

линий и любым их соединением.

Приведен принцип построения программы, где каждый тип элемента, входящего в систему, описан группой программных модулей, выполняющих на каждом этапе работы программы определенную функцию (ввода, вычисления коэффициентов правых частей дифференциальных уравнений и т.п.). Такой принцип облегчает отладку программы на стадии разработки и позволяет практически неограниченно развивать программу в дальнейшем, дополняя ее новыми элементами – агрегатами или новыми уточненными физическими принципами их работы.

В соответствии с изложенным алгоритмом и принципами построения, была разработана и в течение нескольких лет эксплуатируется программа расчета сложных систем объемного гидропривода на неустановившемся режиме.

3D модель переноса загрязняющих веществ от автотранспорта в воздушную среду города

д.ф.-м.н., проф. Сухинов А.И., к.т.н., доц. Гадельшин В.К., Любомищенко Д.С.

Таганрогский технологический институт Южного федерального университета,

В данной работе рассматривается объединенная модель движения воздушной среды в приземном слое атмосферы и модель диффузии-конвекции с реакцией загрязняющих веществ (ЗВ), выделяемых автотранспортом в воздушную среду города. Она предназначена для оперативной оценки и прогнозирования состояния воздушной среды города средних размеров. Достоверное определение поля скоростей требует учёта рельефа подстилающей поверхности, городской застройки и, следовательно, использование подробных сеток в дискретной модели, а также большого объема вычислений с применением параллельных алгоритмов.

В модель приземной аэродинамики входят уравнения: движения по трем координатным направлениям (Навье-Стокса), неразрывности, состояния транспорта, теплоты и влаги. Решение задачи рассматривается в цилиндрической области в системе прямоугольных координат геоинформационной системы г. Таганрога с шагом по горизонтальным координатным направлениям 5 м. Характерная высота верхней границы приземного слоя атмосферы определяется процессами интенсивного переноса загрязнений и составляет порядка 100 метров [1,2,7].

В дискретной модели динамики воздушной среды используется вариант МАС – метода, называемый методом поправки к давлению. Он представляет собой аддитивную схему расщепления по физическим процессам, гарантирует выполнение баланса массы и является устойчивым. При численном решении уравнений приземной аэродинамики используются явные схемы и итерационные схемы зейделевского типа.

Уравнение транспорта вредной примеси представляет собой нестационарное трехмерное уравнение с параметризуемыми коэффициентами турбулентного обмена и постоянной деструкции:

$$\varphi'_t + u\varphi'_x + v\varphi'_y + (w - w_g)\varphi'_z + \sigma\varphi = (\eta_h\varphi'_x)'_x + (\eta_h\varphi'_y)'_y + (\eta_v\varphi'_z)'_z + f_\varphi, \quad (1)$$

где: $\varphi(x, y, z, t)$ – концентрация вредной примеси,

u, v, w – компоненты вектора скорости движения воздушной среды,

w_g – скорость оседания загрязняющего вещества под действием силы тяжести,

σ – член, ответственный за деструкцию вещества,

$f_\varphi(x, y, z, t)$ – функция источников загрязняющих веществ,

η_h и η_v – коэффициенты соответственно горизонтального и вертикального турбулентного обмена.

Уравнения транспорта примеси решаются с помощью итерационного метода Зейделя.

Разностная схема, аппроксимирующая уравнение (1), имеет вид:

$$\begin{aligned}
 & \frac{\varphi_{i,j,k}^{t+1} - \varphi_{i,j,k}^t}{\tau} + \frac{1}{h_x} \left(\frac{\varphi_{i,j,k}^t + \varphi_{i+1,j,k}^t}{2} \cdot \frac{u_{i,j,k}^t + u_{i+1,j,k}^t}{2} - \frac{\varphi_{i,j,k}^t + \varphi_{i-1,j,k}^t}{2} \cdot \frac{u_{i,j,k}^t + u_{i-1,j,k}^t}{2} \right) + \\
 & + \frac{1}{h_y} \left(\frac{\varphi_{i,j,k}^t + \varphi_{i,j+1,k}^t}{2} \cdot \frac{v_{i,j,k}^t + v_{i,j+1,k}^t}{2} - \frac{\varphi_{i,j,k}^t + \varphi_{i,j-1,k}^t}{2} \cdot \frac{v_{i,j,k}^t + v_{i,j-1,k}^t}{2} \right) + \\
 & + \frac{1}{h_z} \left(\frac{\varphi_{i,j,k}^t + \varphi_{i+1,j,k}^t}{2} \cdot \frac{\bar{w}_{i,j,k}^t + \bar{w}_{i+1,j,k}^t}{2} - \frac{\varphi_{i,j,k}^t + \varphi_{i-1,j,k}^t}{2} \cdot \frac{\bar{w}_{i,j,k}^t + \bar{w}_{i-1,j,k}^t}{2} \right) = \\
 & = \eta_h \left(\frac{\varphi_{i-1,j,k}^{t+1} + \varphi_{i,j,k}^{t+1} + \varphi_{i+1,j,k}^{t+1}}{h_x^2} + \frac{\varphi_{i,j-1,k}^{t+1} + \varphi_{i,j,k}^{t+1} + \varphi_{i,j+1,k}^{t+1}}{h_y^2} \right) + \eta_v \left(\frac{\varphi_{i,j,k-1}^{t+1} + \varphi_{i,j,k}^{t+1} + \varphi_{i,j,k+1}^{t+1}}{h_z^2} \right) + f_{i,j,k},
 \end{aligned} \quad (2)$$

