

# СТОХАСТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОЛЕЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ НАД ПРОМЫШЛЕННЫМ ГОРОДОМ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ОБЪЕКТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Звягинцева А.В.

Кафедра КСМ ДонНТУ

E-mail: [zviagintseva@cs.dgtu.donetsk.ua](mailto:zviagintseva@cs.dgtu.donetsk.ua)

## **Abstract**

*Zviagintseva A. Stochastic forecasting of distribution of the fields of contaminating substances in the atmospheric air of an industrial city on the basis of development of object models. A research is directed on development of the object-oriented forecasting models of contamination of the atmospheric air of an industrial city.*

## **1. Постановка проблемы и её связь с важными научными и практическими задачами**

Анализ тенденций процессов загрязнения атмосферного воздуха свидетельствует о сложной экологической ситуации во многих промышленных городах Украины, уровни загрязнения атмосферы в которых остаются высокими. Снижение качества и продолжительности жизни населения, неэффективность природоохранных мероприятий настоятельно требуют осуществления прогноза загрязнения атмосферного воздуха и количественной оценки потенциальной и реальной опасности от техногенных воздействий. В этом плане развитие методов прогнозирования оценки состояния атмосферного воздуха является основой для разработки и поиска оптимальных форм и методов управления экологической безопасностью.

Статистические данные последних лет о загрязнении атмосферного воздуха в городах Донецк, Макеевка, Мариуполь указывают на довольно стойкое повышение концентраций по основным загрязнителям атмосферного воздуха. Причем экологическая опасность этих процессов связана, в первую очередь, не с тенденциями среднего повышения уровня загрязнения атмосферы, а с устойчивой тенденцией наличия пиковых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, превышающих предельно допустимые концентрации. Такие процессы обычно характеризуются залповыми выбросами предприятий и неблагоприятными метеорологическими условиями.

На рисунке 1 приведен временной ряд распределения среднесуточных концентраций аммиака в атмосферном воздухе г. Донецка за 2003 год.

