

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

А.Н. Смагин, Т.В. Завадская, Д.В. Надеев
Донецкий национальный технический университет

Розглянуто питання побудови паралельних моделей промислових шахтних вентиляційних мереж на прикладі шахти ім. О.Ф. Засядько і шахти Південно-Донбаська №3. Приведені основні компоненти паралельної моделі ШВС.

Промышленные шахтные вентиляционные сети (ШВС) относятся к сложным объектам управления и обладают: большой размерностью; многосвязностью физических контролируемых и регулируемых параметров; иерархичностью расположения регулирующих органов; нелинейностью аэродинамических характеристик вентиляторов и выработок; распределенностью параметров выработок и выработанных пространств; сильной взаимосвязью между аэро- и газодинамическими переходными процессами; наличием стохастических и детерминированных возмущений. Вся эта сложность ведет к необходимости разработки эффективной параллельной модели ШВС.

Рассмотрим построение параллельной модели на примере двух шахт – шахты им. А.Ф. Засядько и шахты Южно-Донбасской №3.

Характеристики ШВС исследуемых шахт:

1. Шахта им. А.Ф. Засядько. Шахтное поле вскрыто 9 вертикальными стволами: 5 стволов с вентиляторами главного проветривания; 4 воздухоподающих ствола. Граф ШВС состоит из 650 ветвей и 428 узлов.

2. Шахта Южно-Донбасская №3. Шахтное поле вскрыто 5 вертикальными стволами: 2 ствола с вентиляторами главного проветривания; 3 воздухоподающих ствола. Граф ШВС состоит из 567 ветвей и 366 узлов.

Анализ ШВС показал, что аспект сложности заключается в формальном описании, представленном топологической частью и математическим описанием динамики процессов [1,2] (рис.1).

Работа с параметрами, топологическими характеристиками является трудоемкой и требует компьютерной поддержки. Системы уравнений промышленных ШВС имеют большой размер, их запись вручную может сопровождаться неизбежными ошибками.

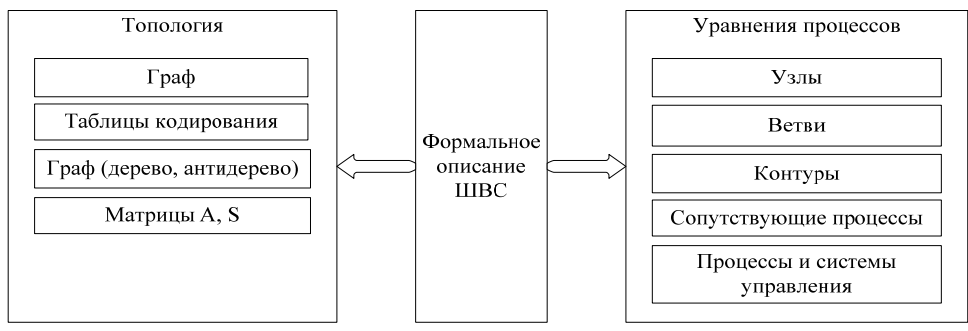


Рис. 1. Формальное описание ШВС

Задача автоматического формирования и преобразования уравнений к форме, удобной для численного решения, является актуальной и необходимой. В связи с выше сказанным предлагается структура параллельной модели ШВС, представлена на рис.2.

