

Прогнозирование и моделирование распространения вредных примесей в нижнем слое атмосферы

Абдула Ж.¹, Актаев Е. К.², Есдаулетова Ж.³, Алдаберген Ш.⁴

¹Абдула Жамбыл / Abdula Zhambyl – доктор технических наук, профессор;

²Актаев Еркин Куанышбекович / Aktaev Erkin Kuanyshbekovich – кандидат физико-математических наук, доцент;

³Есдаулетова Жанар / Esdauletova Zhanar – старший преподаватель;

⁴Алдаберген Шолпан / Aldabergen Sholpan – магистрант,
кафедра физики и химии, факультет естествознания,

Таразский инновационно-гуманитарный университет, г.Тараз, Республика Казахстан

Аннотация: разработанный методический подход применим для долгосрочного прогноза канцерогенного риска для городов Алматы, Шымкент, Тараза и других мегаполисов Юго-восточных регионов Казахстана. Результаты могут служить основой принятия необходимых управленческих решений, направленных на минимизацию риска.

Abstract: the methodical approach is applicable to long-term forecast for the carcinogenic risk of Almaty, Shymkent, Taraz, and other big cities of Southeast regions of Kazakhstan.

Ключевые слова: канцерогенные вещества, выхлопный газ, функция чувствительности, численный модель.

Keywords: carcinogens exhaust gas, sensitivity function, numerical models.

УДК 504.06.

В атмосферу поступает множество вредных веществ, например, бенз(а)пирен, сажа, свинец, пары бензина, медь и другие. Помимо нарушений функционирования различных систем организма, хронических заболеваний внутренних органов, некоторые вещества представляют опасность как канцерогены. В отличие от других факторов, влияющих на состояние здоровья, воздействие продуктов антропогенных выбросов на человека отрегулировать невозможно. В связи с тем, что последствия такого воздействия могут реализовываться спустя годы и десятилетия, актуальной задачей становится долгосрочный прогноз риска r онкологических заболеваний населения вследствие воздействия канцерогенных веществ, содержащихся в выхлопных газах автомобилей и выбросах предприятий.

В общем виде

$$r = \sum_i r_i \quad (1)$$

Здесь $r_i = r_i(q_i(Y), Y)$,

где q_i — концентрация i -го канцерогенного вещества, Y — вектор параметров атмосферы и параметров (интенсивность, координаты) источников i -го вещества f_i .

Величины q_i определяются путем решения уравнения переноса и диффузии примесей, учитывающего параметры f_i , а вектор Y извлекается из решения системы уравнений гидротермодинамики [1], либо фиксируется на уровне климатических параметров. Влияние q_i на Y не учитывается в силу того, что влияние рассматриваемых канцерогенных примесей на лучистый, фазовый и турбулентный притоки тепла пренебрежимо мало.

В выражении (1) зависимость рисков от концентрации канцерогенных веществ в детерминированном виде отсутствует. Известны только эмпирико-статистические зависимости типа уравнения регрессии, установленные на основе исследования чувствительности величины r_i от вариаций q_i . Помимо этого, задача долгосрочного гидродинамического прогноза параметров атмосферы является исключительно сложной, что обусловлено рядом причин, среди которых главными является быстрое ухудшение значимости решения с увеличением заблаговременности и большая трудоемкость получения оценок реакции атмосферы на различные внешние воздействия с помощью существующих методов численного прогноза. Как правило, эти возмущения малы по сравнению с невозмущенными значениями, и оценка их влияния может искажаться фиктивными шумами, порождаемыми самой численной моделью.

В связи с этими обстоятельствами представляется перспективным применение методов теории чувствительности [2] к постановке и решению задачи долгосрочного прогноза риска r . Введем термины: вектор состояния и вектор параметров. Под вектором состояния понимается вектор, составляющими которого являются риски r_i , обусловленные различными канцерогенными примесями q_i . Под вектором параметров в данном случае понимается вектор Y (вектор параметров атмосферы и параметров источника).

Введем в рассмотрение функции чувствительности:

$$G_i = \frac{\partial r_i}{\partial Y} \quad (2)$$

Функции чувствительности представляют собой изменения вектора состояния, соответствующие единичным изменениям составляющих вектора параметров, т. е. частные производные от решений уравнений (1) по составляющим вектора параметров в окрестности невозмущенных решений. Процесс расчета рисков r_i при этом становится предельно простым и состоит в перемножении вариаций параметров модели и заранее рассчитанных функций чувствительности.