где: $\varphi_{i,j,k}^{t+1}$ - значение концентрации на $t+1$ -ом временном слое,

$\varphi_{i,j,k}^t$ - значение концентрации на t -ом временном слое,

$u_{i,j,k}^t, v_{i,j,k}^t, w_{i,j,k}^t$ - компоненты вектора скорости по соответствующим направлениям,

$\bar{w}_{i,j,k}^t = w_{i,j,k}^t - w_g$, η_h и η_v - коэффициенты турбулентного обмена в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно,

$f_{i,j,k}$ - функция источника загрязняющего вещества в соответствующем узле.

Эффект влияния подвижных источников на окружающую среду в моделях транспорта вредной примеси можно моделировать наземным линейным источником, очертания которого совпадают с их траекторией движения [3]. Тогда функцию подвижного источника примеси можно представить в виде:

$$f = \sum_{i=1}^N E_n^i \delta(\bar{r} - \bar{r}_i) \quad (3)$$

где $E_n^i = E_n(\bar{r}_i, t) |\Delta \bar{r}_i|$ - количество выбросов примеси от источников в узле дискретной сетки $\bar{r}_i = (x_i, y_i, z_i)$ в момент времени t .

Для определения $E_n(\bar{r}_i, t)$ применяется методика расчета выбросов ЗВ автотранспортом, разработанная в НИИАТ [6]. Она позволяет проводить расчет интенсивности выбросов ЗВ при движении автомобилей различных типов по городским магистралям при разных режимах движения и обоснованно формировать функцию источника. При этом можно учитывать следующие виды ЗВ: оксид углерода, углеводороды, оксиды азота, твердые частицы (сажа), диоксид серы, диоксид серы.

В случае проведения расчета распространения концентраций от автомобильных дорог [6] необходимо учитывать условия движения автомобилей в транспортном потоке. В общем виде величина выброса автомобилей i -го ЗВ M_i на участке улицы длиной l за единицу времени может быть определена по формуле:

$$M_i = M_{li} + D_i \quad (4)$$

где: M_{li} - выброс i -го ЗВ при непрерывном движении транспортного потока, $кг/с$;

D_i - дополнительный выброс i -го ЗВ, связанный с задержкой транспортных средств, $кг/с$.

Величина M_{li} характеризует мощность выброса при непрерывном движении автотранспорта на участке автомагистрали и определяется видами транспортных средств, участвующими в движении, их техническим состоянием, скоростью и интенсивностью движения.

Величина D_i связана с условиями движения по автомагистрали и отражает мощность выброса ЗВ, который складывается из выбросов при торможении и разгоне транспортных средств, а также работе двигателя на холостом ходу.

Для параллельной реализации схемы [4] используется известный метод деления области на подобласти. Количество подобластей равняется числу задействованных процессоров в кластере распределенных вычислений. На рис. 1 представлена схема деления области на подобласти:

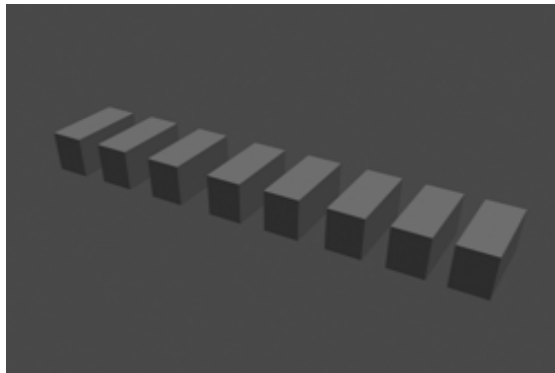


Рис. 1. Схема деления области на подобласти.

