

А. А. Андрижиевский, д-р техн. наук;

А. Г. Трифонов, д-р техн. наук, А. Г. Лукашевич, канд. техн. наук

(Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси)

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМЕРНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ВЫБРОСОВ В УЛИЧНЫХ КАНЬОНАХ

The results of application of multidimensional computer modeling for the analysis of distribution of spatial transport emissions in street canyons are resulted. It is considered the bottom layer of air mass responsible for emission and localization of atmospheric pollution. From the analysis of computing experiments follows, that the maximal concentration is achieved on a road, and then in process of removal from it the concentration is gradually reduced, coming nearer to background meaning. Thus in stagnant zones 3–4 multiple increases of concentration impurity of substances are marked.

Анализ проблемы. Рост урбанизации и расширение сети автотранспорта ставят проблему контроля воздушной среды городов, включая определение мест повышенной концентрации вредных примесей и структурно-архитектурных решений по снижению уровня концентраций. Существенной особенностью загрязнения воздушной среды городов, особенно крупных, являются выхлопные газы автотранспорта, которые в ряде столиц мира и стран СНГ, городах-курортах составляют 60–80% от общих выбросов. Известно, что автотранспорт выбрасывает в воздушную среду более 200 компонентов, среди которых угарный газ, углекислый газ, окислы азота и серы, альдегиды, свинец, кадмий и канцерогенная группа углеводородов – бензопирен и бензоантро-

цен (таблица). Автотранспортные выбросы концентрируются преимущественно в районе крупных магистральных путепроводов. Магистральные улицы в городах составляют примерно 20–30% общей протяженности всех улиц и проездов. На них сосредоточивается до 60–80% всего автомобильного движения, то есть магистрали в среднем загружены примерно в 10–15 раз больше, чем остальные улицы и проезды [1–3].

В настоящее время вклад автомобильного транспорта в загрязнение атмосферного воздуха мегаполисов очень велик: в Санкт-Петербурге в 1997 г. он равнялся 78%, а в Москве в последние годы – от 85 до 90%. Как следует из данных Московского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в последние годы средний уровень оставался довольно высоким.

Таблица

Основные для городских территорий виды примесных веществ

Загрязняющее вещество	Год				
	1995	1996	1997	1998	1999
Пыль	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Диоксид серы	0,001	0,003	0,002	0,003	0,002
Окись углерода	4	4	3	3	3
Диоксид азота	0,10	0,11	0,09	0,12	0,10
Окись азота	0,08	0,09	0,09	0,10	0,10
Фенол	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002
Хлористый водород	0,05	0,05	0,09	0,08	0,07
Аммиак	0,04	0,05	0,04	0,12	0,06
Формальдегид	0,006	0,010	0,008	0,006	0,007
Бензол	0,19	0,22	0,07	0,05	0,04
Ксилол	0,10	0,12	0,06	0,05	0,04
Толуол	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Сероводород	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Бензопирен ($\times 10^{-6}$)	1,3	0,6	0,8	0,6	0,7
ИЗА	13,6	16,8	10,84	11,55	10,41

Примечание. Содержание токсичных веществ выражено в $\text{мг}/\text{м}^3$; ИЗА – индекс загрязнений атмосферы (суммарный).

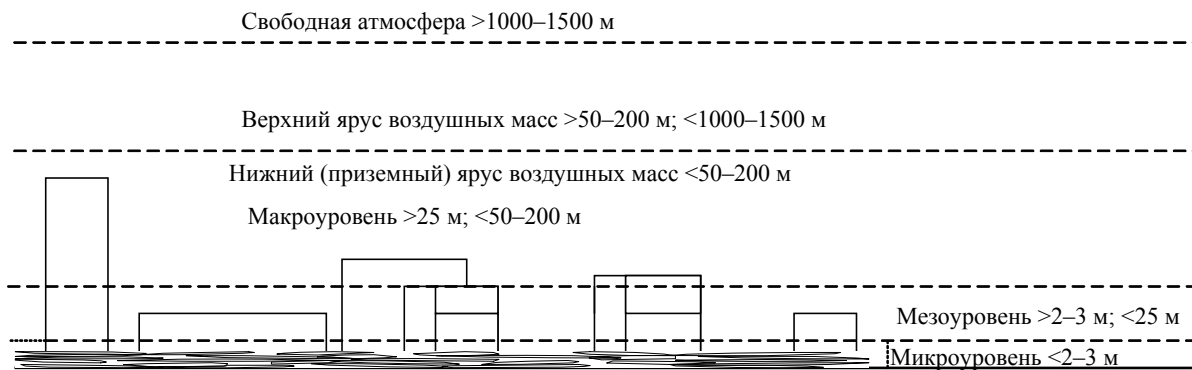


Рис. 1. Структура приземного слоя атмосферы для городских территорий

Результаты исследования. В статье приводятся результаты применения многомерного компьютерного моделирования для анализа распространения пространственных транспортных выбросов в уличных каньонах. Рассматривается нижний приземный ярус воздушных масс, ответственный за выброс и локализацию атмосферных загрязнений (рис. 1).

