
УДК 519.6:504.064

Р.В. Криваковская, аспирантка, **В.И. Ночвай**, канд. техн. наук
Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел. (068) 4057959, e-mail: deyatnir@ua.fm)

Оценка влияния погрешности данных мониторинга на точность идентификации мощностей выбросов точечных источников загрязнения воздуха

Исследовано влияние точности данных мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на точность решения обратной задачи идентификации мощностей выбросов точечных источников загрязнения. Обратная задача решена вероятностным методом, основанным на теореме Байеса и модели мультилинейной регрессии.

Досліджено вплив точності даних моніторингу забруднення атмосферного повітря на точність розв'язку оберненої задачі ідентифікації потужностей викидів точкових джерел забруднення. Обернену задачу розв'язано імовірнісним методом, базованим на теоремі Байеса і моделі мультилінійної регресії.

Ключевые слова: обратная задача, теорема Байеса, точность, экологический мониторинг.

Решение обратных задач — динамично развивающееся направление научных исследований в области моделирования загрязнения воздуха. Возрастающий интерес к этому направлению связан с возможными практическими его приложениями и развитием компьютерной техники. Как отмечено в работе [1], решение обратных задач (или обратное моделирование) будет иметь большое значение в диагностике моделей распространения атмосферных примесей. В настоящее время решение обратных задач применяется для идентификации параметров моделей, усвоения данных, размещения сети мониторинга состояния атмосферного воздуха, идентификации источников загрязнения.

Наибольшее влияние на точность результатов моделирования оказывает точность эмиссионных параметров [2, 3]. Поэтому для повышения точности моделирования в первую очередь должна быть решена задача уточнения данных о мощностях выбросов.

Решение обратной задачи в основном рассматривается в условиях высокой точности данных мониторинга [1, 4—13]. В то же время, реально

© Р.В. Криваковская, В.И. Ночвай, 2013

существующая в Украине сеть пунктов мониторинга загрязнения атмосферного воздуха проводит измерения с низкой точностью (например, для диоксида серы точность составляет 10^{-3} мг/м³) [14]. В связи с этим определение необходимой точности результатов наблюдений, которая позволяла бы оценивать мощности выбросов от источников загрязнения для получения требуемой точности решений обратной задачи, представляется весьма актуальным.

Постановка задачи и выбор метода ее решения. Поскольку для задач моделирования регионального качества воздуха существует проблема неполноты входных данных, для прогнозирования и уточнения параметров моделей часто применяется вероятностный подход, основанный на теореме Байеса и методе Монте-Карло [1—6]. В рамках данного подхода оценим возможное влияние погрешности измерений на точность восстановления входных параметров источников загрязнения. Объектом исследования выбран город Киев, где существует хорошо развитая сеть пунктов мониторинга состояния атмосферного воздуха и ведется реестр основных точечных источников загрязнения. Для того чтобы исключить влияние автотранспорта, в качестве исследуемой примеси выбран диоксид серы.

Для получения апостериорных вероятностей параметров модели посредством уточнения их заданных начальных функций распределения, на основе информации об измерениях выходных параметров, воспользуемся формулой Байеса:

$$p(\theta | \text{Data}) = \frac{p(\text{Data} | \theta) \times p(\theta)}{\int p(\text{Data} | \theta) \times p(\theta) d\theta},$$

где Data — значения концентраций загрязняющих веществ, полученные в результате измерений в пунктах мониторинга; θ — мощность источника выбросов. Рассчитав апостериорные распределения вероятностей, получим искомые значения параметров источника как математическое ожидание.

Примем гипотезу о нормальном законе распределения вероятностей для мощностей выбросов $p(\theta)$. Значение $p(\text{Data} | \theta)$ определяется с помощью функции правдоподобия [5], которая связывает между собой входные и выходные величины (в данном случае — значения мощностей выбросов и измеренные концентрации загрязнителей в пунктах мониторинга). Для расчета функции правдоподобия $p(\text{Data} | \theta)$ используем модель мультилинейной регрессии, основанную на расчете функции «источник—рецептор» [6, 15, 16]:

