

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Том 3. Математика

Сборник научных трудов

XVIII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

27–30 апреля 2021 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Volume 3. Mathematics

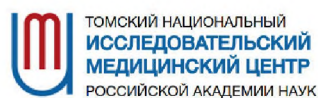
Abstracts

XVIII International Conference of students, graduate students
and young scientists

April 27–30, 2021



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**



Томск 2021

УДК 519.6

**ВЛИЯНИЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ
ПРИМЕСИ В УЛИЧНОМ КАНЬОНЕ**

Д.В. Лешинский

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Е.А. Данилкин

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: 360flip182@gmail.com

**INFLUENCE OF THE LOCATION OF THE POLLUTION SOURCE ON THE CONCENTRATION
OF THE IMPURITY IN THE STREET CANYON**

D.V. Leshchinskiv

Scientific Supervisor: PhD. E.A. Danilkin

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: 360flip182@gmail.com

Abstract. *The work is devoted to the study of the flow structure and the nature of the impurities distribution in a street canyon, depending on the location of a constant intensity pollution source. The paper considers three cases when the source of the impurity is located: in the center at the bottom of the street canyon, at the bottom under leeward wall and at the bottom under windward wall.*

Введение. Данная работа посвящена построению и апробации математической модели для исследования процессов переноса примеси в уличных каньонах. Исследования такого рода актуальны для понимания микроклимата городов, полезны в планировании новых зданий и оценке зон повышенной экологической опасности. На основе разрабатываемой оригинальной микромасштабной математической модели M2U [1] проведено исследование влияния расположения источника загрязнения на структуру течения и характер распространения примеси внутри уличного каньона. Математическая модель опирается на осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса. Замыкание системы дифференциальных уравнений осуществляется с использованием двухпараметрической $k - \varepsilon$ – модели, учитывающей влияние сил плавучести на турбулентную структуру течения, и градиентно-диффузионной гипотезы Буссинеска. Численное решение выполняется на основе метода конечного объема, монотонизированной схемы аппроксимации конвективных слагаемых и алгоритма SIMPLE для согласования полей скорости и давления [2].

В данной работе акцент делается на исследовании изменения максимальной и средней концентрации в зоне дыхания человека (до 2 метров от земли). Рассмотрено три случая расположения источника загрязнения: в центре на дне уличного каньона, на дне у подветренной стены и на дне у наветренной стены.

Физико-математическая постановка задачи. Рассматривается стационарное изотермическое турбулентное движение воздуха в приземном слое над неоднородной подстилающей поверхностью с элементами крупномасштабной шероховатости. Элементы шероховатости представляют собой

неподвижные, непроницаемые для потока препятствия (здания). Рассматривается точечный источник вредных выбросов постоянной интенсивности (автотранспорт).

Математическая модель включает в себя осредненные по Рейнольдсу уравнения неразрывности, уравнения Навье-Стокса, переноса примеси [2, 3] и теплообмена:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} &= 0, & \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \bar{u}_i' \bar{u}_j'}{\partial x_j} + g_i \frac{(\bar{T} - T_0)}{T}, \\ \frac{\partial \bar{T} \bar{u}_j}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \bar{T}' \bar{u}_j'}{\partial x_j}, & \frac{\partial \bar{C} \bar{u}_j}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \bar{C}' \bar{u}_j'}{\partial x_j} + S, \quad i, j = 1, 2, 3.\end{aligned}$$

Здесь, $\bar{u}_i$, $\bar{u}_j$ – осредненные и пульсационные проекции вектора скорости на оси координат; $\bar{p}$ – давление; ρ – плотность; ν – кинематическая вязкость воздуха; $\bar{T}$ – температура; $\bar{C}$ – осредненное значение концентрации примеси; S – функция, описывающая распределение точечного источника примеси; $\bar{u}_i' \bar{u}_j'$ – тензор напряжений Рейнольдса; α , D – температуропроводность и коэффициент диффузии; $g_i(0, g)$ – компоненты ускорения свободного падения.

Замыкание описанной системы уравнений проводится с использованием градиентно-диффузионной гипотезы Буссинеска [2]:

$$\begin{aligned}\bar{u}_i' \bar{u}_j' &= -\nu_T \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) + \frac{2}{3} k \delta_{ij}, \\ \bar{T}' \bar{u}_j' &= -\frac{\nu_T}{Pr_T} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j}, & \bar{C}' \bar{u}_j' &= -\frac{\nu_T}{Sc_T} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j}.\end{aligned}$$

Для вычисления турбулентной вязкости используется двухпараметрическая $k-\varepsilon$ – модель турбулентности, учитывающая влияние сил плавучести [4]

$$\begin{aligned}\nu_T &= C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, & \frac{\partial k \bar{u}_j}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\nu + \frac{\nu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P + G - \varepsilon, \\ \frac{\partial \varepsilon \bar{u}_j}{\partial x_j} &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\nu + \frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P + C_{\varepsilon 3} G) - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}, \\ P &= -\bar{u}_i' \bar{u}_j' \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}, & G &= \beta g_i \frac{\nu_T}{Pr_T} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j},\end{aligned}$$

