

УДК 004.94

ПОСТРОЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ ИЗМЕНЕНИЯ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Морозов Д. А., Стуров Д. А.

ВолгГТУ «Волгоградский государственный технический университет», (400005, Россия, г. Волгоград, пр. Ленина 28), mdmaoff@gmail.com

Моделирование выбросов вредных веществ в атмосферу промышленными предприятиями требует значительных вычислительных ресурсов. При этом точность вычислений обусловлена размерностью используемой сетки. Предложена разностная схема для решения данной задачи. Для более эффективного использования вычислительных ресурсов предприятия предложена архитектура программного комплекса, который позволит решать данную вычислительную задачу с большей эффективностью и точностью. Проведен анализ потоков данных при решении данной задачи при помощи распределенных систем. Данное решение позволит производить одновременный расчет нескольких сценариев изменения погодных условий, таких как скорость и направление ветра, задействовав дополнительные вычислительные узлы. Предлагается делегировать каждому узлу решение данной задачи при определенных погодных условиях, данное решение будет визуализироваться на центральном узле.

Ключевые слова: моделирование выбросов вредных веществ, параллельные вычисления, распределенные системы.

BUILDING A SCENARIOS FOR WEATHER CHANGES IN DISTRIBUTED SYSTEM OF ENVIRONMENTAL MONITORING

Morozov D. A., Sturov D. A.

VSTU «Volgograd State Technical University» (400005, Russia, Volgograd, Lenin avenue 28), mdmaoff@gmail.com

Modelling of pollutant emissions into the atmosphere by industrial enterprise requires considerable computational resources. The accuracy of the calculations due to the dimension of the grid used. The finite-difference scheme is proposed for solving this problem. For more efficient use of computing resources of the enterprise software system architecture is proposed which enables to solve a given computational task with greater efficiency and accuracy. The analysis of the data flow in the solution of this problem with distributed systems. This solution will produce a simultaneous calculation of several scenarios of changing weather conditions such as wind speed and direction, utilizing additional computational nodes. It is proposed to delegate to each node solution to this problem under certain weather conditions, this decision will be rendered at the central site.

Key words: modeling of pollutant emissions, parallel computing, distributed systems.

Введение

На промышленных предприятиях неизбежно происходят выбросы вредных веществ, распространение которых зависит от многих факторов и контролируется как внешними экологическими службами, так и внутренними службами предприятия. Локализация области загрязнения является очень важной задачей.

Постановка задачи

Необходимо рассчитать в трехмерном пространстве распространение выбросов с течением времени.

Входные данные:

- 1) направление ветра по розе ветров;
- 2) давление воздуха;
- 3) температура воздуха;
- 4) данные для расчета концентрации (количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу и т.д.);
- 5) координаты выброса.

Выходными данными является величина концентрации вредных веществ во всех точках пространства в определенные моменты времени.

При решении данной задачи с помощью распределенной системы была выбрана архитектура, при которой каждый вычислительный узел рассчитывает матрицу концентраций со своими входными параметрами [5]. В рамках данной работы необходимо определить входные параметры дополнительных вычислительных узлов и схему их взаимодействия.

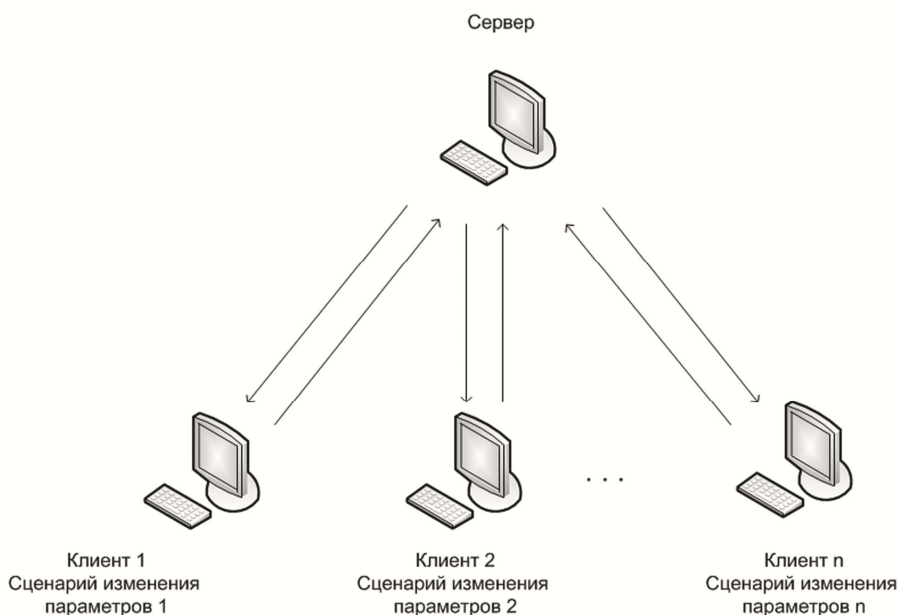


Рис. 1. Архитектура системы

Разностная схема

Схема Куранта – Изаксона – Риса (КИР). Обобщение схем КИР на квазилинейный случай (при использовании дивергентной формы записи уравнения Хопфа):