Как известно, одним из климатических факторов, требующих учета при формировании городской среды, является ветровой режим, формирующий аэродинамические воздействия на застройку и, как следствие, ее аэрационный режим.

Учет аэродинамических воздействий на здания позволяет регулировать как термофизические характеристики приземного слоя, так и параметры зон загазованности и запыленности воздуха. Трансформация воздушного потока в поселении влияет на его аэрационный режим, зависит от макро-, мезо-, микроуровней воздушной среды.

В настоящее время для анализа состояния приземного слоя преимущественно используются методики расчета на основе гауссовых моделей рассеяния примеси. Они содержат рекомендации для определения дисперсий по входным метеорологическим параметрам.

Однако проведение детальных компьютерных расчетов сталкивается с рядом ограничений по использованию гауссовых моделей рассеивания:

- в данных моделях примесь распространяется только по прямой, а скорость ветра при этом равна константе;
- гауссовы модели «ломаются» при низкой скорости ветра. Для достижения устойчивого счета скорость ветра в моделях должна быть более 0,5–1 м/с;
- рассматриваются только прямые траектории, т. е. не учитывается их кривизна;
- пространственно условия должны быть однородными;

- достоверность расчета достигается только в достаточно «малой» расчетной области;

- существуют трудности по внесению начальных граничных условий на основе предыдущих расчетов. Нет «памяти» о предыдущих расчетах.

В настоящее время существует достаточно большое количество программных комплексов с возможностью проведения многомерного компьютерного моделирования. Однако каждый конкретный случай применения программных комплексов требует специфических мер по достижению адекватных результатов моделирования при существующих вычислительных средствах. При этом основное внимание уделяется замыкающим соотношениям и достижению устойчивых расчетов. В данной работе использовался программный комплекс COMSOL, а расчеты проводились с помощью двухпроцессорной рабочей станции с тактовой частотой 3,6 ГГц.

Была принята следующая схема моделирования.

1. Прорисовка расчетной области.
2. Формирование расчетной решетки на основе метода конечных элементов.
3. Связь уравнений сохранения и граничных условий с геометрическими параметрами расчетной области.
4. Расчет гидродинамики параметров.

При проведении компьютерных расчетов было выявлено, что использование общеизвестных моделей турбулентности не приводит к достижению адекватных результатов моделирования.

Модели на основе длины пути смешения не могут быть использованы для сложной топологии приземного слоя. В свою очередь, к-ε модель турбулентности не дает устойчивых результатов вблизи многочисленных поверхностей со сложной конфигурацией, характерных для микро- и мезоуровней при-

земного слоя. Поэтому в данной работе использовалась модель «искусственной» турбулентности на основе следующего соотношения:

$$v_{eff} = v_{LM} + \Delta x \sum_i abs(W_i),$$

где v_{eff} – коэффициент кинематической вязкости; Δx – размер расчетной ячейки.

Пример схемы расчетной области и расчетной решетки приведен на рис. 2.

Размеры расчетных ячеек могут быть использованы для оценки точности моделирования.

Результаты модельных расчетов по данной схеме приведены на рис. 3 и 4.

