

КОНДРАКОВ Олег Викторович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ
ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тамбов 2003

Работа выполнена в Тамбовском государственном техническом университете на кафедре "Химия и промышленная экология".

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Попов Николай Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Егоров Александр Федорович

доктор технических наук, профессор
Муромцев Юрий Леонидович

Ведущая организация ФГУП ТамбовНИХИ

Защита состоится 3 октября 2003 г. в 13 ч на заседании диссертационного совета Д212.260.01 в Тамбовском государственном техническом университете по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, Большой зал.

Отзывы в двух экземплярах, скрепленные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, 106, ученому секретарю.
fax: (0752) 72-18-13 e-mail: kafedra@asp.tstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТГТУ.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.А. Чуриков

Подписано к печати 24.07.2003

Формат 60 × 84 / 16. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Объем: 0,93 усл. печ. л.; 1,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 409

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Рост объемов продукции современного промышленного производства очень часто сопровождается увеличением выбросов вредных веществ в нижние слои атмосферы. Попадая в воздух, примеси, в зависимости от сочетания переменных состояния воздушного бассейна, определяют уровень его загрязненности и создают тем самым потенциальную опасность для здоровья и жизни людей. В случаях появления аномально высоких уровней загрязнения воздушного бассейна опасность заболеваний людей резко возрастает. В этой связи становится актуальной задача управления качественным состоянием воздушного бассейна с помощью различного рода оперативно-технических мероприятий, направленных на распознавание неблагоприятных, в экологическом плане, ситуаций с выбросами вредных веществ, на установление причин появления повышенного уровня загрязнения воздуха и на принятие решений по их ликвидации. Ее решение затрудняется из-за необходимости проведения междисциплинарных исследований, недостаточной изученности процессов переноса примесей в конкретных условиях, отсутствия апробированных на практике методов и средств контроля загрязнения воздушного бассейна в промышленно развитых районах нашей страны и т.д.

Разработка методов экологического мониторинга относится к числу фундаментальных научных исследований, объявленных в 1988 г. в Программе биосферных и экологических исследований АН СССР на период до 2015 г. В последнее десятилетие проблема эффективного контроля и защиты воздушного бассейна от промышленных загрязнений приобретает еще большую актуальность, вследствие чего Правительство РФ приняло постановление № 1229 от 24.11.93 г. "О создании единой государственной системы экологического мониторинга".

Во исполнение указанного постановления и закона Тамбовской области "Об охране окружающей среды" администрацией Тамбовской области приняты постановление и положение "О территориальной системе экологического мониторинга" № 529 от 29.08.97 г., определившие цели и задачи данной диссертационной работы.

Цель и задачи работы. Целью данной работы является научно-методическое сопровождение процесса создания программно-алгоритмического обеспечения системы экологического мониторинга и диспетчеризации качественного состояния воздушного бассейна в промышленных центрах.

Для достижения данной цели необходимо поставить и решить следующие задачи:

- формализации промышленных городских комплексов как природо-промышленных систем (ППС);
- определения базовых принципов построения программного обеспечения систем экологического мониторинга и диспетчеризации;
- постановки задачи диспетчеризации качественного состояния воздуха в ситуациях с внезапным превышением нормативов предельно-допустимых концентраций (ПДК);
- разработки алгоритма расчета нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) для промышленных источников в условиях неполной информации о значениях метеопараметров, рельефе местности, параметрах примесей и т.д.;
- применения методов математического моделирования и теории игр в статических задачах прогноза загрязнения воздушного бассейна;
- разработки методов поиска источников – "нарушителей" эмиссионного режима на контролируемой территории;
- поиска и апробации способов реализации диспетчерского управления на промышленных объектах;
- разработки программно-алгоритмического комплекса подсистемы экологического мониторинга и диспетчеризации применительно к г. Тамбову.

Научная новизна. Разработано формализованное описание городской экосистемы на теоретико-множественной основе.

Поставлена задача диспетчеризации качественного состояния воздушного бассейна в промышленных центрах.

Обоснована возможность организации "адресного" мониторинга источников загрязнений с постов автоматизированного контроля.

Решена задача классификации ситуаций опасного загрязнения тропосферы и определены способы реализации управлений в задачах экологической диспетчеризации.

Разработан метод "пеленгатора" аномально работающих источников загрязнения тропосферы, позволяющий осуществлять оперативный поиск координат источников примесей, мощность выброса которых превышает установленные для них нормы.

ПРЕДЛОЖЕНЫ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.

СФОРМУЛИРОВАНА ЗАДАЧА "ГАРАНТИРОВАННОГО" ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ ИДЕИ ТЕОРИИ ИГР И СИСТЕМУ МОДЕЛЕЙ "ФАКЕЛЬНОГО" ТИПА.

Поставлена задача и предложен алгоритм расчета ПДВ предприятий города, базирующиеся на концепции "приемлемого риска".

Практическая значимость. Разработан программный комплекс для системы мониторинга и диспетчеризации загрязнений воздушного бассейна, позволяющий в режиме реального времени решать следующие задачи:

- контроля и визуальной оценки качественного состояния воздуха в приземном слое;
- нормализации нештатных ситуаций, связанных с повышенным содержанием примесей в воздухе;
- идентификации аномально работающих источников загрязнения воздушного бассейна;
- прогноза уровня загрязнения воздуха в городской среде на различных временных интервалах;
- управления источниками выбросов на объектах химической промышленности.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на: международной научно-методической конференции "Новые информационные технологии в экологии" (Липецк, 1997); научно-технической конференции "Экология-98" (Тамбов, 1998); V научной конференции ТГТУ (Тамбов, 2000).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и 7 приложений. Основная часть диссертации изложена на 179 страницах машинописного текста. Содержит 48 рисунков и 5 таблиц. Список литературы включает 147 наименований. Приложения содержат 19 страниц, включают 7 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы и сформулирована цель исследования.