$$c_k = \sum_{i=1}^n q_i m^{ik}, \quad (1)$$

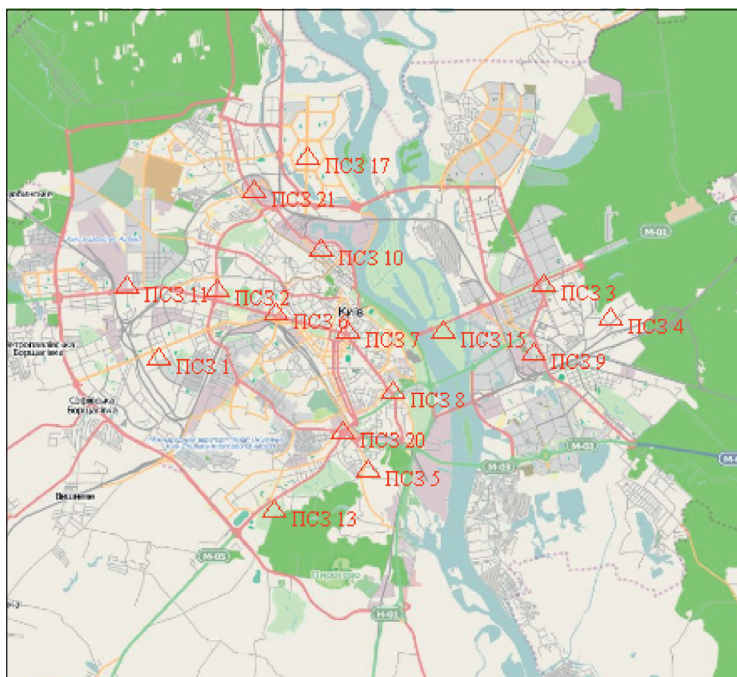
где c_k — концентрация вещества в k -м пункте мониторинга; q_i — мощность выбросов от i -го предприятия; m^{ik} — значение функции источник—рецептор i -го предприятия в k -м пункте мониторинга. Функцию источник—рецептор в общем случае представим в виде функции чувствительности $m^{ik} = \partial c_k / (\partial q_i)$, которая может быть рассчитана при прямом моделировании [5, 17]: $M : \Delta q \rightarrow \Delta c_k$.

Подбор вероятностных характеристик, соответствующих заданным в модели условиям, осуществляется численными методами Монте-Карло. Для семплирования нормальной функции распределения используют алгоритм Метрополиса—Гастингса [1, 5, 6], который посредством итерационной стохастической оптимизации, основанной на создании цепи Маркова, позволяет подобрать параметры нормального распределения $p(\theta)$, удовлетворяющие детерминированной модели (1).

Для численного эксперимента использован пакет программ РуМС (метод Sample.Metropolis класса МСМС), написанный на языке Python [15,

Таблица 1. Метеорологические данные 2008 г.

Параметр	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
Среднемесячная температура, °С	–2,996	10,73	21,3	10,57
Среднемесячная интенсивность осадков, мм/ч	0,067	0,23	0,12	0,03
Скорость ветра, м/с:	<i>Вероятность скорости ветра</i>			
0—1	0,01	0,02	0,17	0,08
1—2	0,05	0,11	0,2	0,17
2—3	0,19	0,28	0,27	0,25
3—4	0,35	0,23	0,19	0,32
4—5	0,21	0,22	0,08	0,13
5—6	0,13	0,08	0,06	0,02
6—7	0,04	0,07	0,02	0,03
>7	0,02	0,01	0,01	0
Направление ветра:	<i>Вероятность направления ветра</i>			
З	0,04	0,13	0,09	0,06
Ю—З	0,12	0,12	0,08	0,13
Ю	0,1	0,09	0,23	0,17
Ю—В	0,17	0,04	0,2	0,16
В	0,22	0,18	0,15	0,26
С—В	0,24	0,18	0,1	0,17
С	0,07	0,11	0,1	0
С—З	0,05	0,17	0,05	0,05



Размещение пунктов мониторинга

18]. Согласно алгоритму (Gelman, 2004) случайным образом генерируются параметры нормального распределения на предварительно заданном числе итераций, проверяемые на соответствие модели (1). Генерация выборки выполняется для заданного числа шагов. Число шагов должно быть достаточно большим, чтобы в результате процедуры генерации успеть достичь реальных значений мощностей выбросов. Для проверки сходимости цепи и определения необходимого числа шагов использован также метод *rm.geveke* [19, 20], с помощью которого проверяется отношение отклонения среднего значения параметра к отклонению вариации параметра в начале и конце сегмента марковской цепи.