где ν_T – турбулентная вязкость, k – кинетическая энергия турбулентности, ε – диссипация турбулентной кинетической энергии, β – коэффициент температурного расширения. Коэффициенты модели турбулентности $\sigma_k = 1,0$, $\sigma_\varepsilon = 1,22$, $C_{\varepsilon 1} = 1,44$, $C_{\varepsilon 2} = 1,92$, $C_{\varepsilon 3} = th(|u_3|/|u_1|)$, $C_\mu = 0,09$, $Sc_T = 0,5$, $Pr_T = 0,9$.

Для задания значений скорости, турбулентных параметров, трения и теплового потока вблизи твердой поверхности используется метод пристеночных функций [5]. В модели не учитывается осаждение примеси на стенах, крышах и подстилающей поверхности, поэтому на границах производные от концентрации по нормали к поверхности задаются равными нулю. Краевые условия на выходе потока из расчетной области и на открытой верхней границе – это равенство нулю производных по нормали. При задании граничных условий на входе используются равномерные профили скорости k , ε , $\bar{T}$, $\bar{C}$.

При расчете течений вокруг зданий использовался метод фиктивных областей, суть которого заключается в том, что значения векторных и скалярных величин в области преграды равны нулю и на границах фиктивных конечных объемах нет потоков диффузии [2].

Моделирование течения и проведение параметрических расчетов. Проведен анализа влияния расположения источника загрязнения в уличном каньоне на максимальную и минимальную концентрации примеси в зоне дыхания (до 2 м от дна каньона) и в каньоне в целом. Геометрические характеристики уличного каньона, высота (H) и ширина (W) 20 метров, глубина (L) 30 метров. Расчеты проводились на структурированной декартовой сетке 110x62x100 по осям Oх, Oy и Oz соответственно. Источник поступления примеси постоянной интенсивности располагался в центре, у подветренной стенки и у наветренной стенки уличного каньона, вблизи поверхности (Рис. 1).

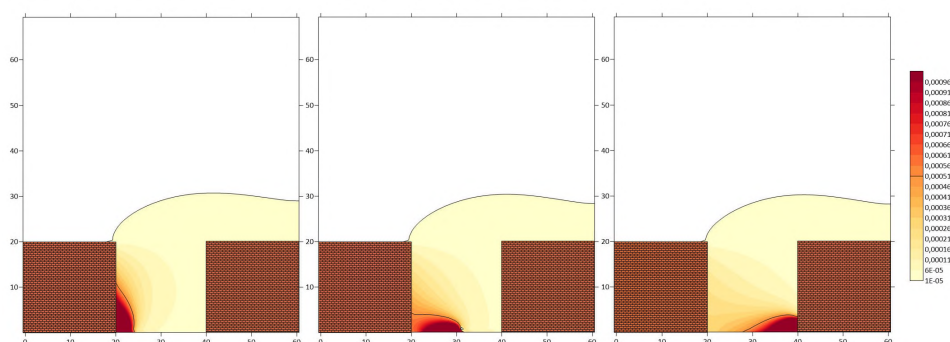


Рис. 1. Контурное поле концентрации примеси в уличном каньоне с левым, центральным и правым расположением источника загрязнения, соответственно

Закключение. Представлена микромасштабная модель турбулентного движения воздуха и переноса примеси в уличном каньоне. Для изотермического турбулентного течения воздуха в каньоне исследовано каким образом разные варианты расположения источника загрязнения влияют на накопление поступающей примеси внутри уличного каньона (Рис. 1). Рассчитаны и проанализированы интегральные характеристики концентрации примеси в уличном каньоне в целом и в зоне дыхания (до 2 м от дна каньона) в частности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nuterman R., Starchenko A., Balkanov A. Numerical Model of Urban Aerodynamics and Pollution Dispersion // International Journal of Environment and Pollution. – 2011. – С. 385–393.
2. Старченко А.В., Нутерман Р.Б., Данилкин Е.А. Численное моделирование турбулентных течений и переноса примеси в уличных каньонах. Томск: Изд. дом Томского гос. ун-та, 2015. – 252 с.
3. Данилкин Е.А., Старченко А.В. Моделирование распространения выбросов автомобильного транспорта в уличном каньоне // Вычислительные технологии. – 2020. – С. 4–21.
4. Henkes R. A.W.M., Van Der Flugt F. F. et al. Natural Convection Flow in a Square Cavity Calculated with Low-Reynolds-Number Turbulence Models // Int. J. Heat Mass Transfer, – 1991. – P. 1543–1557.
5. Launder B.E., Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flows // Computational Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1974. – P. 269–289.