

О СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА

И. В. Степанченко, В. А. Камаев

*Камышинский технологический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический
университет, г. Камышин; ФГБОУ ВПО «Волгоградский
государственный технический университет», г. Волгоград*

Рецензент д-р техн. наук, профессор С. И. Дворецкий

Ключевые слова и фразы: двухуровневая структура; загрязняющее вещество; метод идентификации; мобильный контроль; модель рассеивания; экологический мониторинг.

Аннотация: Представлен подход к организации систем экологического мониторинга атмосферного воздуха в городах с благополучной экологической обстановкой, который подразумевает создание двухуровневой системы мониторинга и решения комплекса задач для замены непрерывного технического контроля параметров атмосферного воздуха на расчетные модели и мобильный контроль. Приведены функции каждого уровня и состав моделей системы экологического мониторинга.

Из всех проблем оценки экологического состояния городской среды следует выделить задачу контроля и управления качеством атмосферного воздуха, применительно к которой широкое развитие получили два направления работ. К первому направлению относятся работы, в которых предлагаются и совершенствуются математические модели для оценки объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из различных источников, а также для расчета рассеивания примесей в атмосфере и приближенного определения приземных концентраций загрязняющих веществ на территории города [1 – 3].

Второе направление включает работы по мониторингу состояния воздушной среды города, где основное внимание уделяется вопросам техни-

Степанченко Илья Викторович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Автоматизированные системы обработки информации и управления», e-mail: stilvi@mail.ru, Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», г. Камышин; Камаев Валерий Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования», ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград.

ческого обеспечения систем мониторинга (датчикам, современным средствам контроля, связи, оперативному отображению результатов и пр.) [4, 5].

Вопросы системной связи между данными направлениями работ не нашли достаточного освещения. Так, в проектах нормативов предельно допустимых выбросов из источников, расположенных на предприятиях, основанных на работах первого направления, устанавливаются жесткие ограничения на объемы выбросов, такие, чтобы ни при каких сочетаниях внешних факторов приземные концентрации загрязняющих веществ вне санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятий не превышали предельно допустимые концентрации (ПДК). Нормативы предельно допустимых выбросов (ПДВ) для предприятий носят статический характер, рассчитаны на наиболее неблагоприятные условия и поэтому не связаны с текущей оценкой внешних факторов (в частности, метеорологических условий и режимов работы других предприятий, источники которых выбрасывают в атмосферу вещества тех же наименований).

Представляет интерес рассмотрение задач контроля и управления качеством атмосферного воздуха с общесистемных позиций, объединяющих оба перечисленных направления. Данные задачи особенно актуальны для городов с ограниченным бюджетом и благоприятной экологической ситуацией, поскольку для таких городов можно предложить систему экологического мониторинга атмосферного воздуха на базе мобильной технической системы.

Предполагается возможной адаптация параметров системы производственных экологических ограничений к текущей экологической обстановке в городе с помощью учета текущих значений метеорологических параметров, регулирования автотранспортных потоков и идентификации недоступных непосредственному измерению фактических объемов выбросов из промышленных стационарных источников загрязнения атмосферы по результатам измерений приземных концентраций загрязняющих веществ вне СЗЗ предприятий. Информационную поддержку системы экологического мониторинга предполагается обеспечить только средствами мобильной экологической лаборатории.

Для проверки указанных предположений необходимо решить ряд задач, связанных с разработкой специальной структуры системы экологического мониторинга, которая позволила бы обеспечивать необходимые функции, такие как диагностика зон потенциального превышения допустимых ПДК по перечню загрязняющих веществ, оперативный контроль значений концентраций загрязняющих веществ. В перечень задач входит разработка метода дистанционной идентификации объемов выбросов из стационарных источников по результатам оперативного контроля [6].

