

УДК 004.9:574

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ

Степанченко И.В.

*Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского
государственного технического университета, Камышин, e-mail: stilvi@mail.ru*

В статье обосновывается необходимость проведения исследований метода дистанционной идентификации параметров стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Приводится краткое изложение метода дистанционной идентификации, который основывается на минимизации рассогласования между значениями измеренной и вычисленной концентрации загрязняющего вещества. В основе метода поиска решения лежит градиентный алгоритм наискорейшего спуска с варьируемым шагом. Для проведения исследования предложено две группы экспериментов. Первая группа включала эксперименты по исследованию влияния количества точек контроля концентраций загрязняющих веществ на возможность и точность идентификации объемов и масс выбросов из стационарных источников. Вторая группа экспериментов посвящена исследованию влияния погрешности измерений в виде фоновой концентрации или неучтенного источника выбросов на результат работы алгоритма идентификации. Для каждой группы экспериментов приведены графики. По результатам экспериментов сделаны выводы о линейном характере смещенности получаемых оценок.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязняющее вещество, источник выброса, масса выброса, метод идентификации, объем расхода газовой смеси, экологический мониторинг

RESEARCH OF THE DISTANCE-TYPE IDENTIFICATION METHOD FOR ESTIMATION EMISSION PARAMETERS OF STATIONARY SOURCES

Stepanchenko I.V.

*Kamyshin Technological Institute (branch of) Volgograd State Technical University,
Kamyshin, e-mail: stilvi@mail.ru*

As stationary sources are a major sources for urban air pollution there is a need to research of the distance-type identification methods of the emission parameters of stationary sources. There is a summary distance-type identification method which based on the minimization of the difference values between the measured values and values of calculated concentration of the pollutant. The method of finding a solution is the method of steepest descent with variable step. Gradient descent has known problems with pathological functions. It does not matter, because the step value can select in advance. There is suggested two groups of experiments to conduct the research. The first group includes experiments on the influence of the measurement points number of pollutants concentrations to the possibility and precision of the volume and mass of emissions identification from stationary sources. The second group includes experiments on the influence of measurement error such is background concentrations or unaccounted source of emissions on the result of the identification algorithm. For each group of experiments are shown graphs. According to the results of experiments made conclusions about the linear relation of the displacement on the resulting estimates.

Keywords: atmospheric air, emission source, environmental monitoring, gas flow consumption, identification method, mass emission, pollutant

Определение режимных параметров стационарного источника выбросов в атмосферный воздух является одной из важных задач экологического мониторинга. Решение данной задачи позволяет определить вклад каждого источника выбросов в общую картину загрязнения. Существующие теоретические методы и практические подходы [2, 7, 8] имеют существенные недостатки и проблемы, такие как сложность адаптации методов к конкретным условиям, определение параметров только одного источника, необходимость согласования с нормативными документами (при наказании нарушителей), ограниченные условия применения метода (например, только при снежном покрове) и т.п.

Представляет интерес определение ограничений применения метода дистанци-

онной идентификации объемов выбросов из стационарных источников, предложенного в работах [5, 6]. Для этого необходимо провести численное моделирование различных ситуаций: наличие неучтенного источника, неточность проведения измерений (как по величине, так и по местоположению), чувствительного метода к неточным входным данным и др.

Приведем краткое изложение метода идентификации, описанного в [5, 6]. Входной информацией являются прямые измерения приземных концентраций загрязняющих веществ на территории города вне санитарно-защитных зон предприятий и оперативная информация о температуре воздуха, скорости и направлении ветра. Основными выходными данными являются характеристики выбросов единичного

источника в атмосферу, значения которых могут изменяться в реальном масштабе времени (согласно [3, 5, 6]): $M_i[t]$ – масса выбросов загрязняющего вещества в единицу времени от i -го источника, г/с и $V_i[t]$ – расход газовой смеси из i -го источника, м³/с, где i – индекс источника выброса загрязняющего вещества; $I[t]$ – множество источников, оказывающих влияние на значения концентраций $C_j^{(g)}[t]$ в некоторой точке; t – момент текущего времени; $g \in \{1, \dots, G\}$ – индекс загрязняющего вещества, G – общее число веществ, по которым осуществляется мониторинг (далее изложение ведется применительно к одному из веществ, поэтому индекс вещества g не будет указываться).

Остальные параметры стационарных источников выбросов в атмосферу (в част-

ности, высота трубы над поверхностью земли H_i , м; диаметр устья трубы D_i , м; координаты размещения i -го источника (x_i, y_i) , м) задаются для всех $i \in I[t]$ и рассматриваются в задаче идентификации как константы.

Суммарные значения приземных концентраций при рассеивании одноименных загрязняющих веществ группой источников вычисляются сложением концентраций, рассчитанных для каждого i -го источника отдельно.

Метод идентификации был разработан в работах [5, 6] и основан на поиске минимума среднеквадратического критерия расхождения 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 концентрация 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 [1], $\mathbf{M}, \mathbf{V}$ – 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 [1]

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

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

Для проведения исследования были разработаны сценарии вычислительных экспериментов. В первой группе экспериментов варьировалось количество точек контроля концентраций загрязняющих веществ. Ис-

следовалась возможность определения методом идентификации искомые параметры при количестве точек измерений меньше количества источников.