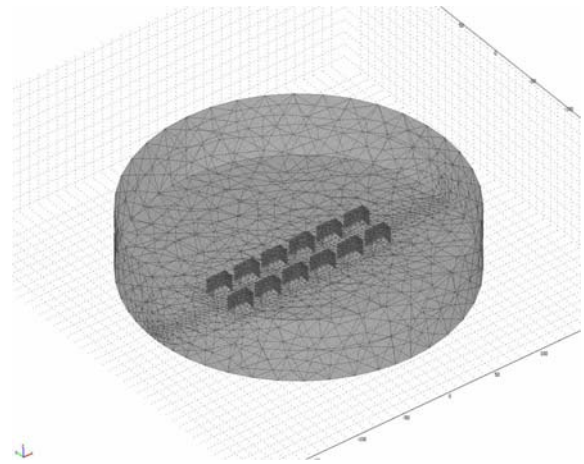


Рис. 2. Пример схемы расчетной области и расчетной решетки

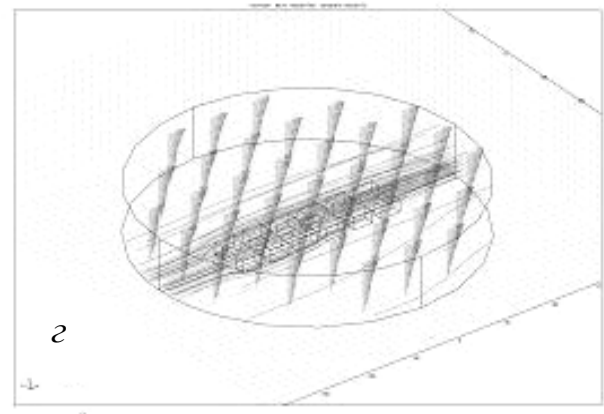
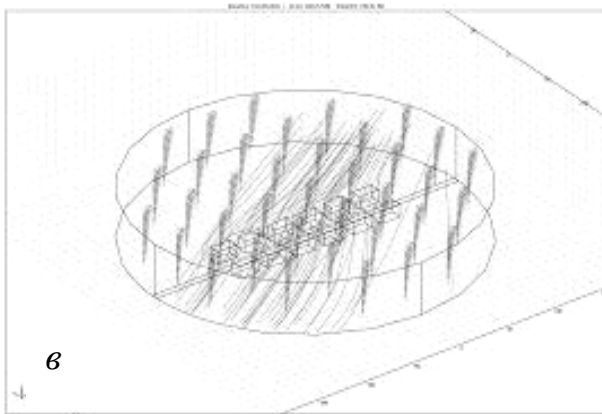
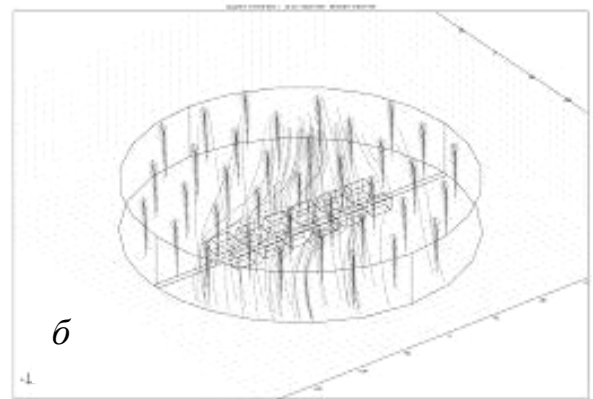
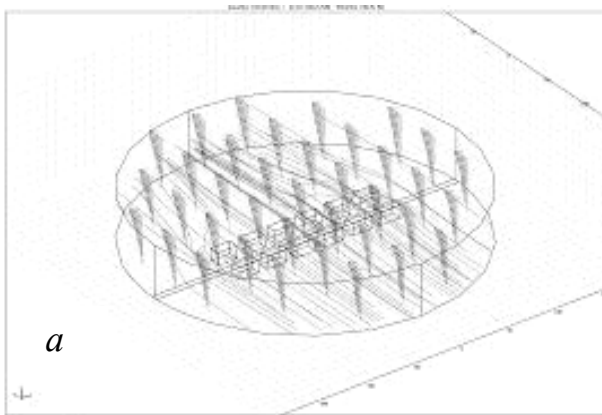


Рис. 3. Результаты расчета динамических параметров при максимальной скорости ветра 10 м/с на высоте 50 м и углами между направлениями ветра и магистрали:
 $a - 90^\circ$; $б - 60^\circ$; $в - 30^\circ$; $г - 0^\circ$

Заключение. Из анализа вычислительных экспериментов следует, что максимальная концентрация достигается на дороге, а затем по мере удаления от нее постепенно снижается, приближаясь к фоновому значению.

При этом в застойных зонах отмечается 3–4-кратное увеличение концентрации примесных веществ.

Поэтому в систему архитектурных мероприятий, улучшающих микроклимат застойных зон жилой группы вблизи транспортных магистралей должны входить мероприятия по исключению застойных зон. Учет фактора аэрационного режима в различных условиях аэродинамического воздействия позволит обосновать эффективное использование ценной городской территории.

