

РАХМЕТУЛЛИНА САУЛЕ ЖАДЫГЕРОВНА

**Информационно-аналитическая система мониторинга загрязнения
атмосферного воздуха промышленного города**

05.25.05 - Информационные системы и процессы,
правовые аспекты информатики

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Республика Казахстан
Усть-Каменогорск, 2010

Работа выполнена в Восточно-Казахстанском государственном техническом университете имени Д. Серикбаева.

Научные руководители: доктор технических наук,
профессор Мутанов Г.М.

кандидат физико-математических наук
Турганбаев Е.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Жижимов О.Л.

кандидат технических наук
Мадияров М.Н.

Ведущая организация: ДГП «Институт проблем информатики
и управления» МОН РК

Защита состоится в 10-00 « 5 » октября 2010 г. на заседании диссертационного совета К 14.29.15 при Восточно-Казахстанском государственном техническом университете имени Д. Серикбаева по адресу: 070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69, зал заседаний Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Восточно-Казахстанского государственного технического университета имени Д. Серикбаева по адресу: г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19.

Автореферат разослан « 3 » сентября 2010 г.

Ученый секретарь совета

Т.Г.

Балова

Введение

Актуальность работы. Разработка аналитической поддержки системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в промышленно развитых городах является одним из актуальных направлений развития информационных технологий экологического мониторинга и их инструментальных средств. Успешное решение основных задач мониторинга атмосферного воздуха, связанных с оценкой текущего состояния и прогнозом загрязнения, зависит от используемых методов и моделей и, главным образом, от того, как в этих моделях учитываются метеоусловия и процесс фотохимической трансформации загрязняющих веществ. Существенным для оценки состояния и анализа загрязнения атмосферного воздуха является также использование актуальных данных, полученных с пунктов наблюдения в реальном масштабе времени. Это позволяет не только оценить ситуацию в любой момент времени в условиях постоянно меняющихся параметров, но и своевременно принимать решения и тем самым влиять на состояние атмосферного воздуха.

Созданию теоретико-методологической основы информационных технологий оценки и прогноза состояния окружающей среды с учетом влияния на уровень загрязнения опасных природных и техногенных процессов посвящены работы зарубежных и отечественных авторов Jacobson M.Z., Seinfeld J.H., Pandis S.N., Kaplan H., Zambakas J. D., Берлянда М.Е., Марчука Г.И., Моница А.С., Яглома А.М., Обухова А.М., Пененко В.В., Алояна А.Е., Данаева Н.Т., Султангазина У., Бакирбаев Б., Закарина Э.А., Айдосова А. Анализ показал, что современная организация мониторинга атмосферного воздуха опирается на стандартные методики и их модификации, которые позволяют на основе эмпирических и полуэмпирических формул выявлять степень опасности загрязнения приземного слоя атмосферы выбросами вредных веществ.

В связи с вышесказанным актуальной является разработка информационно-аналитической системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха (ИАСМЗ), информационное обеспечение которой формируется из реальных данных мониторинга, математическое обеспечение базируется на трехмерных моделях гидротермодинамики атмосферы и уравнении переноса с учетом фотохимических трансформаций примесей, а программное обеспечение использует элементы ГИС-технологии и интегрируется с системой регионального экологического мониторинга.

Данная диссертационная работа выполнялась в Восточно-Казахстанском государственном техническом университете имени Д. Серикбаева в рамках госбюджетной темы: «Моделирование и оценка качества техногенно измененного состояния природной среды (на примере г. Усть-Каменогорска)» № 29-07.

Цель работы – разработка информационно-аналитической системы для повышения эффективности мониторинга загрязнения атмосферного воздуха и принятия решений, связанных с управлением качеством состояния атмосферного воздуха промышленного города.

Основная идея работы – расширить возможности системы экологического регионального мониторинга в части оценки и прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха путем включения в состав математического обеспечения системы моделей распространения примесей, учитывающих динамику атмосферных процессов и фотохимические трансформации.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является атмосферный воздух промышленного города и источники его загрязнения. Предметом исследования являются информационные технологии мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы математические модели динамики атмосферы, численные методы, продукционные модели экспертных систем, средства объектно-ориентированного программирования, системы управления базами данных, геоинформационные технологии.

Основные задачи работы:

– осуществить анализ проблем и перспектив разработки математического обеспечения информационных систем экологического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха промышленного города;

– разработать банк математических моделей оценки и прогноза загрязнения атмосферы с учетом метеорологических полей и фотохимических трансформаций и реализовать их численные алгоритмы;

– разработать метод визуализации результатов моделирования с помощью ГИС-технологий;

– разработать информационно-аналитическую систему мониторинга загрязнения атмосферного воздуха промышленного города, математическое обеспечение которой включает как стандартную методику расчета концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, так и методику, базирующуюся на трехмерных моделях гидротермодинамики атмосферы и уравнении переноса с учетом фотохимических трансформаций примесей.

Положения, выносимые на защиту, и их новизна:

– банк моделей прогноза загрязнения атмосферного воздуха от точечных источников, базирующихся на системе трехмерных уравнений гидротермодинамики атмосферы и уравнении переноса примесей с учетом фотохимических трансформаций;

– численная реализация трехмерных моделей, базирующихся на системе уравнений гидротермодинамики атмосферы и уравнении переноса с учетом фотохимических трансформаций примесей;

– база нечетких продукционных правил выбора модели расчета концентрации загрязняющего вещества из банка моделей в зависимости от сценария развития метеоусловий и уровня загрязнения атмосферного воздуха;

– информационно-аналитическая система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, математическое обеспечение которой включает банк моделей, базу нечетких продукционных правил выбора из банка модели оценки и прогноза загрязнения атмосферного воздуха и средства ГИС-технологий для визуализации результатов моделирования.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций основывается на корректном использовании теории распространения примесей, физической химии, методов математического моделирования, системного анализа, теории нечетких множеств, проектирования информационных систем, а также на результатах внедрения.

Практическая ценность работы заключается в том, что ИАСМЗ представляет собой доведенный до практической реализации программно-информационный комплекс, позволяющий осуществлять оценку и прогноз состояния загрязнения атмосферного воздуха промышленного города от точечных источников с учетом климатических полей и фотохимических трансформаций.

Разработанная информационно-аналитическая система с банком моделей оценки и прогноза может быть использована в системах мониторинга промышленных городов, подверженных негативному влиянию выбросов промышленных предприятий, для повышения эффективности мониторинга качества атмосферного воздуха.

Реализация результатов работы. Разработанная автором информационно-аналитическая система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха внедрена в Восточно-Казахстанский центр гидрометеорологии "Казгидромет". Такие результаты диссертационной работы как численные реализации моделей рассмотренных в диссертационной работе внедрены в учебный процесс ВКГТУ имени Д. Серикбаева. Акты внедрения отражены в приложении к диссертации.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры «Информационные системы» ВКГТУ имени Д. Серикбаева, на МНПК «Информационно-коммуникационные технологии как основной фактор развития инновационного общества», г. Усть-Каменогорск, 2007 г.; МНПК «Роль университетов в создании инновационной экономики», г. Усть-Каменогорск, 2008 г.; I Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы науки и техники», г. Уфа, 2009 г.; VIII Всероссийской НПК студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Молодежь и современные информационные технологии», г. Томск, 2010 г.

Личный вклад автора. Основные научные и практические результаты диссертации, от постановки задачи до ее практической реализации: разработка продукционных правил выбора модели, банк моделей, численная реализация моделей, разработка программного обеспечения, получены автором диссертации лично или в неделимом соавторстве. Из опубликованных в соавторстве работ в диссертацию вошли только те результаты, в получении которых диссертантом было принято непосредственное участие на всех этапах: от постановки задач и проектирования информационно-аналитической системы до разработки программного обеспечения и его внедрения. В публикациях [1-2]

С.Ж. Рахметуллина в неделимом соавторстве с Е.М. Турганбаевым разработала численную реализацию задачи распространения примеси с учетом

фотохимической трансформации и архитектуру информационно-аналитической системы. В публикации [6] автором в неделимом соавторстве с Г.М. Мутановым и Т.Г. Баловой была предложена и реализована идея разработки производственных правил выбора модели из банка моделей.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных трудов, из них 6 статей в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 135 страницах машинописного текста, иллюстрированного таблицами и рисунками.