В **первой главе** представлен обзор современного состояния проблемы мониторинга и диспетчеризации качественного состояния воздушного бассейна. Критический анализ научных работ состоит из трех тематических разделов.

В первом разделе анализируются принципы построения автоматизированных систем контроля загрязнения воздуха (АСК ЗВ), созданных в промышленно-развитых странах мира, задачи диспетчеризации загрязнений тропосферы, а также связанные с ними проблемы нормирования выбросов.

Во втором разделе сопоставляются технические характеристики приборов контроля состояния тропосферы и программные средства создания баз данных и электронных карт.

В третьем разделе дана классификация детерминированных и статистических моделей, пригодных для решения задач оперативного диспетчерского управления. В их числе модели "факела", "клубка", "линейного источника", множественной линейной регрессии, авторегрессии, Бокса-Дженкинса, МГУА и нейронных сетей. Для каждой модели определены условия применения, отмечены достоинства и недостатки. По результатам критического анализа литературы сформулированы общие выводы и поставлены задачи научного исследования.

Вторая глава посвящена теоретическим основам построения программно-алгоритмического обеспечения системы мониторинга и диспетчеризации. Экосистема промышленного города $S_{\text{ппс}}$ формализована в виде двух подсистем – экологической S_3 и промышленной $S_{\text{п}}$, именуемых как "Воздушный бассейн" и "Техногенный комплекс". $S_{\text{ппс}}$ определена как отношение на декартовом произведении входных $(X_{\text{п}}, X_3)$ и выходных $(Y_{\text{п}}, Y_3)$ переменных: $S_{\text{ппс}} \subset (X_{\text{п}}, X_3) \times (Y_{\text{п}}, Y_3)$. Схема взаимодействия подсистем изображена на рис. 1.

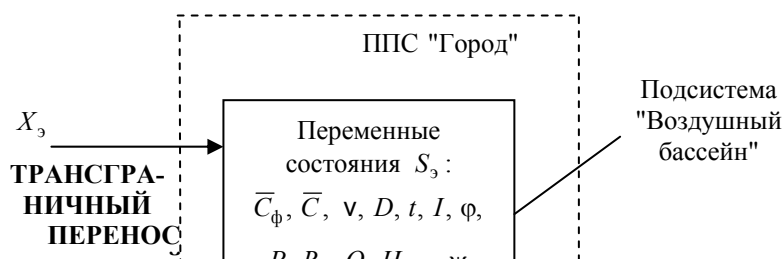


Рис. 1 Структура природо-промышленной системы "Город"

Каждая подсистема имеет свои переменные состояния. Для S_s это – атмосферное давление p , солнечная радиация I , облачный покров Ω , вертикальная температура окружающего воздуха t , направление φ и скорость ветра v , масштаб турбулентных движений D , влажность воздуха ψ , высота инверсионного слоя $H_{\text{инв}}$, концентрации примесей \bar{C} , фоновые концентрации примесей \bar{C}_ϕ , наличие или отсутствие в атмосфере фотохимических реакций $R_x(\bar{C})$ и механизмов поглощения примесей $Q(\bar{C})$. Для S_n такими переменными являются: площадь контролируемой городской территории Π , плотность населения N , шероховатость подстилающей поверхности χ , мощность источников выбросов \bar{G} , продолжительность эпизодов повышенного загрязнения воздуха τ , площадь локального очага загрязнения в городе ω , совокупность технологических переменных T , характеризующих особенности истечения примесей из источника.

Функционирование ППС сопряжено с выбросом в воздушный бассейн вредных примесей из техногенного комплекса, поэтому качественное состояние воздушного бассейна может быть описано следующим уравнением:

$$\bar{C} = \bar{f}(\bar{C}_\phi, k, R_x, Q, \bar{G}, \psi), \quad (1)$$

где k – класс стабильности тропосферы.

Все множество состояний $S_{\text{пнс}}$, оцениваемых вектором \bar{C} разобьем на два подмножества: S_1 и S_2 , где S_1 – множество всех нормальных, в экологическом смысле, состояний тропосферы ($C_i \leq C_i^{\text{lim}}$), а S_2 – аномальных ($C_i > C_i^{\text{lim}}$), так что $S_2 = S / S_1$. Существование множества S_2 и определяет необходимость разработки системы диспетчеризации загрязнений воздушного бассейна. Пусть $J(\bar{C}(\bar{u}), \Delta t)$ – критерий, по которому осуществляется управление состоянием $s_i \in S_2$, где \bar{u} – вектор управления источниками загрязнения тропосферы; $\Delta t = (t - t_0)$ – время развития аномальной ситуации в ППС, зарегистрированной АСК ЗВ; t_0 – момент возникновения аномальной ситуации; t – текущее время. Тогда для любого i -го состояния тропосферы $s_i \in S_2$ требуется определить оптимальный вариант управленческого решения \bar{u}^* , при котором

$$J(\bar{C}(\bar{u}^*), \Delta t) = \min_{\bar{u} \in U} J(\bar{C}(\bar{u}), \Delta t), \quad (2)$$

где U – множество "допустимых" для управления ситуацией s_i решений. Заметим, что в качестве целевой функции $J(\bar{C}(\bar{u}), \Delta t)$ может служить критерий экологического риска, который рассчитывается по формуле (3).

$$R_3 = 1 - \exp \left\{ - \left[\left(\frac{C - C^{\text{lim}}}{C^{\text{lim}}} \right) \frac{1}{K} \right]^\beta \frac{t}{\tau} \right\}. \quad (3)$$

Здесь τ – время осреднения концентрации C , а β и K – параметры вредных веществ соответствующих различным классам опасности, t – время экспозиции.

