

5. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. – М: ДМК Пресс, 2015. – С. 342–355.

6. Рашка С. Python и машинное обучение. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 418 с.

## УДК 519.6

### Математическое моделирование температурного режима на границе атмосфера-почва

*М.Н. Мадияров<sup>1</sup>, Л.А. Хворова<sup>2</sup>, М.М. Жанахметова<sup>3</sup>*  
<sup>1,3</sup>*ВКГУ им. С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан*  
<sup>2</sup>*АлтГУ, г. Барнаул, Россия*

В данной работе рассматривается уравнение для определения значений температуры на границе раздела атмосфера-почва. Построен алгоритм численного решения данного уравнения и проведены численные эксперименты решения трехмерной модели микроклимата промышленного города, совместно с рассматриваемым уравнением.

Антропогенное воздействие на окружающую среду в первую очередь сказывается на состоянии воздушного бассейна. Загрязнение приземного слоя атмосферы и на сегодня остается актуальной проблемой. Характер течения и рассеивания вредных веществ и их соединений, локально загрязняющих приземный слой воздуха, заметно отличается от этих явлений в свободной атмосфере [1, 2]. При решении задачи микроклимата городов и регионов возникает необходимость постановки граничных условия на температуру в приземном слое атмосферы.

Для определения температуры на границе раздела атмосфера-почва рассмотрим уравнение

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( k_s \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (1)$$

со следующими граничными условиями

$$G = \lambda_s \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)_s ;$$

$$G_s - \rho c_p \left( v_\theta \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)_0 - \rho L_\omega \left( v_\theta \frac{\partial q}{\partial z} \right)_0 = I_0 (1 - A_s) - F \quad \text{при } z = 0 \quad (2)$$

$$T = T_r \quad \text{при } z = -H_r \quad (3)$$

Построим разностную схему для аппроксимаций уравнения (1):

$$\frac{T_j^{n+1} - T_j^n}{\tau} = \frac{1}{h} \left( k_{j+\frac{1}{2}} (T_{j+1}^{n+1} - T_j^{n+1}) - k_{j-\frac{1}{2}} (T_j^{n+1} - T_{j-1}^{n+1}) \right) - a_j T_{j+1}^{n+1} + b_j T_j^{n+1} - c_j T_{j-1}^{n+1} = F_j^n; \quad j=1, 2, \dots, m-1 \quad (4)$$

$$a_j = \frac{\tau \cdot k_{j+\frac{1}{2}}}{h_3^2}, \quad b_j = 1 + \frac{\tau \cdot k_{j+\frac{1}{2}}}{h_3^2} + \frac{\tau \cdot k_{j-\frac{1}{2}}}{h_3^2}, \quad c_j = \frac{\tau \cdot k_{j-\frac{1}{2}}}{h_3^2} \quad F_j = T_j^n$$

Разностное уравнение (4) решается методом прогонки:

$$T_j = \beta_j T_{j-1} + \chi_j;$$

При  $j = m$ ,  $T_m = \beta_m T_{m-1} + \chi_m$ , прогоночные коэффициенты определяются следующим образом

$$\beta_m = 0, \quad \chi_m = T_r$$

$$-a_j (\beta_{j+1} T_j + \chi_{j+1}) + b_j T_j - c_j T_{j-1} = F_j$$

$$(a_j \beta_{j+1} + b_j) T_j - c_j T_{j-1} = F_j + a_j \chi_{j+1}$$

$$(a_j \beta_{j+1} + b_j) (\beta_j T_{j-1} + \chi_j) - c_j T_{j-1} = F_j + a_j \chi_{j+1}$$

Рекуррентные формулы для прогоночных коэффициентов:

$$(-a_j \beta_{j+1} + b_j) \beta_j - c_j = 0, \quad \beta_j = \frac{c_j}{b_j - a_j \beta_{j+1}}; \quad \chi_j = \frac{F_j + a_j \chi_{j+1}}{b_j - a_j \beta_{j+1}};$$

$$j = (m-1), (m-2), \dots, 1$$

Прогоночные коэффициенты для первой компоненты решения

$$\beta_1 = \frac{c_1}{b_1 - a_1 \beta_2}, \quad \chi_1 = \frac{F_1 + a_1 \chi_2}{b_1 - a_1 \beta_2};$$

Определим  $T_0^{n+1}$  из следующей системы

$$\begin{cases} \lambda_s \frac{(T_0^{n+1} - T_1^{n+1})}{\Delta z} - \rho c_p v_\theta \frac{T_0^{n+1} - T_1^{n+1}}{\Delta z} = Q \\ T_1^{n+1} = \beta_1 T_0^{n+1} + \chi_1 \end{cases}$$

где  $Q = \rho L_\omega \left( v_\theta \frac{\partial q}{\partial z} \right)_0 + I_0 (1 - A_s) - F$ .