В каждой подобласти отдельным процессорным блоком кластера реализуется расчет дискретного представления модели движения воздушной среды и модели диффузии- конвекции. Ускорение достигается за счет одновременного подсчета на каждом процессорном блоке кластера исходной задачи. Между границами подобластей на каждой временной итерации необходимо производить обмен. Это связано со спецификой шаблона разностной схемы. Функции, реализующие обмен данными между различными компьютерными блоками кластера, реализованы с помощью библиотеки MPI.

Вычислительный эксперимент был проведен для разного размера сеток и количества задействованных процессоров. В табл. 1 приведены результаты эффективности алгоритма:

Таблица 1

Эффективность алгоритма		
p/N	151x646x20	800x600x20
2	0.76	0.851
4	0.723	0.817
6	0.712	0.809
8	0.662	0.79

На рис. 2 представлены результаты моделирования при следующих условиях: интенсивность подвижных источников (автотранспортного потока) 1400 единиц/час, загрязняющая примесь – однокомпонентный газ CO, скорость движения 50 км/ч, мощность выбросов 5.5 мг/(с/км), ветер восточный 5 м/с, температура 20° С, давление 756 мм. р. ст., влажность 78%. Номерам изолиний соответствуют следующие концентрации на высоте 1 м.: 1 – 7.3 мг/м³, 2 – 3.1 мг/м³, 3 – 1.1 мг/м³, 4 – 0.7 мг/м³.

Решение задачи распространения ЗВ от автотранспорта с уравнением переноса субстанции в виде (1) и функцией источника, заданной формулой (2), позволяет определить влияние, оказываемое автотранспортом на экологическую обстановку в городе. Может оказаться, что в некоторых районах концентрация ЗВ в воздушной среде достаточно высокая и превышает санитарно-допустимые нормы. Прежде всего это касается зон отдыха, территорий школ, больниц и т.д., в пределах которых эти нормы достаточно жесткие. Поэтому важной является задача такого выделения автотранспортом ЗВ, которое обеспечивает выполнение санитарно-допустимых норм в экологически важных зонах.

В задачах, требующих оценки интенсивности вредных выбросов, рекомендуется [3] пе-

рейти к сопряженным уравнениям переноса и диффузии. Выделим в рассматриваемой области G M экологически важные зоны G_j , в которых заданы предельно допустимые концентрации ЗВ q_j .

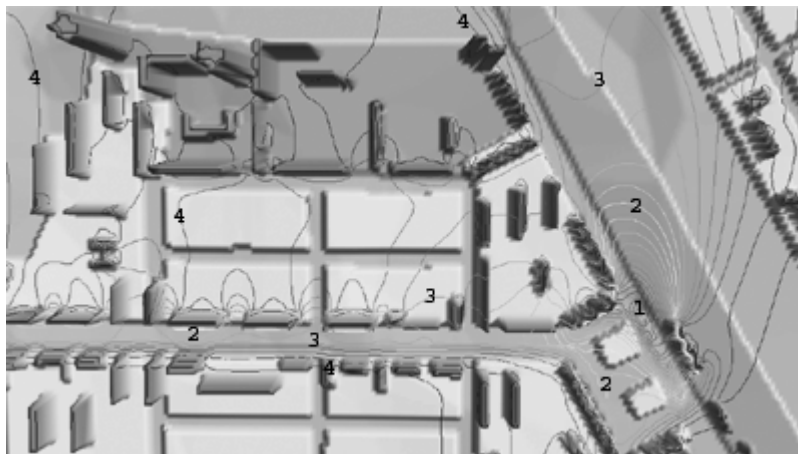


Рис. 2. Фрагмент результатов моделирования.

Поставим в соответствие уравнению (1) (с нулевыми фоновыми значениями на границе области G) сопряженные:

$$L^* \varphi_j^* = p_j, \quad j = 1 \div M, \quad (5)$$

где:

$$L^* = -\frac{\partial}{\partial t} - \text{div}(\bar{u} \cdot) + \sigma - \frac{\partial}{\partial z} \eta_c \frac{\partial}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \mu_c \frac{\partial}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} \mu_c \frac{\partial}{\partial y}, \quad (6)$$

$$p_j = \begin{cases} 1, \bar{r} \in G_j \\ 0, \bar{r} \notin G_j \end{cases} \quad (7)$$

Тогда величина концентрации ЗВ в областях G_j определяется значениями функционалов:

$$J_j = \sum_{i=1}^N E_i \int_0^T \varphi_j^*(\bar{r}_i, t) dt + \int_0^T dt \int_{G_j} \varphi_s dG, \quad j = 1 \div M, \quad (8)$$

где: φ_s - определяется из решения уравнения (1), при условии $f_\varphi = 0$.