Поскольку измерения в пунктах мониторинга проводятся каждые шесть часов, было принято решение исследовать среднемесячные значения концентраций загрязнителей, используя статистическую модель для стационарных приближений метеорологических характеристик, предложенную в работе [21]. В качестве модели распространения примесей использована эмпирико-статистическая модель Пасквилла—Гиффорда, входящая в состав системы AISEEM [16]. Рассмотрены метеорологические ситуации на основе статистических данных четырех месяцев, а именно января, апреля, июля и октября 2008 г., полученные на сайте «Расписание погоды»

(табл. 1) [22]. Расчет концентрации загрязнителей выполнен в точках, соответствующих размещению пунктов мониторинга (см. рисунок).

Численный эксперимент проведен посредством прямого и обратного моделирования. Для исследования точности решения обратной задачи прямым моделированием получены расчетные концентрации диоксида серы в точках, соответствующих пунктам мониторинга (табл. 2). При этом мощности выбросов были заданы на основе среднегодовой статистики для наиболее крупных предприятий города: теплоэлектростанций (ТЭЦ-4, ТЭЦ-5, ТЭЦ-6), завода «Энергия», Корчеватского комбината строитель-

Таблица 2. Расчетные концентрации диоксида серы в пунктах мониторинга, мг/м³

Номер точки мониторинга	Январь	Апрель	Июль	Октябрь	Номер точки мониторинга	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
1	0,01055	0,00629	0,00947	0,01029	9	0,03493	0,09092	0,07161	0,03463
2	0,00862	0,00622	0,00754	0,00695	10	0,01235	0,00957	0,01185	0,01067
3	0,18819	0,15606	0,19243	0,16826	11	0,00583	0,00408	0,00498	0,00478
4	0,05226	0,05128	0,05196	0,08208	13	0,00501	0,00833	0,01035	0,00145
5	0,05494	0,04649	0,05341	0,04544	15	0,02708	0,02557	0,03554	0,02521
6	0,01175	0,009	0,01096	0,0096	17	0,00834	0,00673	0,00874	0,00654
7	0,01769	0,01579	0,02051	0,01515	20	0,03393	0,02829	0,03298	0,02942
8	0,03911	0,03726	0,04974	0,03726	21	0,00736	0,00563	0,00715	0,00578

Таблица 3. Параметры предприятий

Предприятие	Широта, град	Долгота, град	Высота трубы, м	Диаметр трубы, м	Скорость выхода газов, м/с	Температура газов, °С
ТЭЦ-5	50,39	30,56	180	7,2	11	88
ТЭЦ-6	50,53	30,66	270	13,5	7	139
ТЭЦ-4 (Дарницкая)	50,45	30,64	100	5,1	12	130
ККБМ	50,36	30,56	70	4	7	70
Завод «Энергия»	50,39	30,67	70	4	7	70
ДВРЗ	50,45	30,68	70	4	7	70
КВК	50,42	30,4	70	4	7	70
Укрпластик	50,46	30,6	70	4	7	70

Таблица 4. Результаты решения обратной задачи

Предприятие	Мощность выбросов (исходные значения), г/с	Предельная абсолютная погрешность, мг/м ³	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
ТЭЦ-5	3190	10 ⁻²	1995	2877	3019	3269
		10 ⁻³	3221	3137	3182	3190
		10 ⁻⁴	3181	3203	3194	3173
		10 ⁻⁵	3190	3189	3190	3191
ТЭЦ-6	3000	10 ⁻²	1664	5827	1583	5143
		10 ⁻³	1540	3970	3355	327
		10 ⁻⁴	3013	2985	2826	3202
		10 ⁻⁵	2973	3010	3003	2992
ТЭЦ-4	3500	10 ⁻²	3394	3421	3303	2173
		10 ⁻³	3505	3474	3473	3385
		10 ⁻⁴	3499	3502	3502	3499
		10 ⁻⁵	3500	3500	3500	3499
ККБМ	50	10 ⁻²	1195	1053	126	761
		10 ⁻³	25	22	20	8
		10 ⁻⁴	57	37	43	68
		10 ⁻⁵	51	51	50	49
Завод «Энергия»	200	10 ⁻²	349	251	107	64
		10 ⁻³	324	225	313	392
		10 ⁻⁴	258	173	208	202
		10 ⁻⁵	199	199	200	199
ДВРЗ	70	10 ⁻²	14	37	64	1856
		10 ⁻³	61	53	61	233
		10 ⁻⁴	65	71	72	60
		10 ⁻⁵	70	70	70	72
КВК	50	10 ⁻²	7	114	35	24
		10 ⁻³	54	38	45	46
		10 ⁻⁴	50	51	51	50
		10 ⁻⁵	50	50	50	50
Укрпластик	100	10 ⁻²	691	168	676	1627
		10 ⁻³	99	97	120	260
		10 ⁻⁴	102	104	99	102
		10 ⁻⁵	101	100	100	101

