

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
СОВРЕМЕННОЙ МЕХАНИКИ
СПЛОШНЫХ СРЕД**

**Всероссийская
молодёжная научная конференция**

Томск, 16–19 октября 2010 г.



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2010

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ
ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ****А.В. Астанин, Е.К. Харик**

Рассматривается течение, возникающее при вентиляции горной выработки угольной шахты. Проводится сравнение характера вытеснения метана из отработанного пространства с обрушенными породами и без них.

**MATHEMATICAL MODELING OF MINE WORKING
VENTILATION****A.V. Astanin, E.K. Kharik**

The present research concentrated on the flow, which appears during mine working ventilation. Research studies comparison of the methane extrusion from worked-out area with and without loose rocks.

Каменный уголь остается одним из основных энергоресурсов России, однако угледобыча считается опасным технологичным процессом. Среди способов его добычи наиболее распространенным является угольная шахта. В процессе добычи угля происходит образование выработанных пространств, заполненных обрушенными породами и являющихся основным источником взрывоопасного метана. Для предотвращения взрывов метановоздушных и пылеуглеметановоздушных смесей на шахтах используется сложная система вентиляции, в результате чего метан выбрасывается в атмосферу, хотя его можно эффективно использовать для получения энергии и тепла. Также это будет способствовать улучшению экологической ситуации, так как метан является парниковым газом. Для проведения оценки экономической эффективности таких мероприятий необходимо проанализировать возможные объемы и методы извлечения метана из выработанного пространства.

Введем величину пористости ε , как отношение свободного объема, занимаемого газом, к объему, занимаемому двухфазной средой. Для непрерывно изменяющейся величины свободного проходного сечения для потока газа U вычисляется по формуле $\sigma = \varepsilon S$, где S – площадь суммарного сечения газа и частиц среды.

Обозначив через ρ массу газа в единице свободного объема, а через \mathbf{u} – вектор истинной скорости газовой среды, запишем интегральные законы сохранения массы, импульса, энергии с учетом массовых сил, применяемые в теории фильтрации газов и жидкостей [1, 2]:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \varepsilon d\Omega = \rho \varepsilon (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \varepsilon u d\Omega = - \int_S \rho \varepsilon u (u \cdot n) dS + \int_S p \operatorname{grad} \varepsilon dS + \int_{\Omega} F_c d\Omega + \int_{\Omega} \varepsilon \rho g d\Omega,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \varepsilon (e + 0,5|u|^2) d\Omega + \int_S \rho \varepsilon (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) \left(e + \frac{p}{\rho} + 0,5|u|^2 \right) dS = - \int_{\Omega} \varepsilon \rho g u d\Omega.$$

Уравнение сохранения массы метана запишется в следующем виде:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho_m \varepsilon d\Omega + \int_S \rho_m \varepsilon (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS = 0,$$

где ρ_m – плотность метана.

Поставленная задача решалась численно в трехмерной постановке методом Годунова [3] в декартовой системе координат.

На рис. 1 приведена расчетная область задачи. Она имеет п-образную форму в горизонтальном сечении. Обрушенное пространство (обозначено светло-серым цветом) имеет форму усеченной пирамиды, в основании которой лежит прямоугольник. Сила сопротивления породы (F_c) учитывалась по формуле Эргуна [4].

В начальный момент времени метан ($C_m=1$) задавался в области НК (рис. 2). Внутри области задавалось атмосферное давление на глубине залегания горной выработки. В начальный момент времени оба газа считались неподвижными. На границах I, III, IV, V, VII, VIII, а также на верхней и нижней границах задавались условия непротекания ($(\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) = 0$, где \mathbf{n} – внешняя нормаль к границе). На границе VI задавалось давление, равное давлению в горной выработке, пористость – равной 1 (отсутствие обрушенных пород), для остальных параметров газа ставились мягкие граничные условия. На границе II задавалось повышенное давление (на 6.5 кПа выше, чем в горной выработке), скорость и плотность находились из распада разрыва, для остальных параметров газа ставились мягкие граничные условия.

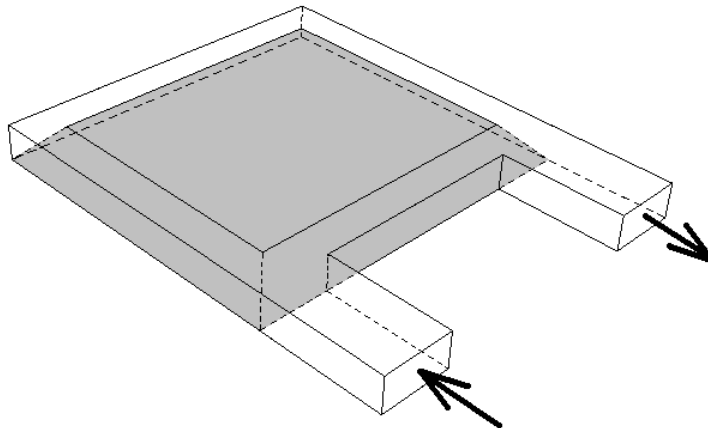


Рис. 1. Расчетная область

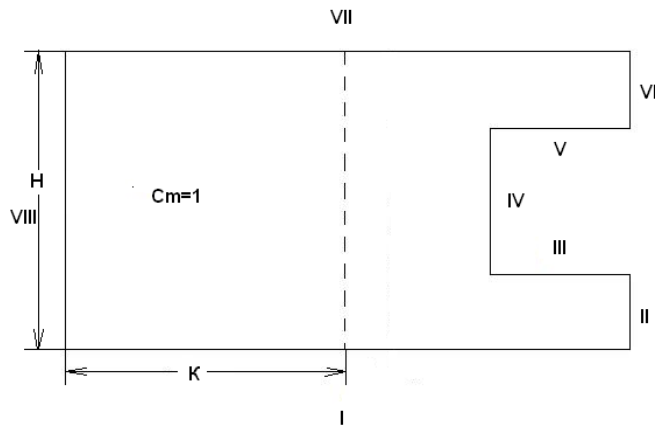


Рис. 2. Расчетная область (вид сверху)

