

**НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОКИСЛЕНИЯ В СЛОЕ
ИСКОПАЕМОГО УГЛЯ РАЗЛИЧНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ
И ЕГО САМОНАГРЕВАНИЕ**

Греков С.П., Цыганкевич Я.Я., Зинченко И.Н., Тында Г.Б.
(НИИГД «Респиратор»)

Була розглянута система рівнянь перенесення теплоти і різних газів (метану і кисню) в потоці фільтрації через шар частинок різних фракцій. Був досліджений вплив газоносності вугілля, його подрібнення, інтенсивності переходу метану із зв'язаного у вільний стан, встановлена залежність тепловиділення при самоокислюванні і критичної температури самозапалення від газообмінних процесів між твердою і газовою фазами.

**NON-ISOTHERMAL OXIDATION PROCESSES AND SELF-
HEATING IN FOSSIL COAL SEAMS WITH DIFFERENT
GAS CONTENT**

Grekov S.P., Zygankevich Ya.Ya., Zinchenko I.N., Tynda G.B.

A system of equations for heat and various gases (methane and oxygen) transport in the seepage flow across multifractional layer of particles was studied. Effects of the gas content in coal; coal crushability; methane release rate were investigated. Dependences of self-oxidation heating rate and self-ignition critical temperature on gas exchange between the solid and gas phases were determined.

Многочисленные исследования по кинетике окисления ископаемых углей, выполненные в СНГ и дальнем зарубежье [1-9] позволили систематизировать данные по их реакционной способности, хотя некоторые принципиальные вопросы механизма окислительного процесса до конца еще не выяснены.

Несмотря на достаточно глубокую изученность вопросов по самовозгоранию различных материалов, в частности, скоплений угля, эта проблема еще далека до завершения.

Одним из условий самовоспламенения твердых тел, является то, что материал должен быть, как указывается в работе [7], достаточно пористым и сыпучим для свободного проникновения кислорода. По-

этому обычно исходят из того, что самовозгорающийся материал это скопление шарообразных частиц, каким-то образом уложенных друг относительно друга. В этом случае возникает необходимость рассмотрения раздельно [4 - 6] твердой фазы - частиц угля и газовой фазы - фильтрационного потока, занимающего даже при наиболее плотной ромбической укладке частиц 26% всего объема. Зазоры между частицами угля или их порозность, а также трещины, можно рассматривать как взаимосвязанное пространство с линейными размерами, намного превышающими длину свободного пробега молекул, где происходит фильтрация и молекулярная диффузия воздуха и метана. При такой ситуации температура и концентрации различных газов в каждой фазе могут существенно отличаться друг от друга.

Процесс самовозгорания углей еще более усложняется при наличии в них остаточной газоносности. Имеются данные экспериментальных исследований [10] о том, что при остаточной газоносности более 5 м³/т угли не самовозгораются. При этом под остаточным содержанием метана в угле подразумевалось его содержание в пробе, отобранной из свежего забоя в виде кусков крупностью около 30 мм и подвергнутого испытанию через 6-8 часов после отрыва его от массива пласта. Однако эти данные нуждаются в уточнении и научном обосновании.

Для описания тепломассообменных процессов в двухфазной среде используем обобщенную систему параболических дифференциальных уравнений переноса любой субстанции (теплоты, влаги, различных газов и т.п.), приведенную в работе [6].

Эти уравнения не противоречат уравнениям [4 - 6] по теории массообменных процессов и горения твердого топлива и могут быть использованы для описания переноса кислорода, метана и теплоты в слое измельченного угля как двухфазной среде.

Для кислорода в газовой фазе или в фильтрационном потоке уравнение переноса можно представить в виде

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} + v \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\beta S_{\text{ч}}}{mV} (Z - C) - \frac{I}{mV} C, \quad (1)$$

где C - концентрация кислорода в фильтрационном потоке, моль/м³; τ - время с начала отсчета, с; v - скорость фильтрационного потока, м/с; x - текущая координата вдоль направления фильтрации воздуха, м; D - коэффициент эффективного продольного перемешивания ки-

Физика горных процессов на больших глубинах

слорода между частицами, m^2/c ; β - коэффициент массоотдачи при переносе кислорода от газовой фазы к твердой, m/c ; S_u - суммарная площадь поверхности всех частиц угля, m^2 ; m - коэффициент порозности частиц угля [4, 5]; V - объем угольного скопления, m^3 ; Z - концентрация кислорода в частицах угля, моль/м³; I - мощность источника метановыделения, m^3/c .

