

Гусар Г. А.,
кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри вищої математики ім. В. В. Пака,
Костенко В. К.,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри «Природоохоронна діяльність»,
Локтіонов І. К.,
старший викладач кафедри
вищої математики ім. В. В. Пака,
Донецький національний технічний університет.
(м. Донецьк, Україна)

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЧАГОВ САМОНАГРЕВАНИЯ УГЛЯ

Одним из эффективных, удобных в применении способов управления процессом самонагрева угля является охлаждение их водой. При этом следует определять параметры подачи охлажденного агента (аэрозоль, пена, компактные или распыленные струи): объем периодичность, продолжительность и др.

Численный расчёт динамики охлаждения очагов самонагрева путём подачи воды к скоплениям угля в выработанном пространстве производим по следующему алгоритму:

$$\begin{cases} P_i = A_0 \frac{W_i}{C \cdot \exp(-E/RT_i) - W_i}; \\ W_{i+1} = W_i - \frac{V_n \mu W_i (P_i - P_g)}{l R T_i \rho_H} \Delta t; \\ T_{i+1} = T_i + \left(\frac{\bar{c} Q u_0 \exp(-E/RT_i)}{c_y \rho_H} - \frac{V_n \rho_g c_p (T_i - T_g)}{l c_y \rho_H} \right) \Delta t - \frac{V_n \mu W_i (P_i - P_g)}{l R T_i} - \frac{V_n c_{g1} \rho_{g1} c_g (T_i - T_g)}{l} - \frac{V_n \rho_{g1} \Delta c_g}{l}, \end{cases} \quad (1)$$

где P_i, W_i, T_i - численные значения давления пара над поверхностью угля, влажности и температуры угля на i -м шаге итерации по времени; E - энергия активации, Дж/моль; R - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); P_g - давление пара в воздухе, Па; Δt - шаг итерации, с; l - диаметр угольного скопления, м; ρ_n - насыпная плотность угля, кг/м³; V_n - скорость фильтрации воздуха, м/с; \bar{c} - концентрация кислорода; Q - теплота хемосорбции углем, Дж/(с·м³); u_0 - константа сорбции кислорода углем м³/(кг·с); ρ_g - плотность воздуха, кг/м³; c_p, c_y - удельная теплоёмкость воздуха и угля Дж/(кг·К); c_{g1} - удельная теплоёмкость воды, Дж/(моль·К); c_g - содержание воды в утечках воздуха; A_0, C - константы.

Граничные и начальные условия имеет вид

$$\begin{cases} W|_{t=t_p} = 0; & T|_{t=t_p} = T_{кр}; \\ W|_{x=x_0} = W_r (1 - e^{-\alpha(t-t_p)}); & T|_{x=x_0} = T_{кр}, \end{cases} \quad (2)$$

где t_p - время развития процесса самонагрева до критической температуры $T_{кр}$, с; α - размерный коэффициент, с⁻¹.

Применяемые способы подачи воды к очагам эндогенных пожаров (вода в струях, газомеханические и инертные пены, антипирогены, аэрозоли) отличаются друг от друга интенсивностью доставки воды к скоплениям нагретого угля, её точностью, влиянием на химическую активность угля, глубокой обработки скопления, изолирующим от доступа кислорода воздействием влаги на очаг самонагрева.

В алгоритме расчёта (1) эти особенности отражены в изменении таких параметров, как константа скорости сорбции кислорода углём u_0 , скорости фильтрации воздуха V_n , концентрации кислорода \bar{c} , содержание воды в утечках воздуха c_g .

Так при качественно произведённой обработке скопления нагретого угля антипирогенами или пенами практически близки к нулю такие параметры, как u_0 , \bar{c} .

Интенсивность подачи влаги определяется параметром c_g . Этот параметр может иметь постоянное значение, например, при струйной подаче воды к скоплению нагретого угля, находящегося вне обрушенных пород или уменьшается экспоненциально при подаче влаги в виде пен и аэрозолей.

Скорость доставки влаги к очагам нагревания угля равна: скорости фильтрации воздуха в обрушенных породах при подаче аэрозолей; скорости движения пен в пористой среде, зависящей от структуры обрушенных пород, динамической вязкости и кратности пены; скорости струи воды.

При подаче аэрозолей к скоплениям нагретого угля параметр c_g зависит от производительности форсунок (т.е. от начальной концентрации аэрозоля в утечках воздуха), размера капель аэрозоля, среднего размера частиц обрушенных пород.

Предложенная методика оценки термодинамического состояния угля в скоплениях позволяет определить параметры воздействия водяными струями, потоками аэрозолей или пен на очаги самонагревания угля. С её помощью можно выбрать способ управления процессом самонагревания, рассчитать периодичность обработки угля, объём и продолжительность подачи охлаждающего агента.