С учетом вида выражения (1) преобразуем правую часть соотношения (2)

$$\frac{\partial r_i}{\partial Y} = \frac{\partial r_i}{\partial q_i} \cdot \frac{\partial q_i}{\partial Y}$$

и функции чувствительности (2) представим в виде

$$G_i = R_i \cdot Q_i \quad (3)$$

$$\text{Где } R_i = \frac{\partial r_i}{\partial q_i}; Q_i = \frac{\partial q_i}{\partial Y}.$$

Функции чувствительности R_i рассчитаны и приведены в работе [3], посвященной оценке канцерогенных рисков, обусловленных загрязнением воздуха транспортными потоками в Западном районе города Тараз, Алматы.

Для расчета полей функций чувствительности Q_i целесообразно использовать уравнения, описывающие задачу долгосрочного прогноза полей канцерогенных примесей, в вариациях [4]. С этой целью используются представления векторов состояния и параметров в виде суммы невозмущенных значений. (q_{i0}, Y_0) и малых возмущений ($\delta q_i, \delta Y$).

$$q_i = q_{i0} + \eta \cdot \delta q_i, Y = Y_0 + \eta \cdot \delta Y,$$

где η - вещественный параметр.

Если записать структуру модели в виде операторного уравнения

$$B \frac{\partial q_1}{\partial t} + A(q_1, Y) = f_i, \quad (4)$$

то уравнения в вариациях представляются в виде

$$\lim_{\eta \rightarrow 0} \frac{\partial}{\partial \eta} \left[B \frac{\partial}{\partial t} (q_{i0} + \eta \cdot \delta q_1) + A(q_{i0} + \eta \cdot \delta q_1, Y_0 + \eta \cdot \delta Y) - (f_{i0} + \eta \cdot \delta f_i) \right] = 0, \quad (5)$$

где B - диагональная матрица; $A(q, Y)$ - нелинейный матричный дифференциальный оператор.

В основу модели расчета полей функций чувствительности Q_i положено уравнение эволюции примесей. Ниже приведен общий вид данного уравнения:

$$\frac{\partial q_j}{\partial t} + Dq_j - W_s \frac{\partial q_j}{\partial p} + Cq_j = f(q_j) + F(q_j), W_s = -g\rho V_s \quad (6)$$

Далее уравнение эволюции примесей представлено в вариациях:

$$\frac{\partial \delta q_{kj}}{\partial t} + \bar{D} \delta q_{kj} + \bar{G} q_{kj} - W_s \frac{\partial \delta q_{kj}}{\partial p} + \delta W_s \frac{\partial q_{kj}}{\partial p} + C_k \delta q_{kj} + \delta C_k q_{kj} = f(\delta q_{kj}) + F(\delta q_{kj}) \quad (7)$$

Для численной реализации модели расчета полей функций чувствительности используется выражение, которое демонстрирует частный случай уравнения эволюции примесей:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} + \sigma \cdot q - \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial q}{\partial z} - \mu \Delta q = f \quad (8)$$

Данное уравнение справедливо для легких примесей. В вариациях оно выглядит следующим образом:

$$\frac{\partial \delta q}{\partial t} + u \frac{\partial \delta q}{\partial x} + v \frac{\partial \delta q}{\partial y} + w \frac{\partial \delta q}{\partial z} + \sigma \delta q - \mu \Delta \delta q - k \frac{\partial^2 \delta q}{\partial z^2} = \delta f \quad (9)$$

Полученные таким образом уравнения в вариациях при фиксированных невозмущенных значениях, составляющих вектора состояния линейны. В виду этого обстоятельства представляется возможность, не прибегая к моделированию основного (невозмущенного) состояния, оценивать его вариации на больших масштабах времени, вплоть до климатических.

Для вычисления функций чувствительности к вариациям компоненты Y_k осуществляется интегрирование по времени уравнений в вариациях, в котором эта компонента вектора параметров полагается равной единице, остальные - нулю. Полученные таким образом решения представляют собой трехмерные поля функций чувствительности к единичным вариациям конкретного параметра на временном интервале (равном интервалу интегрирования уравнений в вариациях) и позволяют количественно оценивать изменения составляющих вектора состояния (Δq_i), соответствующих заданному полю вариаций параметров (ΔY):

$$\Delta q_i = Q_i \cdot \Delta Y$$

С учетом соотношений (2, 3) отсюда следует выражение для расчета рисков

$$\Delta r_i = G_i \cdot \Delta Y = R_i \cdot Q_i \cdot \Delta Y \quad (10)$$

Подтверждением работоспособности предложенного подхода стало разумное соответствие результатов выполненных численных экспериментов результатам, опубликованным в других работах.

