

ГОУ ВПО «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



ЧАРИНА Надежда Сергеевна

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тула - 2006

Работа выполнена на кафедре «Аэрология, охрана труда и окружающей среды» в ГОУ ВПО «Тульский государственный университет»

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор Михаил Васильевич ГРЯЗЕВ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Виктор Александрович ФАТУЕВ

кандидат технических наук Леонид Владимирович ПРОКОФЬЕВ

Ведущая организация: Федеральное унитарное научно-исследовательское геологическое предприятие «Тульское НИГП»

Защита диссертации состоится «19» декабря 2006 г. в 14⁰⁰ ч. на заседании диссертационного совета Д 212.271.09 при ГОУ ВПО «Тульский государственный университет» по адресу:
300600, г. Тула, пр. Ленина, д.90 (6-й учебный корпус, аудитория 216).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Тульского государственного университета.

Автореферат разослан «16» ноября 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Н.П. Иватанова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Анализ экологической ситуации в Российской Федерации за последние годы свидетельствует о том, что на территориях, наиболее развитых экономически, загрязнение природной среды остается высоким, несмотря на осуществление комплекса природоохранных мер федерального и регионального значения. Выступая на заседании Президиума Государственного Совета страны 4 июня 2003 г. Президент РФ отметил, что в настоящее время около 15% территории России по экологическим показателям находится в критическом состоянии. В наибольшей степени подвержены загрязнению горнопромышленные регионы России. В этих условиях промышленный подъем при отсутствии должной управленческой и регулирующей работы в сфере природопользования может привести к дальнейшему обострению экологических проблем.

Промышленность является основным источником загрязнения атмосферы. До 2000 г. выбросы в атмосферу от стационарных источников снижались в результате спада производства, затем начался постепенный рост выбросов в промышленности в среднем на 2% в год. В 2003 г. наряду с ростом выбросов в целом по России на 1,8%, отмечено увеличение промышленных выбросов (на 0,2%). При этом основной ущерб атмосферному воздуху причиняют предприятия горнодобывающей отрасли.

Как известно, программный документ «Энергетическая стратегия России на период до 2020 года», разработанный Минэнерго России в 2000 году, предусматривает диверсификацию энергоносителей, стабилизацию доли газа в производстве первичных топливно-энергетических ресурсов (до 38,8%) и увеличение добычи и использования угля в топливно-энергетическом балансе страны до 57,4%. Следовательно, неизбежно возрастет влияние угледобывающего сектора на окружающую природную среду. В этих условиях важнейшей проблемой стратегии управления качеством окружающей природной среды, в том числе, атмосферного воздуха, на территории горнопромышленных регионов является организация системы, определяющей эффективность комплексного и экологически рационального их использования.

В современных условиях предприятия любой отрасли вынуждены занимать активную позицию в области охраны окружающей среды. Правительство Российской Федерации поддерживает это направление нормативными требованиями и финансовыми средствами. Однако до настоящего времени отсутствует комплексный методический подход к оценке загрязнения атмосферного воздуха и эффективности воздухоохранных мер на основе "институтов согласия" с учетом ограничений, налагаемых экологическим императивом.

В связи с этим, совершенствование методики комплексной оценки загрязнения атмосферы горнопромышленного региона является актуаль-

ной научно-технической задачей.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с тематическим планом Федеральной целевой программы «Интеграция».

Область исследования соответствует п. 13 и 14 Паспорта специальности 25.00.36 - "Геоэкология".

Целью работы являлось установление новых и уточнение существующих закономерностей воздействия горных предприятий на атмосферу для определения оптимальных условий очистки пылегазовых выбросов и оценки эффективности проектов защиты атмосферы с использованием систем нечеткой логики.

Идея работы заключается в том, что оптимальные условия очистки пылегазовых выбросов и оценка эффективности проектов защиты атмосферы с использованием систем нечеткой логики должны учитывать ограничения, формируемые экологическим императивом, что позволяет создать на этой базе «институты согласия», обеспечивающие минимальное воздействие горных предприятий на атмосферу.

Основные научные положения, сформулированные в работе, состоят в следующем:

- оптимизация технико-экономических параметров по аэрологическому фактору должна быть основана на правилах, регламентированных «институтами согласия», и объединяющими горные предприятия с предприятиями других отраслей промышленности;

- функция, характеризующая зависимость качества атмосферного воздуха от затрат на локализацию пылегазовых выбросов, является линейной, а зависимость прибыли предприятий от инвестиций в развитие производства имеет экспоненциальный вид;

- концентрация вредного вещества в воздухе рассчитывается на основе аналитического решения уравнения диффузии для трехмерного полупространства при постоянных значениях ортогональных компонент скорости ветра и коэффициентов турбулентной диффузии;

- на первом этапе оценки эффективности мероприятий по защите атмосферы определяются предельно допустимые выбросы для всех предприятий, оказывающих воздействие на атмосферу в горнопромышленном регионе, а затем оценивается целесообразность внедрения разработанного проекта на основе экспертных заключений с использованием системы анализа нечеткой логики.