Анализ уравнения (1) показывает, что концентрация кислорода в фильтрационном потоке, омывающем частицы угля, меняется во времени в результате конвективного переноса и диффузии (второе слагаемое в левой части и первое слагаемое в правой части уравнения(1)), газообмена между первой и второй фазами (второе слагаемое в правой части), а также в результате вытеснения метаном воздуха в фильтрационном потоке (третье слагаемое в правой части).

Как отмечается в работе [10], истечение метана из угля сопровождается напорной фильтрацией и диффузией, поэтому истечение метана будет препятствовать проникновению кислорода в твердую фазу. С учетом этого фактора динамику во времени среднеобъемной концентрации кислорода в твердой фазе из-за малости диаметров частиц угля представим уравнением вида

$$\frac{\partial Z}{\partial \tau} = \frac{S_u}{(1-m)V} \beta (C-Z) - kZ - \frac{I}{m_0(1-m)V} Z, \quad (2)$$

где k - константа скорости химических реакций первого порядка, $1/c$; m_0 - коэффициент пористости частиц угля.

Анализ уравнения (2) показывает, что изменение концентрации кислорода в твердой фазе происходит в результате газообмена между частицами угля и фильтрационным потоком, перехода из свободного в связанное состояние при хемосорбции (первое и второе слагаемые в правой части уравнения (2)), а также в результате напорного истечения метана из пор, расположенных на поверхности частиц угля (второе слагаемое в правой части).

Физический смысл последних выражений в правой части уравнений (1) и (2) означает наличие стоков массы (кислорода), вызванных истечением метана из зазоров между частицами и из пор в частицах, с мощностью, пропорциональной концентрации кислорода, в единице их объемов. Здесь mV $m_0(1-m)V$ означают объемы пустот между частицами и пор в частицах соответственно.

Аналогично уравнению (2) температура в твердой фазе может быть описана уравнением вида

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{S_q}{c_y \rho_y (1-m)V} \alpha (\theta - T) + \frac{q_m - kZ}{c_y \rho_y}, \quad (3)$$

где c_n - удельная теплоемкость угля, Дж/(кг·К); ρ_n - плотность угля, кг/м³; α - коэффициент теплообмена между фазами, Вт/(м²·К); T - температура твердой фазы, К; θ — температура газовой фазы, К; q_m - теплота реакции окисления углей, Дж/моль.

Из уравнения (3) следует, что в твердой фазе изменение температуры происходит в результате теплообмена между фазами и выделения теплоты при химических реакциях.

Для температуры в фильтрационном потоке аналогично (1) справедливо уравнение сохранения энергии в виде

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + v \frac{\partial \theta}{\partial x} = \alpha \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\alpha_0 P l}{c_p \rho_0 m V} (T_0 - \theta) + \frac{\alpha S_q}{c_p \rho_0 m V} (T - \theta), \quad (4)$$

где α - коэффициент температуропроводности газовой фазы, м²/с; c_p - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг·К); ρ_0 - плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³; α_0 - коэффициент теплообмена газовой фазы с окружающими породами, Вт/(м²·К); P - периметр поперечного сечения угольного скопления, м; l - длина угольного скопления вдоль фильтрационного потока, м.

Из уравнения (4) следует, что изменение температуры фильтрационного потока происходит в результате конвективного и кондуктивного переносов, а также за счет теплообмена воздуха с частицами угля и окружающими породами.

При отсутствии метановыделения ($I = 0$) и наличии низкотемпературного окисления ($k = \text{const}$) система уравнений (1) - (4) является разновидностью системы уравнений, приведенных в работе [5].