Для нахождения \bar{u}^* прежде всего необходимо идентифицировать состояние $s_i \in S_2$ и определить множество U . Этим данная задача отличается от задач управления технологическими процессами.

Стратегия управления риском, характерная для систем с обратной связью, показана на рис. 2.

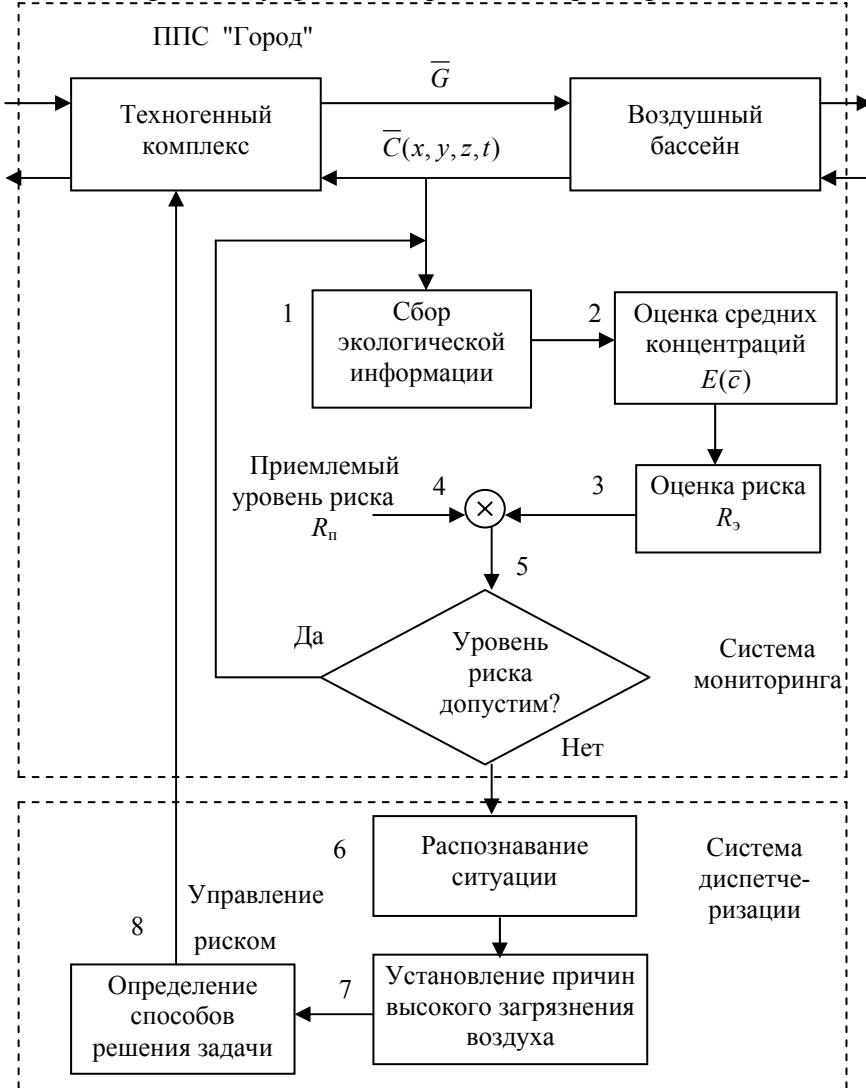


Рис. 2 Схема работы систем мониторинга и диспетчеризации ППС "Город"

Для распознавания ситуации возникновения $s_i \in S_2$ в тропосфере, проведена классификация состояний загрязнения воздушного бассейна. Было выделено шесть основных классов:

K_1 – класс суперпозиции выбросов из источников:

$$K_1 = \{s_i \in S_2 \mid C_j(x_k, y_k, z_k, t_0) = \sum_i C_{ij}(G_i(x_i, y_i, z_i, t_0 - \Delta t)),$$

$$(x_i, y_i) \in \Omega_\varphi, i \in I_\varphi\}. \quad (4)$$

K_2 – класс неблагоприятных метеоусловий:

$$K_2 = \{s_i \in S_2 \mid C_j(x_k, y_k, z_k, t_0) = \sum_i C_{ij}(G_i(x_i, y_i, z_i, t_0 - \Delta t), M^{\text{HMY}}),$$

$$(x_i, y_i) \in \Pi, i \in \bigcup_{l=1}^L I_l\}. \quad (5)$$

K_3 – класс трансграничного переноса:

$$K_3 = \{s_i \in S_2 \mid C_j(x_k, y_k, z_k, t_0) = \sum_i C_{ij}(G_i(x_i, y_i, z_i, t_0 - \Delta t)) + C_j^{\text{TP}},$$

$$G_i(\cdot) \leq G_i^{\text{ПДВ}}, (x_i, y_i) \in \Omega_\varphi, i \in I_\varphi\}. \quad (6)$$