Новизна основных научных и практических результатов:

- исследованы основные закономерности распределения примеси в атмосфере на основе аналитического решения уравнения диффузии для точечного источника при постоянных значениях ортогональных компонент скорости ветра и коэффициентов турбулентной диффузии;

- решена задача определения предельно допустимых выбросов для группы промышленных предприятий с ограничением на превышение кон-

центрации вредного вещества в любой точке рассматриваемой области предельно допустимого значения и предложен комплекс программных средств, обеспечивающий численную реализацию этого решения;

□ сформулирована задача эколого-экономического компромисса для системы “промышленные предприятия - окружающая среда” и предложен алгоритм построения «института согласия» (решения, оптимального по Парето) для территории горнопромышленного региона;

□ разработана математическая модель взаимодействия двух и нескольких предприятий по аэрологическому фактору, получена количественная оценка оптимальной величины затрат на очистку пылегазовых выбросов, поступающих в атмосферный воздух;

□ предложена методика количественного определения ПДВ предприятия на основе нормативно установленных значений ПДК вредной примеси с учетом особенностей метеорологических условий региона;

□ предложен вариант модели оценки целесообразности внедрения разработанного проекта защиты атмосферы на основе экспертных заключений с использованием теории нечеткой логики.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: корректной постановкой задач исследований, обоснованным использованием методов математической физики, нелинейного программирования, теории игр, численных методов, современных достижений вычислительной техники; большим объемом вычислительных экспериментов, проведенных в процессе исследования и решения поставленных задач, а также положительными результатами внедрения на территории Тульской области.

Практическое значение работы. Полученные результаты исследований после соответствующей адаптации при наличии фактической информации о метеорологических параметрах окружающей среды и экономических показателях предприятий могут быть использованы при разработке территориальной автоматизированной системы управления предприятиями по эколого-экономическим критериям и контроля выбросов загрязнителей в атмосферу. Разработанные модели при наличии разносторонней фактической информации о производственных процессах предприятия позволяют рационализировать деятельность предприятий по аэрологическому фактору и повысить экологическую эффективность горного производства.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры аэрологии, охраны труда и окружающей среды ТулГУ (г. Тула, 2001-2006 гг.), ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ТулГУ (г. Тула, 2001-2006 гг.), 2-й Международной конференции «Проблемы создания экологически чистых и ресурсосберегающих технологий добычи полезных ископаемых и переработки отходов горного про-

изводства» (г. Тула, 2003 г.), 2-й Международной конференции по проблемам экологии и безопасности жизнедеятельности «Поиск, оценка и рациональное использование природных ресурсов. Наука, практика и перспективы» (г. Тула, 1998 г.), на 5-й Международной конференции «Mining Environmental Protection» (г. Будва, Югославия, 2005 г.).

Публикации. По результатам научных исследований имеется 5 опубликованных статей.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы. Материал изложен на 184 страницах, содержит 17 рисунков, список литературы из 118 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность профессору Н.М. Качурину, а также сотрудникам кафедры аэрологии, охраны труда и окружающей среды во главе с д.т.н., профессором Э.М. Соколовым за содействие и поддержку при проведении научных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Разработка научно обоснованных программ долгосрочного планирования мероприятий, направленных на сокращение выбросов отдельных источников, развитие методов и средств контроля и управления качеством окружающей среды неразрывно связаны с прогнозированием загрязнения атмосферного воздуха. Целью такого прогнозирования является определение возможного скопления в воздушном бассейне контролируемого объекта массы вредных примесей, представляющих угрозу для здоровья людей, а также указание адреса управляющего воздействия, определение источников, выбросы которых необходимо регулировать в данный момент времени для ограничения загрязнения, предупреждения его критического уровня.

Фундаментальные и прикладные аспекты проблемы математического моделирования загрязнения воздуха и оптимизации экологических параметров технологических систем сформулированы в работах М.Е. Берлянда, Ю.А. Анохина, А.Х. Остромогильского, Н.Л. Бызовой, О.Г. Сеттона, Г.И. Марчука, А.В. Примака, Н.М. Качурина, А.Е. Красноштейна, А.А. Кузнецова и др. Однако в этих исследованиях практически не затрагивается такой важный вопрос, как изучение закономерностей техногенных эмиссий загрязнителей в атмосферу от предприятий различных отраслей промышленности.

Цель и идея работы, а также современное состояние знаний по рассматриваемой проблеме обусловили необходимость постановки и решения следующих задач:

1. Изучить структуру и содержание существующей базы данных об уровне техногенных воздействий на атмосферу перспективных горнопромышленных регионов, выполнить анализ и обобщить государственную статистическую отчетную документацию о загрязнении атмосферы промышленными предприятиями Кемеровской и Тульской областей.

2. Обосновать принципиальную структуру и предметное содержание математических моделей, характеризующих взаимосвязь прогнозного состояния атмосферы на территории горнопромышленного региона и технико-экономических показателей промышленных предприятий, а также разработать типовой модуль структурно-функциональной схемы построения «институтов согласия» по аэрологическому фактору для территорий промышленно развитых субъектов Федерации.

3. Усовершенствовать методику комплексной оценки загрязнения атмосферы горнопромышленного региона, повысив достоверность прогноза выбросов загрязнителей в атмосферу за счет эффективной базы данных, отражающей связь уровней воздействия на атмосферу промышленных предприятий.

