Солодов, Валерий Григорьевич, д.т.н., профессор, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, solodov@khadi.kharkov.ua

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ В СТРУКТУРЕ УЛИЦ-КАНЬОНОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ г. ХАРЬКОВА

Введение. В литературе распространены примеры моделирования распространения следов от точечных источников загрязнения на массивах регулярной структуры [2], однако характеристики рассеяния точечного источника в реальной городской застройке могут существенно отличаться от таковых в регулярных рядах модельных строений. Кроме того, актуальной является проблема численного моделирования различных сценариев загрязнения кварталов города с целью выявления скрытых зависимостей, тенденций в дисперсии примесей в приземном слое, прогноза некоторых основных параметров состояния окружающей среды. Поэтому интерес представляет подтверждение и проверка результатов модельных исследований для случая реальных кварталов городской застройки, содержащих улицы–каньоны. В данной работе на основе осредненных уравнений Навье-Стокса исследуется модель реального района города.

Работа посвящена моделированию распространения атмосферных загрязнений в приземном слое центральной части г. Харькова (Сити-центр). Центр является подмоделью общей модели центральной части Харькова. Ее построение опиралось на карту города (https://2gis.ua/kharkov) и план поверхностей города, и охватывает пространство 5000x5000x300м3. Модель содержит несколько тысяч многоэтажных домов. Центральная часть располагается на холме и отделяется от других частей города системой рек с запада, юга и востока (рис.1). Рельеф местности имеет перепад высот около 90 метров. В южной и юго-западной частях находится речная долина, северо-западная часть ограничивается обширным оврагом, переходящим в лесной массив, на северо-востоке расположены аэродром и лесопарк. Сеточная модель центральной части содержит около 4e+07 ячеек и учитывает описание пограничного слоя на поверхности земли.

Постановка задачи. В работе на основе нестационарных уравнений Навье-Стокса, уравнений переноса примеси, в приближении слабо сжимаемой среды исследуется распространение в приземном слое атмосферы следа линейного источника примеси, вследствие стационарного выделения окиси углерода (CO) вдоль осевой линии главных улиц. Для моделирования турбулентных эффектов переноса используется двухпараметрическая дифференциальная модель турбулентности $k-\varepsilon$ с пристенными функциями. Константы и подробное описание модели можно найти в [3]. Влияние растительности в сквере (рис.2) учтено с помощью источниковых членов в правых частях уравнений импульса в виде линейной зависимости $F_i = -C_0 u_i$. В соответствии с экспериментальными данными [6] для плотной летней листвы

выбрано $C_0 = 1$. По рекомендации [2] в уравнение переноса кинетической энергии турбулентности k внедрялся источниковый член типа $F_k = u_i F_i$, в уравнение переноса ε - источниковый член типа $F_\varepsilon = C_k \varepsilon / k F_k$. Модель интерпретирует влияние растительности как однородное изотропное безынерционное сопротивление объема, добавочные члены в уравнениях модели турбулентности увеличивают производство турбулентности.

Исследование проведено с использованием программного комплекса MTFS® [4] методом установления от заторможенного состояния к развитому установившемуся в среднем течению. Течение вне расчетной области всей модели предполагается полностью турбулентным. Ко второй стадии расчета применен подход LAWEPS [8], в котором граничные условия для подмодели берутся из расчета всей модели центральной части города. Расчет подмодели продолжается в нестационарной постановке. Вдоль осевой линии главных улиц (№№2-6) предполагался линейный источник с выделением постоянного расхода примеси во времени и вдоль дороги на высоте около 0.5 метра с температурой, равной температуре набегающего потока. На основе анализа автотранспортного потока и зависимостей [1] задан постоянный расход CO около 5e-6 кг/сек на погонный метр осевой линии. Улицы №3,4,5,6 являются центральными, характеризуются интенсивным движением, поэтому на основных перекрестках задавался удвоенный расход CO. Свойства воздуха и CO взяты из [5], приняты летние дневные параметры атмосферы.