K_4 – класс аномально работающих источников примесей:

$$K_4 = \{s_i \in S_2 \mid C_j(x_k, y_k, z_k, t_0) = \sum_i C_{ij}(G_i(x_i, y_i, z_i, t_0 - \Delta t)),$$

$$G_i(\cdot) > G_i^{\text{ПДВ}}, (x_i, y_i) \in \Omega_\varphi, i \in I_\varphi\}. \quad (7)$$

K_5 – класс вторичного загрязнения тропосферы:

$$K_5 = \{s_i \in S_2 \mid C_j(x_k, y_k, z_k, t_0) = R(C_1, C_2, \dots, C_l, I),$$

$$G_i(x_i, y_i, z_i) \leq G_i^{\text{ПДВ}}, (x_i, y_i) \in \Pi\}. \quad (8)$$

K_6 – класс случайных обстоятельств:

$$K_6 = \{s_i \in S_2 \mid C_j(x_k, y_k, z_k, t_0) = \sum_i C_{ij}(G_i(x_i, y_i, z_i, t_0 - \Delta t), \xi),$$

$$(x_i, y_i) \in \Omega_\varphi, i \in I_\varphi\}. \quad (9)$$

где (x_i, y_i, z_i) и (x_k, y_k, z_k) – координаты соответственно источника примеси и контрольно-замерной станции (КЗС); Δt – время движения примеси от источника до КЗС; Ω_φ – координаты источников примеси, находящихся в створе направления ветра.

Используемые в (6)–(8) значения $G_i^{\text{ПДВ}}$ должны определяться при "наихудших" условиях рассеивания примесей в тропосфере. Однако вероятностная природа поведения процессов в воздушном бассейне на практике приводит к большим затруднениям с их выбором. Реальнее говорить о выполнении экологических ограничений вида $C_i(x, y, z, t) \leq C_i^{\text{lim}}$ лишь с некоторой вероятностью, т.е. базироваться на концепции "приемлемого риска". В этой связи постановку задачи расчета ПДВ сформулируем следующим образом.

Найти такие значения нормативных выбросов

$$G^*_{ij} = \text{Arg min}_{G_{ij}} \left(\sum_{i=1}^n I_i(G_{ij}) + Y(G_{ij}) \right), \quad (10)$$

для которых выполняются условия

$$\Pi_i = \Pi_{i_{\text{зад}}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (11)$$

уравнения связи

$$C_{ij}(x, y, 0) = f_i(G_{ij}, M(\bar{\xi}), T(\bar{\zeta}), S_1(x), S_2(x, y)), \quad (12)$$

и ограничения:

$$\Pr_1 \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j \in J^v} C_{ij}(x, y, 0) / C_j^{\text{lim}} > 1 \right\} \leq \beta^v, \quad v = \overline{1, \varphi}, \quad |J^v| \leq k, \quad (13)$$

$$\Pr_2 \left\{ \left(\sum_{i=1}^n C_{ij}(x, y, 0) + C_{j\phi} \right) > C_j^{\text{lim}} \right\} \leq \delta_j, \quad j \notin J^v, \quad (14)$$

$$0 \leq x \leq X, \quad 0 \leq y \leq Y, \quad 0 \leq G_{ij} \leq \tilde{G}_{ij}, \quad (15)$$

где $S_1(x)$ и $S_2(x, y)$ – функции, учитывающие ослабление действия источника выбросов по мере возрастания расстояния от него; J^v – множество индексов веществ, образующих v -ю кумулятивную группу; $|\cdot|$ – мощность множества J^v ; \Pr_1, \Pr_2 – символы вероятности; $\bar{\xi}, \bar{\zeta}$ – векторы случайных воздействий; δ_j и β^v – уровни допустимого экологического риска; $V(G_{ij})$ – величина экологического ущерба, вызванного действием источников мощностью G_{ij} ; $I_i(G_{ij})$ – стоимость затрат на реализацию средозащитных мероприятий в технических процессах.

Алгоритм решения данной задачи приведен в диссертации.

В третьей главе разрабатывается алгоритмическое обеспечение для системы мониторинга и диспетчеризации воздушного бассейна в промышленных центрах. Изучается проблема "адресного" мониторинга, когда осуществляется контроль за конкретными источниками выбросов примесей в тропосфере.

Известно, что процесс переноса примесей происходит под действием векторного поля скорости ветра, формирующего вдоль линий тока поле концентрации. Измеряемая концентрация вредных веществ повышается в случае совпадения среднего направления ветра с осью: источник примеси- станция контроля. Таким образом, данные, регистрируемые на КЗС, содержат информацию о местонахождении предполагаемых источников выбросов, "посылающих" частицы примеси на станцию контроля. Выдвигается гипотеза о взаимосвязи между источниками выбросов и результатами наблюдений на КЗС.

Для доказательства гипотезы проводился натурный эксперимент на одной из таких станций, где измерялись следующие величины: концентрация примеси (аммиак), горизонтальное направление и скорость ветра.

При этом ось – источник выброса (Гамбовский хладокомбинат) – станция контроля – находилась в створе колебаний направления ветра. Собранная информация в виде временных рядов ($C, v, \varphi, x = v \cos \varphi$) обрабатывалась статистическими методами. Результаты спектрального анализа показывают, что основная энергия у исследуемых временных рядов сосредоточена в одной и той же области малых частот $0 \dots 0,2$ Гц (см. рис. 3). Увеличение энергии процессов зарегистрировано также на одних и тех же частотах – $0,06$ и $0,12$ Гц. Тот факт, что разные физические величины обладают сходными спектральными плотностями, подтверждает их взаимосвязь. Таким образом, в рассматриваемом примере была подтверждена гипотеза адресного наблюдения за источником NH_3 со станции контроля.