4. Разработать модели реальных схем локализации пылегазовых выбросов горными предприятиями на уровне административно-территориального подразделения в соответствии с концепцией экологического императива и создать систему принятия решений по оценке эффективности проектов защиты атмосферы на основе экспертных оценок с использованием теории нечеткой логики.

5. Разработать комплекс программных средств на базе современного математического обеспечения, провести вычислительные эксперименты, усовершенствовать структурные и функциональные принципы атмосферного мониторинга на основе теоретических принципов информационных технологий.

Проведенный анализ состояния атмосферного воздуха в Кемеровской области за период с 1999 по 2003 год показал, что качество воздуха на постах контроля имеет тенденцию к снижению или не превышению ПДК по взвешенным веществам, оксиду углерода, диоксиду серы, фенолу, анилину, диметиламину. В то же время по ряду специфических показателей концентрация загрязняющих веществ стабильно превышает ПДК для населенных мест и не соответствует гигиеническим нормам. Город Кемерово является одним из городов с наибольшим уровнем загрязнения воздуха с населением 523,1 тыс. человек. На 1 января 2001 года в городе зарегистрированы 16940 предприятий, объединений, их филиалов и других обособленных подразделений, промышленных предприятий – 1676. По данным наблюдений на восьми стационарных постах, расположенных в разных районах города (таблица 1), атмосфера города более всего загрязнена бенз(а)пиреном, формальдегидом, аммиаком, сажей, диоксидом азота – среднегодовые концентрации этих примесей превышают ПДК. Уровень за-

грязнения атмосферы города по критериям Росгидромета оценивается как очень высокий по хлористому водороду и саже.

Таблица 1

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в г. Кемерово, тыс. тонн

Наименование загрязняющих веществ	1999	2000	2001	2002	2003
Всего в т.ч.:	65,546	67,054	61,778	61,36	58,39
твердые	17,242	18,983	15,932	15,95	13,50
жидкие и газообразные из них:	43,941	48,071	45,846	45,41	44,89
оксиды азота	18,750	18,332	18,011	17,124	17,510
диоксид серы	18,081	18,300	16,298	16,704	14,09
оксид углерода	7,110	7,264	7,282	7,429	8,89
Углеводороды	0,172	0,158	0,218	0,23	0,27
Летучие органич. соед-я	0,786	0,732	0,745	0,79	0,87
Прочие	3,405	3,285	3,292	3,133	3,26

В процессе исследований на начальном этапе изучалась система, состоящая из двух промышленных предприятий, расположенных на небольшом удалении друг от друга. Эти предприятия – А и В – являются «независимыми субъектами», то есть обладают каждый своим определенным ресурсом, и между ними нет связей иерархического типа (но могут быть связи, обусловленные экологическими факторами).

Возникает задача – необходимо построить такую систему отчислений на очистку воздуха со стороны обоих предприятий, которая была бы им выгодна настолько, что ни у одного из предприятий не возникла бы потребность отклоняться от принятых договорных отношений.

Математическая модель взаимодействия двух предприятий по аэрологическому фактору, представляет собой систему нелинейных алгебраических уравнений с ограничениями. Введем следующие обозначения: Q_A , Q_B - исходные значения ресурсов предприятий А и В, т.е. то количество денежных средств, которое предприятия могут потратить на развитие производства и очистку воздушного бассейна района; x_A , x_B - доля ресурсов, вложенная в очистку воздуха; y_A , y_B - доля ресурсов, вложенная в развитие предприятия. Очевидно: $Q_A = x_A + y_A$, $Q_B = x_B + y_B$, $W(x_A, x_B)$ – качество воздуха, которое зависит от того, какое количество средств вложат оба предприятия в его очистку. $F_A(y_A)$, $F_B(y_B)$ – прибыль предприятий, полученная в результате вложения средств в реконструкцию или развитие. Таким образом, интересы предприятия А можно выразить следующим образом: $F_A(Q_A - x_A) \rightarrow \max$, $W(x_A, x_B) \rightarrow \max$. Аналогично,

для предприятия В: $F_B(Q_B - x_B) \rightarrow \max$, $W(x_A, x_B) \rightarrow \max$.

То есть, каждое из предприятий стремится максимизировать свой доход F и чистоту воздуха W . Проблема в том, что качество воздуха зависит от действий каждого из них и степени их взаимодействия. Необходимо, ввести коэффициенты λ_A и λ_B , которые бы соизмеряли критерии $F_A(Q_A - x_A)$ и $F_B(Q_B - x_B)$ с критерием $W(x_A, x_B)$, теперь можно составить свертку критериев для предприятия А: $\Phi_A = \min(W, \lambda_A F_A)$. Задача предприятия А состоит в отыскании такого \bar{x}_A , при котором $\Phi_A \rightarrow \max$. По аналогии можно найти свертку критериев для субъекта В: $\Phi_B = \min(W, \lambda_B F_B)$, $\Phi_B \rightarrow \max$.