Таблица 5. Доверительные интервалы определения мощностей выбросов

Предприятие	Предельная абсолютная погрешность, мг/м ³	Январь	Апрель	Июль	Октябрь	
ТЭЦ-5	10 ⁻²	1694	1950	2250	2119	
		3128	3601	3201	3713	
	10 ⁻³	3115	3064	3093	3132	
		3239	3185	3236	3204	
	10 ⁻⁴	3181	3191	3179	3173	
		3199	3208	3202	3202	
	10 ⁻⁵	3189	3188	3189	3189	
		3190	3190	3190	3192	
	ТЭЦ-6	10 ⁻²	1	5	0	1
			17585	11678	7621	24933
10 ⁻³		127	2910	2180	0	
		3874	4364	4396	2756	
10 ⁻⁴		2564	2915	2820	2522	
		3174	3054	3041	4096	
10 ⁻⁵		2959	3002	2994	2950	
		3004	3021	3010	3083	
ТЭЦ-4		10 ⁻²	2995	3153	3152	1358
			3587	3629	3490	3540
	10 ⁻³	3471	3459	3448	3301	
		3529	3498	3501	3472	
	10 ⁻⁴	3493	3499	3498	3462	
		3502	3503	3503	3521	
	10 ⁻⁵	3500	3500	3500	3497	
		3500	3500	3500	3502	
	ККБМ	10 ⁻²	0	0	0	0
			1743	1826	879	1550
10 ⁻³		0	0	0	0	
		161	126	131	67	
10 ⁻⁴		34	28	34	30	
	62	51	65	68		
Завод «Энергия»	10 ⁻⁵	50	49	49	48	
		52	52	52	51	
	10 ⁻²	0	0	0	0	
		1076	1485	1083	1145	
	10 ⁻³	135	52	114	225	
		500	389	483	447	
	10 ⁻⁴	229	164	184	130	
		275	199	223	219	
	10 ⁻⁵	199	197	199	194	
		201	202	202	202	

Окончание табл. 5

Предприятие	Предельная абсолютная погрешность, мг/м ³	Январь	Апрель	Июль	Октябрь
ДВРЗ		$\frac{0}{248}$	$\frac{0}{126}$	$\frac{0}{118}$	$\frac{1}{3043}$
	10 ⁻²	$\frac{23}{83}$	$\frac{46}{72}$	$\frac{50}{82}$	$\frac{94}{356}$
	10 ⁻³	$\frac{62}{70}$	$\frac{70}{72}$	$\frac{69}{73}$	$\frac{40}{128}$
	10 ⁻⁴	$\frac{70}{71}$	$\frac{70}{70}$	$\frac{70}{70}$	$\frac{67}{75}$
	10 ⁻⁵				
КВК		$\frac{0}{112}$	$\frac{0}{238}$	$\frac{0}{106}$	$\frac{0}{109}$
	10 ⁻²	$\frac{49}{61}$	$\frac{29}{53}$	$\frac{34}{53}$	$\frac{45}{51}$
	10 ⁻³	$\frac{49}{50}$	$\frac{49}{52}$	$\frac{50}{52}$	$\frac{49}{51}$
	10 ⁻⁴	$\frac{50}{50}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{50}{50}$	$\frac{50}{50}$
	10 ⁻⁵				
Укрпластик		$\frac{0}{1545}$	$\frac{0}{648}$	$\frac{63}{877}$	$\frac{3}{2567}$
	10 ⁻²	$\frac{0}{210}$	$\frac{66}{160}$	$\frac{54}{197}$	$\frac{156}{350}$
	10 ⁻³	$\frac{92}{133}$	$\frac{98}{108}$	$\frac{91}{107}$	$\frac{76}{141}$
	10 ⁻⁴	$\frac{99}{102}$	$\frac{99}{100}$	$\frac{100}{101}$	$\frac{99}{104}$
	10 ⁻⁵				

Примечание: над чертой — нижняя граница доверительного интервала, под чертой — верхняя граница доверительного интервала.