Удельную фильтрационную поверхность всех частиц угля определим по формуле [5]

$$S_q / V = 6(1-m) \sum_{i=1}^N \gamma_i / d_i = 6(1-m) / d_u, \quad (5)$$

Физика горных процессов на больших глубинах

где N — количество фракций угля; y_i - весовая доля i -ой фракции угля; d_i - диаметр частиц i -ой фракции, м; d - среднегармонический диаметр частиц угля, м.

Входящая в уравнения (2) и (3) константа скорости химических реакций моделируется по закону Аррениуса [4] с учетом компенсационного эффекта [1]:

$$k = k_{кр} \exp(E/RT_{кр} - E/RT), \quad (6)$$

где $k_{кр}$ - предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса, определяющий скорость химических реакций кислорода с углем при критической температуре, 1/с; E — энергия активации, Дж/моль; R - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); $T_{кр}$ - критическая температура самовозгорания угля, К.

Зависимость для интенсивности метановыделения в единице объема угольного скопления получена на основании результатов экспериментальных исследований НИИГД и может быть представлена в виде

$$I/V = 0,08 Q_m \rho_y D_p e^{-0,08 D_p / \tau}, \quad (7)$$

где Q_m - газоносность пласта, м³/т; ρ_y - плотность угля, т/м³; D_p — дробимость угля.

К системе уравнений (2) - (5) необходимо добавить начальные и граничные условия

$$\begin{aligned} 1) & C(x, 0) = 0; C(0, \tau) = C_0; C(l, \tau) = C_0; Z(x, 0) = 0; \\ 2) & \theta(x, 0) = T_0; \theta(0, \tau) = T_0; \theta(l, \tau) = T_0; T(x, 0) = T_0. \end{aligned} \quad (8)$$

Согласно условиям (8) принимается, что в начальный момент времени кислород в сорбенте и в зазорах между частицами угля отсутствует, а температура равна температуре окружающих пород. На границах ($x = 0$, $x = l$) все время поддерживается концентрация кислорода и температура, равные концентрациям и температуре вне угольного скопления.

Для получения численного решения задачи применим метод прямых [11], представляя правые части уравнений (1) - (4) в конечных разностях с шагом разбиения Δx . Тогда, объединяя все уравнения в единую систему, получим

$$C' = \nu(C_l - C)/\Delta x + D(C_l - 2C + C_n)/\Delta x^2 + \frac{\beta S_u}{mV}(Z - C) - \frac{I}{mV}C;$$

$$Z' = \frac{S_u}{(1-m)V}\beta(C - Z) - kZ - \frac{I}{m_0(1-m)V}Z;$$

$$\theta' = \nu(\theta_l - \theta)/\Delta x + \alpha(\theta_l - 2\theta + \theta_n)/\Delta x^2 + \frac{\alpha\Pi}{c_p\rho_0 mV}(T_0 - \theta) + \frac{\alpha S_u}{c_p\rho_0 mV}(T - \theta);$$

$$T' = \frac{S_u}{c_y\rho_y(1-m)V}\alpha(\theta - T) + \frac{q_m}{c_y\rho_y}kZ. \quad (9)$$

Здесь параметры с индексами «л» и «n» относятся соответственно к левому и правому элементу разбиения. Кроме того, для удобства штрихами обозначены производные концентрации кислорода и температуры по времени.

Система уравнений (9) несколько упрощается при быстро протекающих процессах сорбции кислорода на поверхности частиц угля. В этом случае можно принять $Z' = 0$. Тогда вместо второго уравнения системы (9) получим

$$Z = \frac{\beta C}{\beta + k(1-m)V/S_u + I/(m_0 S_u)}. \quad (10)$$

Подставляя выражение (10) в первое и четвертое уравнения системы (9), будем иметь

$$C' = \nu(C_l - C)/\Delta x + D(C_l - 2C + C_n)/\Delta x^2 - \gamma C;$$

$$\theta' = \nu(\theta_l - \theta)/\Delta x + \alpha(\theta_l - 2\theta + \theta_n)/\Delta x^2 + \frac{\alpha\Pi}{c_p\rho_0 mS}(T_0 - \theta) + \frac{\alpha S_u}{c_p\rho_0 mV}(T - \theta);$$

$$T' = \frac{S_u}{c_y\rho_y(1-m)V}\alpha(\theta - T) + \frac{q_m k}{c_y\rho_y} \frac{\beta C}{\beta + k(1-m)V/S_u + I/(m_0 S_u)}, \quad (11)$$

