Українська Федерація Інформатики

Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України

Вищий навчальний заклад Укоопспілки
«ПОЛТАВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ»
(ПУЕТ)

ІНФОРМАТИКА ТА СИСТЕМНІ НАУКИ (ІСН-2015)

МАТЕРІАЛИ VI ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА МІЖНАРОДНОЮ УЧАСТЮ

(м. Полтава, 19–21 березня 2015 року)

За редакцією професора О. О. Ємця

Полтава
ПУЕТ
2015

УДК 681.3:004.8:622.867

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫМЫВАНИЯ МЕТАНА С ГОРНОГО МАССИВА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЕГО ПО СИСТЕМЕ ВЫРАБОТОК ШАХТЫ

В. В. Слесарев, *д. т. н, профессор,*
А.В. Миргородский, *аспирант.*
Государственный ВУЗ «Национальный Горный Университет».
mir219292@gmail.com

На практике применяемые в настоящее время схемы вентиляции характеризуются многочисленными комбинациями взаимного расположения выработок и выработанных пространств. Как следствие этого воздушные потоки в выработанных пространствах обладают очень сложной пространственной схемой движения. Поэтому, в большинстве предпринятых до настоящего времени, исследованиях при количественной оценке параметров потока наблюдалось стремление какими-либо путями избавиться от их пространственного характера и привести их к – одномерным решениям. Достаточно легко к одномерным потокам приводятся потоки в выработанных пространствах при сплошной системе разработки и в выработанных пространствах шахт и рудников с аэродинамической связью с поверхностью через зоны обрушения. Однако в большей части схем вентиляции пренебрежение трехмерным характером фильтрационных потоков при решении практических задач недопустимо.

С учетом ограничения из условия устойчивости по времени моделирование движения газа в подобной области потребует существенных затрат времени. В связи с этим, весьма актуальным становится применение для решения данной задачи параллельных технологий программирования и современной многопроцессорной техники.

Интегральные законы сохранения массы, импульса и энергии, применяемые в теории фильтрации газов и жидкостей, имеют следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\Omega}\rho\varepsilon d\Omega+\int_{\Omega}\rho\varepsilon(\vec{u}\times\vec{n})d\sum=0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\Omega}\rho\varepsilon\vec{u}d\Omega+\int_{\Sigma}\varepsilon[p\vec{n}+\rho\vec{u}(\vec{u}\times\vec{n})d\Sigma=$$

$$=\int_{\Omega}\overrightarrow{F_c}d\Omega+\int_{\Omega}pgrad\,\varepsilon d\Omega+\int_{\Omega}\rho\varepsilon\vec{g}d\Omega;$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\Omega}\rho\varepsilon(e+\frac{|\overrightarrow{u}|^2}{2})d\Omega+\int_{\Sigma}\rho\varepsilon(e+\frac{p}{\rho}+\frac{|\overrightarrow{u}|^2}{2})(\vec{u}\times\vec{n})d\Sigma=\int_{\Omega}\rho\varepsilon(\vec{u}\times\vec{g})d\Omega;$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\Omega}\varepsilon\rho c d\Omega+\int_{\Sigma}\varepsilon\rho c(\vec{u}\times\vec{n})d\sum=0;$$

$$\overrightarrow{F_c}=-(\frac{150\eta u(1-\varepsilon)^2}{d^2\varepsilon^3}+\frac{1,75\rho u^2(1-\varepsilon)}{d\varepsilon^3}), \qquad (1)$$

где p – давление; ρ – плотность; $\vec{u}$ – скорость; $\vec{g}$ – ускорение свободного падения; $\vec{n}$ – вектор единичной нормали; $\vec{\varepsilon}$ – пористость обрушенных пород; e – удельная внутренняя энергия: F_c – объёмная сипа сопротивления пористой среды. Из ряда предположений и представления о физической картине процесса метан, находящийся над пластом угля, через образующиеся трещины в кровле, начинает выделяться в выработанное пространство по следующей эмпирической зависимости:

$$q=a(b+x)e^{yx} \qquad (2)$$

где x – расстояние рассматриваемого участка от линии забоя, применяемое при расчетах распределения интенсивности выделения метана в шахтах.

Опираясь только на известные значения $a_0,b_0.y_0$ при некоторой определенной скорости 30 ($\vec{u}$ =30), можно пересчитать эти коэффициенты для любой скорости движения очистного забоя. Итоговая формула имеет вид:

$$q = \frac{a_0}{\overrightarrow{u_3}}(b_0 \overrightarrow{u_3} + x)e^{\frac{y_0 x}{\overrightarrow{u_3}}}, \qquad (3)$$

где $\overrightarrow{u_3} = u_3 / u_{30}$.

