

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЯ В УЛИЧНОМ КАНЬОНЕ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

Данилкин Е.А., Старченко А.В., Лещинский Д.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

e-mail: ugin@math.tsu.ru, starch@math.tsu.ru

Ключевые слова: уличный каньон, турбулентность, естественная конвекция, перенос примеси.

Работа посвящена построению и применению микромасштабной математической модели и численного метода ее решения для исследования турбулентных течений и переноса примеси в уличных каньонах в условиях влияния естественной конвекции. Математическая модель опирается на осредненные по Рейнольдсу уравнения неразрывности и Навье-Стокса. Замыкание системы уравнений проводится с использованием двухпараметрической «к-ε» модели и градиентно-диффузионной гипотезы Буссинеска.

В настоящее время население планеты в основном проживает на урбанизированных территориях и процесс урбанизации продолжается. Как результат – повышение плотности городского населения и масса экологических проблем, от загрязнения атмосферного воздуха до загрязнения почвы и водоемов отходами жизнедеятельности человека. В роли основных источников загрязнения атмосферного воздуха выступают промышленные предприятия, автомобильный транспорт, котельные и ТЭЦ. Особо в этом ряду выделяется автотранспорт, потому как за последние несколько десятилетий именно он стал основным источником загрязнения. Это особенно заметно в крупных городах, где на его долю приходится до 70 % вредных выбросов в атмосферу.

Рельеф современного города образован сооружениями и поверхностями из бетона и асфальта. Эти материалы имеют низкую теплоемкость, что вызывает значительные суточные изменения температуры поверхностей. Поэтому важно исследовать влияние температурной неоднородности на рассеивание загрязняющих веществ. При этом базовым элементом застройки современного города является уличный каньон. Поэтому он стал объектом экологических исследований, посвященных изучению распространения и рассеивания вредных выбросов [1].

В настоящее время моделирование турбулентных течений в окружающей среде осуществляется, в основном, с использованием осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (Reynolds Averaged Navier-Stokes) и переноса скалярных величин, для которых требуется решить проблему замыкания путем привлечения полуэмпирических моделей различного уровня сложности [2].

Данная работа посвящена построению и апробации микромасштабной математической модели и численного метода ее решения для исследования турбулентных течений и переноса пассивной газообразной примеси в уличных каньонах. Математическая модель опирается на осредненные по Рейнольдсу уравнения неразрывности и уравнения Навье-Стокса. Замыкание системы уравнений проводится с использованием двухпараметрической «k-ε» модели и градиентно-диффузионной гипотезы Буссинеска [1].

Решение построенной модели выполнялось численно с помощью метода конечного объема. Расчётная область составлялась фиксированным числом непересекающихся конечных объёмов так, чтобы каждый узел расчётной сетки содержался в одном объёме. Значения компонент скорости ветра определялись на гранях конечных объёмов, а скалярные характеристики - в центре. Разбив таким образом расчётную область, дифференциальные уравнения интегрировались по каждому конечному объёму. Для вычисления интегралов использовались кусочно-линейные профили, которые описывают изменение переменной между узлами. Аппроксимация конвективных членов уравнений переноса выполнена с использованием схемы MLU Ван Лира [3], а дискретизация диффузионных слагаемых с помощью центральных разностей. В результате такого интегрирования получен неявный дискретный аналог дифференциальных уравнений, в который входят значения переменной в нескольких соседних узлах. Согласование полей скорости и давления выполнялось на основе процедуры SIMPLE [4]. Решение систем сеточных уравнений выполнялось методом верхней релаксации.