Основное содержание работы

Первый раздел «Анализ состава математического обеспечения современных информационных систем экологического мониторинга» посвящен анализу проблем и перспектив применения информационных технологий экологического мониторинга и подходов к формированию математического обеспечения аналитических информационных систем.

Проведенный анализ литературных источников, состава математического обеспечения, функциональных возможностей информационных систем экологического мониторинга воздушного бассейна показал, что при оценке и прогнозе загрязнения атмосферы в Республике Казахстан используется набор стандартных расчетных методик и практические рекомендации метеорологов. Для повышения эффективности мониторинга загрязнения атмосферного воздуха необходимо формирование банка моделей, основанных как на стандартных инженерных расчетных методиках, так и методиках, базирующихся на математическом моделировании распространения примесей с учетом климатических полей и фотохимических трансформаций, для визуализации результатов моделирования необходимо использование современных геоинформационных технологий.

Во втором разделе «Информационные технологии численного моделирования задач экологического мониторинга атмосферных загрязнений» осуществлена разработка математических моделей и численных схем их реализации для создания методологической основы информационной технологии моделирования задач экологического мониторинга атмосферных загрязнений. Разработанный банк моделей включает:

- модель, основанную на стандартной методике расчета концентрации загрязняющих веществ;
- модель прогноза загрязнения атмосферного воздуха от точечных источников, основанную на трехмерном уравнении переноса с учетом турбулентной диффузии;
- модель прогноза загрязнения атмосферного воздуха от точечных

источников с учетом динамики атмосферы, основанную на трехмерной системе уравнений гидротермодинамики атмосферы и уравнении переноса;

– модель прогноза загрязнения атмосферного воздуха от точечных источников с учетом динамики атмосферы, основанную на трехмерной системе уравнений гидротермодинамики атмосферы и уравнении переноса с учетом фотохимических трансформаций примесей.

Модель, основанная на стандартной методике расчета концентрации загрязняющих веществ РНД 211.2.01.01-97, позволяет рассчитывать максимальную концентрацию, опасную скорость ветра, концентрацию по оси факела выброса на различных расстояниях от источника выброса (**модель 1**).

Модель расчета концентрации загрязняющих веществ от точечных источников, основанная на трехмерном уравнении переноса загрязняющего вещества с учетом турбулентной диффузии (**модель 2**). В этой модели компоненты скорости ветра являются входными параметрами. Модель представлена уравнением переноса примесей с учетом турбулентной диффузии:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \operatorname{div} \bar{u}c = F + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_q \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \Delta c.$$

Краевые условия:

$$c = c_0 \text{ при } x = 0; X, y = 0; Y;$$

$$\frac{\partial c}{\partial z} = 0 \text{ при } z = H;$$

$$h \frac{\partial c}{\partial z} = a_{\theta} (c - c_0) \text{ при } z = h.$$

Начальные условия при $t = 0$ задаются по данным измерений и относятся к числу параметров настройки модели.

Модель расчета концентрации загрязняющих веществ от точечных источников с учетом динамики атмосферы, основанная на трехмерной системе уравнений гидротермодинамики атмосферы и уравнении переноса, разработана автором на основе пространственной нестационарной численной модели микроклимата города, предложенной Пененко В.В. С учетом того, что в мезопроцессах горизонтальные масштабы значительно больше вертикальных, внесены изменения в уравнение относительно третьей компоненты вектора скорости (**модель 3**).

Рассматривается пограничный слой атмосферы высотой H , нижняя часть атмосферы представляет собой квазистационарный приземный слой высотой $h = h(x, y)$. Взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью описывается с помощью модели приземного слоя, а для слоя $h \leq z \leq H$, с учетом сделанных предположений, рассматривается следующая система уравнений в возмущениях:

$$\frac{\partial u'}{\partial t} + \text{div} \vec{u} u' = - \frac{\partial \pi'}{\partial x} + l v' + \frac{\partial}{\partial z} v_u \frac{\partial u'}{\partial z} + \Delta u'; \quad (1)$$

$$\frac{\partial v'}{\partial t} + \text{div} \vec{v} v' = - \frac{\partial \pi'}{\partial y} - l u' + \frac{\partial}{\partial z} v_v \frac{\partial v'}{\partial z} + \Delta v'; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \pi'}{\partial z} = \lambda \vartheta; \quad (3)$$

$$\frac{\partial \vartheta'}{\partial t} + \text{div} \vec{v} \vartheta' + S \omega' = - u' \theta_x - v' \theta_y + \frac{\partial}{\partial z} v_\vartheta \frac{\partial \vartheta'}{\partial z} + \Delta \vartheta' + \frac{L_\omega}{c_p} \Phi + Q_r; \quad (4)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial \omega'}{\partial z} = 0; \quad (5)$$

$$\frac{\partial q'}{\partial t} + \text{div} \vec{v} q' = - \frac{\partial Q}{\partial z} \omega' - u' Q_x - v' Q_y + \frac{\partial}{\partial z} v_q \frac{\partial q'}{\partial z} + \Delta q' - \Phi; \quad (6)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \text{div} \vec{v} c = F + \frac{\partial}{\partial z} (v_q \frac{\partial c}{\partial z}) + \Delta c. \quad (7)$$

Где T – температура; t – время; L_ω – скрытая теплота конденсации; Φ – скорость образования жидкой фазы; c_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; Q_r – радиационная составляющая притока тепла; Q_q – источник влаги; F – источники примесей; λ, S – параметры конвекции и стратификации; μ_1, μ_2 – горизонтальные коэффициенты турбулентности; v_u, v_v, v_q – вертикальные коэффициенты турбулентности для количества движения и тепла; θ_x, θ_y и Q_x, Q_y – горизонтальные градиенты фоновой потенциальной температуры и фоновой удельной влажности; θ_0 – среднее значение потенциальной температуры; A – термический эквивалент работы; l – параметр Кориолиса; u, v, ω – компоненты вектора скорости ветра в направлениях декартовых координат; ϑ – потенциальная температура; q – удельная влажность; π – аналог давления; c – концентрация загрязняющего вещества; $u = U + u', v = V + v', \omega = W + \omega', \theta = \theta_0 + \theta', \pi = \Pi + \pi'$ – прописными буквами обозначены фоновые крупномасштабные составляющие метеорологических полей, а буквами со штрихом – отклонения.

Уравнения (1)-(7) решаются в области $D = \{0 \leq x \leq X, 0 \leq y \leq Y, h \leq z \leq H\}$ при начальных и краевых условиях.

Начальные условия при $t = 0$ задаются по данным измерений и относятся к числу входных параметров.

Краевые условия по горизонтали:

$$\frac{\partial u'}{\partial x} = 0, \frac{\partial v'}{\partial x} = 0, \frac{\partial \vartheta'}{\partial x} = 0, \frac{\partial q'}{\partial x} = 0, c = c_0 \text{ при } x = 0, x = X, \quad (8)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial y} = 0, \frac{\partial v'}{\partial y} = 0, \frac{\partial \vartheta'}{\partial y} = 0, \frac{\partial q'}{\partial y} = 0, c = c_0 \text{ при } y = 0, y = Y. \quad (9)$$

На верхней границе пограничного слоя происходит затухание возмущений, поэтому краевые условия имеют следующий вид:

$$u' = 0, v' = 0, \vartheta' = 0, \omega' = 0, q' = 0, \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \text{ при } z = H. \quad (10)$$

Граничные условия на верхней границе приземного слоя определяются из модели квазиоднородного слоя атмосферы. Для описания структуры приземного слоя используется теория подобия Монина-Обухова и эмпирические функции Бусинджера. При сильной неустойчивости для аппроксимации вертикальных профилей метеорологических полей в приземном слое принимается «закон $-1/3$ », а при сильной устойчивости – линейная зависимость. Включение приземного слоя сводится к изменению способа задания краевых условий при $z = h$ без изменения самой структуры вычислительного алгоритма.