Дальнейшее развитие идеи "адресного" мониторинга привело к разработке методов идентификации аномально работающих источников загрязнения тропосферы. Один из методов основан на применении модели распределенного лага

$$C_t = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x_{t-k} + \xi_t, \quad (16)$$

где t – текущий момент времени; a_k – неизвестные параметры, определяемые по методу наименьших квадратов; ξ_t – независимая от x_{t-k} случайная переменная с нулевым средним значением и постоянной дисперсией; $x = v \cos \varphi$; k – максимальная "глубина" переноса примеси, оцениваемая выражением $k = s / (\bar{v} \Delta t)$, где s – расстояние от пеленгующей КЗС до самой дальней границы расположения источников в ППС, Δt – интервал регистрации переменных на КЗС.

Если на КЗС зафиксировано значение $C_t > C^{\text{lim}}$, следовательно есть нарушители нормативов ПДВ. Если модель (16) адекватна, то от известных координат КЗС откладываем луч, длина которого учитывает реальную "глубину" переноса примеси, определяемой по количеству значимых членов ряда (16), а направление соответствует среднему направлению ветра. Критерий адекватности модели (16) выглядит

следующим образом: $\frac{[C_i - \hat{C}_i]^2}{1 + x_i^T P_{i-1} x_i} < \Delta$, где $\hat{C}_i = x_i^T \hat{a}_i$; Δ – допустимая погрешность модели; P_{i-1} – ковариационная матрица; i – номер итерации.

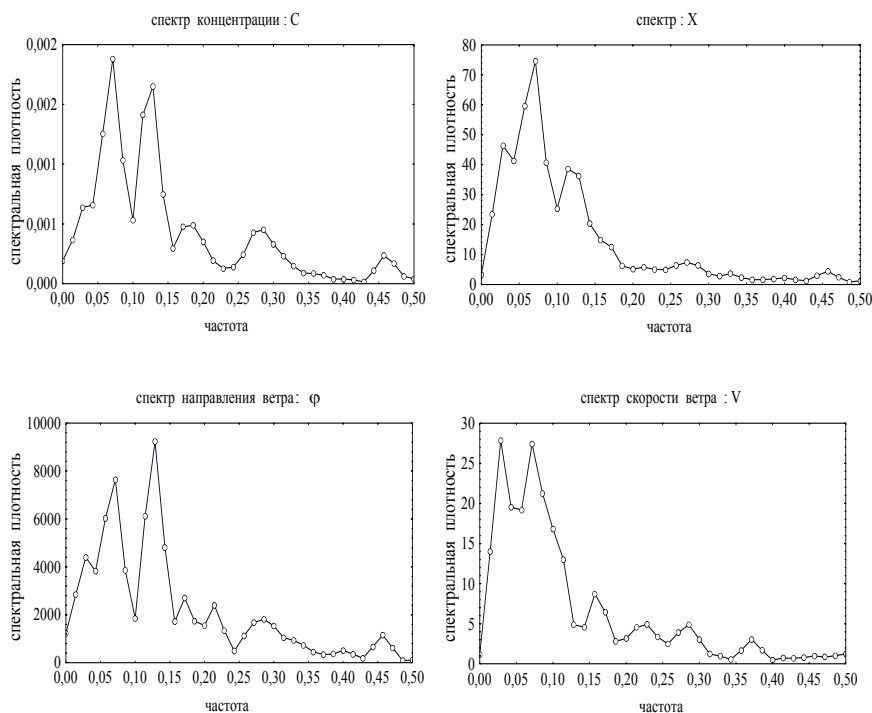


Рис. 3 Графики спектров

Восстанавливая по записям вектора \bar{v} траекторию, пройденную примесью от источника до КЗС, мы, тем самым, определяем примерное местонахождение источника-нарушителя эмиссионного режима.

Для прогноза уровня загрязнения воздушного бассейна в задаче мониторинга применена искусственная нейронная сеть (ИНС). Основанием ее применения стало сравнение с традиционно используемой для оперативного прогноза авторегрессионной моделью, имеющей следующий вид:

$$\hat{y}(k+1) = \alpha_0 y(0) + \alpha_1 y(k) + \alpha_2 y(k-1) + \alpha_3 \varphi(k) + \alpha_4 v(k) + \varepsilon(k+1), \quad (17)$$

где $\hat{y}(k+1)$ – оценка прогноза в $(k+1)$ -й момент времени; $y(k)$, $y(k-1)$ – действительные значения концентраций примесей в моменты времени k и $k-1$; φ , v – значения метеопараметров в k -й момент времени; ε – ошибка прогноза; $y(0)$ – фиктивная переменная равная единице; α_i – параметры модели, $i=1 \dots 4$.

Выбранная структура ИНС представляла собой перцептрон Розенблатта (см. рис. 4). Число скрытых слоев и содержание в них нейронов в процессе обучения перцептрона менялось. Оптимальным был определен один скрытый слой с количеством нейронов равном 20.