Рассмотренную выше задачу можно формализовать теперь следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \text{А: } \Phi_A &= \min\{W(x_A, x_B), \lambda_A F_A(x_A)\} \rightarrow \max, \\ \text{В: } \Phi_B &= \min\{W(x_A, x_B), \lambda_B F_B(x_B)\} \rightarrow \max. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В качестве решения в данном случае естественно выбрать ситуацию равновесия, такую, чтобы найденные значения $x_A = \bar{x}_A$, $x_B = \bar{x}_B$ удовлетворяли уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} W(\bar{x}_A, \bar{x}_B) &= \lambda_A F_A(\bar{x}_A), \\ W(\bar{x}_A, \bar{x}_B) &= \lambda_B F_B(\bar{x}_B). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Так как функция W – функция зависимости качества воздуха от инвестиций в его очистку – определяется объемом валовых выбросов, то зависимость качества воздуха от капиталовложений в его очистку – монотонно возрастающая. В работе качество атмосферы представлено функцией предотвращенного ущерба от уловленных выбросов. Зависимость качества воздуха от капиталовложений в его очистку можно представить в виде: $W = x_A + x_B - Y$, где Y – экономическая оценка ущерба, причиняемого годовыми выбросами загрязнений в атмосферный воздух.

Справедливо предположение о том, что годовой выброс вредных веществ в атмосферу, осуществляемый предприятием прямо пропорционален объему производимой продукции, а, следовательно, и количеству средств, вложенных в развитие производства с некоторыми коэффициентами пропорциональности α_A , α_B .

$$\begin{aligned} \text{Тогда } W &= x_A + x_B - \gamma \sigma f((\alpha_A Q_A + \alpha_B Q_B) - \alpha_A x_A - \alpha_B x_B) = \\ &= \alpha'_A x_A + \alpha'_B x_B + \delta, \quad \alpha'_A = 1 + \gamma \sigma f \alpha_A, \quad \alpha'_B = 1 + \gamma \sigma f \alpha_B, \quad \delta = -\gamma \sigma f. \end{aligned}$$

$(\alpha_A Q_A + \alpha_B Q_B)$, где γ - стандартизованный показатель удельной ущербности условной тонны приведенной массы годовых выбросов вредных веществ в атмосферный воздух; σ - показатель относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха над территориями различных типов; f - поправка, учитывающая характер рассеяния примесей в атмосфере.

Можно предположить, что функция зависимости прибыли предприятия от капиталовложений в развитие производства имеет вид линейной зависимости. Однако, очевидно, что при увеличении объема вкладываемого ресурса в развитие предприятия, в какой-то момент рост прибыли перестанет быть прямо пропорционален росту инвестируемого капитала, он может просто остановиться и стремиться к определенному пределу - максимальному значению прибыли F_{\max} . Тогда зависимость прибыли предприятия от капиталовложений в развитие производства: $F(y) = F_{\max} [1 - \exp(-\beta y)]$, где β - некоторый коэффициент, учитывающий возможность получения прибыли предприятием.

Очевидно, что предложенная задача перешла в разряд задач решения систем нелинейных алгебраических уравнений.

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \alpha'_A x_A + \alpha'_B x_B + \delta - \lambda_A F_{A\max} (1 - \exp(-\beta_A (Q_A - x_A))) = 0, \\ F_2 &= \alpha'_A x_A + \alpha'_B x_B + \delta - \lambda_B F_{B\max} (1 - \exp(-\beta_B (Q_B - x_B))) = 0. \end{aligned} \right\} (3)$$

При этом решение должно удовлетворять условиям: $F_1(\bar{x}_A, \bar{x}_B) = 0$, $F_2(\bar{x}_A, \bar{x}_B) = 0$. На самом деле на значения x_A и x_B естественным образом налагаются ограничения. Во-первых, x_A и x_B должны быть неотрицательными. Во-вторых, функции F_1 и F_2 задаются численными значениями, соответствующими определенным значениям аргументов на заданном интервале и, в общем случае трудно судить о поведении функций F_1 и F_2 за его пределами. Поэтому целесообразно говорить о поиске решения в пределах известного интервала: $0 \leq x_A \leq X_{A\max}$, $0 \leq x_B \leq X_{B\max}$.

Реализация существующих методов решения систем нелинейных уравнений, в случае наличия такого рода ограничений показала, что методы дают положительный результат, только в случае идентичности параметров функций F_1 и F_2 . Такие случаи не часто встречаются на практике, а также остается открытым вопрос, что делать, если параметры не соответствуют указанным требованиям. Одним из способов решения этой проблемы является использование численных методов оптимизации. Для этого нужно поставить задачу нахождения решения данной нелинейной системы как оптимизационную или, иначе, экстремальную задачу. В данном случае

может быть уместно, изменить задачу (3) следующим образом. Из функций F_1 и F_2 образуются новая функция:

$$\Phi(x_A, x_B) = F_1^2(x_A, x_B) + F_2^2(x_A, x_B). \quad (4)$$

Так как эта функция неотрицательна, то найдется точка (\bar{x}_A, \bar{x}_B) такая, что $\Phi(x_A, x_B) \geq \Phi(\bar{x}_A, \bar{x}_B) \geq 0$; $0 \leq x_A \leq X_{A\max}$, $0 \leq x_B \leq X_{B\max}$, т.е. $(\bar{x}_A, \bar{x}_B) = \arg \min_{0 \leq x_A \leq X_{A\max}} \Phi(x_A, x_B)$. Для решения представленной задачи применя-

лись методы спуска. Для решения задачи (4) с ограничениями методом градиентного спуска необходимо так задать функции F_1 и F_2 , чтобы функция $\Phi(x_A, x_B)$ была непрерывна на всей области определения, и в любой точке можно было найти направление ее градиента. На практике этого трудно добиться. Поэтому, для нахождения решения задачи (4) с ограничениями функции F_1 и F_2 необходимо аппроксимировать, а значения градиента функции $\Phi(x_A, x_B)$ затем определить при помощи метода конечных разностей. При этом точность решения задачи (4) с ограничениями, найденного таким образом, невысока. Кроме того, предполагается, что исходные значения функции $\Phi(x_A, x_B)$ обладают достаточной гладкостью. Есть основания полагать, что в противном случае метод градиентного спуска неприменим без использования специальных математических методов, предназначенных для сглаживания экспериментально полученных зависимостей, что приведет к большей потере точности.