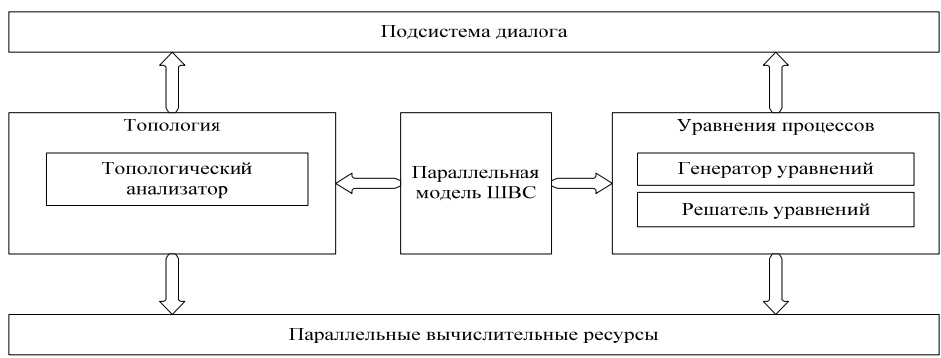


Рис. 2. Структура параллельной модели ШВС

Топологический анализатор (ТА) выполняет следующие функции: кодирование топологии, разбиение графа ШВС на подграфы, определение дерева и антидерева графа, перекодирование топологии относительно найденного дерева и антидерева, построение топологических матриц инцидентий A и независимых контуров S . Структура топологического анализатора, функционирующего в составе программной параллельной модели ШВС, представлена на рис. 3.

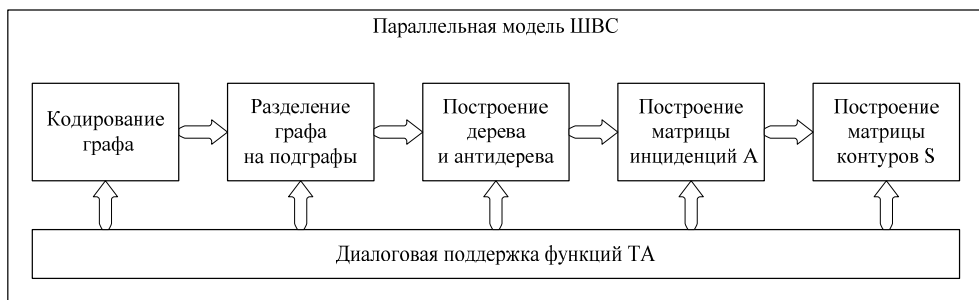


Рис. 3. Структура топологического анализатора параллельной модели ШВС

Топология сетевых объектов представляется ориентированными графами $G(U, V)$, которые кодируются следующими массивами: АКЖ, ЕКК, QI, PAR, КОМ, где АКЖ, ЕКК – номера начальных и конечных узлов ориентированных ветвей; QI – номера ветвей; PAR – параметры ветвей, такие как R – аэродинамическое сопротивление выработки, $H \cdot c^2 / m^8$; F – площадь сечения ветви, m^2 ; L – длина ветви, м; КОМ – комментарии; $|V|=m$ – количество ветвей, $|U|=n$ – количество узлов.

Генератор уравнений (ГУ) играет важную роль в построении параллельной модели ШВС. Алгоритм генерирования систем уравнений аэродинамики ШВС [3] строится на векторно-матричных операциях над параметрическими матрицами, которые сформированы топологическим анализатором. ГУ использует дерево и антидерево графа сетевого объекта с подвекторами потоков $X = (X_1, X_2, \dots, X_{n-1})^T$, $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_{m-n+1})^T$, которые принадлежат вектору Q :

$$Q = \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} \quad (1)$$

матрицы инциденций A и независимых контуров S , упорядоченные относительно подвекторов X, Y :

$$A = (A_X A_Y) \quad (2)$$

$$S = (S_X S_Y) \quad (3)$$

таблицы исходных данных, в которых матрицы R, K и вектор H структурируются по X, Y :

$$R = \begin{pmatrix} R_X & 0 \\ 0 & R_Y \end{pmatrix}, \quad K = \begin{pmatrix} K_X & 0 \\ 0 & K_Y \end{pmatrix}, \quad H = (H_X H_Y).$$

Система уравнений аэрогазодинамики сети представляется следующим образом [3]:

$$\begin{cases} AQ = 0 \\ SK \frac{dQ}{dt} + SRQ^2 = SH \end{cases} \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A \frac{dQ_M}{dt} + Q_M = Q_{0M} + BR_\phi \frac{dQ^2}{dt} \\ Q_y = (1 - K_\delta) Q \\ V_{ny} \frac{dC_y}{dt} = Q_M - (Q_y + Q_M) C_y \\ Q_l = K_\delta Q \\ V_l \frac{dC_l}{dt} = Q_{Ml} - (Q_l + Q_{Ml}) C_l \\ Q_{Mld} = (Q_l + Q_{Ml}) C_l \\ Q_{Ml} = (Q_y + Q_M) C_y \\ V_{ul} \frac{dC}{dt} = Q_{Mld} + Q_{Md} - (Q + Q_{Mld} + Q_{Md}) C \end{array} \right. \quad (5)$$