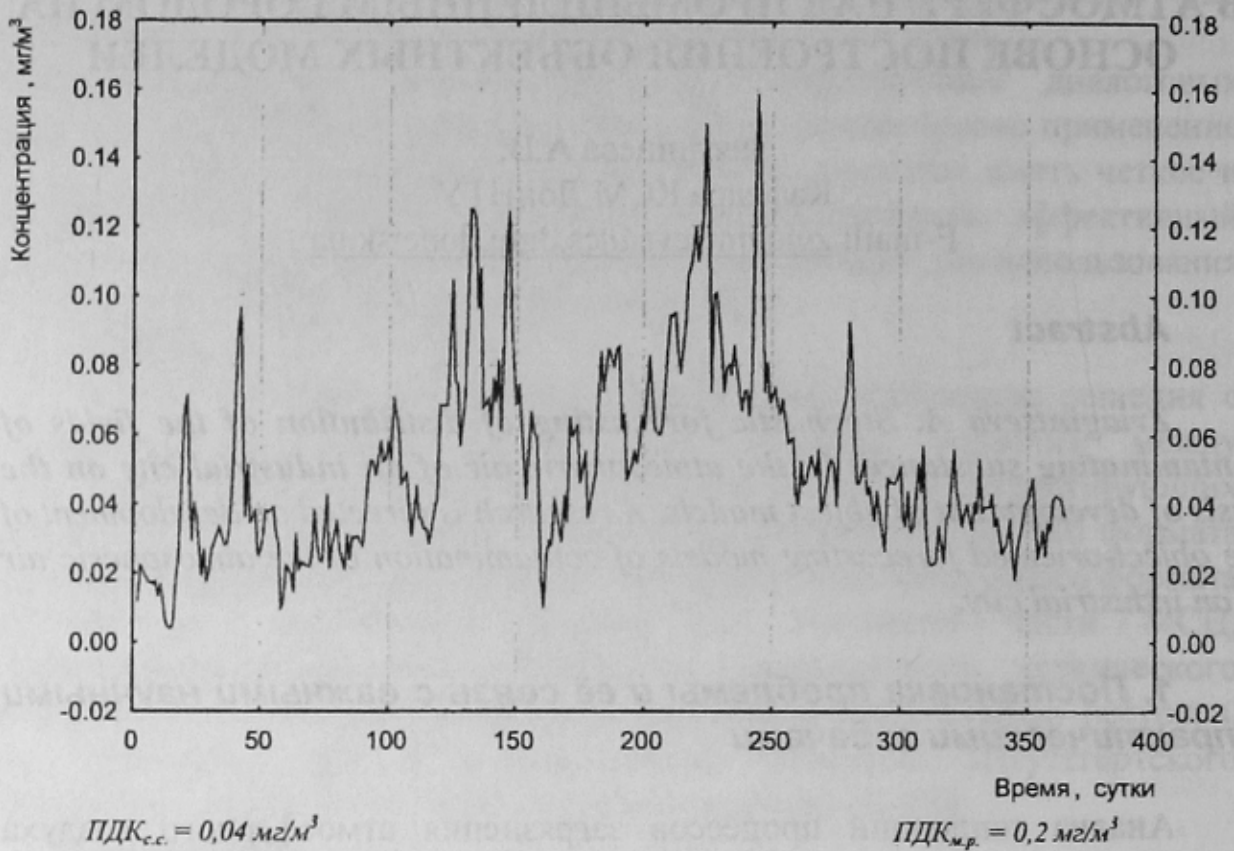


Рисунок 1 – Временной ряд распределения среднесуточных концентраций аммиака в атмосферном воздухе г. Донецка за 2003 год

Здесь ПДК<sub>с.с.</sub> – предельно допустимая среднесуточная концентрация; ПДК<sub>м.р.</sub> – предельно допустимая максимально разовая концентрация.

Как видно из приведенного графика, распределение полей загрязняющих веществ в атмосферном воздухе носит явно выраженный стохастический характер. Соответствующий нестационарный временной ряд, как показал анализ, имеет достаточно высокие шумовые характеристики, распределение которых близко к белому шуму на высоких частотах. По остальным показателям загрязнения окружающей среды динамика процессов хотя и различна, но в целом ряды также зашумлены. В настоящее время при прогнозировании загрязнения окружающей среды над крупными промышленными объектами используют преимущественно аналитические и эмпирические методы, основанные на использовании тех или иных методов модификации уравнений диффузии [1, 2, 3, 4].

Применение этих методов позволяет решать значительное количество практических и научных задач, однако мало пригодно для решения задач оперативного контроля, краткосрочного прогноза загрязнения атмосферного воздуха, особенно в условиях недостоверной



информации, поступающей от предприятий. В настоящее время на первое место выходят задачи автоматизированного контроля атмосферного воздуха с возможностью принятия быстрых управленческих решений.

С этой целью методы стохастического прогнозирования динамики временных рядов [5] становятся актуальными, так как позволяют оперативно учитывать быстроменяющиеся закономерности.

**2. Целью работы является** разработка объектных моделей стохастического прогнозирования распределений полей загрязняющих веществ в атмосфере над промышленным городом.

### **3. Изложение основного материала исследования**

Долгосрочные наблюдения в основном осуществляют на стационарных постах, чаще всего это наблюдения по приоритетному списку, базы данных набираются за десятки лет с довольно высокой периодичностью (4 – 6 раз в сутки). Например, для Донецка определен следующий перечень приоритетных веществ, подлежащих контролю на стационарных постах наблюдения: пыль, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота; фенол, аммиак, формальдегид.

Ввиду накопления громадного экспериментального материала областным гидрометеоцентром целесообразно использовать методы стохастического прогнозирования по каждому посту и ингредиенту. Обработка экспериментальных данных и их обобщение [6] показывает, что среднегодовые концентрации по каждому из ингредиентов представляют собой слабоменяющиеся показатели. Поэтому экстраполяция трендов, характеризующих временные ряды загрязнения воздуха на временные периоды 1 – 2 года, возможна с достаточно высокой достоверностью.