где $\gamma = \frac{\beta S_u}{mV} \frac{k(1-m)V/S_u + I/(m_0 S_u)}{\beta + k(1-m)V/S_u + I/(m_0 S_u)} + \frac{I}{mV}$ - обобщенный коэффициент поглощения кислорода углем с учетом напорного истечения метана, 1/с.

Физика горных процессов на больших глубинах

Система уравнений (11) с краевыми условиями (8) при различном количестве элементов разбиения решалась методом Рунге - Кутты 4-го порядка. Программа расчета по формулам (11) с учетом (5) - (7) влияния остаточной газоносности на процессы адсорбции кислорода углем и его самонагревания в зонах геологических нарушений реализована на ЭВМ.

Скорость фильтрации воздуха через угольное скопление определялась по формуле [6]

$$v = \frac{m^2}{180\eta(1-m)^2} \frac{\Delta p}{l} d^2, \quad (12)$$

где η - коэффициент динамической вязкости воздуха, кг/(м·с); Δp - депрессия, приложенная к слою угля, Па.

При моделировании процессов тепломассообмена использованы следующие критерии подобия: температурные и диффузионные числа Фурье, Пекле и Нуссельта:

$$F_0 = \frac{\alpha\tau}{l^2}; F_{0d} = \frac{D\tau}{l^2}; P_e = \frac{vl}{\alpha}; P_{ed} = \frac{vl}{D}; N_U = \frac{\alpha l^2 S_q / V}{c_y \rho_y \alpha}; N_{Ud} = \frac{\beta l^2 S_q / V}{D}.$$

Кроме того, использованы геометрические и тепловые критерии подобия такие как

$$\frac{S_q l}{V}; \frac{\Pi l}{S_q}; \alpha_0 / \alpha; k_{кр} V / (S_q \beta); \frac{I_0}{\beta S_q}; \frac{c_p \rho_0}{c_y \rho_y},$$

где I_0 - интенсивность метановыделения при $\tau = 1$ с, м³/с.

На рис. 1 по результатам математического моделирования представлены кривые распределения относительной температуры и концентрации кислорода в угольном скоплении при достижении критического состояния ($T_{max} = T_{кр}$) и при возникновении горения (индексы «1» и «2» соответственно). Из рис. 1 видно, что максимум температур смещается навстречу фильтрационному потоку к поверхности угольного скопления и приводит к резкому уменьшению содержания кислорода в фильтрационном потоке. Возникновение горения обуславливает «тепловой взрыв» и скачок температуры до 1500 - 2000 К.

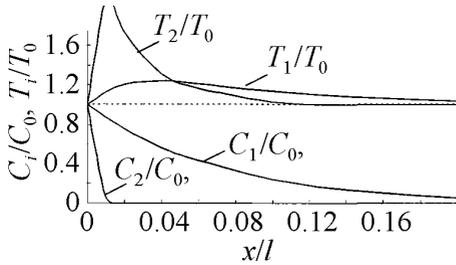


Рис. 1. Распределение температуры и концентрации кислорода вдоль угольного скопления при достижении критического состояния и при возникновении горения

Установлено, что уменьшение порозности частиц угля приводит к уменьшению разности температур между твердой и газовой фазами. Как показывают данные моделирования, эта разность незначительна при среднегармоническом диаметре частиц менее 10^{-3} м. Незначительна также разница между концентрациями кислорода в твердой и газовой фазах при критериях подобия

$$k_{кр}V/(S_q\beta) < 0,1; \quad \frac{I_0}{\beta S_q} < 0,1.$$

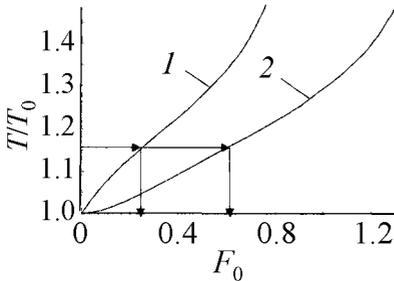


Рис. 2. Динамика максимальной температуры в твердой фазе при отсутствии (1) и наличии (2) метановыделения