Для определения горизонтальных и вертикальных коэффициентов турбулентности использованы эмпирические формулы и формулы Смагоринского.

Такой подход к разработке модели обусловлен тем, что рассмотрение полной системы гидротермодинамики атмосферы позволяет оценивать и прогнозировать загрязнение атмосферы с учетом климатических полей. Кроме того, основные уравнения системы однотипны, что позволяет применить на этапе компьютерной реализации одни и те же численные схемы.

Модель расчета концентрации загрязняющих веществ от точечных источников с учетом фотохимических трансформаций примесей (**модель 4**) построена по модели (1)–(10), но в уравнение переноса добавлен оператор трансформаций примесей:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \overline{div uc} + Bc = F + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_q \frac{\partial c}{\partial z} \right) + \Delta c.$$

В данной работе разработана модель переноса соединений серы, азота на основе решения уравнения турбулентной диффузии, так как эти химические соединения доминируют в атмосфере промышленного города.

Для азот- и серосодержащих загрязняющих веществ рассмотрены две схемы превращений (рисунки 1 и 2), где K_i, K'_i $i = 1, 2, \dots$, – константы скоростей соответствующих реакций.

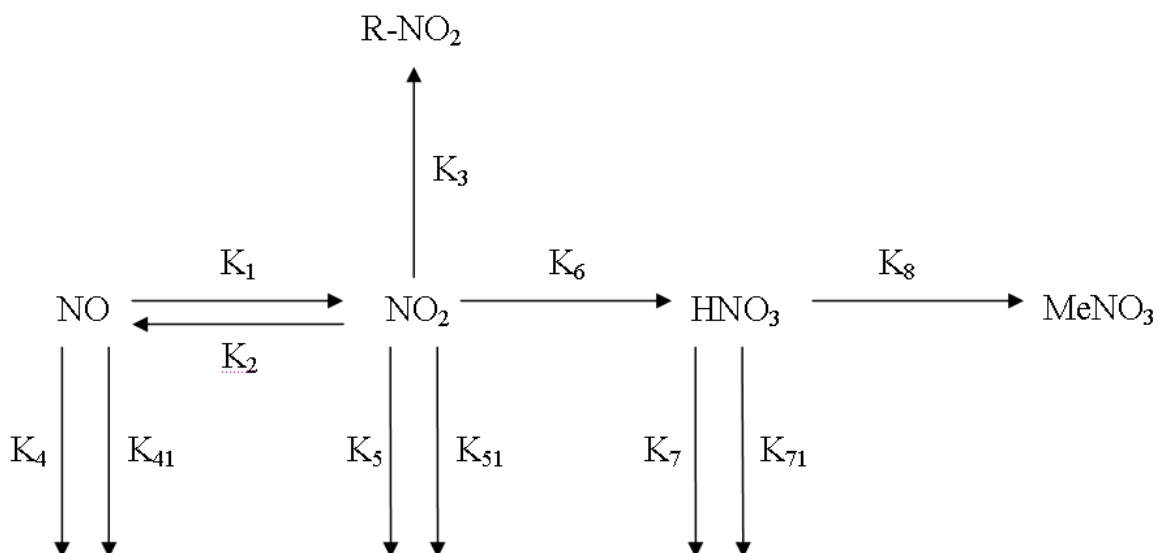


Рисунок 1 – Кинетическая схема превращений для азотсодержащих соединений

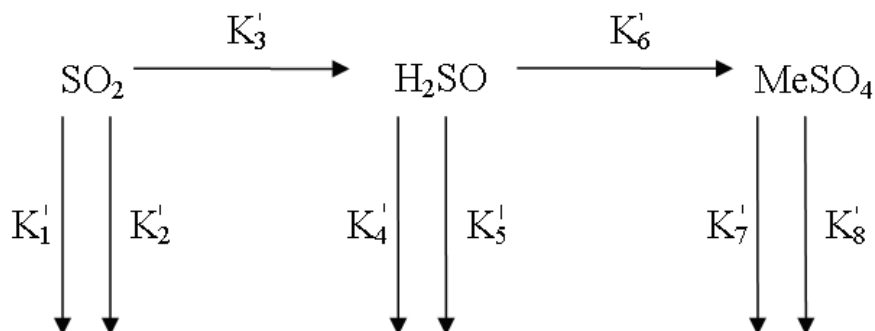


Рисунок 2 – Кинетическая схема превращений для серосодержащих соединений

Численную модель рассматриваемых в работе фотохимических реакций можно представить с помощью линейных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\varphi_{1i,j,k}^{n+1} - \varphi_{1i,j,k}^n}{\tau} = -(K_1 + K_4 + K_{41})\varphi_{1i,j,k}^{n+1} + K_2\varphi_{2i,j,k}^n; \\ \frac{\varphi_{2i,j,k}^{n+1} - \varphi_{2i,j,k}^n}{\tau} = -(K_2 + K_5 + K_{51} + K_3 + K_6)\varphi_{2i,j,k}^{n+1} + K_1\varphi_{1i,j,k}^n; \\ \frac{\varphi_{3i,j,k}^{n+1} - \varphi_{3i,j,k}^n}{\tau} = -(K_1 + K_2 + K_3)\varphi_{3i,j,k}^{n+1}; \end{array} \right.$$

где $[NO] = \varphi_1$, $[NO_2] = \varphi_2$, $[SO_2] = \varphi_3$ концентрации оксида азота, диоксида азота и диоксида серы.

Численные схемы реализации моделей основаны на методе расщепления «по физическим процессам». Метод расщепления дает возможность для

каждого уравнения построить такие конечно-разностные схемы, которые учитывают пространственные и временные масштабы процессов, описываемых этими уравнениями. Схема аппроксимации модели 3, по времени исходя из принципов расщепления «по физическим процессам», на каждом временном шаге делится на этапы: перенос субстанций вдоль траекторий и турбулентный обмен; процесс согласования метеорологических полей.

Перенос субстанций вдоль траекторий и турбулентный обмен:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u'}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{u} u' - \Delta u' - \frac{\partial}{\partial z} v_u \frac{\partial u'}{\partial z} &= 0; \\ \frac{\partial v'}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{v} v' - \Delta v' - \frac{\partial}{\partial z} v_u \frac{\partial v'}{\partial z} &= 0; \\ \frac{\partial \vartheta'}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{v} \vartheta' + u' \theta_x + v' \theta_y - \frac{\partial}{\partial z} v_\vartheta \frac{\partial \vartheta'}{\partial z} - \Delta \vartheta' &= 0; \\ \frac{\partial q'}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{v} q' + u' Q_x + v' Q_y - \frac{\partial}{\partial z} v_\vartheta \frac{\partial q'}{\partial z} - \Delta q' &= 0; \\ \frac{\partial c}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{v} c - \frac{\partial}{\partial z} (v_q \frac{\partial c}{\partial z}) - \Delta c &= F. \end{aligned}$$

Краевые условия:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u'}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial v'}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \vartheta'}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial q'}{\partial x} = 0, \quad c = c_0 \quad \text{при } x = 0, x = X, \\ \frac{\partial u'}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial v'}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \vartheta'}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial q'}{\partial y} = 0, \quad c = c_0 \quad \text{при } y = 0, y = Y, \\ u' = 0, \quad v' = 0, \quad \vartheta' = 0, \quad q' = 0, \quad \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z = H, \\ h \frac{\partial u'}{\partial z} = a_u u', \quad h \frac{\partial v'}{\partial z} = a_v v', \quad h \frac{\partial \vartheta'}{\partial z} = a_\vartheta \vartheta', \quad h \frac{\partial q'}{\partial z} = a_q q', \\ h \frac{\partial c}{\partial z} = a_c (c - c_0) \quad \text{при } z = h. \end{aligned}$$

