

А.Н. Смагин, Т.В. Завадская, Д.В. Надеев (ассистенты)

Донецкий национальный технический университет

smagin@cs.dgtu.donetsk.ua

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрен вопрос построения параллельных моделей промышленных шахтных вентиляционных сетей на примере шахты им. А.Ф. Засядько и шахты Южно-Донбасской №3. Описаны основные компоненты параллельной модели ШВС.

Граф, матрица, сетевой объект, модель, шахта, расход воздуха

Введение

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

Шахта им. А.Ф. Засядько	Шахта Южно-Донбасской №3
Шахтное поле вскрыто 9	Шахтное поле вскрыто 5
вертикальными стволами: 5 стволов	вертикальными стволами: 2 ствола с
с вентиляторами главного	вентиляторами главного
проветривания; 4 воздухоподающих	проветривания; 3 воздухоподающих
ствола. Граф ШВС состоит из 650	ствола. Граф ШВС состоит из 567
ветвей и 428 узлов и представлен на	ветвей и 366 узлов и представлен на
рис 1.	рис 2.

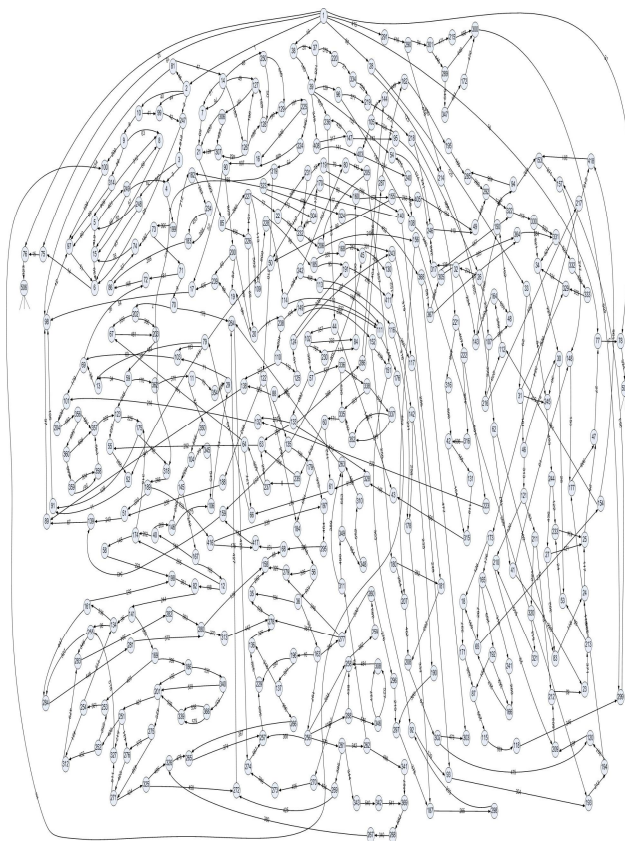


Рисунок 1 - Граф ШВС шахты им. А.Ф. Засядько

Рисунок 2 - Граф ШВС шахты Южно-Донбасской №3

Структура параллельной модели ШВС

Анализ ШВС показал, что аспект сложности заключается в формальном описании, представленном топологической частью и математическим описанием динамики процессов [1,2] (рис.3).