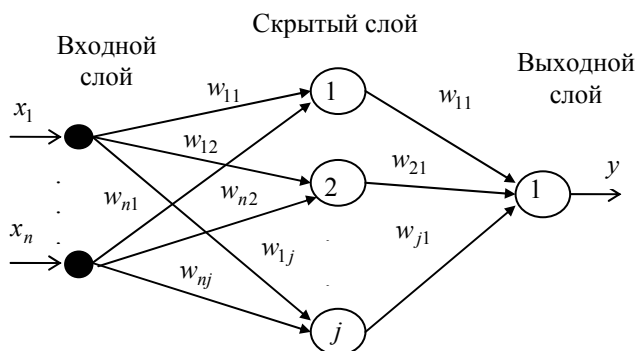


Рис. 4 Архитектура нейронной сети

На вход персептрона поступал вектор значений $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} \equiv \{C_k, C_{k-1}, \varphi_k, v_k\}$. На выходе персептрона получали значение концентрации в $(k+1)$ -й момент времени $y \equiv C_{k+1}$. Обучение сети проводили методом обратного распространения ошибки.

Для сравнения прогноза по двум моделям использовали одинаковые временные ряды значений C, v, φ . Результаты сравнения показали, что по заданным временным рядам прогноз по ИНС примерно в 1,2 раза точнее, средняя ошибка прогноза по ИНС составляет 9 %, а по авторегрессионной модели – 11 %.

Корреляционно-спектральный анализ временных рядов ошибок прогноза показал, что для ИНС они некоррелированы и представляют собой "белый шум", а для авторегрессионной модели они оказались коррелированными и содержали полезную информацию. В итоге было принято решение о целесообразности использования нейросетевой модели для оперативных прогнозов загрязнения тропосферы.

Учитывая вероятностную природу процессов переноса примесей в тропосфере, в работе предложено применение имитационной системы прогноза загрязнения воздуха, использующей идеи теории игр. В ее основе набор "факельных" моделей, именуемых "Quick forecast". Он использует решения диффузионного уравнения переноса примесей в тропосфере. Каждая модель обладает известной точностью прогноза в заданном классе стабильности атмосферы. Это дает возможность рассматривать процесс прогнозирования в виде "игры с природой" и получать результаты прогноза с гарантированной точностью.

Для диспетчерского управления источниками выбросов на промышленных объектах предложен способ, учитывающий подъем факела при повышении температуры отходящих газов, т.е. в определенных ситуациях можно уменьшить загрязнение приземного слоя воздуха, меняя эффективную высоту трубы $H_{\text{эф}} = H + \Delta H$.

С помощью установки дополнительных устройств на входе в трубу, например, калориферов или смесителей газовых потоков, можно менять температуру отходящих газов и тем самым увеличивать высоту подъема струи в определенных пределах.

В ППС "Город" рассматривается пример двух близкорасположенных источников примеси одинаковой высоты $H_1 = H_2 = 50$ м с мощностью выбросов $G \approx 10$ г/с каждый. Тип примеси – окислы железа. Класс стабильности атмосферы нейтральный, скорость ветра постоянна и равна 5 м/с.

Первоначально подъем струи в обоих источниках принимался равным нулю. Распределение концентраций в приземном слое атмосферы для этого случая показано на рис. 5, а. Если увеличить температуру газов одного из источников, то подъем струи факела возрастает и опасная зона начинает сокращаться, а в конечном счете исчезает (рис. 5, б).

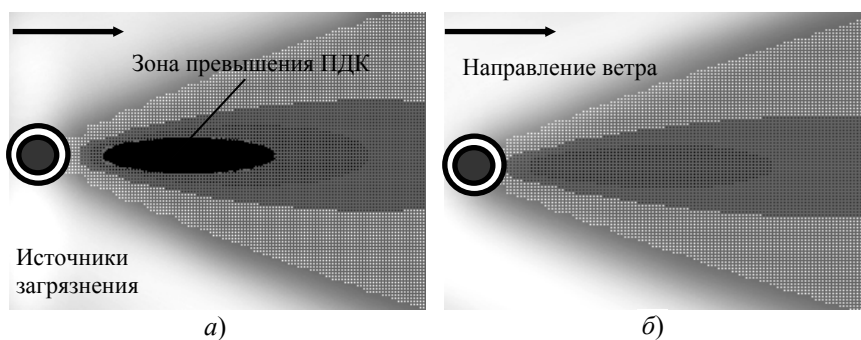


Рис. 5 Влияние теплового подъема на распределение концентраций

По результатам имитационного моделирования сделан вывод о том, что на действующих промышленных производствах можно реализовать оперативные способы управления процессами выброса вредных веществ, изменяя температуру или скорость газов на выходе из труб.

В четвертой главе описываются результаты проектирования программно-технического комплекса, входящего в состав проблемно-ориентированной вычислительной системы (ПОВС) экологического мониторинга и диспетчеризации (см. рис. 6).

Данная система включает в себя банк данных, библиотеку моделей, сервисные программы вывода цифровой и графической информации, а также средства диалога, обеспечивающие гибкость работы пользователей с системой в режиме обучения и позволяющие совершенствовать существующее математическое описание процессов на основе вновь полученных данных.

Определены основные принципы построения системы: модульность, иерархичность, информационная совместимость, интегральность, унифицируемость форматов данных. Проектирование системы проходило в несколько этапов: создание модели бизнес-процессов, проектирование базы данных, разработка комплексного программного обеспечения и пользовательского интерфейса. При разработке базы данных использовали концептуальное, логическое и физическое моделирование. Разработка системы проводилась с использованием лицензионных программных средств MS Access, Geograph/GeoDraw, Delphi, модуля GeoConstructor.