Согласование мезометеорологических полей:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u'}{\partial t} - l v' &= - \frac{\partial \pi'}{\partial x}; \\ \frac{\partial v'}{\partial t} + l u' &= - \frac{\partial \pi'}{\partial y}; \\ \frac{\partial \vartheta'}{\partial t} + S \omega' &= 0; \\ \frac{\partial q'}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial z} \omega' + \Phi &= 0; \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \pi'}{\partial z} = \lambda \vartheta';$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} + \frac{\partial \omega'}{\partial z} = 0.$$

Система уравнений решается при следующих краевых условиях:

$$\frac{\partial u'}{\partial x} = 0, \frac{\partial v'}{\partial x} = 0, \frac{\partial \vartheta'}{\partial x} = 0, \frac{\partial q'}{\partial x} = 0, \frac{\partial \pi'}{\partial x} = 0, w' = 0, c = c_0 \quad \text{при } x = 0, x = X,$$

$$\frac{\partial u'}{\partial y} = 0, \frac{\partial v'}{\partial y} = 0, \frac{\partial \vartheta'}{\partial y} = 0, \frac{\partial q'}{\partial y} = 0, \frac{\partial \pi'}{\partial y} = 0, w' = 0, c = c_0 \quad \text{при } y = 0, y = Y,$$

$$u' = 0, v' = 0, \vartheta' = 0, \omega' = 0, \pi' = 0, q' = 0, \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z = H,$$

$$h \frac{\partial u'}{\partial z} = a_u u', h \frac{\partial v'}{\partial z} = a_v v', h \frac{\partial \vartheta'}{\partial z} = a_\vartheta \vartheta', h \frac{\partial q'}{\partial z} = a_q q',$$

$$h \frac{\partial c}{\partial z} = a_c (c - c_0) \quad \text{при } z = h.$$

Начальным условием для второй системы уравнений является решение задачи переноса субстанции в момент времени $t_{n+1/2}$, а краевые условия естественным образом учитываются в дискретном виде в уравнениях. Дискретизация по пространственным переменным осуществлена с помощью метода покомпонентного расщепления. На этапе согласования мезометеорологических полей эллиптическое уравнение для аналога давления π' , полученное из уравнений относительно u', v', w' и уравнения неразрывности, решается итерационным методом. После нахождения функции π' последовательно вычисляются значения всех искомым функций $u', v', \vartheta', \omega'$.

Для решения системы уравнений трансформации примесей использована двухшаговая схема второго порядка точности с хорошими стабилизирующими свойствами, предложенная авторами Пасконовым В.М., Полежаевым В.И., Чудовым Л.А.

В качестве математического обеспечения процесса визуализации использованы численные методы нахождения промежуточных значений функций на пространственной сетке.

В третьем разделе «Продукционные правила выбора модели оценки и прогноза загрязнения атмосферного воздуха с учетом сценария развития метеоусловий» разработана база нечетких продукционных правил выбора модели из банка моделей с учетом уровня загрязнения и сценария развития метеоусловий. БД мониторинга позволяет на основании показателей концентрации загрязняющих веществ оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха и определить сценарий развития метеоусловий на текущий момент времени, по которому, в соответствии с продукционными правилами, сформулированными в работе, выбирается модель расчета

концентрации загрязняющего вещества. На рисунке 3 представлена матрица выбора модели в зависимости от сценария развития метеоусловий и уровня загрязнения, цифры 1-4 соответствуют номерам моделей банка.

Нечеткая продукционная модель уровня загрязнения атмосферного воздуха позволяет по состоянию двух нечетких переменных: ПАРАМЕТР «Р» с терм-множеством {«малое значение», «среднее значение», «большое значение»} и ПРЕВЫШЕНИЕ ПДК с терм-множеством {«нет», «незначительное», «значительное», «высокое»}, оценить выходную лингвистическую переменную УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ на терм-множестве {«нет», «низкий уровень», «средний уровень», «высокий уровень»}.

Продукционная модель сценария развития метеоусловий позволяет по состоянию четырех нечетких переменных: СКОРОСТЬ ВЕТРА с терм-множеством {«слабая», «средняя», «сильная»}, ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ с терм-множеством {«слабое», «среднее», «сильное», «очень сильное»}, ИЗМЕНЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ с терм-множеством {«слабое», «среднее», «сильное», «очень сильное»}, ИЗМЕНЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ с терм-множеством {«слабое», «среднее», «сильное», «очень сильное»}, оценить выходную лингвистическую переменную СЦЕНАРИЙ РАЗВИТИЯ МЕТЕОУСЛОВИЙ на терм-множестве {«устойчивая ясная погода», «неустойчивая ясная погода», «устойчивая ненастная погода», «неустойчивая ненастная погода»}.

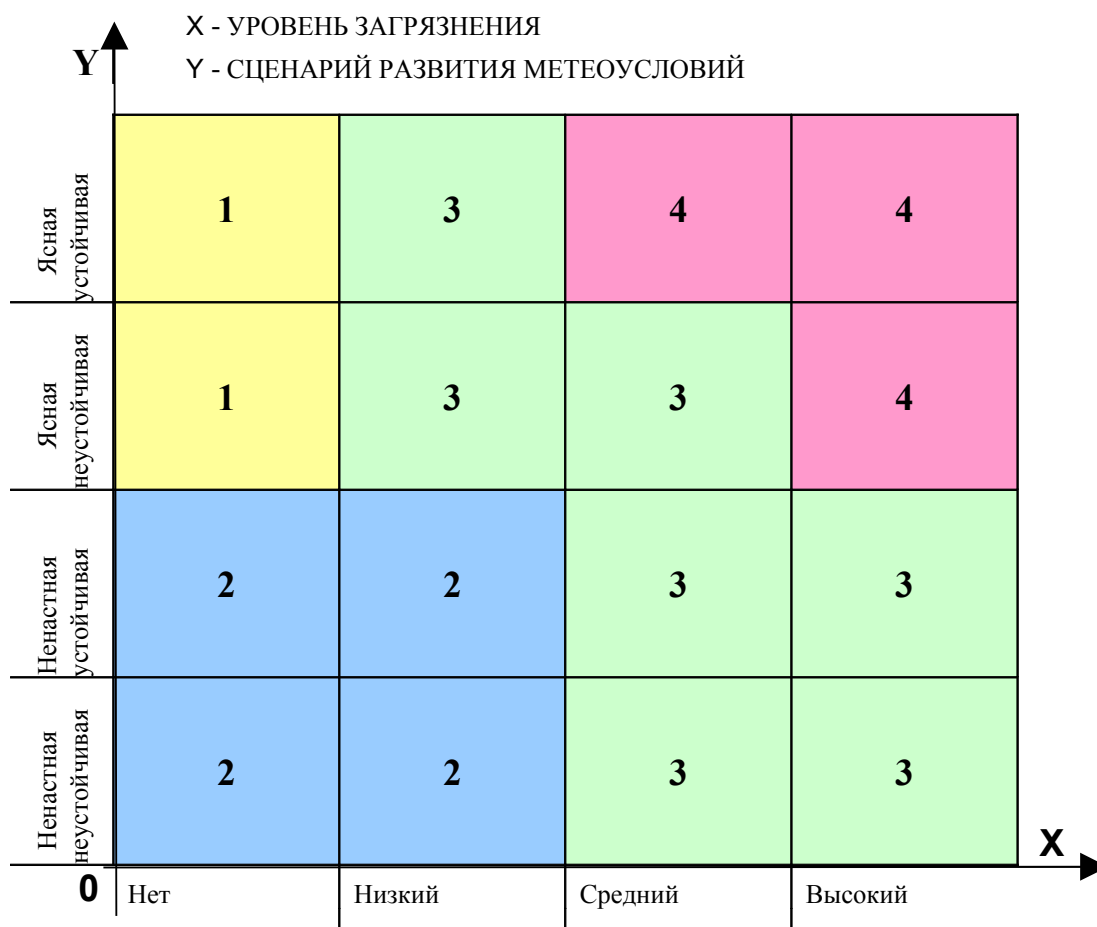


Рисунок 3 – Матрица выбора модели

Продукционные правила выбора модели позволяют по состоянию двух нечетких переменных: **УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ** и **СЦЕНАРИЙ РАЗВИТИЯ МЕТЕОУСЛОВИЙ**, оценить выходную лингвистическую переменную **МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ** на терм-множестве {«**модель 1**», «**модель 2**», «**модель 3**», «**модель 4**»}. Обобщенная схема нечеткого выбора модели оценки и прогноза загрязнения атмосферного воздуха представлена на рисунке 4.