Поэтому для нахождения точного устойчивого решения задачи использовался метод покоординатного спуска. Реализация метода покоординатного спуска для решения задачи (4) с ограничениями дала очень хорошие результаты. Вышеописанный метод показал себя как точный и надежный способ решения задачи. Недостатком является большое количество итераций, требуемое для получения точного решения. Также к недостаткам следует отнести, что этот метод, как и все методы спуска, является методом поиска локального минимума, однако специфика задачи (4) с ограничениями такова, что функция Φ - есть сумма квадратов функций F_1 и F_2 , и имеет только одну точку минимума - глобального. Следует отметить также, что точность решения, найденного методом покоординатного спуска, находится в сильной зависимости от быстроты изменения функции.

Положительные результаты, полученные при решении задачи нахождения компромисса в вопросе определения оптимальных отчислений на очистку атмосферного воздуха для двух предприятий, совместно работающих на небольшом удалении друг от друга, позволили рассмотреть эту

задачу с большей размерностью – с большим количеством предприятий – участников «института согласия». В этом случае задача (3) имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_N x_N + \delta - \lambda_1 F_{1\max} (1 - \exp(-\beta_1 (Q_1 - x_1))) = 0, \\ F_2 &= \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_N x_N + \delta - \lambda_2 F_{2\max} (1 - \exp(-\beta_2 (Q_2 - x_2))) = 0, \\ &\vdots \\ F_N &= \alpha_1 x_1 + \dots + \alpha_N x_N + \delta - \lambda_N F_{N\max} (1 - \exp(-\beta_N (Q_N - x_N))) = 0. \end{aligned} \right\} (5)$$

где $0 \leq x_1 \leq X_{1\max}$, $0 \leq x_2 \leq X_{2\max}$, ..., $0 \leq x_N \leq X_{N\max}$.

Эта задача по аналогии с задачей (3) также может быть решена методом покоординатного спуска. Целевая функция (4) в этом случае:

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N F_i^2(x_1, x_2, \dots, x_N), \quad (6)$$

также имеет один экстремум – точку глобального минимума $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_N) = 0$, которая является искомой.

Важно отметить, что качество атмосферного воздуха зависит не только от объема вложенных средств, но и от распределения этих средств (от выбора метода очистки воздуха, вида очистительных сооружений, и т.д.) Говоря о функции качества атмосферного воздуха, следует учитывать количественные показатели оценки качества. Одним из таких показателей может быть концентрация вредной примеси в атмосфере. Может возникнуть задача, связанная с определением максимального объема выбрасываемого загрязнителя – так называемый, предельно допустимый выброс (ПДВ), при котором концентрация загрязняющего вещества не превышает ПДК ни в одной точке пространства.

Перенос примесей в атмосфере происходит путем диффузии. Если рассматривать точечный источник, расположенный на высоте H в случае стационарного поля концентраций вредных примесей и применяя физически обоснованные допущения о том, что вертикальная составляющая скорости ветра не рассматривается и система координат выбирается таким образом, чтобы ось Ox совпадала с направлением ветра (тогда $v = 0$) при постоянных значениях скорости ветра и коэффициентов турбулентной диффузии, то при нулевом начальном значении концентрации $c|_{t=0} = 0$ и отсутствии массообмена между атмосферой и земной поверхностью (то есть задается граничное условие второго рода вида): $\partial c / \partial z|_{z=0} = 0$, уравнение

диффузии примеси в атмосфере имеет решение:

$$\begin{aligned}
 c(x, y, z) = & I_0 / \left(4\pi \sqrt{\langle D_{Tx} \rangle \langle D_{Ty} \rangle \langle D_{Tz} \rangle} \right) \times \\
 & \times \left\{ a^{-1} \cdot \exp \left[u / \left(2\sqrt{\langle D_{Tx} \rangle} \right) \cdot \left(x / \sqrt{\langle D_{Tx} \rangle} - a \right) \right] + \right. \\
 & \left. + b^{-1} \cdot \exp \left[u / \left(2\sqrt{\langle D_{Tx} \rangle} \right) \cdot \left(x / \sqrt{\langle D_{Tx} \rangle} - b \right) \right] \right\}, \quad (7)
 \end{aligned}$$

где c - концентрация примеси в воздухе; I_0 - производительность источника; u - составляющая вектора скорости воздуха по координатной оси; $\langle D_{Tx} \rangle$, $\langle D_{Ty} \rangle$, $\langle D_{Tz} \rangle$ - средние значения коэффициентов турбулентной диффузии; $a = \left[\langle D_{Tx} \rangle^{-1} x^2 + \langle D_{Ty} \rangle^{-1} y^2 + \langle D_{Tz} \rangle^{-1} (z-H)^2 \right]^{0.5}$, $b = \left[\langle D_{Tx} \rangle^{-1} x^2 + \langle D_{Ty} \rangle^{-1} y^2 + \langle D_{Tz} \rangle^{-1} (z+H)^2 \right]^{0.5}$.