Проведенные исследования показали, что ряды среднесуточных значений концентраций загрязняющих веществ можно представить в виде суммы трендовых показателей, а также среднечастотных и высокочастотных составляющих. Для моделирования среднечастотных составляющих обычно используются методы АРПСС, высокочастотные составляющие обычно задаются в виде генераторов нормально распределенного белого шума.

Стохастическое прогнозирование распределений полей загрязняющих веществ в атмосфере и оценка вероятности возникновения опасных событий производились по данным Донецкого областного центра гидрометеорологии, полученным на 6-ти стационарных постах наблюдения за состоянием атмосферного воздуха в городе Донецк, на 2-х в городе Макеевка и на 5-ти в городе Мариуполь.

Объектная модель системы “Город” выполнена инструментами визуального моделирования пакета Simulink [7] и разработана для

прогнозирования полей концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе промышленного города и расчета критериев оценки воздействий.

Действительные временные ряды загрязняющих веществ моделировались блоками "Matlab-Function", где базы данных о показателях загрязнения атмосферы на постах промышленных городов за последние пять лет представлены в виде М-функций. М-функции реализуют алгоритм стохастического прогнозирования временных рядов на конкретных постах по каждому ингредиенту и представляются в виде суммы трендов, среднечастотных составляющих и шумовых распределений. Соответствующие параметры определены путем обработки статистических данных.

Алгоритм стохастической модели прогнозирования распределений полей загрязняющих веществ в атмосферном воздухе показан на рисунке 2 на примере построения объектной модели загрязнения атмосферы.