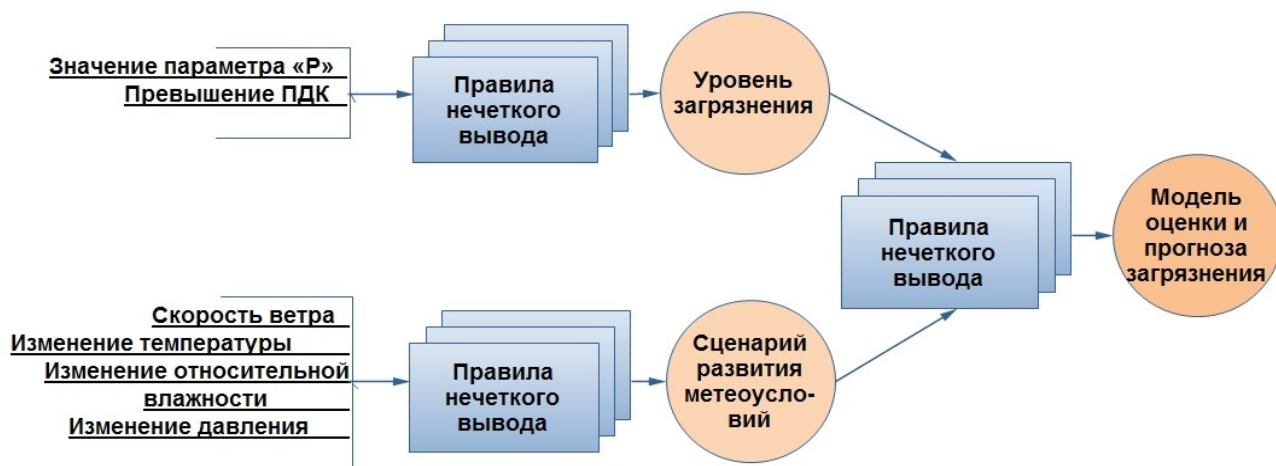


Рисунок 4 – Схема нечеткого выбора модели

Нечеткая база правил реализована с использованием специализированного пакета Fuzzy Logic Toolbox программного средства MATLAB. Выполнение нечеткого вывода реализовано на основе алгоритма Мамдани. Диалоговое окно рекомендации модели представлено на рисунке 5.

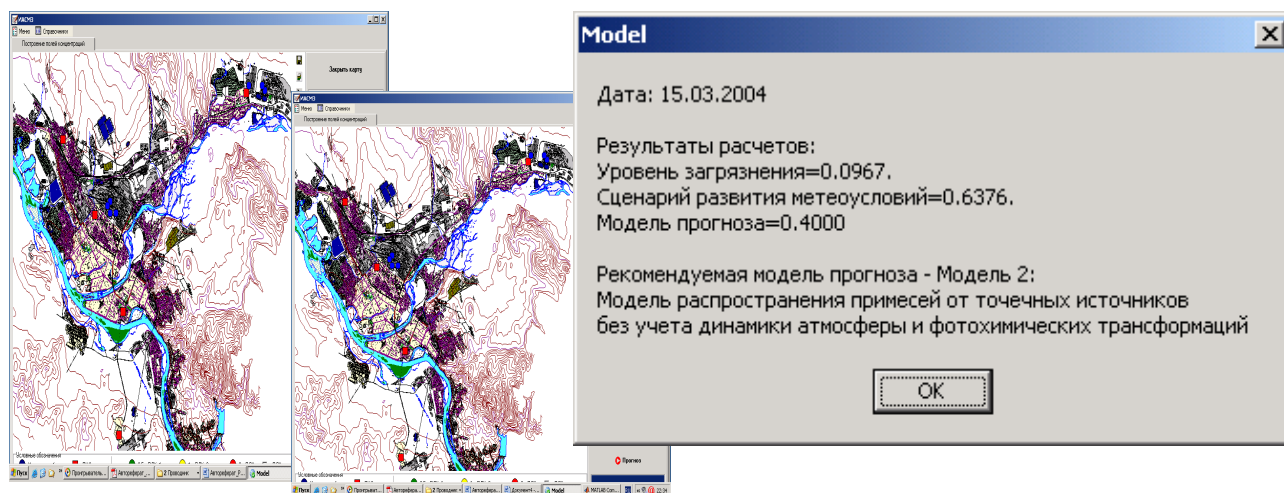


Рисунок 5 – Диалоговое окно рекомендации модели

В четвертом разделе «**Разработка и внедрение информационно-аналитической системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха промышленного города**» представлена разработанная структурно-функциональная модель системы, дано описание всех видов обеспечения и

приведены результаты внедрения информационно-аналитической системы для оценки и прогноза загрязнения атмосферы на реальных данных экологического мониторинга г. Усть-Каменогорска.

Основным назначением ИАСМЗ атмосферного воздуха является обеспечение субъектов экологического мониторинга актуальной достоверной и объективной информацией, а также прогнозирование состояния объекта мониторинга. Данная система позволяет получить данные о состоянии атмосферного воздуха, оценить степень загрязненности воздуха, получить прогноз загрязнения, а также визуализировать результаты с использованием современных геоинформационных технологий. Конечными пользователями ИАСМЗ выступают лица, принимающие управленческие решения, связанные с природопользованием.

В соответствии с настраиваемыми параметрами модели и исходными данными, рассмотренными в разделе 2, нечеткими продукционными правилами выбора модели оценки и прогноза в зависимости от сценария развития метеоусловий и уровня загрязнения атмосферного города, рассмотренными в разделе 3, в состав функционального обеспечения системы входят:

- подсистема формирования информационного обеспечения, включающего информацию по концентрациям загрязняющих веществ, по источникам загрязняющих веществ, метеорологическую и картографическую информацию;

- подсистема оценки и прогноза загрязнения атмосферы с учетом метеорологических условий промышленного города и фотохимических трансформаций;

- подсистема визуализации результатов оценки и прогнозирования.

Структурно-функциональная модель системы представлена на рисунке 6.

Аналитическая информационная система реализована в виде приложения Windows в среде Delphi, в качестве платформ базы данных использованы СУБД Paradox и FoxPro. Для анализа результатов расчета концентрации загрязняющих веществ используется табличный процессор MS Excel, для реализации нечетких правил – пакет прикладных программ MATLAB, взаимодействие с которыми обеспечивает технология Automation.

Использованы возможности интегрированной картографии и организации межпрограммного взаимодействия приложения MapInfo и Windows-приложения ИАСМЗ. Windows-приложение ИАСМЗ осуществляет управление приложением MapInfo посредством специального компонента TKD и механизма динамического обмена данными (DDE). Взаимодействие ИАСМЗ с приложением Surfer для визуализации результатов осуществлено с помощью технологии Automation. Схема организации межпрограммного взаимодействия представлена на рисунке 7.

В результате расчета концентрации примеси формируется трехмерный массив. По данным каждого слоя этого массива с использованием алгоритма линейной интерполяции строятся полигоны в MapInfo. На карте (рисунок 8) выделены три различные области, которые характеризуются долями предельно допустимой концентрации.

