

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ.

Процессы массообмена определяют динамику тепловыделений в горных выработках глубоких шахт. Сложность процессов диффузии водяного пара приводит к преимущественному использованию при прогнозе теплового режима в горных выработках аналитико-эмпирических моделей, основанных на алгебраических или дифференциальных уравнениях теплового баланса. Существующие методики расчета температуры воздуха в глубоких шахтах [1, 2, 3, 4] отличаются между собой методами составления и решения уравнений теплового баланса и учетом отдельных источников тепловыделений в горных выработках со сквозным проветриванием. Способы учета массообменных процессов при тепловых расчетах в данных методиках основаны на том, что значения относительной влажности воздуха в характерных точках выработки или ее изменение по длине выработки предполагается известными. Средние значения относительной влажности в характерных точках выработки выбираются путем статистической обработки экспериментальных данных. Относительная влажность при таком подходе является эмпирическим фактором, позволяющим учесть в уравнениях теплового баланса влияние массообменных процессов.

Такой подход оправдывает себя при решении исследовательских задач, когда возможен набор определенного количества экспериментальных данных по значениям относительной влажности воздуха в горных выработках и их последующая статистическая обработка. Это не всегда удобно в случаях, когда задание средних значений относительной влажности в горной выработке проблематично в связи с ограниченным числом шахтных замеров. Еще более остро эта проблема стоит при анализе процессов тепломассопереноса в горных выработках с различными схемами охлаждения воздуха, при различных системах закладки вырабо-

танного пространства, особенно охлажденным материалом и т.д., то есть в случаях, когда невозможно накопление достаточного объема экспериментальных данных. На наш взгляд более перспективны в этом плане модели массопереноса в горных выработках, основанные на использовании значений коэффициентов массоотдачи [5, 6]. Имеющиеся экспериментальные данные указывают на то, что интенсивность процессов массоотдачи определяется аэродинамическими и горнотехническими условиями, наблюдаемыми в горных выработках, и зависит от влажностного состояния стенок выработки и вентиляционного воздуха. В целом процессы теплоотдачи осложняются массоотдачей, в связи с чем интенсивность теплообмена в сухих и влажных выработках существенно разная. Учет этого фактора в существующих методиках расчета температуры воздуха через задание относительной влажности в выработках с различной обводненностью, интенсивностью охлаждения воздуха и т.д. носит скорее качественный, чем количественный характер.

В связи с вышесказанным представляет интерес моделирование процессов диффузии водяного пара на основе моделей, учитывающих физику процессов массообмена и специфические особенности формирования тепловлажностных параметров воздуха в горных выработках.

Для прогноза влажностного состояния воздуха в горной выработке используем уравнение массового баланса, которое для элементарного участка выработки dx имеет вид:

$$Qd\rho_n = \beta(\rho_n(t_s) - \rho_n)Udx \quad (1)$$

где Q - расход воздуха; U - периметр рабочей выработки; β - коэффициент массоотдачи; ρ_n , $\rho_n(t_s)$ - соответственно абсолютная влажность воздуха (плотность водяного пара и абсолютная влажность насыщенного воздуха при температуре t_s); x - длина выработки; t_s - температура стенки горной выработки.

Учитывая, что в горных выработках температура воздуха может изменяться по длине на 1 - 4 °С, в уравнении (1) на основании уравнения состояния плотность водяного пара прибли-

женно можно заменить на парциальное давление. С учетом этого, в безразмерных величинах уравнение (1) можно привести к виду:

$$\frac{d\pi}{d\eta} + 2 \frac{Nu_D}{Re Sc} \pi = 0,$$

$$\text{где } \pi = \frac{P_{n,s} - P_n}{B}, \quad \eta = \frac{x}{R_0} \quad (2)$$

где P_n, P_{nc} - соответственно парциальное давление водяных паров и парциальное давление водяных паров на стенке; B - атмосферное давление; R_0 - эквивалентный радиус выработки; $Nu_D = 2R_0\beta/D$ - массообменное число Нуссельта; $Re = 2R_0V/\mu$ - число Рейнольдса; Sc - число Шмидта; μ, D - соответственно коэффициенты молекулярной вязкости и диффузии; V - средняя скорость воздуха.

Для решения уравнения (2) требуется задание функции числа Нуссельта Nu_D . В работе [7] критериальное уравнение для массообменного числа Нуссельта предложено в виде:

$$Nu_D = A Re^m \pi^\nu \quad (3)$$

Согласно [8] тепломассоотдача при испарении воды из пористой металлической пластины в окружающий ее воздушный поток описывается несколько модифицированным уравнением (3), в котором $A=2 \cdot 10^{-4} \cdot \varepsilon^{-0,5}$; $m=0,8$; $\nu=-0,5$. Для горных выработок в [6] получено аналогичное уравнение в котором для воздухоподающих выработок принято $A=8,94 \cdot 10^{-4}$; $m=0,8$; $\nu=-0,29$; для подготовительных выработок $A=8,29 \cdot 10^{-4}$; $m=0,8$; $\nu=-0,53$; для очистных выработок $A=7,06 \cdot 10^{-4} \cdot \varepsilon^{-0,67}$; $m=0,6$; $\nu=-0,44$. В этом случае шахтные экспериментальные исследования массоотдачи в горных выработках дают существенные разброс данных, что объясняется обработкой шахтных экспериментов, проведенных в выработках с существенно отличающейся технологией, аэродинамикой и интенсивностью тепломассообмена. При исследовании процессов совместного тепломассообмена обычно принимают $m=0,8$; $\nu=-0,5$. Учитывая этот факт, уравнение (2) приведем к виду:

$$\frac{d\pi}{d\eta} + 2A \cdot \gamma \cdot \pi^{0.5} = 0 \quad (4)$$

где $\gamma_* = Sc^{-1} Re^{-0.2}$

Решение уравнения (4) при начальном условии $\eta = 0$
 $\pi = \pi_0$ имеет вид:

$$\pi_0^{0.5} - \pi^{0.5} = A \gamma_* \eta \quad \text{или} \quad (5)$$

$$\left(\frac{P_{n,s} - P_0}{B} \right)^{0.5} - \left(\frac{P_{n,s} - P_n}{B} \right)^{0.5} = A \cdot \gamma_* \cdot \eta ,$$

При формулировке аналогичных задач принимают различные гипотезы о парциальном давлении водяных паров на стенке. Чаще всего принимают парциальное давление водяных паров на стенке равным давлению насыщенных водяных паров при температуре стенки. Подтвердить экспериментально данную гипотезу достаточно сложно, особенно для условий горных выработок, где наблюдается исключительное многообразие условий формирования процессов тепломассопереноса и шахтные эксперименты достаточно трудоемки. Моделировать же процессы тепломассообмена на физической модели для условий горных выработок достаточно сложно. На основе приведенных уравнений может быть получена приближенная оценка применимости различных гипотез о парциальном давлении водяных паров на стенке горной выработки. Для условий долгопроветриваемых выработок (воздухоподающих, вентиляционных) при одинаковых аэродинамических условиях для различных участков выработки должно наблюдаться приближенное соотношение:

$$\pi_{0I}^{0.5} - \pi_I^{0.5} = const \quad (6)$$

Значение коэффициента A может быть приближенно оценено на основе (5) путем анализа процессов массопереноса при различных аэродинамических режимах проветривания выработки.

Следовательно, используя экспериментальные данные и приведенные выше зависимости, возможно приближенное моделирование условий массопереноса в горной выработке. Причем

точность такого моделирования будет существенно зависеть от точности задания экспериментальных и исходных данных, а определенные по экспериментальным данным параметры модели будут характерны для конкретной горной выработки.

Для ряда условий на основе приведенных выше зависимостей были получены модели массопереноса в горных выработках некоторых выемочных участков шахт Донбасса. Например, для 7-го западного ярусного конвейерного штрека шахты "Шахтерская-Глубокая" ПО "Шахтерскуголь" расчеты проводились при следующих исходных данных: глубина выработки - 1301 м, температура горных пород - 43,4 °С, длина выработки 835 м, поперечное сечение 10,9 м², расход воздуха в начале выработки - 603 м³/с, в конце - 565 м³/с. Выработка разбивалась на участки длиной 100 -150 м, по длине которых измерялись тепловлажностные параметры воздуха. В этом случае получено значение парциального давления на стенке выработки несколько ниже давления насыщенных паров при средней температуре воздуха в выработке. Аналогичные расчеты проведены для бортовой выработки панели №14 шахты им. Бажанова ПО "Макеевуголь". Расчеты проводились при следующих исходных данных: глубина выработки -1030 м, температура горных пород - 38,5 °С, длина выработки 430 м, поперечное сечение 6,8 м², расход воздуха в начале выработки - 320 м³/с, в конце - 355 м³/с. Величина парциального давления на стенке выработки получена ниже парциального давления насыщенных водяных паров при температуре пород, но выше парциального давления насыщенных водяных паров при средней температуре воздуха в выработке. Для сильно обводненного северного конвейерного штрека пл. l₃ шахты им. Стаханова ПО "Красноармейскуголь" величина парциального давления на стенке выработки получена несколько выше парциального давления насыщенных водяных паров при средней температуре по мокрому термометру в выработке.

Как видно из приведенных данных в горных выработках могут наблюдаться различные условия протекания процессов

массопереноса. Поэтому модели, аналогичные приведенным выше, должны адаптироваться к шахтным экспериментальным данным для конкретных горных выработок. Получение универсальных моделей для характеристики процессов массопереноса возможно скорее всего только для определенных групп горных выработок с близкими аэродинамическими и тепловлажностными условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах.- Макеевка-Донбасс: Изд.МакНИИ, 1979.- 196 с.
2. Щербань А.Н., Кремнев О.А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Т.1.- Киев: Изд. АН УССР, 1959.- 430 с.
3. Дядькин Ю.Д. Основы горной теплофизики для шахт и рудников Севера.- М.: Недра, 1968.- 256 с.
4. Воропаев А.Ф. Теория теплообмена рудничного воздуха и горных пород в глубоких шахтах. - М.: Недра, 1968.- 256 с.
5. Кремнев О.А., Журавленко В.Я. Тепло- и массообмен в горном массиве и подземных сооружениях.- Киев: Наук. думка, 1980.- 320 с.
6. Бобров А.И., Аверин Г.В. Теоретические основы переноса импульса, тепла и примеси в горных выработках. - Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994.-270 с.
7. Берман Л.Д. Тепло- и массообмен в парогазовой фазе при интенсивном испарении жидкости // Теплообмен и гидравлика. - Л.: Наука, 1977.- С. 116-130.
8. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1969.- 440 с.