$$\frac{u_m^{n+1} - u_m^n}{\tau} + \frac{f_{m+1}^n - f_m^n}{h} = 0, u_m^n < 0,$$

$$\frac{u_m^{n+1} - u_m^n}{\tau} + \frac{f_m^n - f_{m-1}^n}{h} = 0, u_m^n > 0,$$

где u – искомая функция концентрации, $f = u^2/2$ – функция, описывающая источник дыма, τ – шаг по времени, h – шаг в пространстве.

Схема устойчива при выполнении условия Куранта:

$$\frac{\tau}{h} \max_m |u_m^n| \leq 1 \quad (\text{если условие не выполняется, решение может не сойтись})$$

Вследствие перегретости, примесь в начальной фазе своего распространения обладает восходящей скоростью, но эта начальная фаза непродолжительна, т. к. под действием турбулентности температуры частиц примеси и воздушной среды быстро выравниваются. Точно учесть указанный эффект чрезвычайно трудно, так как пришлось бы решать совместно уравнения диффузии и свободной конвекции частиц газа. Однако даже при значительных перегревах газа этот эффект можно учесть приближенно, заменяя реальный источник примеси геометрической высоты H фиктивным, несколько приподнятым источником, высота которого ΔH [1].

Существует большое количество полуэмпирических и эмпирических формул, предложенных разными авторами для определения ΔH . По проведенным оценкам [3] наиболее приемлемо ΔH определяется для нейтральной стратификации атмосферы по формулам Пристли, Спэра, Берлянда, Дановича – Зайгеля. В связи со сказанным для определения начального подъема ΔH газовой струи была выбрана следующая полуэмпирическая формула [4]:

$$\Delta H = \frac{1,5w_0R_0}{u} \left(2,5 + \frac{3,3gR_0\Delta T}{T_a u^2} \right),$$

где T_g, T_a – соответственно температуры выбросов газа и окружающего воздуха по абсолютной шкале, w – начальная скорость выброса газов, R – радиус устья трубы, g – ускорение свободного падения, u – скорость ветра на высоте флюгера.

Рассчитываем ΔH , это фактически расстояние, на котором газ остынет и начнёт опускаться. Значит, вокруг трубы можно выделить сферу радиуса ΔH с вертикальными скоростями направленными вверх, причём в центре сферы скорость подъёма равна начальной скорости газа, а на границах нулю.

Учёт ландшафта осуществляется вследствие введения новой системы координат:

$$z' = \frac{z - f(x, y)}{H - f(x, y)} H$$

$$y' = y$$

$$x' = x,$$

где H – верхняя граница расчёта, $f(x,y)$ – функция высот ландшафта.

В такой системе координат ландшафт должен быть гладким, производная должна быть монотонной, иначе в местах перепадов не будет выполняться условие Куранта, и решение может расходиться. А на гладких ландшафтах учёт ландшафта не заметен [2].

Построение программного комплекса

Распараллеливание решения данной задачи на несколько вычислительных узлов нерационально, поэтому необходимо определить, как можно использовать дополнительные вычислительные узлы. Представляется перспективным использование данных узлов для расчета различных сценариев развития погодных условий.

При этом программный комплекс состоит из двух частей: часть, осуществляющая визуализацию результатов в 3D и 2D, и часть, которая управляет вычислениями на других узлах и предоставляет данные другой части. Схема потоков данных представлена на рисунке 3.