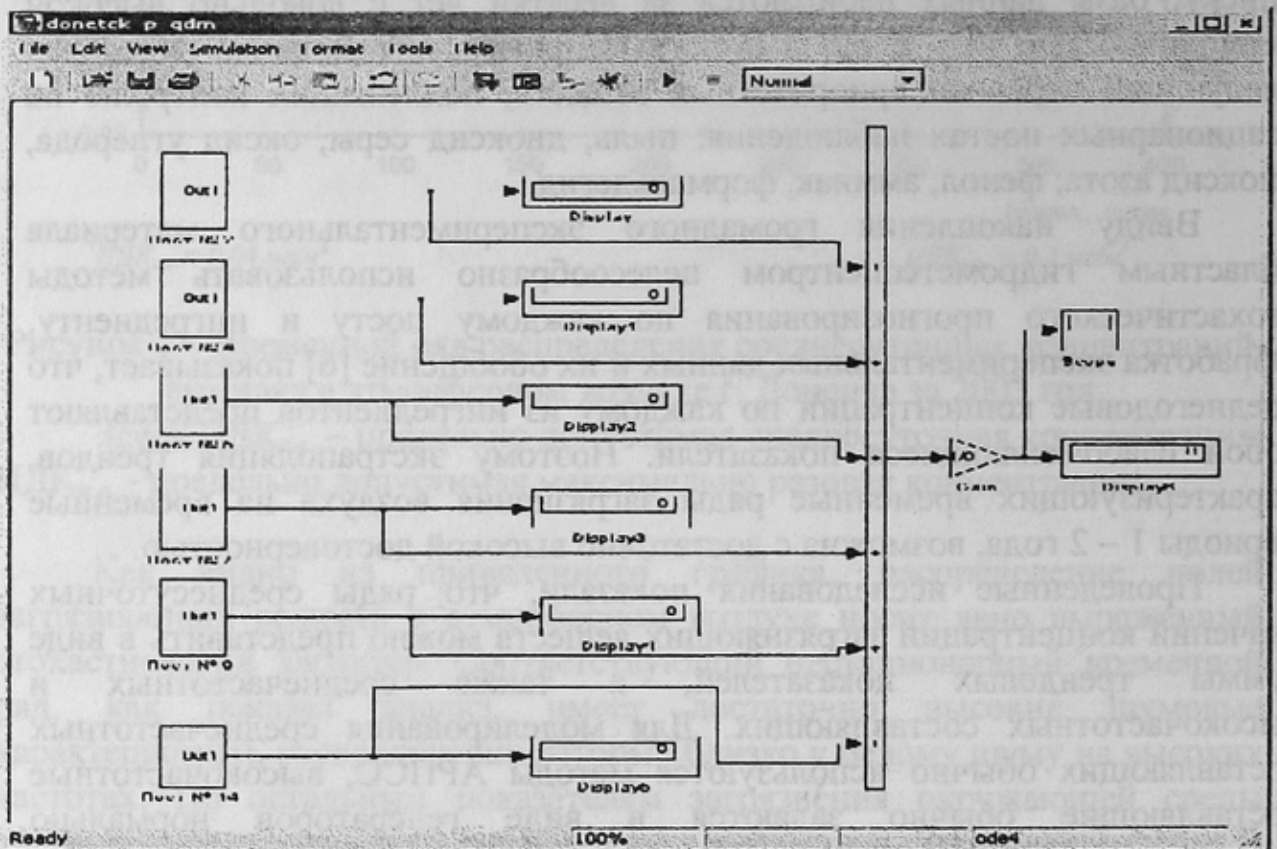


Рисунок 2 – Модель стохастического прогнозирования распределений полей загрязняющих веществ в атмосфере на примере города Донецк

На рисунке 3 показан алгоритм построения подсистемы "Пост" на примере реализации объектной модели поста контроля за состоянием атмосферного воздуха № 2 г. Донецк.



Классификация состояния окружающей среды промышленных городов осуществляется по комплексному (суммарному) индексу загрязнения атмосферы ( $ИЗА_n$ ) и комплексному показателю загрязнения атмосферы при одновременном присутствии различных загрязнителей ( $P$ ).