ных материалов (ККБМ), Киевводоканала (КВК), Дарницкого вагоноремонтного завода (ДВРЗ), завода «Укрпластик» (табл. 3).

Посредством решения обратной задачи с помощью описанных методов и программ для каждого месяца получены апостериорные средние оценки мощностей выбросов (табл. 4) и их доверительные интервалы (табл. 5), которые сравнивались с исходными значениями, используемыми в модели. Для исследования чувствительности обратной задачи к точности модельных данных (соответствующих возможным данным измерений) варьировалась их точность внесением погрешности округления.

Для каждого месяца было проведено четыре численных эксперимента. В каждом из них значения рассчитанных концентраций были округлены

от двух до пяти знаков после запятой (за единичную концентрацию принята концентрация 1 мг/м^3), что соответствует предельной абсолютной погрешности данных от 10^{-2} до 10^{-5} мг/м^3 . Мощности выбросов варьировались в диапазоне от 0 до 400 кг/с, а дисперсия нормального распределения — от 0 до 200 кг/с. Вероятность полученных значений мощностей выбросов и доверительных интервалов их изменения составила 95 %.

В целом с увеличением точности данных концентрации в точках, соответствующих пунктам мониторинга, доверительные интервалы уменьшаются, а полученные значения мощностей выбросов приближаются к заданным. Величина средней относительной погрешности определения мощностей источников выбросов составляет 381 % для концентраций, определенных с точностью до 10^{-2} мг/м^3 (что соответствует средней относительной погрешности 22 %), и соответственно 37 % — для 10^{-3} мг/м^3 (1,8 %), 6 % — для 10^{-4} мг/м^3 (0,23 %), 0,5 % — для 10^{-5} мг/м^3 (0,2 %). Таким образом, есть основания предполагать существование подобной зависимости точности решения обратной задачи от точности измерений концентрации.

При низкой точности измерений (порядка 10^{-2} мг/м^3) средние значения мощностей выбросов для большинства предприятий существенно отличаются от заданных в модели. Следует, однако, заметить, что для некоторых предприятий, а именно ТЭЦ-5 и ТЭЦ-4, удается получить удовлетворительные решения обратной задачи даже при такой низкой точности измерений. Для этих предприятий нижние границы доверительных интервалов определения мощностей выбросов отличны от нуля.

При точности полученных данных порядка 10^{-4} — 10^{-5} мг/м^3 обратная задача решается с достаточной степенью точности, т.е. с относительной погрешностью 0,5 % для всех предприятий. Наиболее чувствительной к точности данных мониторинга является мощность выбросов ККБМ при всех рассматриваемых метеоусловиях, мощность выбросов завода «Энергия» и ДВРЗ — лишь при некоторых.

Таким образом, найдена оценка необходимой точности данных о концентрациях диоксида серы (абсолютная погрешность менее 10^{-4} мг/м^3) для нахождения в гауссовой модели точных значений мощностей выбросов с использованием текущей расстановки пунктов мониторинга города Киева.

Выводы

Полученные результаты количественной оценки влияния точности данных мониторинга атмосферного воздуха на точность решения обратной задачи идентификации мощностей выбросов от точечных источников вероятностными методами на основе алгоритма Метрополиса—Гастингса

свидетельствуют о том, что при решении задач идентификации источников следует учитывать точность данных мониторинга.

Предложенный метод позволяет получить оценку необходимой точности данных о концентрациях загрязняющих веществ для определения в обратной модели значений мощностей выбросов с использованием текущей расстановки пунктов мониторинга. Для различных предприятий точность нахождения мощностей выбросов различна при одинаковой точности результатов наблюдений. Это следует учитывать при выборе измерительной аппаратуры для постановки экспериментов и при выборе модели (класса атмосферной модели и ее программной реализации) для прогнозирования и контроля загрязнения воздуха в информационных системах экологического мониторинга.