Далее

$$(\lambda_s - \rho c_p v_\theta) T_0^{n+1} + (-\lambda_s + \rho c_p v_\theta) T_1^{n+1} = \Delta z \cdot Q$$

Отсюда, подставив вместо  $T_1^{n+1}$  значение, имеем

$$\left[ (\lambda_s - \rho c_p v_\theta) + (-\lambda_s + \rho c_p v_\theta) \beta_1 \right] T_0^{n+1} = \chi_1 (-\lambda_s + \rho c_p v_\theta) + \Delta z \cdot Q$$

$$T_0^{n+1} = \frac{-\lambda_s + \rho c_p v_\theta}{\left[ (\lambda_s - \rho c_p v_\theta) + (-\lambda_s + \rho c_p v_\theta) \beta_1 \right]} \cdot \frac{a_1 \chi_2 + T_1^n}{b_1 - a_1 \beta_2} + \frac{\Delta z Q}{(\lambda_s - \rho c_p v_\theta)(1 - \beta_1)} \quad (5)$$

На нижнем временном слое из (2) имеем

$$T_1^n = \frac{\Delta z Q - (\lambda_s - \rho c_p v_\theta) T_0^n}{-\lambda_s + \rho c_p v_\theta} \quad (6)$$

Подставим (6) в (5) окончательно, для определения температуры на границе раздела атмосфера-почва, имеем

$$T_0^{n+1} = \frac{T_0^n}{(1 - \beta_1) \cdot (b_1 - a_1 \beta_2)} - \frac{a_1 \chi_2}{(1 - \beta_1)(b_1 - a_1 \beta_2)} + \left( \frac{1}{b_1 - a_1 \beta_2} + \frac{1}{\lambda_s - \rho c_p v_\theta} \right) \cdot \frac{\Delta z}{1 - \beta_1} \cdot \left( \rho L_w \left( v_{\theta,0} \frac{q_0^n - q_1^n}{\Delta z} \right) + I_0 (1 - A_s) - F \right)$$

Для проведения численных экспериментов, с целью оценки влияния деятельности человека на окружающую среду, основными моделями выступают модели трансформации и переноса примесей на фоне гидрометеорологического режима [2]. Известно, что климат города отличается от климата окружающей местности. Многочисленные измерения температуры воздуха в городе и его окрестностях показывают, что в городе почти всегда теплее, при этом разность температур иногда достигает  $10^0$ . Как правило, города формируют свой собственный климат.

Структуру его определяют свойства подстилающей поверхности, отличающиеся от свойств поверхности в окрестностях, искусственные источники тепла и влаги, газовый состав воздуха и т.д. Под влиянием этих факторов происходит изменение многих метеорологических величин, таких как прозрачность атмосферы, повторяемость туманов, относительная влажность и т.д. В среднем за год над городом скорость ветра на 20-30% меньше и соответственно повторяемость штилей больше, чем над сельской местностью. В штилевых ситуациях поток тепла в атмосферу уменьшается. Кроме того, из-за теплоемкости ряда объектов ночью выделяется дополнительное количество тепла. Интенсивность «острова тепла» зависит также от времени года, физико-географических условий, от численности населения в городе и т.д. Для ряда крупных городов замечено, что температура в отдельных их точках выше на 2-3 по сравнению с остальной территорией города, что обычно связывают с влиянием промышленных предприятий.

Однако даже без учета этого в городе наблюдается повышение температуры подстилающей поверхности одновременно с температурой воздуха. Из многочисленных воздействующих факторов основным является то, что город, по существу, служит потенциалом для поглощения радиации и накопления тепла в нижних слоях атмосферы. И как следствие, городской «остров тепла» (ОТ) обуславливает максимальные значения температуры воздуха в районах, где шероховатость поверхности больше, за счет торможения воздушных потоков и замедления обмена лучистой и тепловой энергией с атмосферой. При хорошо развитом городском ОТ имеет место снижение фронтальной скорости с наветренной части города и увеличение с подветренной стороны. Повышение скорости – результат взаимодействия фонового барического градиента с ОТ, т. е. городской ОТ может влиять на атмосферные процессы, как в локальном, так и в региональном масштабе. Такой характер атмосферных процессов, в свою очередь, существенно воздействует на перенос и диффузию загрязняющих примесей. Для решения численной модели микроклимата промышленного города Усть-Каменогорска используются условия полученные из решения уравнения (1).

#### **Библиографический список**

1. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 319 с.
2. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука, 1985. – 254 с.
3. Мадияров М.Н. Геоинформационная система для моделирования процесса загрязнения воздушного бассейна промышленного города // Вестник инженерной академии Республики Казахстан. – Алматы, 2007. №3(25). – С. 18–23.

#### **УДК 519.6**

### **Численная реализация модели процесса загрязнения атмосферы**

***М.Н. Мадияров, С.Ж. Сарсекеева***

*ВКГУ им. С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан*

Существенное влияние на перенос веществ в атмосфере оказывают метеорологические условия и в первую очередь ветровой режим и температурная стратификация нижнего слоя атмосферы.