На рис. 2 представлены результаты моделирования динамики максимальной температуры в твердой фазе при отсутствии метановыделения (кривая 1) и в случае его наличия (кривая 2, $I_0 = 10 \text{ м}^3/\text{с}$).

Из рис. 2 видно, что время достижения температурой критического значения ($T = T_{кр}$) существенно зависит от остаточной газоносности угольного скопления. При остаточной газоносности $Q_{ост.м} > 5 \text{ м}^3/\text{т}$ и пористости частиц $m_o < 0,1$ это время увеличивается в 1,5–2 раза.

Рассмотрим, при каких условиях может существовать установившийся тепловой и газовый режимы в угольном скоплении, приравняв производные уравнений системы (9) нулю. После установления энергетического и газового равновесия ($\tau \rightarrow \infty$) метановыделение прекращается: $I = 0$. В этом случае из первого и второго уравнения системы (9) с индексами «1», указывающими на достижение па-

Физика горных процессов на больших глубинах

раметрами системы стационарного состояния, для одного элемента разбиения ($\Delta x = l$) найдем в обозначениях В.В. Канторовича [4]

$$C_1 = \frac{(1 + \tilde{k}/\beta)C_0}{1 + \tilde{k}/\beta + \tilde{k}/U}; \quad Z_1 = \frac{C_0}{1 + \tilde{k}/\beta + \tilde{k}/U}, \quad (13)$$

где $\tilde{k} = (1 - m)Vk / S_u$ - приведенная константа скорости химических реакций первого порядка, м/с; $U = (v/l + D/l^2)mV / nS_u$ - обобщенный коэффициент конвективно-диффузионного переноса кислорода, м/с.

Из третьего уравнения системы (9) в стационарном режиме ($\theta^1 = 0$) найдем

$$\theta_1 = T_0 + \frac{\alpha(T_1 - T_0)}{\alpha + W}, \quad (14)$$

где $W = [c_p \rho_0 mV (v/l + 2\alpha/l^2) + \alpha\Pi] / S_u$ - обобщенный коэффициент конвективно-кондуктивного теплообмена с окружающей средой, Вт/(К·м²). Из формулы (14) следует, что температура фильтрационного потока всегда меньше температуры твердой фазы. Это указывает на необходимость разделения дисперсной среды на твердую и газовую фазы.

Подставляя выражения (13) и (14) в четвертое уравнение системы (9), для стационарного режима ($T' = 0$) получим уравнение теплового баланса в твердой фазе в виде

$$\frac{\alpha(T_1 - T_0)}{1 + \alpha/W} = \frac{q_m C_0}{1/\tilde{k} + 1/U + 1/\beta}. \quad (15)$$

Так как согласно (6) константа скорости химической реакции связана с температурой, то уравнение теплового баланса примет вид

$$\exp(-E/RT_{кр} + E/RT_1) = \frac{q_m C_0 \tilde{k}_0 (1/\alpha + 1/W)}{(T_1 - T_0)^2} - \tilde{k}/U - \tilde{k}_0/\beta. \quad (16)$$

Продифференцируем уравнение (16) по искомой функции T_1 и получим

$$\frac{E}{RT_1^2} \exp(-E/RT_{кр} + E/RT_1) = \frac{q_m C_0 \tilde{k}_0 (1/\alpha + 1/W)}{(T_1 - T_0)^2}. \quad (17)$$

Решая совместно два уравнения (16) и (17), будем иметь

$$RT_1^2 / E = (T_1 - T_0) - M(T_1 - T_0)^2 / T_0, \quad (18)$$

где $M = \frac{T_0(1/\beta + 1/U)}{q_m C_0(1/\alpha + 1/W)}$ - безразмерный комплекс, представляю-

щий собой отношение между интенсивностями массо- и теплообмена при химических реакциях.