Введем следующие обозначения:

$$\tilde{\varphi}_{ij} = \int_0^T \varphi_j^*(\bar{r}_i, t) dt, \quad \tilde{\Psi}_j = \int_0^T dt \int_{G_j} \varphi_s dG, \quad (9)$$

а E_i^0 - величины, ограничивающие интенсивность источника выделения ЗВ в точке \bar{r}_i (определяется из параметров автотранспортного потока и условий управления дорожным движением [5]). Тогда задачу определения максимальных выбросов ЗВ от автотранспорта, обеспечивающих выполнение санитарно-допустимых норм на концентрацию вредных примесей в экологически важных зонах, можно сформулировать в виде задачи линейного программирования:

$$\sum_{i=1}^N E_i \rightarrow \max, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N E_i \tilde{\varphi}_{ij} \leq q_j - \tilde{\Psi}_j, \quad j = 1 \div M, \quad (11)$$

$$0 \leq E_i \leq E_i^0, \quad i = 1 \div N, \quad (12)$$

где: q_j - предельно допустимые нормы концентрации ЗВ в зоне G_j .

Решение задачи позволяет дать верхнюю оценку интенсивности источников ЗВ.

Представленные выше модели реализованы в программном комплексе, основными компонентами которого являются:

- геоинформационная база данных г. Таганрога (рельефная карта города с шагом сетки 5 м., идентифицированными участками дорог и расположениями строений);
- параллельная программа моделирования поля скоростей ветровых течений в пределах городской застройки и распространения ЗВ;
- параллельная программа оценки количества выбросов от автотранспорта на основе решения сопряженной задачи;
- модуль отображения (визуализации) процесса моделирования.

Программный комплекс позволяет исследовать зависимость концентрации ЗВ, степень и размеры зоны поражения от интенсивности движения автотранспорта, состава транспортного потока, параметров автомагистрали, климатических и метеорологических факторов. При этом учитывается влияние рельефа местности и городской застройки. Результаты моделирования отражают динамическую картину степени загрязнения атмосферного воздуха в виде профилей концентрации ЗВ с привязкой к геоинформационной карте. Это позволяет просматривать процесс расчета в реальном времени на рельефной карте города.

В заключение следует отметить, что комплекс может также использоваться для установления норм выбросов от источников так, чтобы они могли удовлетворять допустимым нормам качества окружающего атмосферного воздуха в контролируемом районе.

Литература

1. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнений атмосферы Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 271с.
2. Колдоба А. В., Повещенко Ю. А., Самарская Е. А., Тишкин В. Ф. . Методы математического моделирования окружающей среды М.: Наука, 2000. 254с.
3. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды М.: Наука, 1982. 319с.
4. Корнеев В. В. Параллельные вычислительные системы М.: Ноледж, 1999. 320с.
5. Луканин В. Н., Буслаев А. П., Яшина М. В. Автотранспортные потоки и окружающая среда – 2: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. В. Н. Луканина. – М.: ИНФРА-М, 2001. 646с.
6. Методика расчетов выбросов в атмосферу загрязняющих веществ автотранспортом на городских магистралях. -М.: НИИАТ, 1997. 54 с.
7. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2000. 779 с.

Метод определения тягово-скоростных и топливно-экономических качеств автомобиля с двухпоточной гидромеханической передачей фирмы "Voith"

к.т.н., проф. Селифонов В.В., Ву Туан Ань
МГТУ «МАМИ».

В настоящее время в России в большом объеме выпускаются городские автобусы с двухпоточными гидромеханическими передачами "VOITH". Однако известные в литературе методики расчета тягово-динамических и топливно-экономических качеств автомобиля для полнопоточной гидромеханической передачи оказываются некорректными для определения этих качеств в случае установки на автомобиль двухпоточной дифференциальной гидромеханической передачи с использованием в одном из звеньев дифференциала гидротрансформатора. В работе обоснована и изложена методика расчета перечисленных качеств автомобилей с двухпоточными гидромеханическими передачами.

На рис. 1 и 2 приведены конструкция гидромеханической передачи "VOITH" и ее кинематическая схема.