В./  
№ 02 от 22.08.2015г.



**Справка о внедрении результатов диссертационного  
исследования**

Данная справка подтверждает, что результаты диссертационного исследования Луэ Ху Дыка обладают высокой актуальностью, представляют практический интерес и были внедрены в ООО «ИНТЕР-ПЛЮС» для совершенствования системы управления производственными процессами с учетом экологических факторов, что позволило снизить уровень загрязнения окружающей среды.

Генеральный директор  
ООО «ИНТЕР-ПЛЮС»

Дидок К.В.