Обсуждение результатов. Состояние атмосферы оценивалось в дневное летнее время года при доминирующем северном ветре со скоростью на удалении 2м/сек и наличии плотной листвы в сквере. Температура воздуха составляла около 30оС при тепловом потоке от солнечной радиации 500Вт/м2 [2, стр.340]. Стенки зданий принимались адиабатическими. На рис.2 представлено распределение массовой доли CO на высоте 2м, полученное среднеквадратичным осреднением на временном интервале интегрирования. На рис.3 дано распределение температуры воздуха вблизи поверхности зданий (20см) и вблизи грунта, дорожного покрытия при среднеквадратичном осреднении за период 0.5 часа дневного времени. Обращает внимание пятно повышенной температуры вблизи рассматриваемой городской застройки, что соответствует наличию «теплового острова» при перепаде температур в среднем. Основной перенос массы происходит вследствие адвекции, поэтому замкнутые пространства городской застройки характеризуются низкой концентрацией CO. Распределения температуры в основном также обеспечиваются адвекцией, поэтому температура наветренных стен зданий ниже, чем подветренных. Температура крыш испытывает влияние теплового потока солнечного излучения.

Выводы Предложена численная модель застройки центральной части города Харькова в приземном слое атмосферы с учетом переменного рельефа прилегающей местности для учета переноса примесей в условиях боковой ветровой эпюры и насаждений различной плотности. Зарегистрирован эффект

«теплового острова» [2].

Работа финансировалась МОН Украины.