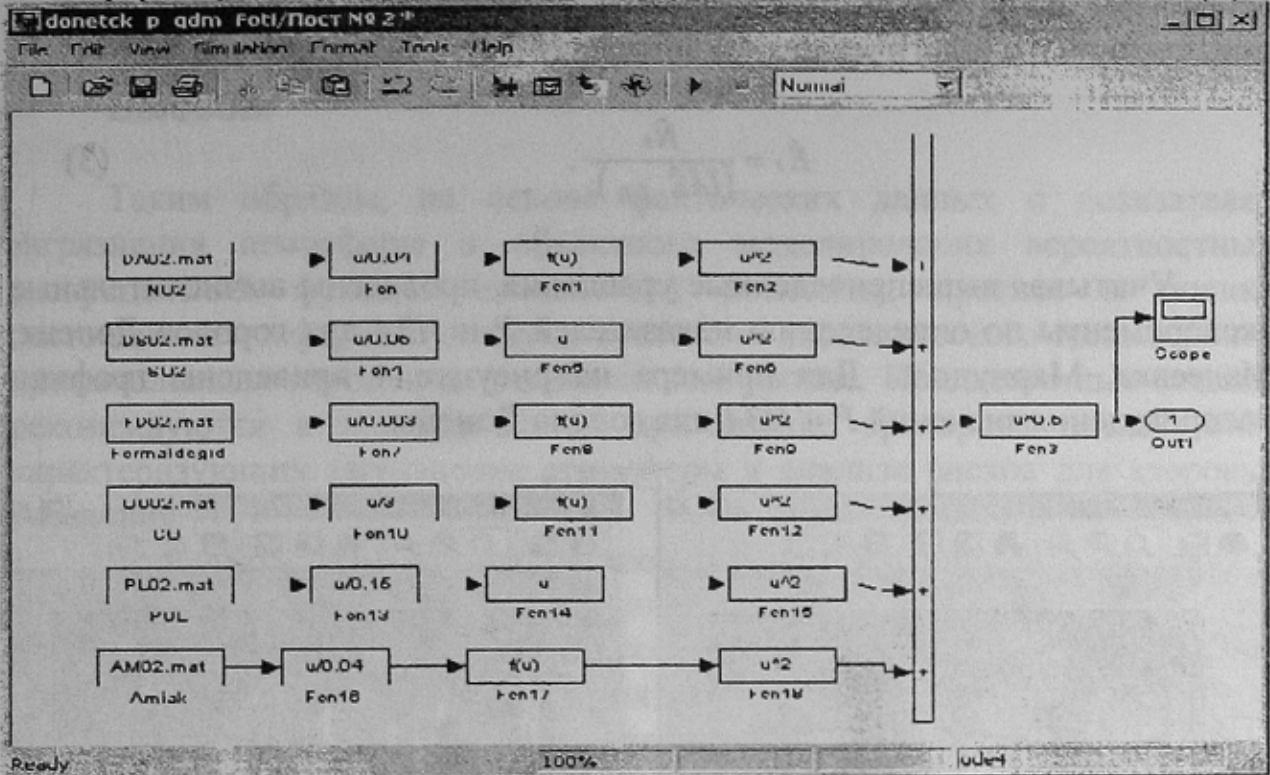


Рисунок 3 – Объектная модель подсистемы “Пост”

Значения  $ИЗА_n$  используются для оценки тенденции изменения состояния загрязнения атмосферы в городе при наличии в течение рассматриваемого периода результатов измерений концентраций тех вредных веществ, которые определяют основной вклад в индекс загрязнения атмосферы ( $ИЗА$ ). Обычно  $ИЗА_n$  рассчитывается по пяти основным загрязнителям согласно уравнению (1):

$$\dot{E}\dot{C}\dot{A}_n = \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_i}{\bar{I}\bar{A}\bar{E} \bar{n}\bar{n}_i} \right) C_i, \quad (1)$$

где  $n$  – число учитываемых вредных веществ;  $q$  – средняя концентрация вещества (за месяц, за год);  $C_i$  – безразмерная константа.

Комплексный показатель загрязнения атмосферы  $P$  [8] учитывает характер комбинированного воздействия различных веществ и их класс опасности. Расчетное значение комплексного показателя  $P$  позволяет оценить уровень загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от числа загрязнителей и определяется по формуле (2):

$$D = \sqrt{\sum \hat{E}_i^2}. \quad (2)$$

Величина  $K_i$  представляет собой среднегодовое загрязнение атмосферы конкретным  $i$ -тым веществом, выраженное в долях ПДК<sub>с.с.</sub>, приведенное к биологическому эквиваленту 3-го класса опасности:

$$\hat{E}_i = \frac{\bar{N}_i}{(\bar{I}\bar{A}\bar{E}_{\text{н.н.}})_i}. \quad (3)$$

Учитывая вышеприведенные уравнения, проведены вычислительные эксперименты по определению показателей  $P$  и  $IЗА$  для городов Донецк, Макеевка, Мариуполь. Для примера на рисунке 4 приведены графики распределения значений  $P$  и  $IЗА$  для города Донецк.