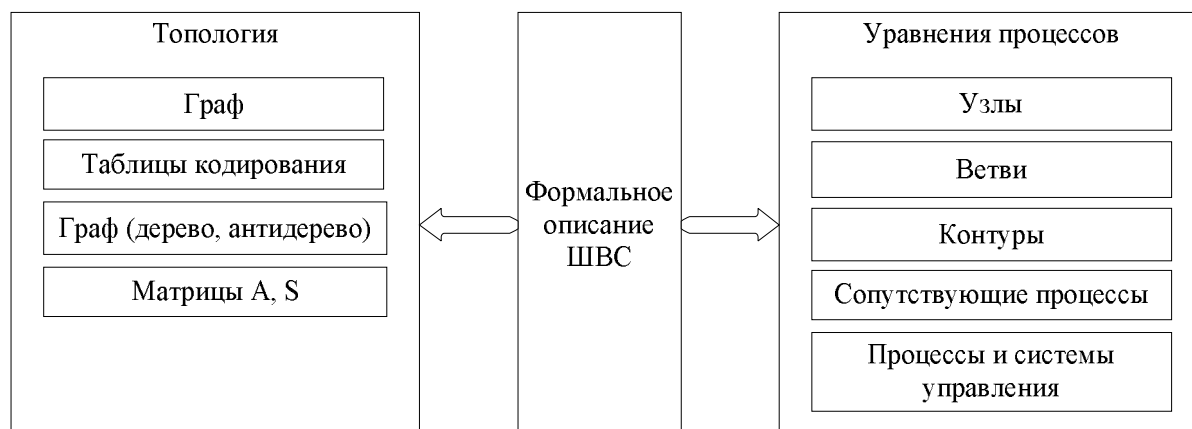


Рисунок 3 – Формальное описание ШВС

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. 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.4).

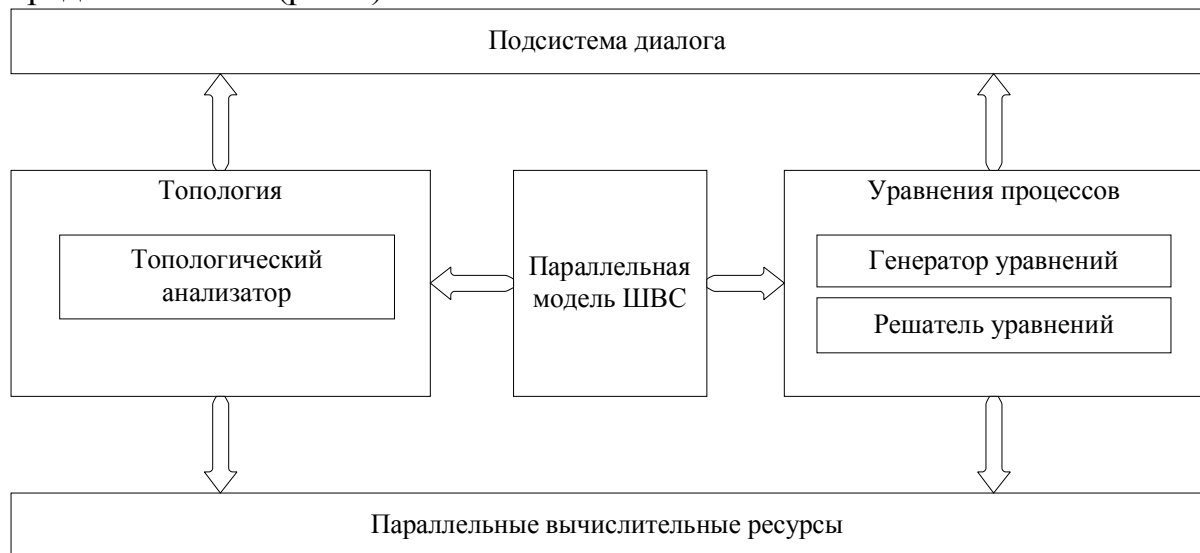


Рисунок 4 – Структура параллельной модели ШВС

Топологический анализатор

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. 5.