Для решения перечисленных задач предлагается двухуровневая структура системы экологического мониторинга атмосферного воздуха. В перечень подзадач верхнего уровня входят:

- оценка рассеивания примесей загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы города от источников, расположенных на промышленных предприятиях, а также выбросов автотранспортных потоков на основе фактических метеорологических условий и их динамики;

- оперативная диагностика зон, в которых при текущих метеоусловиях возможны повышенный уровень загрязнения (не менее 0,7 ПДК) по перечню загрязняющих веществ;
- планирование мобильного контроля фактических значений приземных концентраций в диагностируемых зонах;
- оценка объемов выбросов из стационарных источников, вклад которых в загрязнение зон с превышениями ПДК существенен;
- оперативное формирование экологических ограничений для подсистем управления режимами работы предприятий;
- статистическая обработка результатов мониторинга для задач: перспективного планирования развития производственной сферы с учетом экологических требований; рекомендаций по размещению новых жилых зон; интегральной оценки показателей качества жизни и перспективного планирования мероприятий по его улучшению.

В круг подзадач нижнего уровня входят:

- мобильный контроль концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы;
- если результаты измерений окажутся выше ПДК, а оценки – выше ПДВ, то инициирование работы верхнего уровня для принятия решения о взаимодействии с экологическими службами предприятий – источниками выбросов или службой управления дорожным движением.

В качестве математического обеспечения двухуровневой системы необходим комплекс моделей, которые связаны параметрами воздуха.

В основе оценки рассеивания загрязняющих веществ от стационарных источников лежит эмпирическая модель нормативного документа ОНД-86 [7]. Поскольку модель эмпирическая и охватывает большое количество вариантов источников и параметров, то для системы экологического мониторинга атмосферного воздуха небольшого города ее можно упростить [8].

Ниже приведены некоторые преобразованные формулы из [7] для расчета максимальной концентрации выбрасываемых веществ из высоких горячих источников выбросов на примере одного источника.

Рассчитывается опасная скорость ветра u_m , м/с, то есть такая, при которой в одной из точек координатной сетки достигается наибольшее (из возможных при заданных параметрах) значение приземной концентрации. Опасная скорость ветра не зависит от массы выброса

$$u_m = 0,653 \sqrt{\frac{V \Delta T}{H}} + 3 \sqrt{\frac{V^4}{H^4} \frac{\pi}{\sqrt{D^3 6 \Delta T}}},$$

где V – объем газовоздушной смеси, выходящий из источника, м³/с; ΔT – разность между температурами газовоздушной смеси и окружающей среды, °С; H – высота трубы источника выброса над поверхностью земли, м; D – диаметр устья трубы источника выброса, м.

Определяется расстояние x_m (по направлению факела выброса) от источника выброса до точки, в которой при опасной скорости ветра имеет место максимально возможная концентрация загрязняющего вещества

$$x_m = \frac{5-F}{4} \left[5,644 \sqrt[6]{V \Delta T H^5} \left(1 + \frac{2,8}{D} \sqrt{\frac{16V^2}{\pi^2 H^2 \Delta T}} \right) \right],$$

где F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (для продуктов сгорания $F = 1$).

Вычисляется максимально возможная концентрация загрязняющего вещества (по направлению факела выброса при опасной скорости ветра)

$$C_m = AMF\eta D \left[H^2 \sqrt[3]{V \Delta T} \left(0,67D + 4\sqrt{10} \frac{V}{\pi H} \sqrt{\frac{1}{D \Delta T}} + \right. \right. \\ \left. \left. + 3,4 \sqrt[3]{16 \frac{V^2}{\pi^2 H^2 \Delta T}} \right) \right]^{-1},$$

где A – безразмерный коэффициент, зависящий от распределения температуры по высоте над землей, то есть от температурной стратификации атмосферы; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности; M – масса выбросов загрязняющего вещества в единицу времени, г/с.

Далее в соответствии с некоторыми поправками максимальная концентрация распределяется по поверхности территории. Суммарные значения приземных концентраций при рассеивании одноименных загрязняющих веществ группой стационарных источников получаются сложением концентраций, рассчитанных для каждого источника.

В систему экологического мониторинга включена модель распространения загрязняющих веществ от нестационарных источников – автотранспортных потоков, которые могут быть представлены моделями линейного протяженного источника и площадного источника (перекрестка) [9]. Расчет объемов выбросов загрязняющих веществ производится суммированием выбросов на линейных участках и перекрестках. Для проведения расчетов требуются данные о скорости потока транспортных средств, его состава (по типам двигателей – параметрам экологичности), количества транспортных средств в потоке, режимам работы перекрестков (частота смены запрещающих сигналов светофоров и их длительность, длина очередей автомобилей перед перекрестком).