Задача теперь состоит в том, чтобы определить наибольшее значение I_0 , при котором $c(x, y, z)$ не превышает значение ПДК на заданной высоте ($z=1\text{м}$) от поверхности земли. Тогда подлежащая рассмотрению функция концентрации c является с математической точки зрения функцией двух переменных - x и y .

Для решения этой задачи, в первую очередь, необходимо определить точку, в которой функция $c(x, y, 1)$ имеет наибольшее значение, поэтому задача сводится к задаче нахождения максимума функции двух переменных - $c(x, y)$. Необходимо найти такие значения (\tilde{x}, \tilde{y}) , при которых $c(\tilde{x}, \tilde{y}) \rightarrow \max_{x \geq 0, y \geq 0} c(x, y)$. Таким образом, для решения задачи необходимо решить систему уравнений относительно переменных x и y : $\partial c / \partial x = 0$; $\partial c / \partial y = 0$. Очевидно, что для решения настоящей задачи целесообразно использовать численные методы решения систем нелинейных уравнений или воспользоваться готовым пакетом прикладных математических средств. Также можно воспользоваться одним из известных методов оптимизации. Например, одним из методов спуска, которые успешно зарекомендовали себя при решении задачи построения «института согласия». Тогда задача сведется к задаче нахождения:

$$(\tilde{x}, \tilde{y}) = \arg \max_{x \geq 0, y \geq 0} (c(x, y)). \quad (8)$$

Применение метода градиентного спуска для решения настоящей задачи оправдывает тот факт, что оптимизируемая функция задана в виде непрерывной дифференцируемой аналитической зависимости и получение значений частных производных в каждой точке ее определения не представляет трудностей. Однако практическое применение настоящего метода для решения задачи определения максимального значения концентрации выявило главный недостаток: скорость сходимости метода существенно зависит от параметров исходной функции, то есть от быстроты ее изменения (чем больше градиент функции, тем быстрее сходится метод). Однако при определенных условиях (в частности, если источник выброса расположен на значительной высоте от поверхности земли) оптимизируемая функция может иметь протяженные участки, на которых ее значение остается практически постоянным.

Это обстоятельство существенно усложняет, а в некоторых случаях делает невозможным применение настоящего метода для вышеуказанных задач. В этом случае, как и в задаче построения «института согласия», положительными результатами дал метод покоординатного спуска.

Таким образом, определив максимальные значения концентрации основных загрязняющих веществ, выброшенных различными источниками, можно воспользоваться каким-либо показателем качества атмосферного воздуха и определить наиболее загрязненные области. Загрязнение воздуха Кемеровской области наиболее распространенными ингредиентами оценивалось при помощи индекса, учитывающего их относительную токсичность П4. Результаты такой оценки приведены в таблице 2. Результаты исследований показали, что индекс, учитывающий относительную токсичность загрязнителей, является интегральным показателем состояния атмосферного воздуха.

Для численной реализации математических моделей задачи разработан комплекс программных средств, который реализуется при помощи прикладного пакета Visual C++ 6.0 фирмы Microsoft. На рисунке 1 представлен общий вид окна разработанного приложения с примером решения задачи построения «института согласия» для трех предприятий. Результатом любого анализа обязательно должно стать заключение о необходимости внедрения проекта. Это относится как к ресурсному, так и к экологическому аспектам проектирования. На практике может возникнуть ситуация, когда руководству предприятия необходимо из нескольких возможных воздухоохраных проектов выбрать наиболее предпочтительный – наиболее эффективный и наименее затратный. При этом оценить непосредственно эти проекты зачастую бывает непросто. С этой целью удобно использовать разработанную в среде MathLab R12 на основе алгоритма Мамдани нечеткую модель.

Таблица 2

Индекс относительной токсичности пылегазовых выбросов
в атмосферу Кемеровской – П4

Крупнейшие в отрасли источники выбросов загрязняющих веществ в атмосферу	твердые	диоксид серы	оксид углерода	оксиды азота (в пересчете на NO ₂)	П4
Филиал «Шахта «Абашевская» ОАО «ОУК» «Южкузбассуголь»	0,15366	0,023666	0,088257	0,023316	2,119805
ЗАО «Распадская»	0,145123	0,022351	0,083353	0,022021	2,008993
Филиал «Шахта «Есаульская» ОАО «ОУК» «Южкузбассуголь»	0,131465	0,020248	0,075508	0,019949	1,831146
ОАО «Шахта «Комсомолец»	0,110977	0,017092	0,063741	0,01684	1,562843
ОАО «Шахта «Полысаевская»	0,095611	0,014726	0,054915	0,014508	1,360108
ОАО «Шахта им. В.И. Ленина»	0,093903	0,014463	0,053935	0,014249	1,337487
Филиал «Шахта «Юбилейная» ОАО «ОУК» «Южкузбассуголь»	0,088781	0,013674	0,050993	0,013472	1,269498
ООО «Шахта Чертинская- Коксовая»	0,087074	0,034108	0,050012	0,013213	1,660734
Филиал «Шахта «Осинниковская» ОАО «ОУК» «Южкузбассуголь»	0,083659	0,012885	0,048325	0,012695	1,20139
ОАО «Шахта им. С.М. Кирова»	0,059757	0,009204	0,034322	0,009068	0,879702