Решение уравнения (18) дает возможность прогнозировать критическую температуру самовозгорания в угольном скоплении по формуле

$$T_{кр} = \frac{1 + 2M - \sqrt{(1 + 2M)^2 - 4(RT_0/E + M)(1 + M)}}{2(RT_0/E + M)} T_0 \quad (19)$$

и использовать ее при численном моделировании тепломассообменных процессов.

Аналогичное уравнение получено Н.Н. Семеновым [4] при $M = 0$, когда учитывается только кинетический режим реакции, что допустимо, как уже отмечалось, лишь при большой скорости фильтрационного потока ($U \rightarrow \infty$) и интенсивном газообмене ($\beta \rightarrow \infty$).

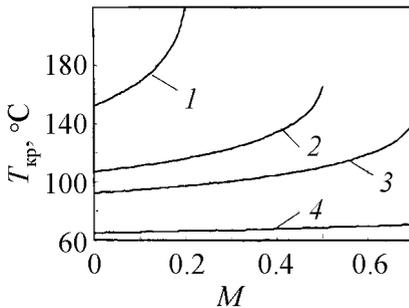


Рис. 3. Смещение критической температуры при ухудшении газообмена между фазами и разных энергиях активации: 1 — $E = 12$ кДж/моль, 2 — $E = 15$ кДж/моль, 3 — $E = 17$ кДж/моль, 4 — $E = 25$ кДж/моль

На рис. 3 представлены результаты расчета по формуле (19) кривых изменения критической температуры от критерия теплообмена M при различных энергиях активации $E = 12, 15, 17, 25$ кДж/моль (кривые 1, 2, 3, 4 соответственно). Из рис. 3 следует, что при ухудшении газообмена между фазами ($\beta \rightarrow \infty$) и уменьшении расхода воздуха ($U \rightarrow \infty$) критическая температура смещается в сто-

Физика горных процессов на больших глубинах

рону ее увеличения тем существенней, чем меньше энергия активации. Из формулы (19) следует, что область вещественных значений критической температуры (подкоренное выражение больше нуля) находится при $M < E/(4RT_0) - 1$.

Так, при энергии активации $E = 17$ кДж/моль и окружающей температуре $T_0 = 300$ К максимальная температура самовозгорания может достигнуть значения $T_m = 425$ К (152 °С).

На основании полученных результатов расчетные зависимости $T_{кр}/T_0$ от E для небольших величин M и экспериментальные данные по нескольким шахтам Донбасса, а также результаты исследований Я. Цыганкевича для углей Польши, свидетельствуют об удовлетворительном совпадении экспериментальных и теоретических данных.

Из уравнения (15) видно, что параметр $J = T_0/[q_m C_0 k_0 (1/a + 1/W)]$ представляет собой угол наклона прямой f_1 , (левая часть уравнения), которая при критических значениях функции температуры касается кривой f_2 (правая часть уравнения).

Очевидно, при ухудшении газообмена кривые все ниже опускаются к оси абсцисс, что приводит к смещению точки касания вправо и, таким образом, к увеличению критической температуры. Если прямая не имеет точек касания с кривой и находится ниже, то в данном случае она пересечет кривую значительно дальше, что будет соответствовать режиму горения.

Как показали результаты математического моделирования, аналитический метод определения области низкотемпературного окисления и области горения достаточно точно отражает реальные процессы тепломассообмена при самовозгорании углей и может быть наряду с численным методом использован для прогноза аварийных ситуаций в зонах геологических нарушений газообильных шахт.