На основе совокупности вышеперечисленных моделей рассчитывается оперативная карта приземных концентраций загрязняющих веществ на территории города с учетом метеорологических условий. При этом в случае, если имеются зоны с уровнем загрязнения выше 0,7 ПДК по какому-либо из веществ, то рассчитывается план проведения измерений мобильной лаборатории с учетом информационного запаздывания (при проведении замеров метеоусловия возможно изменение картины загрязнения). По рассчитанному плану мобильная лаборатория производит измерения и передает их на верхний уровень для принятия решения о необходимости корректировки технологического режима работы предприятий.

Для принятия данного решения необходим метод дистанционной идентификации объемов выбросов из стационарных источников по измерениям вне СЗЗ предприятий, разработанный в [6, 8] и основанный на поиске минимума среднеквадратического критерия рассогласования между вычисленными и измеренными концентрациями загрязняющих веществ

$$J(\mathbf{M}, \mathbf{V}) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(C_f(j) - C_m(x_j, y_j, \mathbf{M}, \mathbf{V}) \right)^2,$$

где $C_f(j)$ – измеренная концентрации загрязняющего вещества в точке j с координатами x_j, y_j ; $C_m(x_j, y_j, \mathbf{M}, \mathbf{V})$ – вычисленные значения по модели ОНД-86, \mathbf{M}, \mathbf{V} – вектора масс и объемов выбросов, элементами которых являются массы и объемы выбросов отдельных источников; N – количество точек измерения.

Поиск минимума основан на простейшем градиентном методе наискорейшего спуска [10]

$$\left| \frac{\mathbf{M}^{<v+1>}}{\mathbf{V}^{<v+1>}} \right| = \left| \frac{\mathbf{M}^{<v>}}{\mathbf{V}^{<v>}} \right| + \lambda(v) \nabla J(\mathbf{M}^{<v>}, \mathbf{V}^{<v>}), \quad v = 0, 1, \dots,$$

где $\nabla J(\mathbf{M}^{<v>}, \mathbf{V}^{<v>})$ – нормированный градиент критерия по искомым переменным, рассчитанным для точек (x_j, y_j) , $j = 1, \dots, N$; $\lambda(v)$ – шаг алгоритма; v – номер итерации алгоритма.

Предлагаемая двухуровневая структура системы экологического мониторинга является новой и позволяет разрабатывать бюджетные системы экологического мониторинга атмосферного воздуха для городов с благополучной экологической обстановкой, а также динамически осуществлять ограничения технологических процессов предприятий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты 13-07-97033, 14-07-97011.

Список литературы

1. Модель оптимизации снижения выбросов примеси в атмосферу города / В. Ф. Рапуга [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2001. – Т. 14, № 3. – С. 233–235.
2. Транспортная модель процессов распространения газообразных примесей в атмосфере города / И. В. Белов [и др.] // Мат. моделирование. – 2000. – Т. 12, № 11. – С. 38 – 46.
3. Азаров, В. Н. Применение системно-динамического моделирования для оценки воздействия автотранспорта и озеленения на качество воздуха / В. Н. Азаров, Н. П. Садовникова, Д. П. Мамонтов // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 3 (47). – С. 23 – 27.

4. Александриди, Т. М. Выбор типа беспроводной сети при построении системы экологического мониторинга / Т. М. Александриди, И. А. Морозов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 12. – С. 23 – 28.
5. Рапута, В. Ф. Методы интерпретации данных мониторинга загрязнения снежного покрова / В. Ф. Рапута, В. В. Коковкин // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – Т. 10. – С. 669 – 682.
6. Крушель, Е. Г. Об алгоритме идентификации параметров выбросов вредных веществ в атмосферу / Е. Г. Крушель, И. В. Степанченко // Вестн. компьютерных и информ. технологий. – 2013. – № 10. – С. 37 – 42.
7. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий : утв. председателем Гос. комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды 04.08.1986 г. № 192. – Взамен СН 369–74 ; введ. 1987–01–01. – Л. : Гидрометеоиздат, 1987. – 68 с.
8. Крушель, Е. Г. Экологический мониторинг атмосферного воздуха небольшого города. Модели и алгоритмы : монография / Е. Г. Крушель, И. В. Степанченко, А. Э. Панфилов ; ФГБОУ ВПО ВолгГТУ КТИ (филиал) ВолгГТУ. – М. : Наука, 2012. – 118 с.
9. Алгоритм оценки рассеивания вредных веществ в атмосфере от транспортного потока на автомагистрали города Камышина / Е. Г. Крушель [и др.] // Изв. Волггр. гос. техн. университета. – 2011. – Т. 9, № 11. – С. 29 – 32.
10. Аоки, М. Введение в методы оптимизации. Основы и приложения нелинейного программирования : пер. с англ. / М. Аоки. – М. : Наука, 1977. – 343 с.