Было проведено сравнение особенностей вытеснения метана из горной выработки в зависимости от наличия обрушенных пород. Ниже представлено распределение метана в среднем горизонтальном сечении горной выработки с наличием (рис. 3, *а*) и отсутствием обрушенных пород (рис. 3, *б*) после вытеснения 80% его массовой доли. Из рисунков видно, что вытеснение метана из горной выработки с обрушенными породами осуществляется медленнее, чем без них, что связано с наличием силы сопротивления породы. В горной выработке с породами концентрация метана падает по всей области равномерно, в то время как без них метан выдувается из центра.

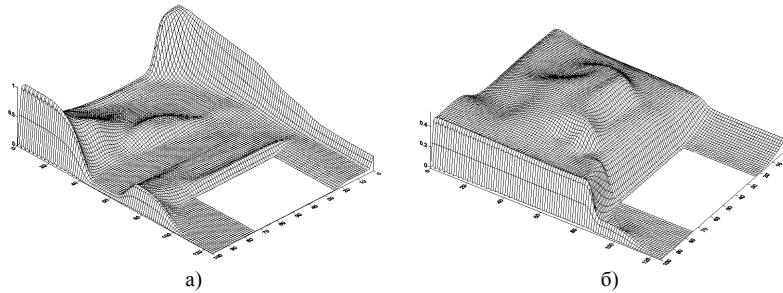


Рис. 3. Распределение метана в области после вытеснения 80% его массовой доли

На рис. 4, *а* и *б* показано распределение скоростей в горной выработке без обрушенных пород и с их наличием соответственно. На рис. 4, *б* в центре расчетной области в месте расположения завала возникает сложное вихревое движение.

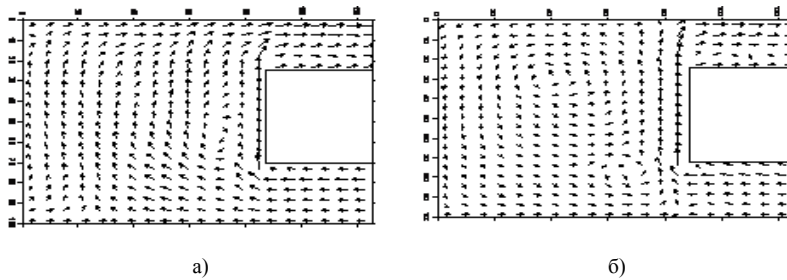


Рис. 4. Распределение скоростей

На рис. 5 и 6 показана зависимость концентрации метана от времени в вентиляционном канале горной выработки без обрушенных пород и с их наличием соответственно. На оси абсцисс обозначено время в секундах, на оси ординат – концентрация газа в смеси, исходящей из вентиляционного канала. При выходе метана из горной выработки наблюдается сначала пик его концентрации в вентиляционном канале. В области с обрушенными породами он выше, чем в области без них.

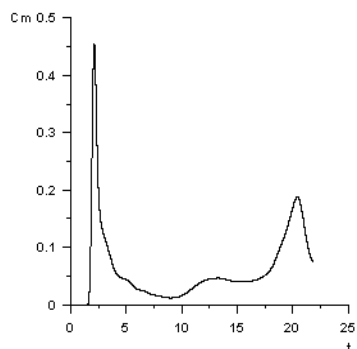


Рис. 5. Расход метана в вентиляционном канале горной выработки без обрушенных пород

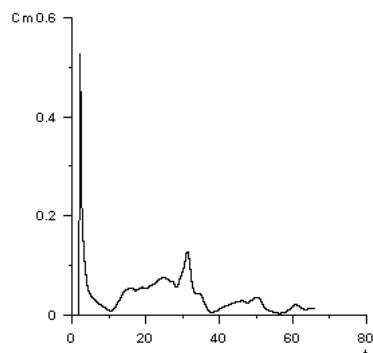


Рис. 6. Расход метана в вентиляционном канале горной выработки с обрушенными породами

В представленной работе была решена задача о вентиляции выработанного пространства в трехмерной постановке, а также выяснено влияние обрушенных пород на течение газа при вентиляции. Показано, что наличие обрушенных пород значительно замедляет метаноотведение из выработанного пространства, при этом концентрация метана падает во всей области равномерно, в то время как в горной выработке без завала метан выдувается в первую очередь из ее центра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. М., 1978. 336 с.
2. Харик Е.К., Астанин А.В. Математическое моделирование извлечения метана из горной выработки угольной шахты // Физика и химия высокоэнергетических систем: Сб. материалов V Всерос. конф. молодых ученых. Томск, 2009. С. 390–394.
3. Годунов С.К., Забродин А.В., Иванов Я.М. и др. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М., 1976. 400 с.
4. Справочник по теплообменникам. М., 1987. Т. 1. С. 152–154.