Во второй группе экспериментов моделировался неизвестный неучтенный источник небольшой мощности. Исследовалась чувствительность алгоритма к наличию такого источника в зависимости от его мощности.

Параметры источников выбросов

Номер источника выброса	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Высота трубы, м	100,0	55,0	65,0	50,0	55,0
Диаметр трубы, м	3,0	3,0	3,0	3,5	3,0
Температура газовой смеси, °C	120,0	100,0	130,0	100,0	95,0
Место расположения					
Координата x , м	601	701	1801	2201	1299
Координата y , м	699	1401	1699	1101	1001
Контрольные значения параметров выбросов, к которым должна быть обеспечена сходимость алгоритма (1)					
Расход газовой смеси V , м ³ /с	165	135	140	165	135
Масса выброса M , г/с	180	115	135	170	120

Эксперименты проводились для оценки параметров выбросов диоксида серы из труб пяти различных предприятий г. Камышина Волгоградской обл. для следующих значений метеорологических условий и экологических параметров (такие же, как предложенные в [4–6]): экологические константы: $A = 200$, $F = 1$, $\eta = 1$; зимнее время, $\Delta T = 135^\circ\text{C}$; угол между направлением ветра и абсциссой равен $0,25\pi$;

абсцисса направлена на север; угол отсчитывается против часовой стрелки; шаги сетки на зоне рассеивания – 100 м по осям абсцисс и ординат; опасная скорость ветра $u_m = 4,46$ м/с.

Параметры источников выбросов приведены в таблице.

Пример результата вычислительных экспериментов первой группы представлен на рис. 1.

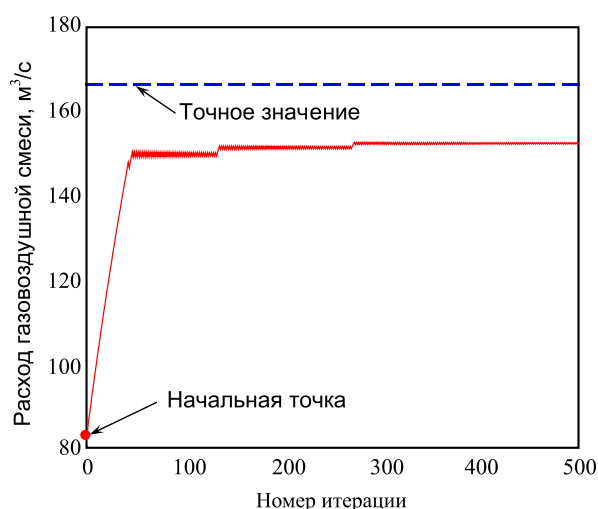


Рис. 1. Смещенность в оценке объемов выбросов источников № 1 (точное значение 165 м³/с)

По результатам экспериментов этой группы можно сделать вывод, что, с одной стороны, отсутствие одной точки измерения (четыре точки на пять источников) приводит к смещенности в оценке параметров источников (рис. 1). А с другой стороны, отсутствие измерения одного источника может не привести к смещенности оценок

объемов выбросов ни одного источника. Это объясняется тем, что подфакельные оси некоторых источников совпадают между собой и с направлением ветра или точки измерения находятся достаточно близко (расстояние до 200 м).

Пример результатов экспериментов второй группы приведен на рис. 2.

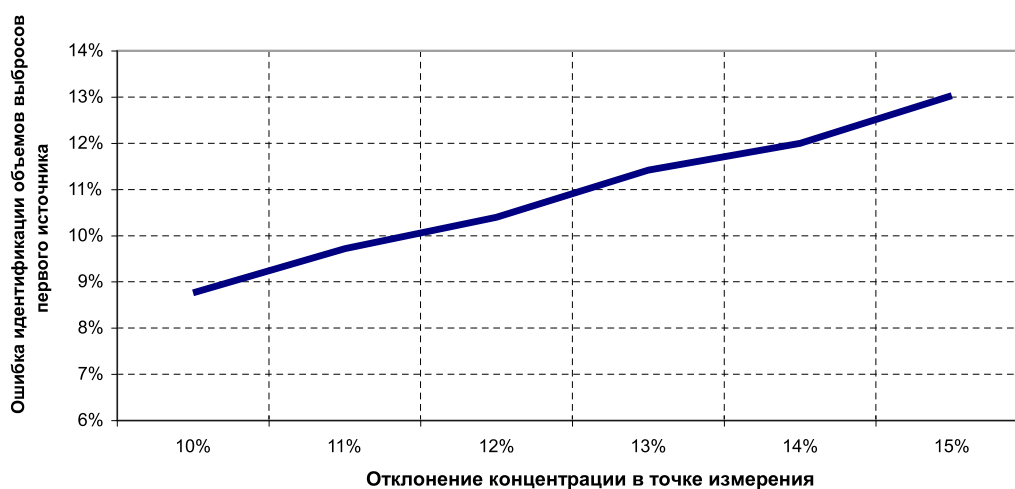


Рис. 2. Ошибка идентификации объема выбросов источника № 1 в зависимости от отклонения концентраций в точке измерения

Представляет определенный интерес поведение алгоритма при больших величинах отклонений концентрации в точке измерения. Так, было установлено, что при превышении концентрации в 3 раза ошибка алгоритма идентификации по определению объемов выбросов первого источника составит порядка 73 %.