Использовалась технология доступа к данным OLE DB/ADO (Object Linking and Embedding Database / ActiveX Data Objects), применялся "Microsoft Jet 4.0 OLE DB Provider". В Delphi работа с данными осуществляется через ADO-компоненты. Для вывода отчетной информации использовалась COM-технология компании Microsoft.

На рис. 7 показан экран работы разработанного программно-технического комплекса мониторинга и диспетчеризации ППС "Город".

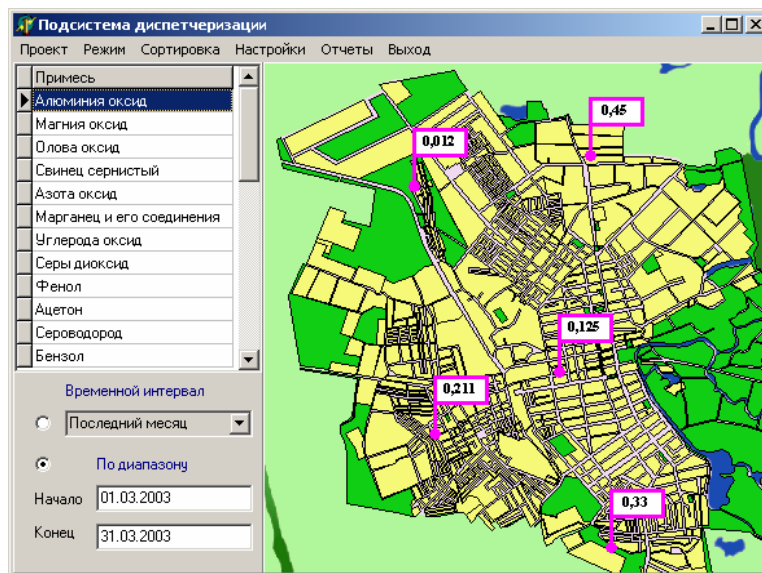


Рис. 7 Экран работы программного обеспечения для системы мониторинга и диспетчеризации

ПОВС представляет собой совокупность технических, информационных и методических средств, обеспечивающих:

- 1 Интерактивный режим организации работы системы.
- 2 Автоматизацию решения задач: прогноза распространения примесей в приземном слое воздуха; обнаружения аномально работающих источников примеси; оценки предотвращенного экологического ущерба от снижения нагрузки на воздушный бассейн.
- 3 Контроль достоверности и полноты информации на этапах ее ввода, хранения и вывода.
- 4 Обработку информации в режимах "on-line" и "off-line".

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

- 1 **ФОРМАЛИЗОВАНА ПРИРОДО-ПРОМЫШЛЕННАЯ СИСТЕМА "ГОРОД" КАК ОБЪЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ.**
- 2 **ПОСТАВЛЕНА ЗАДАЧА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРАХ.**
- 3 **РАЗРАБОТАНА КЛАССИФИКАЦИЯ СИТУАЦИЙ ПОВЫШЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРОПОСФЕРЫ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИЧИН ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ.**
- 4 **ПОСТАВЛЕНА ЗАДАЧА И ПРЕДЛОЖЕН АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НОРМАТИВОВ ПДВ, ОСНОВАННЫЕ НА КОНЦЕПЦИИ "ПРИЕМЛЕМОГО РИСКА".**
- 5 **ПРЕДЛОЖЕНА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ПРОВЕРЕНА ГИПОТЕЗА ПОСТРОЕНИЯ "АДРЕСНОЙ" СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ ВЕСТИ НАБЛЮДЕНИЕ ЗА КОНКРЕТНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ВЫБРОСОВ.**
- 6 **РАЗРАБОТАН И ПРОВЕРЕН МЕТОД "ПЕЛЕНГАЦИИ" АНОМАЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТРОПОСФЕРЫ.**
- 7 **ПРОВЕДЕНО СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДОВ АВТОРЕГРЕССИИ И ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА.**
- 8 **ПРЕДЛОЖЕНО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИДЕЙ ТЕОРИИ ИГР В ЗАДАЧЕ ПРОГНОЗА ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИМЕСЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ГАРАНТИРОВАННУЮ ОЦЕНКУ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА.**
- 9 **АПРОБИРОВАН ВОЗМОЖНЫЙ СПОСОБ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИЗ ПРИПОДНЯТЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ.**
- 10 **РАЗРАБОТАН ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС, ПОЗВОЛЯЮЩИЙ В ОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ.**

11 РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЫ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В ГЛАВНОМ УПРАВЛЕНИИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ МПР РОССИИ ПО ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ.

Содержание диссертации отражено в следующих работах

1 *Метод* построения "пеленгатора" аномально работающих источников загрязнения тропосферы / О.В. Кондраков, Н.С. Попов, А.А. Алексеев, А.М. Складчиков // Тр. молодых ученых и студентов ТГТУ. Тамбов, 1997. Вып. 1. С. 4–7.

2 *Попов Н.С.* Диспетчеризация состояния воздушного бассейна в промышленных районах / Н.С. Попов, О.В. Кондраков // Тез. докл. междунар. науч.-метод. конф. Липецк, 1997. С. 10–12.

3 *Алексеев А.А.* Способы реализации управлений в задачах экологической диспетчеризации / А.А. Алексеев, О.В. Кондраков, Д.Г. Аведова // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов, 1998. Вып. 2. С. 36–39.