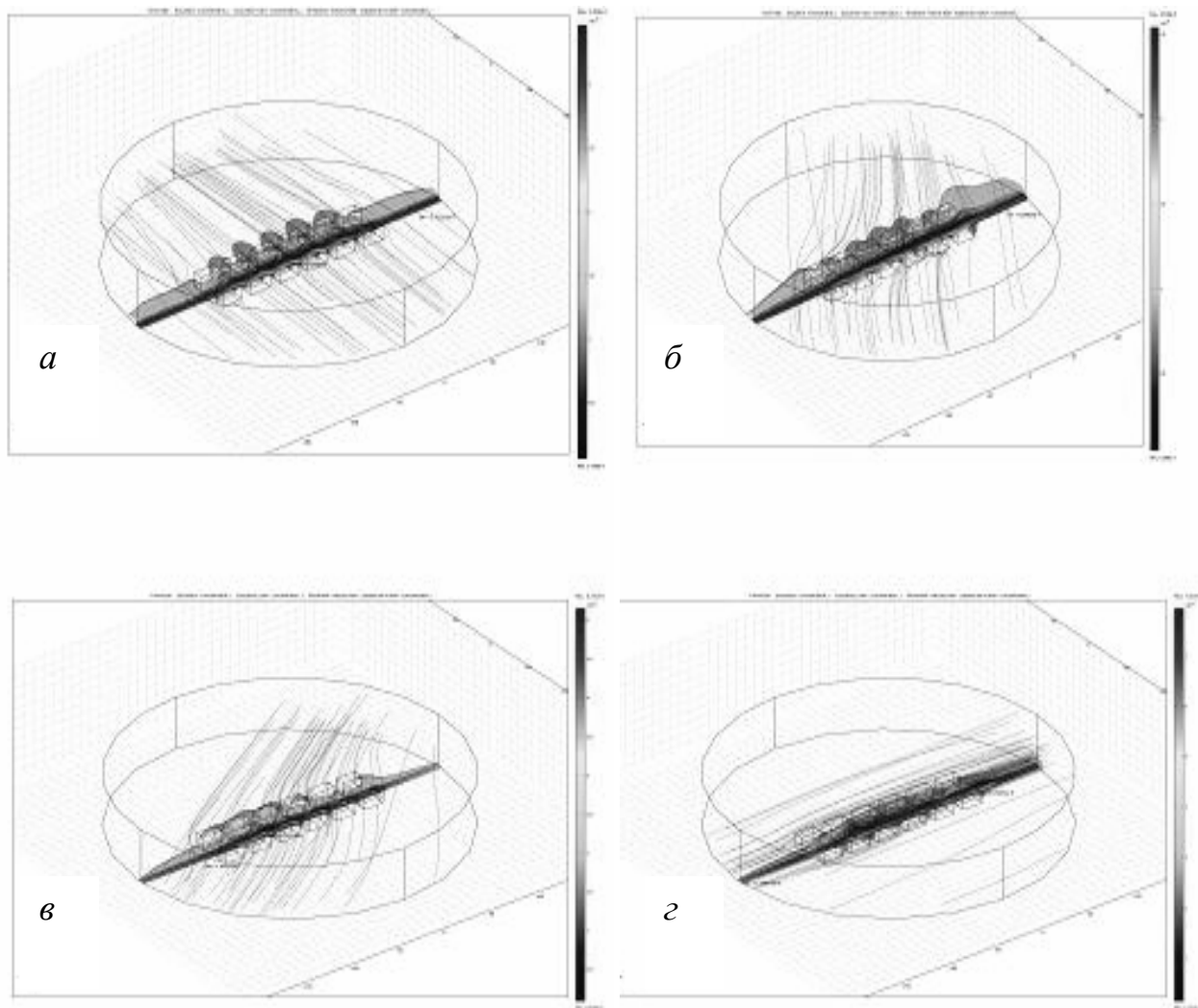


Рис. 4. Результаты расчета распределения концентрации при среднем источнике примесей на проезжей части $0,00002 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ и углами между направлениями ветра и магистрали:
а – 90° ; *б* – 60° ; *в* – 30° ; *г* – 0°

Литература

1. Коваленко, П. П. Городская климатология / П. П. Коваленко, Л. Н. Орлова. – М.: Стройиздат, 1993. – 160 с.
2. Ненарокова, К. Н. Город и климат /

К. Н. Ненарокова. – СПб.: Гидрометиздат, 1995. – 230 с.

3. Мониторинг воздуха: Ежегодник состояния загрязнения атмосферного воздуха. – Ростов н/Д: Севкавгидромет, 1996. – 121 с.