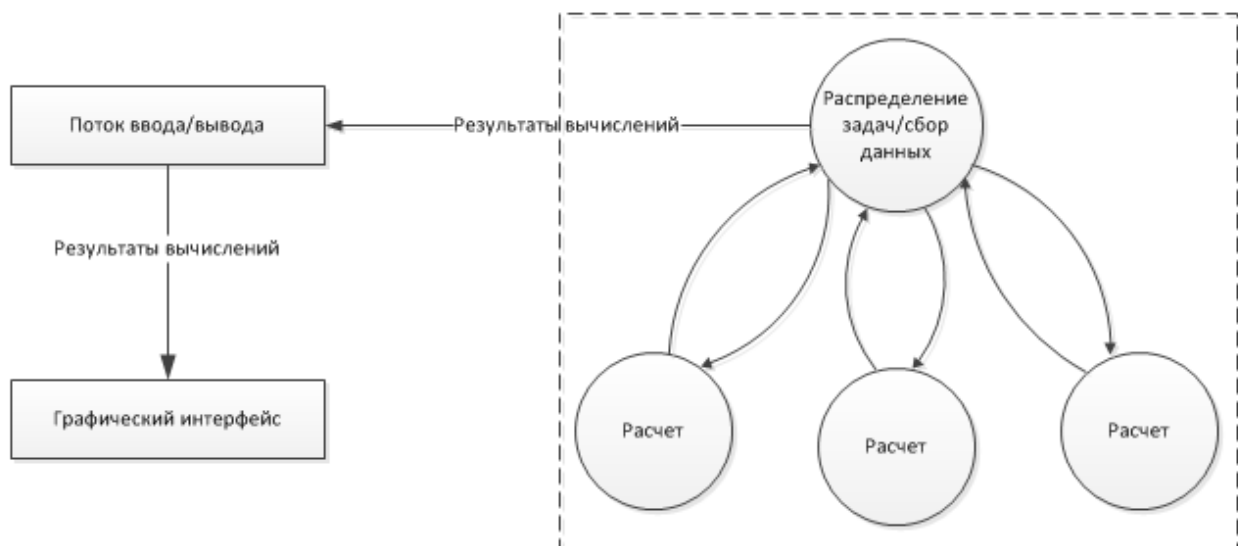


Рис. 3. Схема потоков данных

Построение сценариев

Построение разных сценариев развития погодных условий, помимо непосредственного задания пользователя, может осуществляться с помощью нескольких способов:

1. Моделирование гидротермодинамики атмосферных процессов.
2. Использование внешних прогнозов (прогнозов внешних служб).
3. Построение оптимистичных и пессимистичных сценариев исходя из начальных параметров.

Моделирование гидротермодинамики атмосферных процессов осуществляется с использованием разностных схем для вычисления каждого из параметров, вычислительная сложность данной задачи соизмерима с задачей решаемой нами, при этом точность моделирования может быть недостаточно высокой. Для получения адекватной модели изменения погодных условий могут понадобиться вычислительные ресурсы, превосходящие ресурсы, необходимые для решения поставленной задачи.

Для использования прогнозов внешних метеорологических служб необходимо скоростное соединение с данными службами, также необходимо учитывать тот факт, что прогноз может быть неточным из-за особенностей расположения рассчитываемой местности и один из ключевых параметров, например, скорость и направление ветра, может меняться.

Построение наиболее оптимистичного прогноза погодных условий, а соответственно наиболее оптимистичного сценария распространения вредных веществ, предполагает следующие погодные тенденции:

- 1) уменьшение скорости ветра;
 - изменение направления ветра на противоположное направление городу;
 - изменениями остальных параметров в данной задаче можно пренебречь.

Соответственно, наиболее пессимистичному сценарию распространения вредных веществ соответствуют следующие погодные условия:

- 1) увеличение скорости ветра;
- 2) изменения направления ветра на направление к городу.

Использование вышеописанные сценариев было реализовано на языке C++ с применением технологии OpenMP. Результаты приведены в таблице 1 (замеры производились при размерах вычислительной сетки 300x300x100). Полученные результаты показывают, что учет динамики погодных условий значительно повышает время моделирования процесса распространения вредных веществ, но при этом полученные значения времени расчета результатов моделирования позволяют осуществлять моделирование с визуализацией в режиме реального времени.

Таблица 1

Учет динамики погодных условий	Время выполнения на одноядерном процессоре, с	Время выполнения на двухъядерном процессоре, с	Время выполнения на четырехъядерном процессоре, с
Без учета динамики погодных условий	0,8691	0,4401	0,2308
С учетом динамики погодных условий	1,986929	1,212292	1,010213

Заключение

Таким образом, учет погодных условий позволяет строить более точные модели распространения вредных веществ в атмосфере, при этом время моделирования, при наличии достаточных вычислительных ресурсов, остается в приемлемых рамках для визуализации в режиме реального времени.

Список литературы

1. Алексеев В. А. Адаптивный экологический мониторинг окружающей среды / В. А. Алексеев, А. В. Арефьев // Экология и промышленность России. – 2003. – № 10. – С. 11-13.
2. Алоян А. Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201 с.
3. Бем Б. Результаты экспериментального исследования дымовых струй от тепловых электростанций // Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы. – Л.: ГИМИЗ, 1971 – С.44-48.
4. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
5. Морозов Д. А. Использование распределенных систем при решении задачи моделирования распространения вредных выбросов в атмосфере / Д. А. Морозов, Д. А. Стуров // ФЕН-НАУКА. – 2012. – №3. – С. 12-14.

Рецензенты:

Лукьянов В. С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «ЭВМ и системы», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.

Камаев В. А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «САПР и ПК», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.

Антонов Александр Владимирович, д.т.н., профессор, декан факультета «Кибернетики»
Обнинского института атомной энергетики Национального исследовательского ядерного
университета МИФИ Министерства образования и науки Российской Федерации,
г. Обнинск.