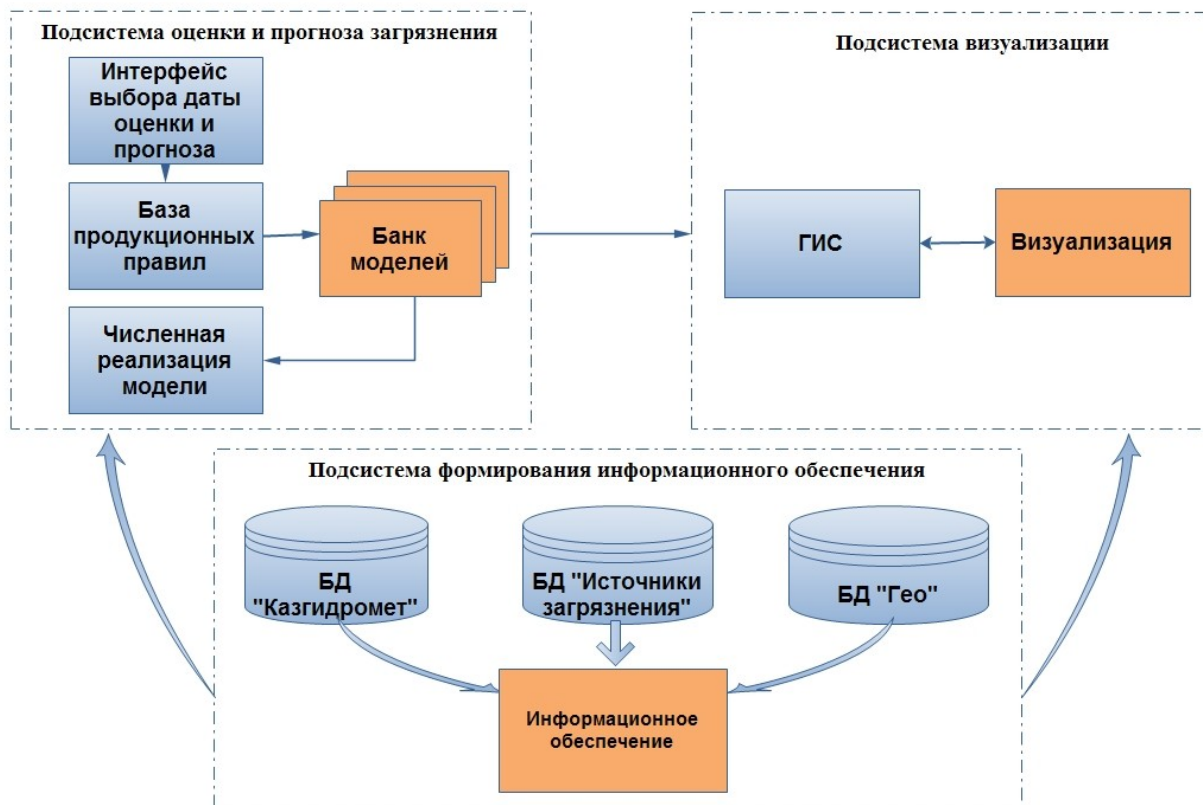


Рисунок 6 – Структурно-функциональная модель ИАСМЗ

При визуализации результатов моделирования для построения трехмерной поверхности концентрации и изолиний используется модифицированный метод Шепарда, реализованный в Surfer (рисунок 9).

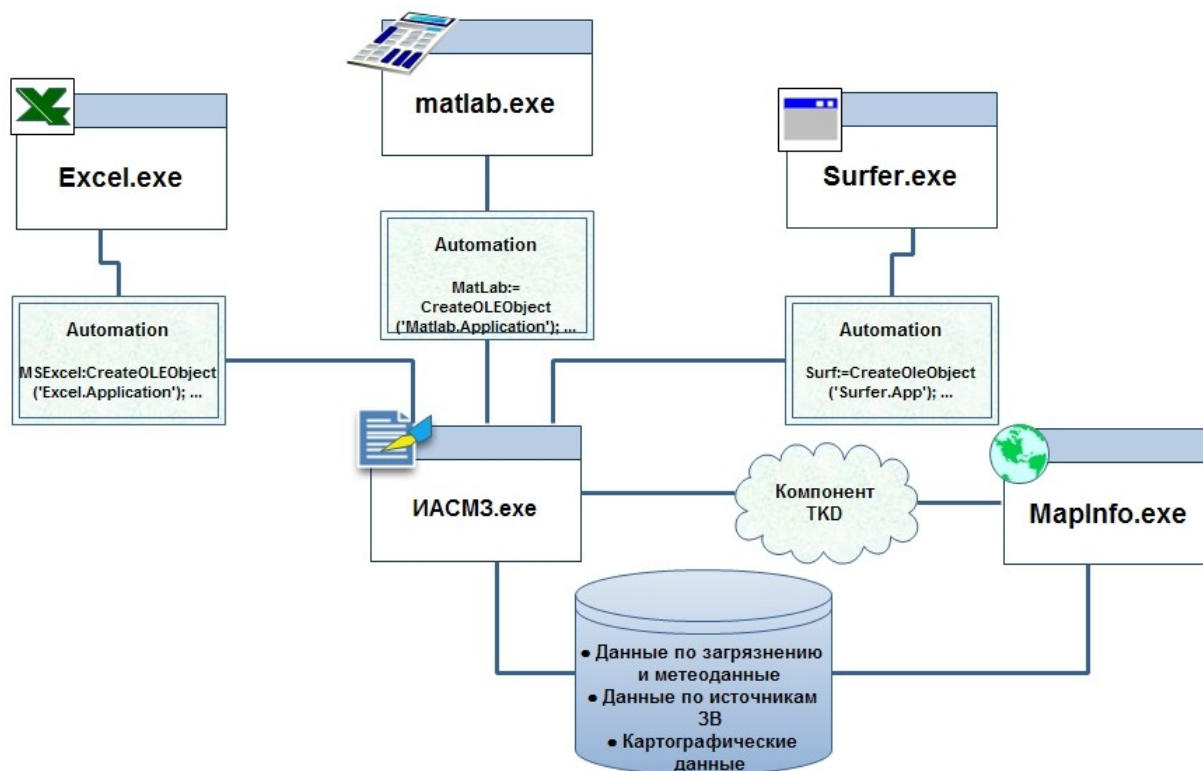


Рисунок 7 – Схема организации межпрограммного взаимодействия

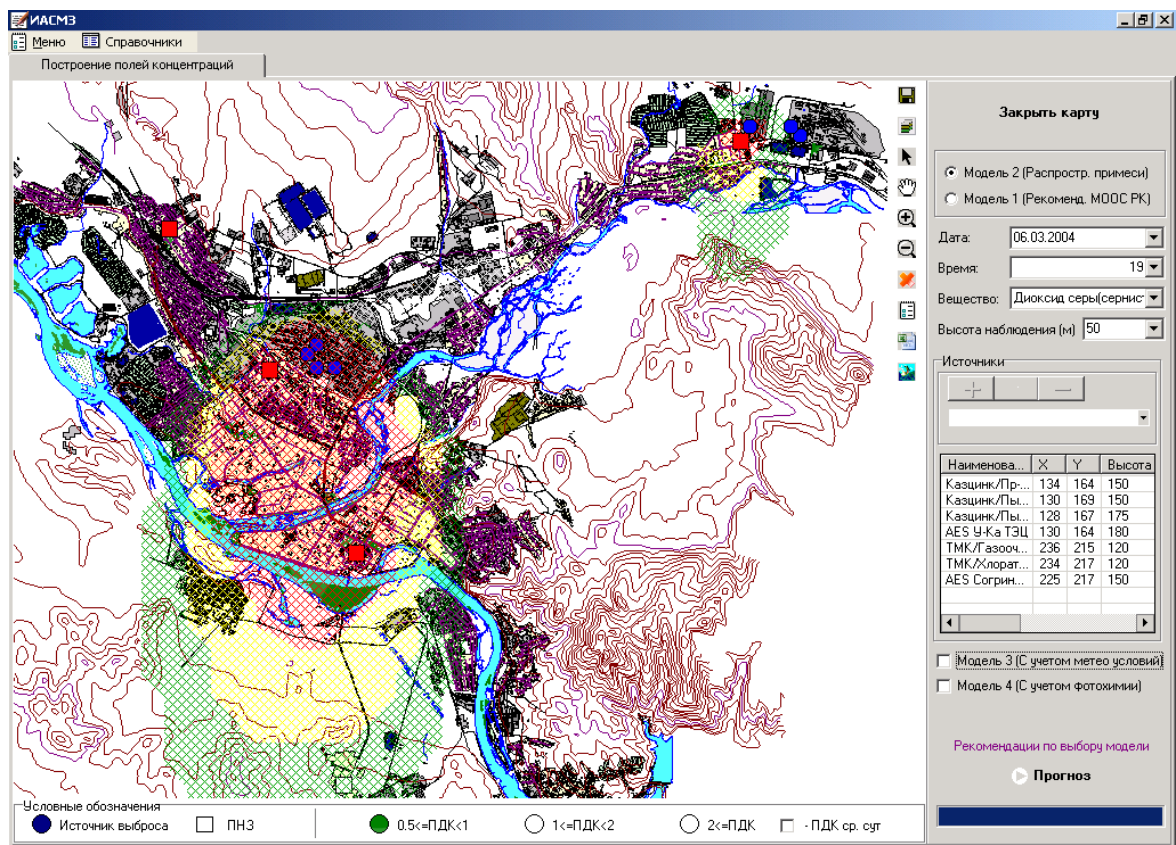


Рисунок 8 – Визуализация распространения загрязняющих веществ от точечных источников в окне приложения