4 *Попов Н.С.* Проблемы диспетчеризации загрязнений природо-промышленных систем / Н.С. Попов, А.А. Алексеев, О.В. Кондраков // Экология-98: Тез. докл. науч.-техн. конф. 1998. С. 111–114.

5 *Кондраков О.В.* Построение "адресной" системы мониторинга, основанной на использовании статистических методов / О.В. Кондраков // Труды ТГТУ: Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов, 1999. Вып. 3. С. 66–71.

6 *Кондраков О.В.* Моделирование распространения сильнодействующих ядовитых веществ при их выбросе в атмосферу / О.В. Кондраков // Труды ТГТУ: Сб. науч. стат. молодых ученых и студентов. Тамбов, 2000. Вып. 6. С. 49–55.

7 *Кондраков О.В.* Диспетчерское управление качественным состоянием воздушного бассейна в промышленных центрах / О.В. Кондраков // V науч. конф. ТГТУ: Тез. докл. Тамбов, 2000. С. 72–73.

8 *Попов Н.С.* Применение искусственных нейронных сетей для систем прогноза загрязнения воздушного бассейна / Н.С. Попов, О.В. Кондраков // Вестник ТГТУ. 2002. Т. 8, № 2. С. 219–227.

9 *Кондраков О.В.* Классификация ситуаций загрязнения воздушного бассейна с помощью искусственных нейронных сетей / О.В. Кондраков // Вестник ТГТУ. 2002. Т. 8, № 4. С. 577–582.

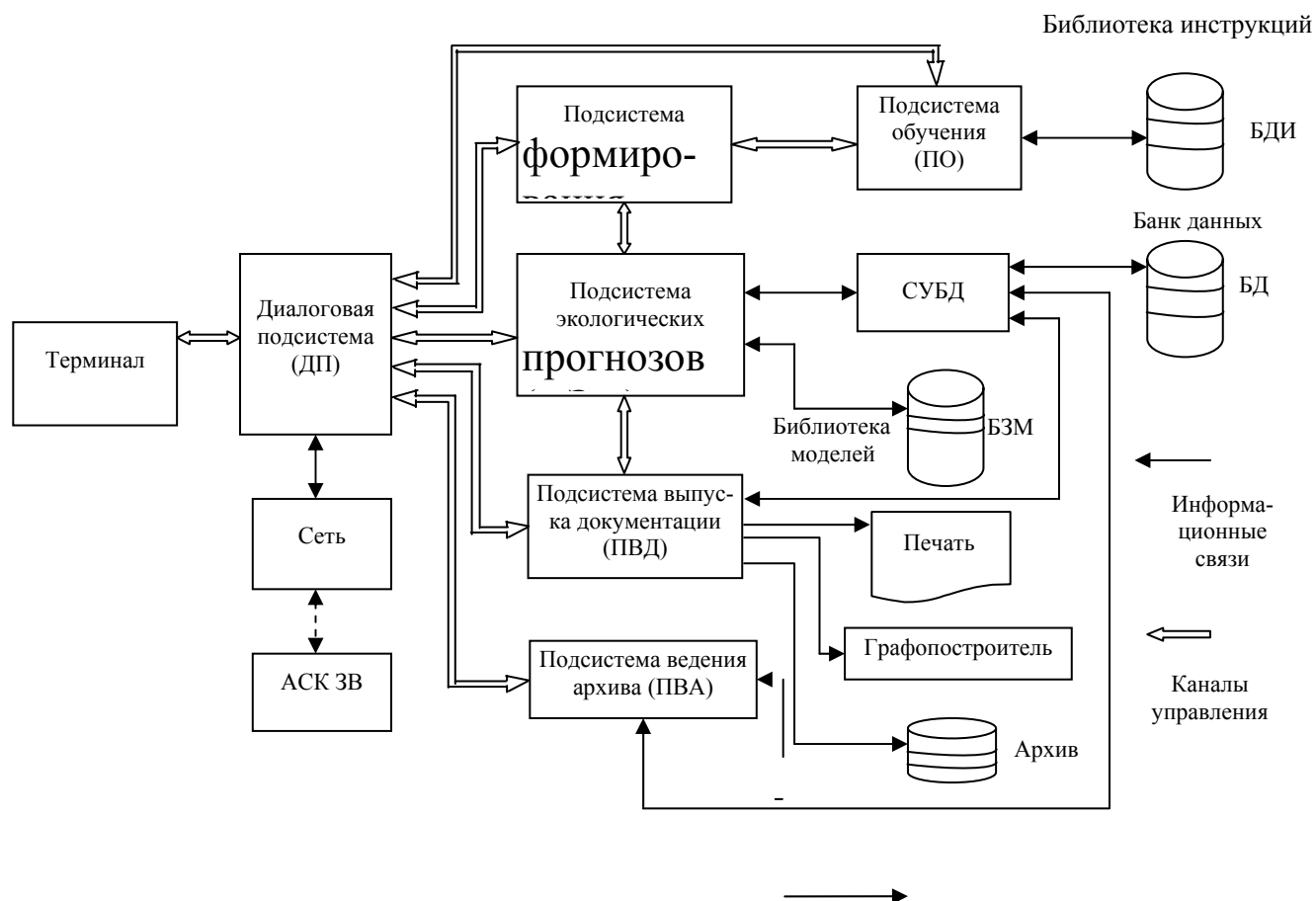


Рис. 6 Структура проблемно-ориентированной вычислительной системы