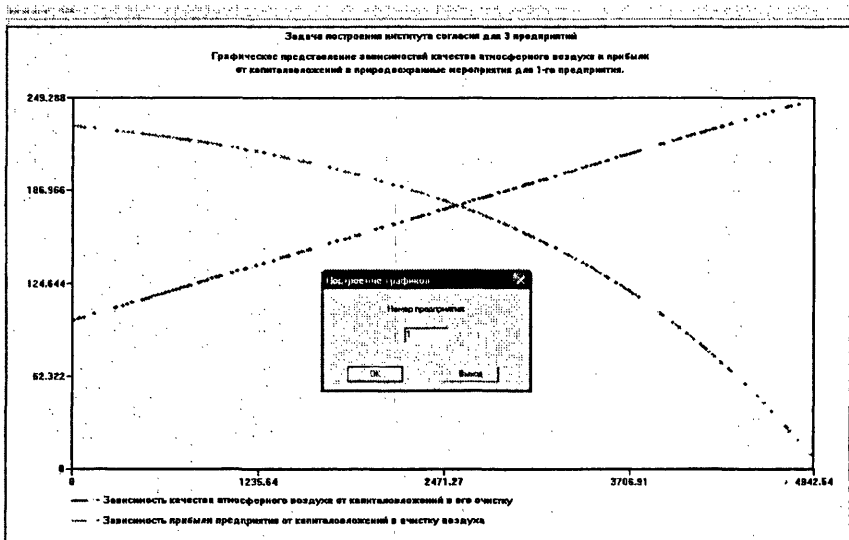


Рисунок 1 - Общий вид окна приложения, разработанного для решения задачи оптимизации взаимодействия нескольких предприятий по аэрологическому фактору

Содержательная интерпретация нечеткой модели предполагает выбор и спецификацию входных и выходных переменных нечеткого типа. При этом в нечеткой модели используются три входные переменные и одна выходная переменная. В качестве входных переменных используются переменные: «атмосфера», «финансирование» и «доход», которые отражают фактическое сокращение валовых выбросов предприятиями основных загрязняющих веществ в атмосферу промышленного региона и прилегающих жилых территорий, размер необходимого финансирования со стороны государства для осуществления проекта и изменение доходов предприятия в связи с введением нового проекта соответственно. Выходная переменная имеет название «целесообразность». Это решение о необходимости принять или отклонить выполнение разработанного проекта.

Практическая апробация этой методики реализована на примере анализа предприятием двух природоохранных проектов со следующими возможными результатами:

1. Первый проект приведет к сокращению валовых выбросов загрязнителей в атмосферу на территории горнопромышленного региона на 380 тыс. т в год, для его осуществления необходимо финансирование со стороны государства в размере 2800 млн. руб. в год, при этом доход предприятия составит 100 млн. руб.

2. Второй проект приведет к сокращению валовых выбросов на 800 тыс. т в год, со стороны государства необходимо финансирование в размере 3000 млн. руб. в год, в этом случае доход предприятия составит 40 млн. руб.

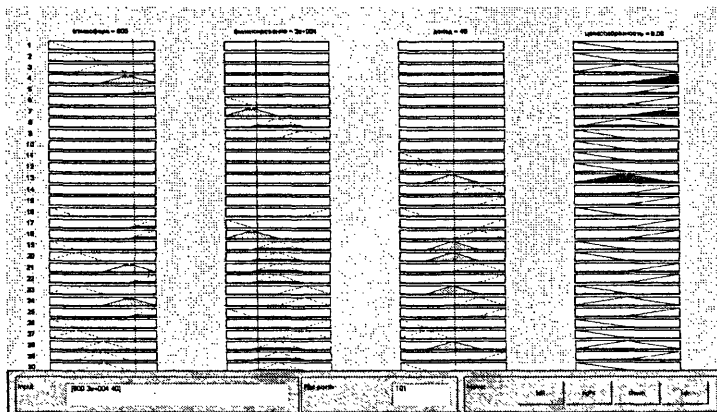


Рисунок 2 - Обзор правил нечеткой модели, применительно к анализу эффективности второго проекта