Используем полученные результаты для выявления признаков склонности к самовозгоранию некоторых углей, для чего выполним моделирование процесса динамики максимальных температур в твердой фазе для фиксированных расходов воздуха через угольное скопление, условий тепло и массоотдачи. Исходные данные общие для всех углей следующие: $c_p = 0,24$ Дж/кг·К; $p_0 = 1,29$ кг/м³; $m = 0,26$; $v = 1 \cdot 10^{-5}$ м/с; $a = 1,1 \cdot 10^{-7}$ м²/с; $\alpha = 0,5$ Вт/(м²·К); $\Pi = 1,44$ м; $S_v = 0,11$ м²; $D = 1 \cdot 10^{-5}$ м²/с; $\beta = 2 \cdot 10^{-2}$ м/с; $n = 0,5$; $C_0 = 9,4$ моль/м³; $q_m = 3,76 \cdot 10^5$ Дж/моль; $T_0 = 300$ К; $R = 8,3$ Дж/(моль·К).

Остальные исходные данные и результаты расчетов по четырем шахтам Донбасса приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Исходные данные и результаты расчетов показателей пожаро-опасности

Параметр	Несамовозгорающиеся пласты		Самовозгорающиеся пласты	
	шахта «Гер-новская», пласт С ₆ ^H	шахта им. Абакумова, пласт m ₃	шахта им. А.Ф. Засядько, пласт m ₃	шахта им. Гаевого, пласт k ₅
E, Дж/(моль·К)	15850	16250	15710	13250
K _о , м/с	3,9·10 ⁻⁸	3,8·10 ⁻⁸	3,9·10 ⁻⁸	4,6·10 ⁻⁸
D _p	3,3	3,1	7,6	8,5
ρ _y , т/м ³	1,3	1,3	1,33	1,55
Q _M , м ³ /т	16,6	16,7	18,1	9,5
Экспериментальное значение T _{кр} , К	363	358	375	385
Расчетное значение T _{кр} , К	372	370	374	380
Комплексный показатель склонности к самовозгоранию по методике НИИГД	36	35,6	32,5	29,5
t, сут				
Расчетный комплексный показатель	–	–	22	30
t _p , сут				
J _{кр}	14,4	14,9	14,2	11,3
J	14,7	15,1	11,1	10,97

Из анализа представленных данных следует, что у углей, отнесенных к несамовозгорающимся, определенная в лабораторных условиях критическая температура (358-363 К) не достигает расчетной (370-372,9 К), а у самовозгорающихся пластов превышает расчетную. Время выхода на критическую температуру у самовозгорающихся пластов составляет 22 и 30 суток, что меньше порогового значения по методике НИИГД (35 суток). У склонных к самовозго-

Физика горных процессов на больших глубинах

ранию пластов это время не может быть подсчитано, т.к. угли не достигают расчетного критического значения.

Комплексный показатель пожароопасности у самовозгорающихся пластов больше критического $J_{кр}$, а у самовозгорающихся - меньше $J_{кр}$.

Полученные результаты должны учитываться при разработке методик определения склонности углей к самовозгоранию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березовский А.А., Греков С.П., Пудрик В.Ю. // Вестн. ХГТУ: Херсон. 2002. №15. С. 67.
2. Веселовский В.С., Виноградова Л.П., Орлеанская Г.Л. и др. Физические основы самовозгорания угля и руд. М.: Наука, 1972. - 147 с.
3. Лазаров Л., Ангелова Г. Структура и реакции углей. - София : Издательство Болгарской академии наук, 1990. - 232 с.
4. Канторович В.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива. М.: Изд-во АН СССР, 1958.-598 с.
5. Романков П.Г., Фролов В.Ф. Массообменные процессы химической технологии. Л: Химия, 1990.-384 с.
6. Лыков А.В. Тепломассообмен. М.: Энергия, 1974. 560 с.
7. Драйздел Д. Введение в динамику пожаров. - М.: Стройиздат, 1990. - 424 с.
8. Kam A.Y., Nixon A.N., Perlmutter D.D. // Chem. Eng. Sci. 1976. V. 31. P. 821.
9. Karsner A.Y., Perlmutter D.D. // Fuel. 1982. V. 61. P. 29.
10. Методическое руководство по прогнозу самовозгорания угольных пластов в зависимости от их газоносности. Москва, 1976. - 30 с.
11. Бахвалов Н.С., Жидков Р.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: Наука, 1987. - 600 с.