Упорядочив по X, Y диагональные матрицы параметров сетевых объектов, исходное уравнение для аэродинамики (4) можно разрешить относительно векторов X и $\frac{dY}{dt}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} X = -W \cdot Y \\ \frac{dY}{dt} = TP \cdot H - RU \cdot Z \end{array} \right. \quad (6)$$

Алгоритм генерирования этих систем выражается с помощью операций над матрицами $A_x, A_y, S_x, S_y, K_x, K_y, R_x, R_y, S, R, A, V_{ny}, V_l, V_{ul}$.

Компоненты векторов $H = (H(X), H(Y))$ являются функциями динамических процессов, которые вычисляются в итерационном цикле решателя уравнений. Результатом генерирования уравнений будут топологические матрицы:

$$\begin{aligned} TP &= (S_y K_y - S_x K_x W)^{-1} \cdot S \\ RU &= (S_y K_y - S_x K_x W)^{-1} \cdot S \cdot R \\ W &= A_x^{-1} \cdot A_y \\ A^{-1} &, V_{ny}^{-1}, V_l^{-1}, V_{ul}^{-1} \end{aligned} \quad (7)$$

Процесс построения параллельных решателей уравнений (РУ) [4] можно разделить на два этапа: построение виртуальных параллельных моделей ШВС и девиртуализация последних. Под виртуальной будем понимать модель, в которой выделены параллельно функционирующие, относительно независимые процессы, которые совместно могут обеспечить решение задачи. Девиртуализацией назовем процесс отображения виртуальных моделей [4] на целевой параллельный вычислительный ресурс, т.е. ту вычислительную

систему, которая есть в распоряжении пользователя. Девиртуализация параллельных моделей состоит из следующих этапов: априорная оценка виртуальной модели с учетом балансировки загрузки и обмена данными, объединение виртуальных процессов с целью выравнивания загрузки и уменьшения обмена данными, анализ характеристик параллельного вычислительного ресурса (ПВР), программная реализация виртуальной модели в условиях выбранного ПВР. Для девиртуализации РУ применяются методы равномерного распределения и метод равномерного распределения по ветвям антидерева [4]. С помощью параллельных моделей ШВС можно решать ряд задач расчетов воздухораспределения и управления проветриванием. Воздухораспределение в ветвях ШВС представляется подсистемой визуализации.

Модели ШВС шахт им. Засядко и Южно-Донбасской №3 апробированы на тестовых кластерах кафедры КИ и параллельном вычислительном ресурсе NEC SX8 вычислительного центра Штутгартского университета. Доступ к удаленным параллельным ресурсам осуществляется только через сервер кафедры «Компьютерная инженерия» cs.dgtu.donetsk.ua. Это сделано для упрощения организации доступа и обеспечения безопасности работы с удаленными параллельными ресурсами.

Полученные результаты моделирования расходов воздуха в установившемся режиме с точностью 2,5% совпадают с результатами депрессионной съемки служб ВТБ шахт им.Засядко и Южно-Донбасской №3.

Выводы

Параллельные модели могут решить ряд проблем и задач, связанных с управлением таким объектом, как промышленные шахтные вентиляционные сети. Параллельные модели могут применяться в сервисном центре шахты для организации тренажеров для горных инженеров службы ВТБ и студентов.

Библиографический список

1. Абрамов Ф.А., Фельдман Л.П., Святный В.А. Моделирование динамических процессов рудничной аэрологии. Киев, Наукова думка, 1981г, 283с.
2. Святный В.А. Проблеми параллельного моделювання складних динамічних систем.- Наукові праці ДонДТУ, серія ІКОТ, вип. 6, Донецьк, 1999, с. 6-14.
3. Святный В.А. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук (на правах рукописи) / Донецк, ДПИ, 1985.
4. Святный В.А., Смагин О.М., Солонін О.М. Методи розпаралелювання вирішувача рівнянь MIMD-моделі мережних динамічних об'єктів, Наукові праці ДонДТУ, Серія «ІКОТ», вип. 70, 2003. – С. 20–29.