Разработанная нечеткая модель позволила оценить эти проекты следующим образом. На рисунке 2 представлен обзор правил, используемых в базе правил нечеткой модели применительно к рассматриваемой задаче второго проекта. Правила сформированы таким образом, что приоритетным фактором является состояние атмосферного воздуха, поэтому из предложенных проектов предпочтительным является второй проект. Целесообразность его внедрения 6,08, тогда как для первого целесообразность составляет 5,33.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы внедрены и используются при разработке территориальной автоматизированной системы управления предприятиями по эколого-экономическим критериям и для контроля выбросов загрязнителей в атмосферу. Разработанные модели при наличии разносторонней фактической информации о производственных процессах предприятия позволяют рационализировать деятельность предприятий по аэрологическому фактору и повысить экологическую эффективность горного производства. Результаты работы используются при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Горное дело».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе экспериментальных и теоретических исследований установлены новые и уточнены существующие закономерности взаимодействия горных предприятий по аэрологическому фактору для определения оптимальных условий очистки пылегазовых выбросов и оценки эффективности проектов защиты атмосферы с использованием систем нечеткой логики, а также разработаны методические положения, позволяющие повысить качество оценки загрязнения атмосферного воздуха и эффективность экологического мониторинга воздушного бассейна, что имеет важное социальное значение для горнопромышленных регионов России.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработана усовершенствованная методика комплексной оценки загрязнения атмосферы горнопромышленного региона, которая позволяет реализовать единый методический подход к прогнозированию интенсивности загрязнения атмосферы, технико-экономической эффективности производства и контролю состояния атмосферного воздуха, используя общие требования экологического императива на рассматриваемой территории.

2. Усовершенствована методика прогнозной оценки загрязнения атмосферы на мезоуровне, особенность которой заключается в том, что динамика интенсивности выбросов загрязнителей в атмосферу уточняется по

мере развития существующей базы данных. При этом установлено, что в центральном регионе России, как правило, работает около 5500 предприятий, выбрасывающих в атмосферу более 240 различных загрязняющих веществ, основными из которых являются пыль, диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, углеводороды.

3. На основе анализа содержания базы данных об уровне техногенных воздействий на атмосферу перспективных промышленных регионов установлено, что промышленно развитые области горнопромышленных регионов России характеризуются высоким уровнем индустриализации и, как правило, имеют развитый аграрный сектор, что в целом обуславливает высокий уровень загрязнения атмосферы. При этом наблюдающееся уменьшение количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу зачастую происходит не в результате проведения природоохранных мероприятий, а вследствие падения объемов производства на промышленных предприятиях.

4. Предложена оптимизация технико-экономических параметров по аэрологическому фактору на основе правил, регламентированных «институтами согласия» и объединяющими горные предприятия с предприятиями других отраслей промышленности. При этом концентрацию вредного вещества в воздухе целесообразно рассчитывать на основе аналитического решения уравнения диффузии для трехмерного полупространства при постоянных значениях ортогональных компонент скорости ветра и коэффициентов турбулентной диффузии.

5. Доказано, что функция, характеризующая зависимость качества атмосферного воздуха от затрат на локализацию пылегазовых выбросов, может быть аппроксимирована линейной зависимостью, а зависимость прибыли предприятий от капиталовложений в развитие производства имеет экспоненциальный вид. Следовательно, для системы «промышленные предприятия - атмосфера» можно сформулировать задачу эколого-экономического компромисса и построить территориальный «институт согласия» (решение, оптимальное по Парето).

6. Разработан алгоритм оценки эффективности мероприятий по защите атмосферы и целесообразности внедрения разработанного проекта на основе экспертных заключений с использованием системы анализа нечеткой логики.

7. Разработан комплекс программных средств, усовершенствованы структурные и функциональные принципы атмосферного мониторинга с использованием современных информационных технологий. На основе изучения существующей базы данных об уровне техногенных воздействий на атмосферу перспективных промышленных регионов России (на примере Кемеровской области) разработана модель оценки эффективности принятия решений в рамках систем нечеткой логики.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Качурин Н.М., Саломатин В.А., Лагун Н.С. Оценка предельно допустимых выбросов загрязнителей в окружающую среду. // Геоинформационные технологии в решении региональных проблем. - Тула – Москва. Изд-во ТулГУ, 2002. - С. 137-140.

2. Качурин Н.М., Саломатин В.А., Лагун Н.С. Оптимальные капиталовложения в природоохранные мероприятия на промышленном предприятии. // Геоинформационные технологии в решении региональных проблем. - Тула. – Москва. Изд-во ТулГУ, – 2002. стр. 121-124.

3. Качурин Н.М., Свиридова Т.С., Саломатин В.А., Лагун Н.С. Оценка экологического состояния региона по эпидемиологическим показателям. // Геоинформационные технологии в решении региональных проблем. - Тула. – Москва. Изд-во ТулГУ, – 2002. стр. 171-182.

4. Качурин Н.М., Поляков В.В., Бобовников А.Л., Лагун Н.С. Геоэкологическая модель «института согласия» для двух предприятий по аэрологическому критерию. // Известия Тульского государственного университета. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». Выпуск 6. Под общей редакцией д.т.н., проф. Н.М. Качурина - Москва-Тула, Изд-во ТулГУ, 2003. - С. 311-323.

5. N.M. Kachurin, M.V. Greyzev, N.S. Tcharina. Evaluation of powder-gas atmospheric emission from the industrial enterprise.// Geotechnologies and environmental protection. Academy of mining sciences. – Tula.: “Grif & Co”, №1, 2006. – P. 13-24.

Н.С. Чарина

Автореферат

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97. Подписано в печать 9.11.2006.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,2. Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ 117.

Тульский государственный университет.

300600, г. Тула, просп. Ленина, 92.

Отпечатано в Издательстве ТулГУ

300600, г. Тула, ул. Болдина, 151