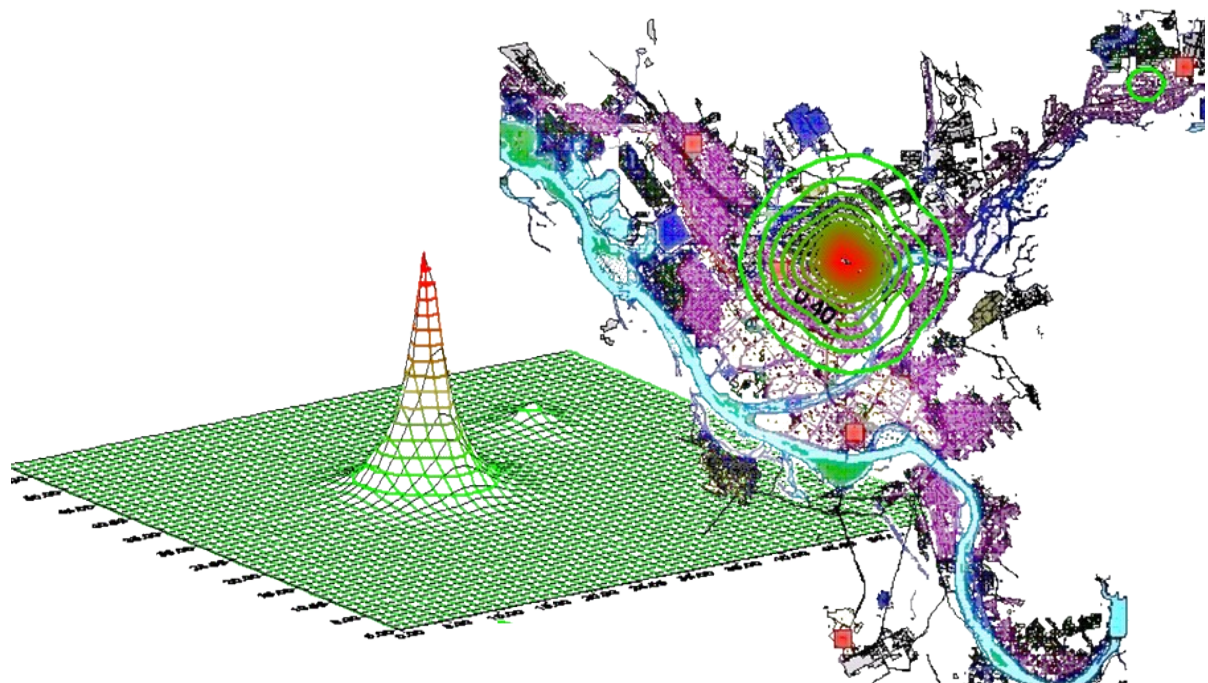


Рисунок 9 – Визуализация результатов расчета в Surfer

Работоспособность информационно-аналитической системы была проверена на данных о состоянии атмосферного воздуха г. Усть-Каменогорска. Результаты оценки и прогноза концентрации загрязняющих веществ, полученные в процессе опытной эксплуатации, согласуются с реальными данными измерений.

Заключение

Основные научные и практические результаты работы:

– осуществлен анализ проблем и перспектив разработки математического обеспечения информационных систем экологического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха промышленного города;

– разработан банк математических моделей оценки и прогноза загрязнения атмосферного воздуха с учетом метеорологических полей и фотохимических трансформаций и реализованы их численные алгоритмы;

– разработаны нечеткие продукционные правила выбора модели из банка моделей в зависимости от уровня загрязнения и сценария развития метеоусловий;

– разработан метод визуализации результатов моделирования с помощью ГИС-технологий;

– разработана информационно-аналитическая система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха промышленного города, математическое обеспечение которой включает банк моделей, базирующихся на стандартной методике расчета концентрации загрязняющих веществ и методиках, базирующихся на трехмерных моделях гидротермодинамики атмосферы и уравнении переноса с учетом фотохимических трансформаций примесей.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы внедрены в Восточно-Казахстанский центр гидрометеорологии "Казгидромет", в учебный процесс ВКГТУ имени Д. Серикбаева. Акты внедрения отражены в приложении к диссертации.

Оценка полноты решений поставленных задач. Поставленная цель работы достигнута, задачи исследования решены полностью. Результаты исследования доведены до внедрения, что подтверждает достоверность основных положений и выводов.

Оценка технико-экономической эффективности внедрения. Эффект от внедрения разработанной в данном исследовании информационно-аналитической системы оценивается качественными показателями повышения уровня экологической безопасности.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области. Проведенный обзор литературы, результаты теоретического и прикладного исследования позволяют сделать вывод о том, что проделанная работа соответствует современному научно-техническому уровню. Данная работа расширяет информационно-аналитические возможности современных систем экологического мониторинга и тем самым повышает уровень экологической безопасности.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Рахметуллина С.Ж., Турганбаев Е.М., Куанышева А.Б. Численное решение задачи распространения примеси с учетом фотохимических превращений // Вестник ВКГТУ. – 2009. – № 3.
2. Рахметуллина С.Ж., Турганбаев Е.М., Саиров С.Б. Разработка информационной системы мониторинга атмосферных загрязнений // Региональный вестник Востока. – 2009. – № 4.
3. Рахметуллина С.Ж. Математическое обеспечение подсистемы прогноза информационной системы мониторинга атмосферного загрязнения // Региональный вестник Востока. – 2010 – № 1.
4. Рахметуллина С.Ж. Концепция информационной технологии моделирования мезометеорологических атмосферных процессов // Вестник ВКГТУ. – 2010 – № 1.
5. Рахметуллина С.Ж. Подсистема прогноза информационной системы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха // Поиск. – 2010. – № 2.
6. Мутанов Г.М., Рахметуллина С.Ж., Балова Т.Г. Продукционная модель выбора модели прогноза распространения загрязняющих веществ, с учетом сценария развития метеоусловий // Вестник ВКГТУ. – 2010. – № 2.
7. Турганбаев Е.М., Рахметуллина С.Ж. Расчет концентрации загрязняющих веществ от точечного источника // Информационно-коммуникационные технологии как основной фактор развития инновационного общества: матер. межд. науч.-практич. конф. – Усть-Каменогорск, 2007.
8. Рахметуллина С.Ж., Турганбаев Е.М., Мусанова А.Б. Научно-исследовательская работа по изучению численного моделирования микроклимата города // Роль университетов в создании инновационной экономики: матер. межд. науч.-практич. конф., 25-26 сентября 2008 г. – Усть-Каменогорск, 2008.
9. Рахметуллина С.Ж., Передерий О.А. Информационное обеспечение ИС экологического мониторинга загрязнения атмосферного воздуха // Актуальные проблемы науки и техники: матер. I Всерос. конф. молодых ученых. – Уфа, 2009. – С. 83-84.
10. Рахметуллина С.Ж., Передерий О.А. Информационная система мониторинга атмосферного загрязнения / Молодежь и современные информационные технологии: матер. VIII Всерос. науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. Участием. – Томск, 2010.