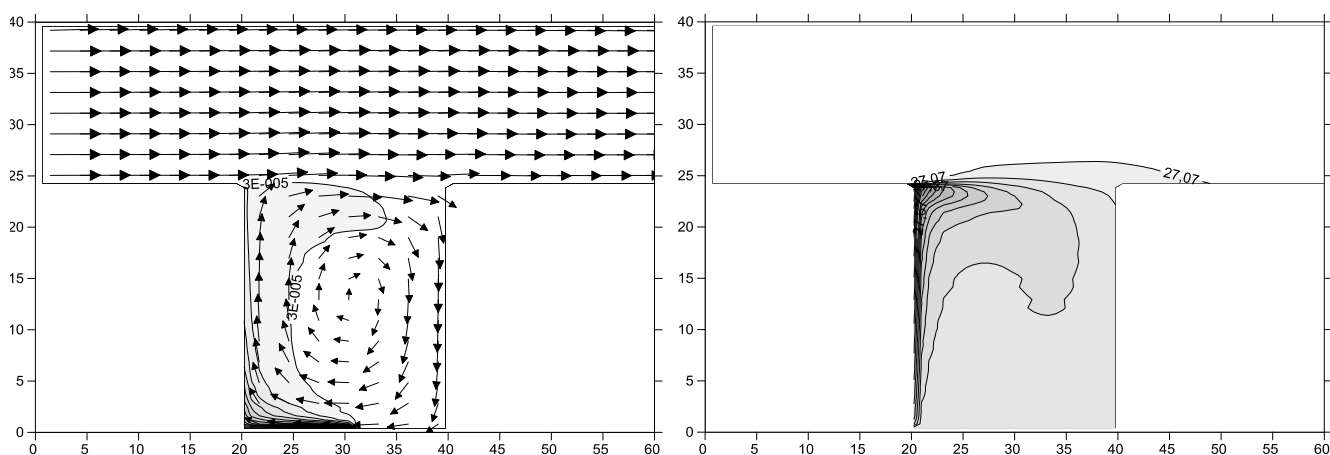


Рисунок 1 – Векторное поле скорости на фоне изолиний концентрации примеси и изолинии температуры в случае нагрева подветренной стороны уличного каньона

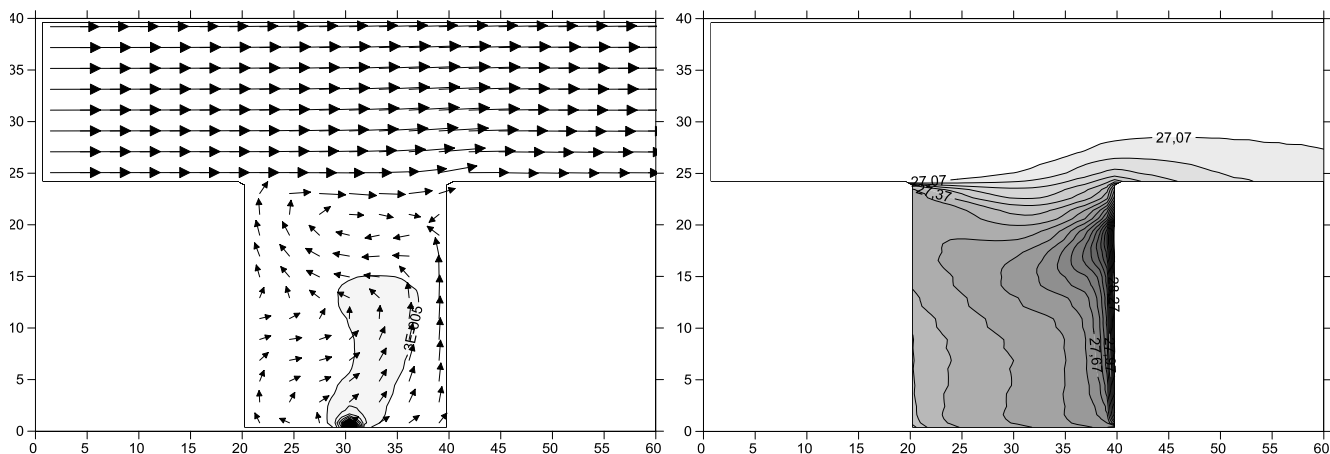


Рисунок 2 – Векторное поле скорости на фоне изолиний концентрации примеси и изолинии температуры в случае нагрева наветренной стороны уличного каньона

На основе построенной математической модели турбулентного течения проведен ряд расчетов для идеализированной модели уличного каньона в условиях влияния естественной конвекции. Область исследования представляла собой уличный каньон высотой 24 метра и шириной 20 метров. Источник поступления примеси постоянной интенсивности располагался в центре уличного каньона вблизи поверхности. Анализ результатов показал, что в случае нагрева дна или подветренной стороны уличного каньона (рисунок 1), вредные выбросы интенсивнее выносятся из уличного каньона, а максимальные концентрации уменьшаются на 10-15 % в сравнении с изотермическим случаем. В то же время в случае нагрева наветренной стороны структура течения сильно искажается, а максимальные концентрации возрастают в 3-3,5 раза (рисунок 2).

1. Danilkin E.A., Grudovich L.E., Leschinsky D.V. Development of Mathematical Model and Numerical Method for Analysis of Air Mass Movement in Street Canyon // Proc. SPIE 10466, 23th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 2017. – P. 104666W1-8.

2. Нутерман Р.Б., Старченко А.В, Бакланов А.А. Моделирование аэродинамики и распространения выбросов от автотранспорта в городском подслое // Математическое моделирование. 2010. Т.22. №4. С. 3–22.

3. Van Leer B. Towards the ultimate conservative difference scheme. II. Monotonicity and conservation combined in a second order scheme // Journal of Computational Physics. 1974. V. 14. P. 361–370.

4. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с англ. / С. Патанкар. М.: Энергоатомиздат, 1984. 149 с.