References

1. Raputa V.F., Sadovskii A.P., Ol'kin S.E., Zykov S.V. *Atmospheric and oceanic optics*, 2001, vol. 14, no. 3, pp. 213-215.
2. Belov I.V., Bepalov M.S., Klochkova L.V., Kuleshov A.A., Suzan D.V., Tishkin V.F. *Matematicheskoe Modelirovanie*, 2000, vol. 12, no. 11, pp. 38-46.
3. Azarov V.N., Sadovnikova N.P., Mamontov D.P. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*, 2013, no. 3 (47), pp. 23-27.
4. Aleksandridi T.M., Morozov I.A. *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2006, no. 12, pp. 23-28.
5. Raputa, V.F., Kokovkin V.V. *Chemistry for Sustainable Development*, 2002, vol. 10, no. 5, pp. 657-670.
6. Krushel' E.G., Stepanchenko I.V. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii*, 2013, no. 10, pp. 37-42.
7. USSR State Committee for Hydrometeorology and Environmental Control, *Metodika rascheta kontsentratsii v atmosfernom vozdukhue vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatii* (Method of calculating the concentration in the air of harmful substances in industrial emissions), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987, 68 p.
8. Krushel' E.G., Stepanchenko I.V., Panfilov A.E.. *Ekologicheskii monitoring atmosfernogo vozdukhua nebol'shogo goroda. Modeli i algoritmy* (Environmental monitoring of air of a small town. Models and Algorithms), Moscow: Nauka, 2012, 118 p.
9. Krushel' E.G., Panfilov A.E., Stepanchenko I.V., Stepanchenko O.V. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 9, no. 11, pp. 29-32.
10. Aoki M. *Introduction to optimization techniques*, Los Angeles: University of California, 1971, 335 p.

On the Structure of the Urban Air Pollutant Monitoring System

I. V. Stepanchenko, V. A. Kamaev

Kamyshin Technological Institute (Branch) of Volgograd State Technical University, Kamyshin; Volgograd State Technical University, Volgograd

Key words and phrases: dispersion model, environmental monitoring, identification method, mobile measurement, pollutant, two-layer structure.

Abstract: The authors described an approach to the organization of environmental air monitoring in cities with safe environmental conditions and low pollution.

The main idea is to abandon the fixed network measuring parameters of atmospheric air. The mobile control system replaces the fixed network measuring parameters. The error of the mobile control is minimized by a special structure of the monitoring system and mathematic methods.

The approach involves the creation of a two-layer system of air monitoring. The system involves creating an upper-layer system to solving the following tasks: estimated of the pollutants dispersion in the atmospheric surface layer; real-time diagnosing areas in which possible elevated levels of pollutants; planning of the mobile monitoring actual values of surface pollutants concentrations; estimated emissions from stationary sources; real-time definition environmental constraints to the subsystems enterprises control. The lower-layer solves the following tasks: mobile control of pollutants concentrations in the atmospheric surface layer; initiation of the upper-level decision-making.

In the paper, we described a list of the models for the air environmental monitoring system of the city. There description of the model the pollutants dispersion in the atmospheric surface layer was presented. The description of the model of vehicle emissions was made. The method of remote identification of emission sources was described. The formulas and criteria of optimization algorithm were described. The simple method of gradient descent was used.

© И. В. Степанченко, В. А. Камаев, 2014

Статья поступила в редакцию 02.11.2014 г.