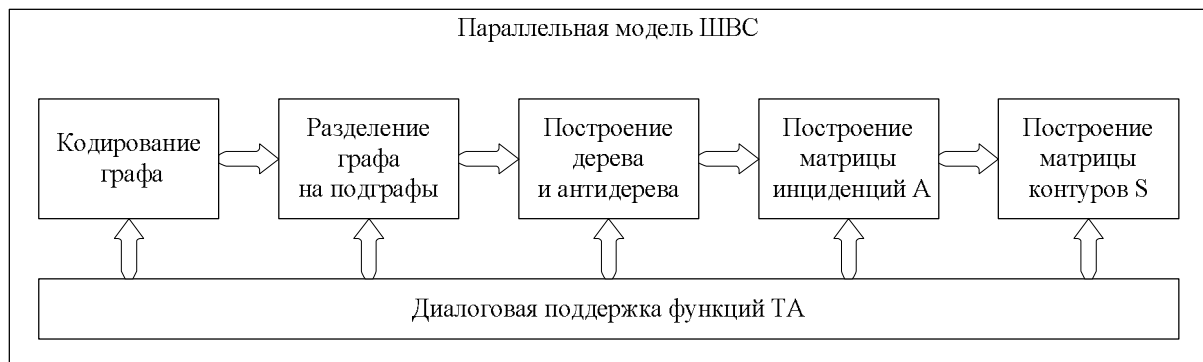


Рисунок 5 – Структура топологического анализатора параллельной модели ШВС

Топология сетевых объектов представляется ориентированными графами $G(U,V)$, которые кодируются следующими массивами: АКЖ, ЕКЖ, QI, PAR, КОМ, где АКЖ, ЕКЖ — 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

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 инцидентий 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]:

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

$$\left\{ \begin{array}{l} A \frac{dQ_M}{dt} + Q_M = Q_{0M} + BR_\phi \frac{dQ^2}{dt} \\ Q_y = (1 - K_\delta) Q \\ V_{ny} \frac{dC_y}{dt} = Q_M - (Q_y + Q_M) C_y \\ Q_L = K_\delta Q \\ V_L \frac{dC_L}{dt} = Q_{ML} - (Q_L + Q_{ML}) C_L \\ Q_{ML\delta} = (Q_L + Q_{ML}) C_L \\ Q_{ML} = (Q_y + Q_M) C_y \\ V_{ui} \frac{dC}{dt} = Q_{ML\delta} + Q_{M\delta} - (Q + Q_{ML\delta} + Q_{M\delta}) C \end{array} \right. \quad (5)$$

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 $A_x, A_y, S_x, S_y, K_x, K_y, R_x, R_y, S, R, A, V_{пу}, V_L, V_{ш}$.

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

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

Решатель уравнений

Процесс построения параллельных решателей уравнений (РУ) [5] 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 [5] 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 [5]. С помощью параллельных моделей ШВС можно решать ряд задач расчетов воздухораспределения и управления проветриванием. Воздухораспределение в ветвях ШВС представляется подсистемой визуализации.

Экспериментальные исследования параллельных моделей промышленных ШВС

Модели ШВС шахт им. Засядко и Южно-донбасская №3 апробированы на тестовых кластерах кафедры КИ и параллельном вычислительном ресурсе NEC SX8 вычислительного центра Штутгартского университета (рис.6).

