



НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ
ШАХТ

профессор Ш.И. Ониани, канд. техн. наук О.А. Ланчава

Институт горной механики им. Г. А. Цулукидзе АН Грузинской ССР
г. Тбилиси, СССР

Окружающий выработки горный массив характеризуется капиллярно-пористой структурой и представляет собой неоднородную и анизотропную среду. Движение рудничного воздуха в выработках вызывает перераспределение естественных полей температуры и потенциала массопереноса горного массива.

При допущении изотропности и бесконечности массива процесс тепло-массопереноса описывается системой дифференциальных уравнений Фурье с частными производными

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \nabla^2 t + \frac{\varepsilon \alpha_m c_m}{c} \frac{\partial \theta}{\partial \tau}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \alpha_m \nabla^2 \theta + \alpha_m \delta_\theta \nabla^2 t \quad (2)$$

и следующими краевыми условиями:

$$\text{при } \tau = 0 \text{ и } R = R_0, \quad \theta = \theta_0 = \text{Const}; \quad t = t_0 = \text{Const} \quad (3)$$

$$\text{при } \tau > 0 \text{ и } R \rightarrow \infty, \quad \theta \rightarrow \theta_0; \quad t \rightarrow t_0, \quad (4)$$

$$\text{при } \tau > 0 \text{ и } R = R_0$$

$$-\lambda \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \alpha (t_{CT} - t_B) + (1 - \varepsilon) \alpha_m \alpha (\theta_{CT} - \theta_B) = 0, \quad (5)$$

$$-\lambda_m \frac{\partial \theta}{\partial R} - \lambda_m \delta_\theta \frac{\partial \theta}{\partial R} + \alpha_m (\theta_{CT} - \theta_B) = 0 \quad (6)$$

где t, t_0 - текущая и естественная температура горного массива, °С; θ, θ_0 - текущий и естественный потенциально горного массива, Дж/моль; α, α_m - коэффициенты температуропроводности и потенциалопроводности массопереноса горного массива, м²/ч; $\nabla^2 = \partial^2/\partial R^2 + 1/R \cdot \partial/\partial R$ - оператор Лапласа; ε - критерий фазового превращения влаги в горном массиве, $0 \leq \varepsilon \leq 1$; α - удельная энтальпия фазового превращения водапар, кДж/кг; C - удельная теплоемкость горного массива кДж/кг. град; c_m - удельная изотермическая массоемкость горного массива, моль/Дж; τ - время, ч; δ_θ - термоградиентный коэффициент, Дж/моль. град; R - цилиндрическая координата; R_0 - эквивалентный радиус сечения горной выработки, м; λ - коэффициент теплопроводности горного массива, Вт/м. град; t_{CT}, t_B - температура стенок выработки и воздуха; λ_m - коэффициент массопроводности горного массива, кг. моль/Дж. м. ч; α_m коэффициент массоотдачи кг. моль/Дж. М. ч.



Вторые члены правой части выражений (1) и (2) обусловлены соответственно эффектами Соре и Дюффо. Диффузионная теплопроводность имеет интенсивный характер при перемещении влаги в горном массиве в виде пара. Поэтому в гидроскопической области массопереноса эффект Соре отсутствует ($\varepsilon = 0$) и уравнение (1) принимает вид

$$\frac{\partial t}{\partial t} = \alpha \nabla^2 t \quad (7)$$

решение которого в виде кривых распределения безразмерной температуры стенок горной выработки при граничных условиях третьего рода получены на математических аналогах при помощи интегратора ЭИМП-3/66.

Нами решены также задачи неизотермического массопереноса на комбинированных моделях. В этом случае, процессы теплопереноса моделируются на электропроводной бумаге с распределенными параметрами, а процессы массопереноса - на блочных электрических сетках электроинтегратора БУСЭ. Параметры электрических сопротивлений изменяются не только в результате массопереноса в горном массиве, но и вследствие образования охлажденной зоны в нем. В гидроскопической области неизотермического массопереноса, при известных параметрах охлажденных зон вокруг выработок, отпадает необходимость составления комбинированных моделей.