ТҮЙІНДЕМЕ

СӘУЛЕ ЖӘДІГЕРҚЫЗЫ РАХМЕТУЛЛИНА

Өнеркәсіптік қаланың атмосфералық ауасының ластану мониторингісінің ақпараттық-аналитикалық жүйесі

05.25.05 - Ақпараттық жүйелер мен үдерістер, информатиканың құқықтық аспектілері

Зерттеу нысаны мен тақырыбы. Зерттеу нысаны – өнеркәсіптік қаланың ауа бассейні, атмосфералық ауаның ластануының көздері болып келеді. Зерттеу тақырыбы – атмосфералық ауаның ластану мониторингісінің ақпараттық технологиялары.

Жұмыстың мақсаты – атмосфералық ауаның ластануының мониторингісінің тиімділігі мен шешім қабылдау үшін ақпараттық-аналитикалық жүйені әзірлеу, өнеркәсіптік қаланың ауа бассейнінің жағдайының сапасын басқаруына байланысты.

Жұмыстың негізгі ойы – атмосфералық ауаның ластануына болжау жасау және бағалау бөлігінде аймақтық экологиялық мониторингі жүйесінің мүмкіндігін кеңейту, қоспаның таралу үлгілерінің құрамына математикалық қамтамасыз етуін енгізу, атмосфералық үдерістер мен фотохимиялық трансформациялардың динамикасын ескеру.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыста атмосфераның динамикасының математикалық үлгілері, сандық әдістер, сараптамалық жүйелердің өнімдік үлгілері, нысандық-бағыттық бағдарламалау құралдары, деректер базаларымен басқару жүйелері, геоақпараттық технологиялар.

Қорғауға шығарылатын ережелер, және оның жаңашылдығы:

– нүктелік көздерден атмосфералық ауаның ластануын болжам жасайтын үлгілер банкі, атмосфераның гидротермодинамикалық теңдеулер және қоспалардың фотохимиялық трансформациялық есебін ауыстыру теңдеулер жүйесінде орын алған үш өлшемдік үлгілерді сандық тарату;

– атмосфераның гидротермодинамикалық теңдеулер және қоспалардың фотохимиялық трансформациялық есебін ауыстыру теңдеулер жүйесінде орын алған үш өлшемдік үлгілерді сандық тарату;

– үлгілер банкінен ластаушы заттардың концентрацияларын есептеу үлгілерін таңдаудың базасы, атмосфералық ауаның ластану деңгейіне және метеожағдайлардың даму сценариіне байланысты;

– атмосфералық ауаның ластануының мониторингісінің ақпараттық-аналитикалық жүйесі өзіне атмосфералық ауаның ластануының әзірленген болжауын математикалық қамтамасыз ету құрамынан, ГА-технологиялар құралдары арқылы атмосфералық ауаның ластануының мониторинг деректерін байқауын қамтамасыз етуінен тұрады.

Ғылыми ережелердің дәлелділігі мен дұрыстығы, тұжырымдамалар мен ұсыныстар қоспаларды тарату теориясын пайдалануына, физикалық химия,

математикалық үлгілер әдісіне, жүйелік талдау, айқын емес жиынтықтар теориясы, ақпараттық жүйелерді жобалауға және де әзірленген ұсыныстарды енгізу нәтижелеріне негізделеді.

Жұмыстың практикалық құндылығы келесіде, атмосфералық ауасының ластану мониторингісінің ақпараттық-аналитикалық жүйесі практикалық жүзеге асыруға дейін келтірілген бағдарламалық-ақпараттық кешен, климаттық өріспен фотохимиялық трансформацияларды еске ала отырып нүктелік көздерден өнеркәсіптік қаланың атмосфералық ауасының ластануының жағдайын болжау мен бағалауын жүзеге асыратын кешен.

Өнеркәсіптік кәсіпорындардың шығарылуына жағымсыз әсер етуіне ұшырағыш, бағалау мен болжау жасайтын үлгілер банкісімен әзірленген ақпараттық-аналитикалық жүйе өнеркәсіптік қалалардың мониторинг жүйесінде жүзеге асырылуы мүмкін, атмосфералық ауа сапасының мониторингісінің тиімділігін көтеру үшін.

Жұмыстың нәтижесін іске асыру. Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми және практикалық нәтижелері «Казгидромет» Шығыс Қазақстан гидрометеорологиялық орталығында, Д. Серікбаев атындағы ШҚМТУ оқу үдерісінде енгізілген. Енгізілген актілер диссертацияға тіркелген.

Қойылған мақсаттар шешімінің толықтығын бағалау. Жұмыстың алдына қойған мақсаты орындалды, зерттеудің мақсаты толық шешілген. Зерттеудің нәтижелері енгізілуге дейін жеткізілген, оған дәлел негізгі ережелер мен қорытындылар. Берілген жұмыс, экологиялық мониторингтің қазіргі жүйесінің ақпараттық-аналитикалық мүмкіндігін кеңейтеді, сонымен бірге экологиялық қауіпсіздіктің деңгейін көтереді.

ABSTRACT

RAKHMETULLINA SAULE ZHADYGEROVNA

Information-analytical system of monitoring of atmospheric air pollution of an industrial city

Specialty 05.25.05 – Information systems and processes, legal aspects of computer science

Object and subject of research. Object of research is the air pool of an industrial city, sources of pollution of atmospheric air. Subject of research is an information technology of monitoring of pollution of atmospheric air.

The aim of the work – working out of information-analytical system for increase of efficiency of monitoring of pollution of atmospheric air and the decision-making, connected with quality management of condition of air pool of an industrial city.

The basic idea of work – to expand possibilities of a system of ecological regional monitoring regarding an estimation and forecasting of pollution of atmospheric air by inclusion in the structure of the software of a system of models of

distribution of the impurity considering dynamics of atmospheric processes and photochemical transformations.

Research methods. In dissertational work, mathematical models of dynamics of atmosphere, numerical methods, production models of expert systems, means of object-oriented programming, a control system of databases, a geoinformation technology are used.

The positions which are brought into presentation, and their novelty:

– bank of forecasting models of pollution of atmospheric air from the dot sources which are based on the system of three-dimensional equations of hydrothermodynamics of atmosphere and the equation of carrying over of impurity taking into account photochemical transformations;

– numerical realisation of the three-dimensional models which are based on system of the equations of hydrothermodynamics of atmosphere and the equation of carrying over taking into account photochemical transformations of impurity;

– base fuzzy production rules of a choice of model of calculation of pollutions concentration from bank of models depending on the scenario of the development of meteoconditions and level of pollution of atmospheric air;

– information-analytical system of monitoring of pollution of the atmospheric air, including the developed algorithm of the forecast of pollution of the atmospheric air in to software structure, providing visualisation of the data of monitoring of pollution of atmospheric air by means of GIS-technologies.

Validity and reliability of scientific positions, conclusions and recommendations are based on the correct use of the theory of distribution of impurity, physical chemistry, methods of mathematical modelling, the system analysis, the theory of fuzzy sets, of information systems design, and on the results of application.

Practical value of work is that information-analytical system of monitoring of atmospheric air pollution represents the software ready to practical realisation, allowing to carry out an estimation and the forecast of pollution condition of atmospheric air of an industrial city from dot sources taking into account climatic fields and photochemical transformations.

The developed information-analytical system with the bank of models of an estimation and the forecast can be used in systems of monitoring of the industrial cities subject to negative influence of emissions for the industrial enterprises, for increase of efficiency of monitoring of quality of atmospheric air.

Realisation of results of work. The basic scientific and practical results of dissertational work are applied in the East Kazakhstan Centre of Hydrometeorology of «Kazgidromet», in educational process EKTU of D. Serikbaev. Introduction certificates are enclosed to the dissertation.

Estimation of completeness of decisions of aims in view. The aim of the work in view is reached, research objectives are completed. Results of research are ready to application that confirms reliability of substantive provisions and conclusions. The given work expands information-analytical possibilities of modern systems of ecological monitoring and by that raises level of ecological safety.