Рисунок 1 – Модель центральной части города Харькова с рельефом местности [7

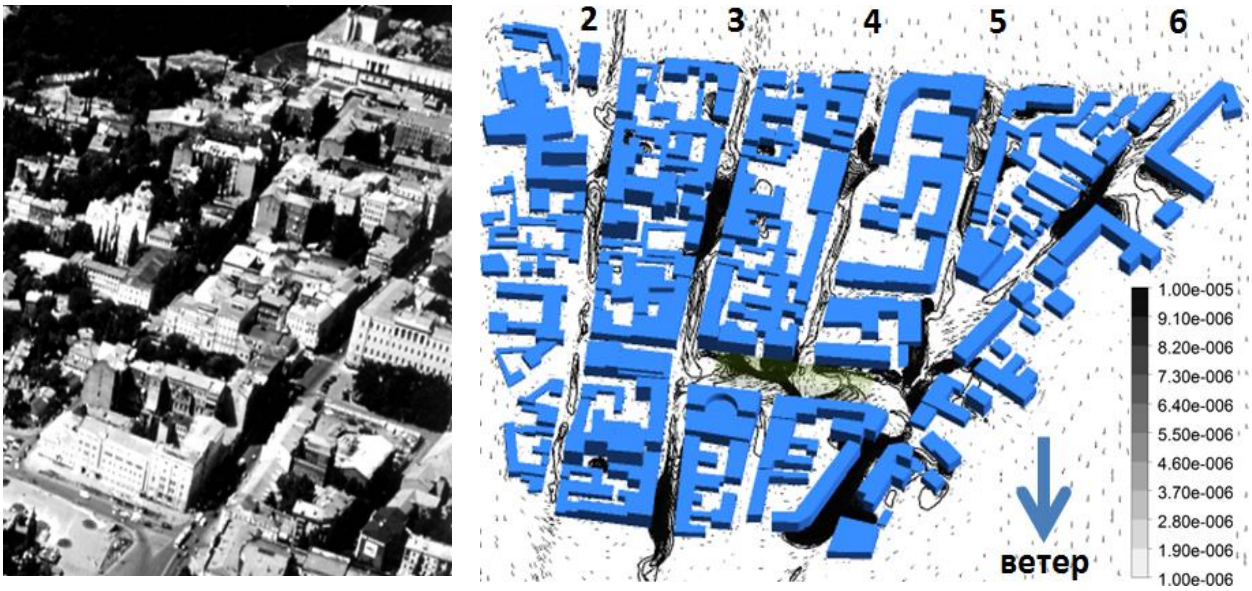

Рисунок 2 – Фрагмент застройки района и картина распределения массовой доли CO

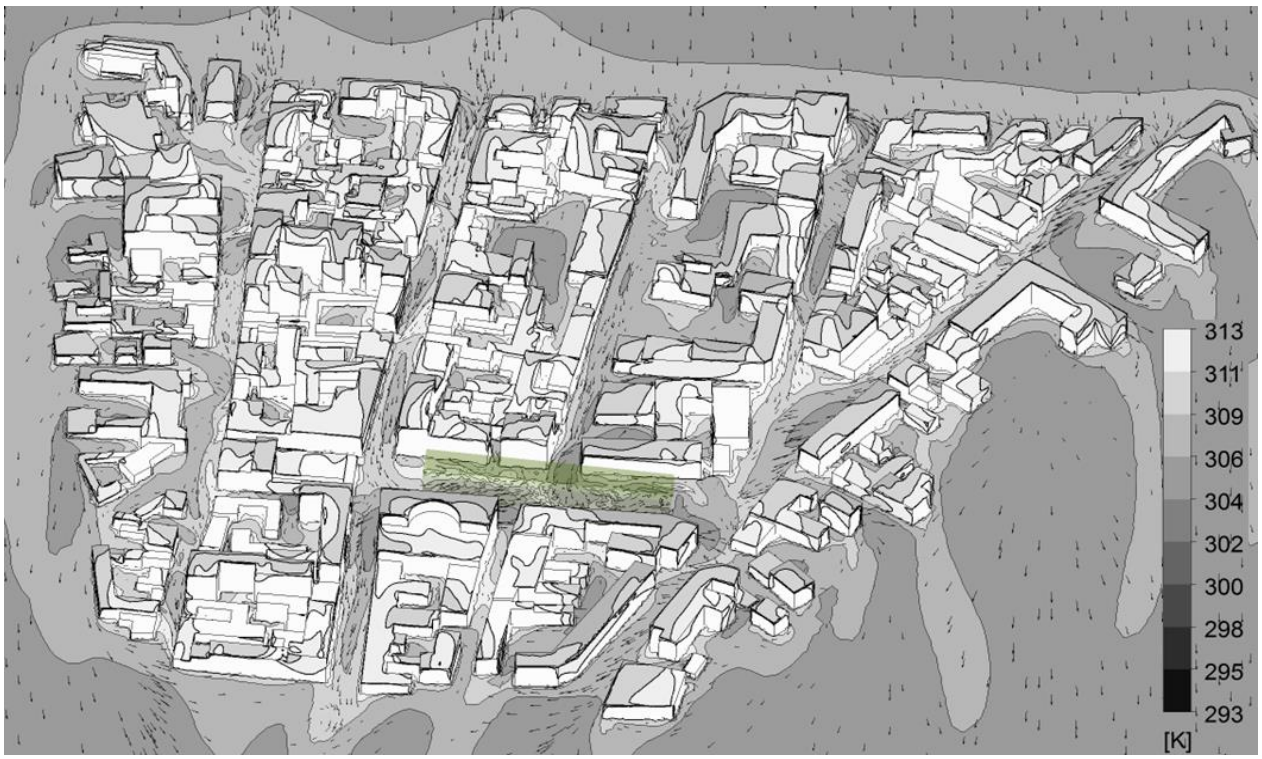

Рисунок 3 – Распределения температуры воздуха вблизи поверхности зданий и грунта при среднеквадратичном осреднении за период 0.5 часа дневного времени

Литература

1. Говорущенко Н.Я. Проблемы и методы оценки экологического и энергетического качества автомобильных дорог/ Н.Я.Говорущенко, В.В.Филиппов, Г.В.Величко / Автоматизированные технологии CREDO'2000. - С.45-51
2. Flow and transport with complex Obstructions / Applications to Cities. Vegetative Canopies and Industry/ Eds Ye. Gayev, Julian Hunt. Springer Publ. - 2007. - 414p.
3. Солодов В.Г. Моделирование турбулентных течений. Расчет больших вихрей. Харків, вид-во ХНАДУ, 2011. - 167с
4. Солодов В.Г. Научно-прикладной программный комплекс MTFS® для расчета трехмерных вязких турбулентных течений жидкостей и газов в областях произвольной формы. / В.Г.Солодов, Ю.В.Стародубцев / Сертификат гос. регистр. авт. прав, УГААСП, №5921, 07.16.2002
5. Варгафтик В.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. -720с.
6. Солодов В.Г. Математичне моделювання забруднення атмосферного повітря придорожнього простору / В.Г.Солодов, В.В.Філіппов, В.К.Жданюк, И.В.Кияшко / Автошляховик України/ - 2009. №3. С.42-47
7. Авершин А.Г., Роговий А.С., Солодов В.Г. Побудова моделі забудови центральної частини міста Харкова / Наукові праці Міжнародної наук. конференції «Автомобільний транспорт і автомобілебудування», ХНАДУ, 19-20 жовтня 2017р. / Харків: ХНАДУ, - 2017. С.219-220
8. Murakami S., Otsuka K., Mochida H., Kataoka H, Kato S., CFD prediction of flow over complex terrain using Local Area Wind Energy Prediction System (LAWEPS), in: Proc. of 11th Int. Conf. On Wind Engineering, Vol.2, Texas, pp. 2821-2828, 2003.