Для решения задачи нестационарной газовой динамики в выработках рассматриваются простейшие одномерные уравнения. Так как со стенок канала может поступать метан, то используются уравнения с учетом потока массы и энергии со стенок канала:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial \rho S}{\partial t} + \frac{\partial \rho S u}{\partial x} = \Pi m^*; \\
&\frac{\partial \rho S u}{\partial t} + \frac{\partial \rho S u^2}{\partial x} + S\frac{\partial p}{\partial x} = \Pi \tau_W - \rho S g \sin\beta; \\
&\frac{\partial \rho S(e + \frac{u^2}{2})}{\partial t} + \frac{\partial \rho S u(e + \frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2})}{\partial x} - \Pi m^* H - \\
&-\Pi \alpha (T - T_{cm}) - \Pi \varepsilon C_s T^4 - \rho S u g \sin\beta,
\end{aligned} \qquad (4)$$

где T – температура газа, T_{cm} – температура стенки, m – массовый приток метана с единицы поверхности стенки, H – энтальпия единицы массы притока, S – площадь сечения выработки, Ï – периметр сечения канала, β – угол наклона выработки к горизонту, α – коэффициент теплоотдачи, g – ускорение свободного падения, ε – степень черноты, τ_W – напряжения трения на границе выработки, C_S – постоянная Стефана-Больцмана.

Методы распараллеливания решения задач в выработанном пространстве и в сети горных выработок предоставлен совместно с математической моделью нестационарных процессов в пересечениях выработок.

Сеть каналов с выработанным пространством представляет собой разобщенную систему, которую удобно реализовать для целевых систем с общей памятью с помощью расширения языка Open MP. Величина ускорения на двуядерном CPU может составить 1,6. При сохранении показателя эффективности на четырех ядерном CPU вполне достижимо 3-хкратное ускорение.

Теоретическое обоснование процедуры ускорения численного расчета на модельной задаче о фильтрации газа через пористую среду на базе одномерных уравнений газовой динамики основывается на вытеснении из пористого канала, заполненного метаном, небольшой концентрации попавшего в него воздуха. Линеаризованные уравнения для давления p в процессе вытеснения приводятся к виду:

$$\frac{kL}{\rho_0 \varepsilon \alpha_0}(\frac{u_0}{\alpha_0})\frac{\partial p}{\partial t} - \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 1 - \overline{\varphi_t}(x,t). \qquad (5)$$

Решив полученное уравнение (5) с граничными условиями $\frac{\partial p}{\partial x} = 0$ при $x = 0$ и $p = p_\alpha$ при $x = L$ придём к выражению для безразмерного вектора давления $\overline{\partial}$:

$$\overline{p}(x,t) = \int_x^1 \int_0^\eta [1 - \varphi_t(\xi,t) d\xi d\eta - \sum_{k=0}^\infty \frac{B_k(0)}{A\lambda_k} \cos\{(\frac{1}{2} + k)\pi x\} e^{-A\lambda t}, (6)$$

для решения, которого можно записать итерационный процесс в форме:

$$\begin{aligned} \overline{p}(x,t+\Delta t) - \overline{p}(x,t) = -\int_x^1 \int_0^\eta [\varphi_t^*(\xi,t]\Delta t d\xi d\eta + \\ + \sum_{k=0}^\infty \frac{B_k(0)}{A\lambda_k} \cos\{(\frac{1}{2} + k)\pi x\} e^{-A\lambda_t \Delta t}[1 - e^{-A\lambda_t \Delta t}] \end{aligned} \qquad (7)$$

Второе слагаемое содержит экспоненциальную часть $e^{-A\lambda_t}[1 - e^{-A\lambda_t \Delta t}]$, причём найдется такое значение t, начиная с которого данное произведение начнет быстро убывать. Скорость убывания будет довольно велика, приняв во внимание оценку величины $A\lambda_k \approx 10^3$. Такое поведение быстро нивелирует воздействие второго слагаемого в (6), приводя к квазистационарному решению.

Линеаризованные уравнения для давления в процессе вытеснения приводятся к итерационной форме вида: $Nu^n = Nu_N^n \pm Nu_F^n$.

Для решения задачи нестационарной газовой динамики в горных выработках рассматриваются простейшие квазиодномерные уравнения. Так как со стенок канала может поступать метан, то используются уравнения с учетом потока массы и энергии со стенок канала. Такие уравнения давно применяются во внутренней баллистике канальных зарядов.

Далее, прибегая к работам А.Н. Крылова, приводится более точная интерпретация возможности увеличения шага по времени. Рассматривая уравнение (7) лишь без последнего слагаемого в правой части и приходя к выводу, что практически следует вводить больший шаг при значительном затухании нелинейных колебательных процессов газовой динамики, то есть после получения квазистационарной картины течения газа.

Научная значимость работы заключается в построении физической и математической трехмерной модели нестационарной аэродинамики метано-воздушной среды в обрушенном выработанном пространстве горных выработок шахты.