Результаты экспериментов этой группы были получены и на других источниках выбросов.

Таким образом, из проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. При определенных условиях расположения точек контроля, источников выбросов и направления ветра можно уменьшить количество исходных данных для алгоритма идентификации.

2. При наличии неучтенного источника выбросов ошибка идентифицируемых параметров линейно зависит от мощности источника и появляется смещенность в оценке параметров стационарных источников.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 14-07-97011.

Список литературы

1. Аоки М. Введение в методы оптимизации. Основы и приложения нелинейного программирования. – М.: Наука, 1977. – 343 с.
2. Зароднюк М.С. [и др.] Восстановление полей загрязнения методами рецепторного моделирования на примере пос. Хомутово // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 19, № 6. – С. 557–561.
3. Крушель Е.Г., Степанченко И.В., Степанченко О.В. О выборе состава параметров стационарных источников выброса загрязняющих веществ в атмосферу для приближенной модели диагностики нарушений нормативов ПДВ // Проблемы региональной экологии. – 2012. – № 3. – С. 21–24.
4. Крушель Е.Г., Степанченко И.В., Степанченко О.В. Алгоритм оценки пространственного распределения приземных концентраций вредных веществ по результатам точечных измерений // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2011. – Т. 3, № 10. – С. 9–13.
5. Крушель Е.Г., Степанченко И.В. Об алгоритме идентификации параметров выбросов вредных веществ в атмосферу // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013. – № 10 (112). – С. 37–42.
6. Крушель Е.Г., Степанченко И.В., Панфилов А.Э. Экологический мониторинг атмосферного воздуха небольших городов. Модели и алгоритмы. – М.: Наука, 2012. – 118 с.
7. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий / Утверждена председателем государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды № 192 от 04.08.1986 г. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 68 с.
8. Рапута В.Ф., Панарин А.В. Задача определения положения и мощности источника // Известия СО АН СССР. Серия «Технические науки». – 1986. – Вып. 2. – № 10. – С. 92–96.
1. Aoki M. Vvedenie v metody optimizacii. Osnovy i prilozhenija nelinejnogo programmirovaniya. M.: Nauka, 1977. p. 343. [Aoki, M. Introduction to Optimization Techniques. Fundamentals and Applications of Nonlinear Programming. New York, NY: Macmillan, 1971. Print.]
2. Zarnodnjuk M.S. [i dr.] Vosstanovlenie polej zagrijaznenija metodami receptornogo mode-lirovaniya na primere pos. Homutovo. Optika atmosfery i okeana. 2006. T. 19, no 6. pp. 557–561.
3. Krushel E.G., Stepanchenko I.V., Stepanchenko O.V. O vybere sostava parametrov stacionarnykh istochnikov vybroso zagrijaznjajushhih veshhestv v atmosferu dlja priblizhennoj modeli diagnostiki narushenij normativov PDV. Problemy regional'noj jekologii. 2012. no 3. pp. 21–24.
4. Krushel E.G., Stepanchenko I.V., Stepanchenko O.V. Algoritm ocenki prostranstvennogo raspredeleniya prizemnykh koncentracij vrednykh veshhestv po rezul'tatam tochechnykh izmerenij. Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. 2011. T. 3, no 10. pp. 9–13.
5. Krushel E.G., Stepanchenko I.V. Ob algoritme identifikacii parametrov vybrosov vrednykh veshhestv v atmosferu. Vestnik komp'juternykh i informacionnykh tehnologij. 2013. no 10 (112). pp. 37–42.
6. Krushel E.G., Stepanchenko I.V., Panfilov A.E. Jekologicheskij monitoring atmosfernogo vozduha nebol'shih gorodov. Modeli i algoritmy. M.: Nauka, 2012. 118 p.
7. Metodika rascheta koncentracij v atmosfernom vozduhe vrednykh veshhestv, sodержashhihsja v vybrosah predpriyatij. Utverzhdena predsedatelem gosudarstvennogo komiteta SSSR po gidrometeorologii i kontrolju prirodnoj sredy N 192 ot 04.08.1986 g. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 68 p.
8. Raputa V.F., Panarin A.V. Zadacha opredeleniya polozhenija i moshhnosti istochnika. Izvestija SO AN SSSR. Serija «Tehnicheskie nauki». 1986. Vyp. 2. no 10. pp. 92–96.

Рецензенты:

Фоменков С.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград;

Томашевский Ю.Б., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системотехника» Института электронной техники и машиностроения Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., г. Саратов.

Работа поступила в редакцию 05.12.2014.