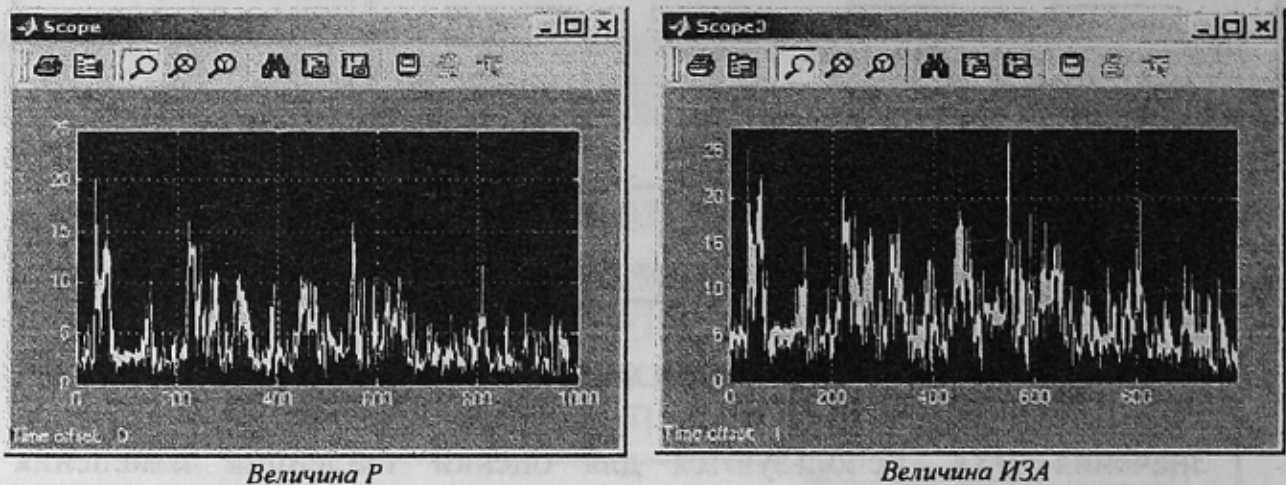


Рисунок 4 – Графики изменения величин  $P$  и  $IЗА$

Из рисунка 4 видно, что фоновое загрязнение атмосферы по комплексному показателю  $P$  лежит в диапазоне от 2 до 4, а отдельные значения  $P$  могут достигать 15 – 20, что соответствует, согласно [8], сильному загрязнению атмосферы. Фоновое значение загрязнения атмосферы по показателю  $IЗА$  лежит в диапазоне от 4 до 6, что соответствует переходному состоянию загрязнения атмосферы от нормы к риску. Отдельные значения  $IЗА$  могут достигать 20 – 30, что характеризует уровень загрязнения воздуха как бедственный. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что даже в рамках одного города величины  $P$  и  $IЗА$  могут меняться в значительных диапазонах. Динамика изменения  $P$  и  $IЗА$  настолько интенсивна, что один и тот же город в одни дни может быть охарактеризован как слабозагрязненный, в другие как очень сильно загрязненный. Таким образом функции  $P$  и  $IЗА$  являются быстроменяющимися, причем значения каждой из них для одного и того же города в разные дни могут характеризовать разные уровни опасности.



Разработанная модель является основой для классификации городов Украины по уровню загрязнения атмосферного воздуха в зависимости от количественной характеристики среднегодового *ИЗА* и среднегодового *P* и выявления взаимосвязи этих параметров с численной характеристикой уровня экологического риска промышленного города.

### **Выводы**

Таким образом, на основе фактических данных о показателях загрязнения атмосферы и объектного моделирования вероятностных распределений функции воздействий возможны прогноз и оценка состояния атмосферного воздуха в системе экологического мониторинга промышленных городов на региональном уровне. Предложенные модели рекомендуются к использованию при оценке критериев воздействий, характеризующих загрязнение атмосферы и анализа рисков для здоровья населения.

Если взять базы данных по всем городам Украины, что составляет несколько миллионов данных, то, используя предложенный метод, можно провести ранжирование всех городов Украины по существующим критериям показателей загрязнения атмосферы и, в свою очередь, по рискам нанесения ущерба здоровью человека.

### **Литература**

1. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 272 с.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Общесоюзный нормативный документ (ОНД-86). Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 93 с.
3. Unified EMEP Model. Description. EMEP Status Report 2003. - 05.10.2004. - [www.emep.int/index\\_model.html](http://www.emep.int/index_model.html).
4. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. - М.: Финансы и статистика, 1999. - 384 с.
5. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир, 1974. - 406 с.
6. <http://mail.menr.gov.ua/publ/regoblo2/dpsir/main.htm> (02.02.05).  
Регіональні доповіді про стан навколишнього середовища у 1999, 2000, 2001 та 2002 роках.
7. Дьяконов В. Matlab 6/6.1/6.5. Simulink 4/5. Основы применения. - М.: Солон-Пресс. 2004. - 768 с.
8. Инженерная экология. // ред. проф. В.Т. Медведев М.: Гароарики. - 2002. - 687 с.