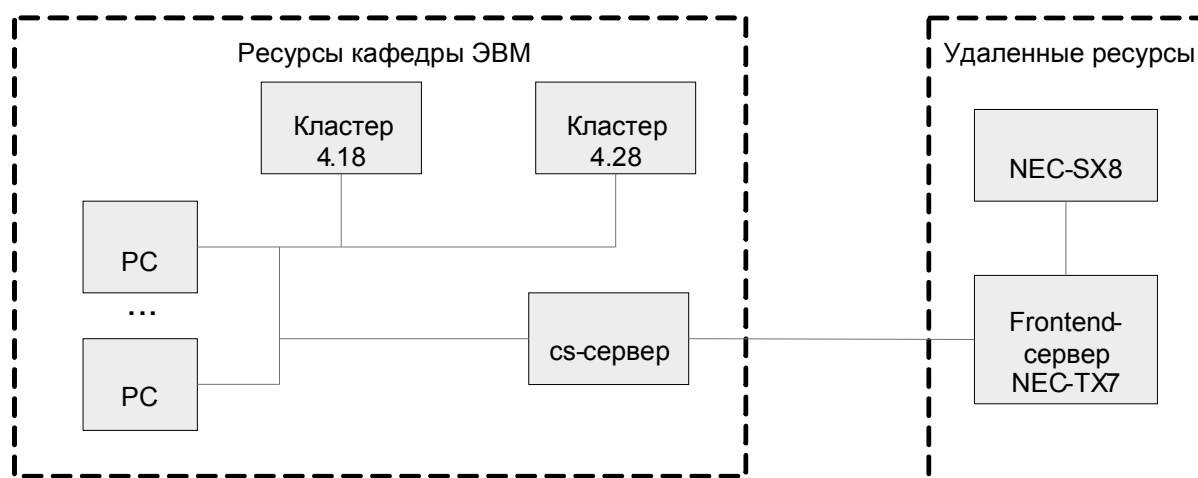


Рисунок 6 – Аппаратные средства симулятора ШВС

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. Таким образом, в начале нужно подключиться с помощью программы-терминала к серверу `cs.dgtu.donetsk.ua` по защищенному протоколу `ssh`. Консольное подключение к `frontend`-серверу (сервер отвечает на запросы пользователя и кэширует информацию) производится с использованием команды `ssh` уже с сервера `cs.dgtu.donetsk.ua`. Далее нужно скопировать входные данные и модули программ с сервера `cs.dgtu.donetsk.ua` на `frontend`-сервер с помощью команды `scp`. С помощью утилиты-компилятора `mpi` необходимо откомпилировать файлы, содержащие код программы в исполняемый модуль. Утилита `mpirun` позволяет запустить откомпилированное приложение, с помощью ключа можно задать необходимое количество процессоров. Если отладочный запуск на `frontend`-сервере прошел успешно, то программу можно в рабочем режиме запускать на ресурсе NEC-SX8. Для этого нужно воспользоваться специальным компилятором `sxmpicc`, чтобы выполнить оптимизацию программы для ресурса NEC-SX8. Для запуска программы на NEC-SX8 необходимо создать `batch`-файл, который необходим для постановки нашей задачи в очередь на выполнение, по указанным директивам в этом файле определяется время запуска и необходимые ресурсы системы. С помощью команды `rsh` подключаемся к NEC-SX8 и запускаем недавно подготовленный `batch`-файл с помощью команды `ksh`. После выполнения задачи необходимо скопировать результаты решения на сервер `cs.dgtu.donetsk.ua` с помощью утилиты `scp`, что позволит полученные данные сделать доступными для дальнейшего их анализа.

Полученные результаты моделирования расходов воздуха (рис.7, рис.8) в установившемся режиме с точностью 2,5% совпадают с результатами депрессионной съемки служб ВТБ шахт им.Засядько и Южно-донбасская №3