The paper describes investigation of the influence of the accuracy of air pollution monitoring data on the solution accuracy of the inverse problem for power identification of point emission sources. The inverse problem is solved using the Bayesian inference and multilinear regression model.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Enting I.G.* Inverse Problems in Atmospheric Constituent Transport. — NY : Cambridge University Press, 2002.
2. *Sax T., Isakov V.* A case study for assessing uncertainty in local-scale regulatory air quality modeling applications // *Atmospheric Environment*. — 2003. — № 37. — P. 3481—3489.
3. *Hanna S.R., Chang J.C., Fernau M.E.* Monte Carlo estimates of uncertainties in predictions by a photochemical grid model(UAM-IV) due to uncertainties in input variables // *Ibid.*— 1998. — № 32. — P. 3619—3628.
4. *Семенчин Е.А., Кузякина М.В.* Стохастические методы решения обратных задач в математической модели атмосферной диффузии. — М. : Физматлит, 2012. — 176 с.
5. *Chow F.K.* Source Inversion for Contaminant Plume Dispersion in Urban Environments Using Building-Resolving Simulations. — *J. Of Applied Meteorology and Climatology*. — 2008. — Vol. 47. — P. 1553 — 1572.
6. *Keats A., Yee E., Lien F.-S.* Bayesian inference for source determination with applications to a complex urban environment // *Atmospheric Environment*. — 2007. — № 41. — P. 465—479.
7. *Jorquera H., Castro J.* Analysis of urban pollution episodes by inverse modeling // *Ibid.*— 2010. — № 44. — P. 42—54.
8. *Gilliland A.B., Wyat A.K., Pinder R.W., Dennis R.L.* Seasonal NH₃ emissions for the continental United States: Inverse model estimation and evaluation // *Ibid.* — 2006. — № 40. — P. 4986—4998.
9. *Кожевникова М.Ф., Левенец В.В., Ролик И.Л.* Идентификация источников загрязнения: вычислительные методы // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники* (19). — 2011. — № 6. — С. 149—156.
10. *Selvaraju N., Pushpavanam S.* Refining emission rate estimates using a coupled receptor-dispersion modeling approach // *Atmospheric Environment*. — 2010. — № 44. — P. 3935—3941.
11. *Чубатов А.А., Кармазин В.Н.* Устойчивая оценка интенсивности источника загрязнения атмосферы на основе метода последовательной функциональной аппроксимации // *Компьютерные исследования и моделирование*. — 2009. — 1, № 4. — С. 391—403.

12. Панасенко Е.А., Старченко А.В. Численное решение некоторых обратных задач с различными типами источников атмосферного загрязнения // Вестн. Томского государственного университета. Серия «Математика и механика». — 2008. — № 2 (3). — С. 47—55.
13. Kovalets I.V., Tsiouri V., Andronopoulos S., Bartris J.G. Improvement of source and wind field input of atmospheric dispersion model by assimilation of concentration measurements: method and applications in idealized settings // Applied Mathematical Modelling. — 2009. — Vol. 33, № 8. — P. 3511 — 3521.
14. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в м. Києві у 2008 р. — Київ: : Міністерство охорони навколишнього природного середовища України, 2008. — 223 с.
15. Bolstad W.M. Understanding Computational Bayesian Statistics.— John Wiley & Sons, 2010. — 315 p.
16. Попов О.О. Математичне та комп'ютерне моделювання техногенних навантажень на атмосферу міста від стаціонарних точкових джерел забруднення: Дис. ... канд. техн. наук. — Київ, 2010. — 198 с.
17. Ночвай В.І. Оптимізаційні моделі для аналізу емісійних сценаріїв в задачах дослідження та прогнозування процесів забруднення атмосфери урбанізованої території : Дис... канд. техн. наук. — Київ, 2009. —151 с.
18. Patil A., Huard D., Fonnesbeck C. J. PyMC: Bayesian Stochastic Modeling in Python// J. of Statistical Software. — 2010. — Vol. 35, Iss. 4. —P.
19. Geweke J. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to calculating posterior moments // Bayesian Statistics. — 1991. — Vol. 4. — P. 169—194.
20. Markov Chain Monte Carlo in Practical. Edit. D.J. Spiegelhalter W.R. Gilks and S. Richardson. — London : Chapman and Hall, 1995.
21. Марчук Г.И. Сопряженные уравнения и анализ сложных систем. — М. : Наука, 1992. — 335 с.
22. Сайт «Расписание погоды» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rp5.ua/>

Поступила 22.07.13;
после доработки 02.10.13

КРИВАКОВСКАЯ Регина Владимировна, аспирантка Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 2005 г. окончила Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна. Область научных исследований — процессы и системы управления, искусственный интеллект.

НОЧВАЙ Владимир Иванович, науч. сотр. Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 2001 г. окончил Национальный университет «Киево-Могилянская академия». Область научных исследований — моделирование загрязнения воздуха, методы векторной многокритериальной оптимизации, принятие решений в условиях неопределенности, информационные системы для управления качеством окружающей среды.

