

**КОНФЕРЕНЦИЯ D**

**ФИЗИКА ТРОПОСФЕРЫ**

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ УЛИЧНОГО КАНЬОНА НА СТРУКТУРУ ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ

Данилкин Е.А.<sup>1,2</sup>, Старченко А.В.<sup>1,2</sup>, Лещинский Д.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

e-mail: [ugin@math.tsu.ru](mailto:ugin@math.tsu.ru), [starch@math.tsu.ru](mailto:starch@math.tsu.ru), [360flip182@gmail.com](mailto:360flip182@gmail.com)

Ключевые слова: уличный каньон, турбулентность, перенос примеси.

Работа посвящена исследованию аэродинамики потока и переноса примеси, поступающей от точечного источника, в уличном каньоне в зависимости от соотношения высоты и ширины уличного каньона.

Базовым элементом застройки современного города является уличный каньон, поэтому он является объектом экологических исследований, посвященных как изучению распространения и рассеивания вредных выбросов в городских кварталах, так и микроклимата города в целом. Изучение движения воздушных потоков внутри уличных каньонов и городской застройки – это важная прикладная задача, ее решение может помочь выявить загрязненные территории, оптимизировать городское планирование и потоки транспорта. Исследования такого рода актуальны для понимания микроклимата городов, полезны при возведении новых зданий, автомагистралей, дорожных развязок и оценке зон повышенной экологической опасности.

Данной тематике посвящено большое количество работ, как в России, так и за рубежом. За последние несколько десятилетий исследователи значительно продвинулись в части моделирования переноса вредных выбросов. В качестве важных параметров, влияющих на структуру течения и механизм распространения примеси, можно выделить метеоусловия (скорость и направления ветра), геометрические характеристики (соотношение сторон уличного каньона), температурную неоднородность и влияние растительности. **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

Данная работа посвящена применению разработанной микромасштабной математической модели турбулентного течения и переноса пассивной газообразной примеси для исследования структуры течения и характера распространения вредных выбросов автотранспорта 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 расчётную область, дифференциальные уравнения, лежащие в основе математической модели, 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 [2], а дискретизация диффузионных слагаемых с помощью центральных разностей. Согласование полей скорости и давления выполнялось на основе процедуры SIMPLE [3]. Решение систем сеточных уравнений выполнялось методом верхней релаксации.

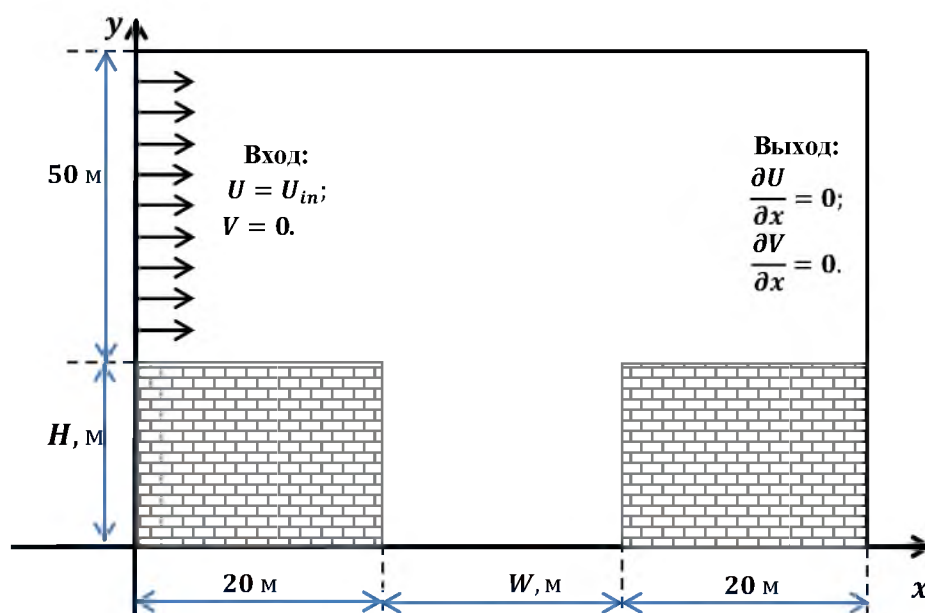


Рисунок 1 – Моделирование течения в уличном каньоне

Математическая модель была применена для исследования аэродинамики потока и переноса примеси, поступающей от точечного источника, в уличном каньоне. Исследования уличных каньонов, показали, что на структуру течения в каньоне в первую очередь влияют геометрия каньона и температурная неоднородность внутри каньона. Задачей данного исследования являлось изучение структуры течения и характера распространения вредных выбросов в зависимости от соотношения высоты и ширины уличного каньона. Геометрические характеристики уличного каньона высота (H) и ширина (W) менялись в диапазоне от 5 до 40

метров (см. рисунок 1). Расчетная область имела следующие размеры  $40 + W$  метров в продольном направлении и  $50 + H$  метров в вертикальном направлении. Расчеты проводились на сетке  $102 \times 63 \times 92$ . Источник поступления примеси постоянной интенсивности располагался в центре уличного каньона вблизи поверхности.

Граничные условия задавались следующим образом: на входной границе горизонтальная скорость равна  $2 \text{ м/с}$ ; на выходной границе равенство нулю нормальных производных скорости; на верхней стенке условия скольжения. В качестве начальных условий использовались следующие: продольная скорость равна скорости с входа ( $2 \text{ м/с}$ ), а вертикальная скорость и давление равны нулю.

Анализ результатов расчетов показал, что основной поток воздуха над крышами зданий приводит в циркуляционное движение воздух находящийся внутри уличного каньона. Направление ветра над зданиями определяет направление возникающего движения в уличном каньоне и его интенсивность. Возникшее закрученное течение переносит примесь от источника на дне уличного каньона к подветренной стороне уличного каньона и далее по направлению потока. На верхней границе уличного каньона часть примеси уносится основным потоком, а часть возвращается в уличный каньон и циркулирует в нем.

Проведено исследование структуры течения и характера распространения примеси в уличном каньоне в зависимости от соотношения ширины и высоты уличного каньона. Получено, что модель воспроизводит основные режимы течения в уличном каньоне, показанные в работе [4], в которой моделирование турбулентности осуществлялось методом крупных вихрей (LES).

### Литература

1. Старченко А.В., Нутерман Р.Б., Данилкин Е.А. Численное моделирование турбулентных течений и переноса примеси в уличных каньонах. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2015. 252 с.
2. 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.
3. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с англ. / С. Патанкар. М.: Энергоатомиздат, 1984. 149 с.
4. Danilkin E.A., Starchenko A.V. Large eddy simulation of turbulent flow and of pollutant transport in a street canyon // Proc. SPIE 9680, 21th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2015.