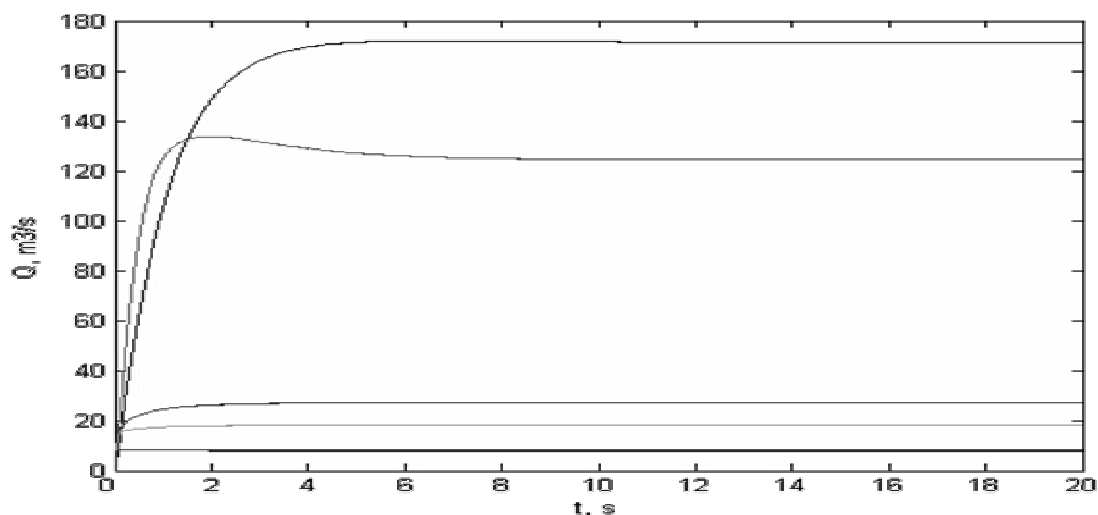


Рисунок 7 – Результаты моделирования естественного воздухораспределения в 5 ветвях ШВС шахты им. А.Ф. Засядько

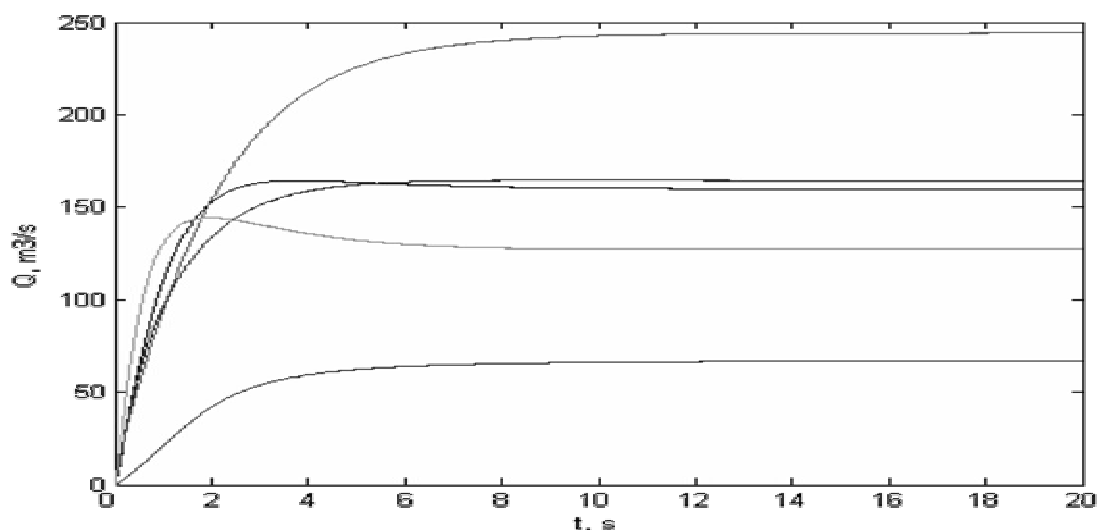


Рисунок 8 – Результаты моделирования естественного воздухораспределения в 5 ветвях ШВС шахты Южно-Донбасской №3

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. Проблемная ориентация параллельных моделей промышленных ШВС выражается в дружественном для пользователя описании объекта моделирования и решаемых задач, в специфическом представлении результатов моделирования, а также в общем формировании интерфейса пользователя.

Литература

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 паралельного 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. Hanf G.: Modellierung und Simulation instantionären Grubenbewetterung auf verteilten Rechnerarchitekturen. VDI Verlag, Düsseldorf, 2002.
5. 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.

Надійшла до редакції 15.01.2010 р.

Рецензент: к.т.н., доц. Іванов І.І.

О.М. Смагин, Т.В. Завадська, Д.В. Надеев
Донецкий национальный технический университет

Моделювання промислових шахтних вентиляційних мереж. 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 ШВМ.

Граф, матриця, мережний об'єкт, модель, шахта, потік повітря

A.N Smagin, T.V Zavadskaja, D.V Nadeev
Donetsk National Technical University

Modeling of industrial mine ventilating networks. Construction of parallel models of industrial mine ventilating networks on an example of A.F.Zasjadko mine and mine South Donbass №3 is considered. The main components of parallel model of mine ventilating networks are described.

Graf, matrix, network object, model, coal mine, air flow