Численные эксперименты по прогнозу канцерогенного риска проведены для микрорайона 3, 4 г. Тараз, г. Алматы для самого жаркого и самого холодного месяца года (июль и январь соответственно). В эксперименте участвовали лишь выбросы от автотранспорта. Полученные прогнозируемые уровни канцерогенного риска для указанного микрорайона довольно низкие, что говорит о незначительном вкладе автомобильного транспорта в общее количество онкологических заболеваний.

Прогноз риска может осуществляться с учетом меняющихся условий среды и параметров источника выбросов вредных веществ.

Разработанный методический подход применим для долгосрочного прогноза канцерогенного риска для других районов г. Алматы, Шымкента, Тараза и других мегаполисов. Результаты могут служить основой принятия необходимых управленческих решений, направленных на минимизацию риска.

С другой стороны, при выборе подходящей математической модели процесса распространения газообразных примесей в атмосфере, необходимо учитывать, что он объединяет в себе такие различные процессы, как перенос ветром, турбулентная диффузия, поглощение и химические превращения примесей. В общем процессе распространение примесей можно описать следующей дифференциальной моделью в частных производных:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \sum_{i=1}^3 u_i \frac{\partial q}{\partial x_i} \left(k_i \frac{\partial q}{\partial x} \right) + aq = f \quad (11)$$

$q(x, t)$ - определенная концентрация примесей в точке $(x=x_1, x_2, x_3)$ в момент времени t , $x \in \Omega \cup \partial\Omega; \in (0, T); u = (u_1, u_2, u_3)$ - вектор скорости ветра с составляющими вдоль осей ординат x_1, x_2, x_3 ;

k_1, k_2, k_3 - коэффициент турбулентной диффузии вдоль соответствующих осей координат.

a - коэффициент интенсивности поглощения примесей атмосферой;

$f(x, t)$ - обобщенная функция, характеризующая источники выбросов на местности.

В случае наличия нескольких точечных источников функция $f(x, t)$ аппроксимируется следующим выражением $f(x, t) = \sum_{i=1}^3 Q_i(t) \delta(x - X_i^s)$, где $Q_i(t)$ - мощность выброса источника I_s .

Если источник является постоянно действующим (типичным пример - трубы ТЭЦ), можно представить в виде const. Для случаев аварийных выбросов такое представление, по-видимому, неприемлемо. Здесь, в зависимости от характера аварии, можно остановиться на одном из следующих трех вариантов:

1) экспоненциальный режим $Q(t) = M_0 \exp(-at)$, M_0 - начальный выброс; a - коэффициент интенсивности выброса;

2) последующее стационарирование выброса $Q(t) = M_{mfx} [1 - \exp(-at)]$, где M_{mfx} - максимальная мощность выброса;

3) колебательный режим $Q(t) = M + M \sin(2\pi/\tau - \pi/2l)$, где M - амплитуда выброса.

Если обратиться к модели распространения, можно констатировать, что у нас нет надежды получить в общем виде аналитическое решение уравнения (11), почему бы сразу не приступить к его численному решению на ЭВМ. Причина невозможности этого кроется в самой природе турбулентного потока. Решить задачу прогноза распространения, по видимому, можно только путем разработки достаточно простого и эффективного требования, которое связано с особой прогнозированием, очень важно не пропустить опасные уровни загрязнения, пусть даже это иногда будет приводить к ложной тревоге.

Литература

1. *Макоско А. А.* Теоретические основы защиты окружающей среды // Учебное пособие. - М.: МГУПС, 2001. - С. 200.
2. *Пененко В. В.* Методы численного моделирования атмосферных процессов // Л.: Гидрометеонэдат, - 1981. С. 352.
3. Риск заболевания населения от загрязнения атмосферы автотранспортом. Отчет по проекту ЮБГ «Выбросы автотранспорта и оценка риска заболеваний населения на городских территориях». / М.: ППКА «Экодизайн ЛТДа. – С. 90.
4. *Анискина О. Г., Панин Б.* Исследование чувствительности дискретной прогностической модели с помощью уравнений в вариациях // Межвуз. сб. - Л.: ЛГМИ, 1992 - вып. 114. - С. 4-11.