Поперечное сечение горной выработки в указанных задачах имеет форму круга, а окружающий ее горный массив в радиальном направлении представлен однородной и изотропной породой.

Электрическая модель соответствовала натуре с радиусом около 200 м. Тем самым бесконечность горного массива имитировалась с большим запасом, т.к. возмущения поля потенциалов тепло- и массопереноса в горном массиве распространяются на расстоянии 110-120 м.

По мере образования осушенной зоны вокруг выработки меняются влагофизические свойства горного массива, следовательно, меняются соответствующие им электрические параметры модели. Через каждый временной промежуток, определяемый шагом времени на модели, производили корректировку сопротивлений, имитирующих физический эффект коэффициента влагопроводности. Новое, скорректированное сопротивление в узле соответствовал новому значению коэффициента массопереноса, т.е. значению, которое указанный коэффициент принимает в процессе массопереноса. Опыт моделирования показал, что достаточно 2-3-х приближений для изотермического массопереноса и 3-4-х - в случае неизотермического массопереноса.

Результата моделирования показали, что степень стабилизации массообменного процесса в системе "горный массив-шахтный воздух" находится в прямопропорциональной зависимости от коэффициента массоотдачи. Однако, даже для максимального значения этого коэффициента не происходит полной стабилизации процесса в течение 20 лет. Чем выше значения влагофизических свойств горных пород, при прочих равных условиях, тем значительнее относительный потенциал массопереноса поверхности выработки. В общем случае степень стабилизации процесса обратнопропорциональна соотношению λ_m/α_m .

В зависимости от интенсивности массообмена в указанной системе ширина осушенной зоны вокруг выработки меняется в широких пределах: от 3-х до 13 метров. Через четыре года, после начала интенсивного проветривания, возмущения естественного поля потенциала массопереноса при высоких значениях массообменного критерия Био распространяются на



расстояние до 7 м, а при низких значениях - не далее 1,5 м. с увеличением продолжительности проветривания ширина зоны этих возмущений по сравнению с температурными медленно возрастает и спустя 21) лет соответственно составляет 13 и 3 м.

После анализа дифференциального уравнения массопереноса и краевых условий убедились, что интенсивность неизотермического массопереноса в двухкомпонентной системе "горный массив-шахтный воздух" зависит от массообменных критериев Био, Фурье и Поснова. Интенсивность изотермического массопереноса в этой же системе зависит только от критериев Био и Фурье.

Массообменные критерии БИО, Фурье и Поснова соответственно вычисляются по выражениям:

$$Bi_m = \frac{\alpha_m R_0}{\lambda_m}; F_{0m} = \frac{\alpha_m \tau}{R_0^2}; P_{0m} = \frac{\delta \theta \Delta t}{\Delta \theta}.$$

Если на границе системы "горный массив-шахтный воздух" значение массообменного критерия Био достигает до 50, дальнейшее его увеличение практически не влияет на распределение потенциала массопереноса на поверхности массоотдачи. Отмеченное обстоятельство является весьма полезным при обработке и обобщении результатов моделирования.

Обработкой и обобщением данных моделирования составили номограммы изменения безразмерной температуры стенок горной выработка в критериальной форме. Эти критериальные зависимости могут быть использованы для выполнения практических инженерных расчетов при решении задач по прогнозу и регулированию теплового режима глубоких шахт с учетом влияния массообменных процессов. При этом, точность результатов расчета, главным образом, будет определяться точностью основных исходных данных - влагофизических свойств горных пород и коэффициента массоотдачи. Критериальные зависимости построены для широкого интервала изменения этих коэффициентов, охватывающего разновидности пород практически всех месторождений. Поэтому применение их рекомендуется для решения широкого круга практических задач горной теплофизики в области тепломассообмена в глубоких шахтах.