Гидрометеорология и экология
№ 1-2 1998

УДК 622.822:622.271

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНО-ГАЗОВОГО РЕЖИМА В ОБЪЕМАХ ОКИСЛЯЮЩИХСЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ ИХ СКЛАДИРОВАНИИ

Ш.К. Альмухамбетова

Приведены результаты аналитического обоснования динамики температурно-газового режима в окисляющихся объемах полезного ископаемого. Показана их новизна и возможность использования для разработки конкретных мероприятий по улучшению экологической ситуации в горнодобывающих регионах путем профилактики загрязнения окружающей среды продуктами окисления и ухудшения качества минерального сырья от процессов окисления.

При складировании окисляющихся полезных ископаемых изменяется их температурно-газовое состояние в результате течения окислительных процессов. Это приводит к ухудшению качества полезного ископаемого и загрязнению окружающей среды продуктами окисления, что отрицательно сказывается на экологии горно -добывающих регионов Республики Казахстан. Для разработки комплекса мероприятий по профилактике окислительных процессов на складах требуется изучение динамики их температурно-газового состояния. При этом изменение температурно-газового состояния в окисляющихся объемах склада полезного ископаемого можно описать системой дифференциальных уравнений вида

для температуры в объеме

$$C_p \gamma \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \nabla^2 T + f_1(T, C_n), \qquad (1)$$

для газового режима

$$\frac{\partial C_n}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 C_n}{\partial y^2} + b \frac{\partial C_n}{\partial y} + dC_n .$$

Для реализации системы (1) прежде всего необходимо решить второе уравнение, описывающее изменение концентрации кислорода по высоте склада руды. В этом уравнении $a=D_н/П_н$, $b=\vartheta_ф/П_н$, $d=U_s \cdot S/П_н$, где $D_н$ - коэффициент диффузии кислорода в пористой среде навала руды, м^2/с; $\vartheta_ф$ - скорость фильтрации воздуха в порах навала руды, м/с^2; U_s - скорость сорбции кислорода рудой, м^3/м^2·с; S - площадь окисления руды в объеме, м^2/м^3.

Для решения второго уравнения системы (1) зададимся следующими начальными и граничными условиями:

$$C_п(\tau, y)_{\tau=0} = C_0\left(1-\frac{y}{h}\right)\cdot e^{\beta y}, \tag{2}$$

$$\left.\begin{aligned} &C_п(\tau, y)_{y=0} = C_0, \\ &C_п(\tau, y)_{y=h} = 0, \end{aligned} \Rightarrow C_п(0,0) = C_0 \right\}. \tag{3}$$

$$0 \le y \le h,$$
$$0 \le \tau < +\infty.$$

Из (2) следует, что уже должно быть $\beta < 0$, а C_0 - подбираем по результатам эксперимента.

Произведем замену

$$C_п(\tau, y) = \theta(\tau, y)\cdot e^{\beta y} \tag{*}$$

при $\beta = -\dfrac{b}{2a}$, и получим

$$\frac{\partial\theta}{\partial\tau} = a\frac{\partial^2\theta}{\partial y^2} + \alpha\cdot\theta, \tag{4}$$

С начальными и граничными условиями

$$\theta(\tau, y)_{\tau=0} = C_0\left(1-\frac{y}{h}\right), \tag{5}$$

$$\left.\begin{aligned}\theta(\tau,y)_{y=0}&=C_0,\\ \theta(\tau,y)_{y=h}&=0.\end{aligned}\right\}\quad, \tag{6}$$

где $\alpha=d-\dfrac{b^2}{4a}>0$.

Сделаем еще одну замену, т.е. $\theta(\tau,y)=\varphi(\tau,y)\cdot e^{\alpha\tau}$ (**)

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\tau}e^{\alpha\tau}+\alpha\cdot\varphi\cdot e^{\alpha\tau}=a\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}e^{\alpha\tau}+\alpha\cdot\varphi\cdot e^{\alpha\tau}$$

и сократим на $e^{\alpha\tau}\neq 0$. Тогда

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2}, \tag{7}$$

$$\varphi(\tau,y)_{\tau=0}=C_0\left(1-\frac{y}{h}\right) \tag{8}$$

$$\left.\begin{aligned}\varphi(\tau,y)_{y=0}&=C_0\cdot e^{-\alpha\tau},\\ \varphi(\tau,y)_{y=h}&=0.\end{aligned}\right\}. \tag{9}$$

Формальное решение задачи (7)-(9) представим в виде [3]

$$\varphi(\tau,y)=\omega(\tau,y)+\upsilon(\tau,t),$$

где $\omega(\tau,y)=C_0\left(1-\dfrac{y}{h}\right)\cdot e^{-\alpha\tau}$,

$$\omega(\tau,y)_{\tau=0}=C_0\left(1-\frac{y}{h}\right), \tag{10}$$

$$\left.\begin{aligned}\omega(\tau,y)_{y=0}&=C_0\cdot e^{-\alpha\tau},\\ \omega(\tau,y)_{y=h}&=0.\end{aligned}\right\}$$

Тогда для $\upsilon=\upsilon(\tau,y)$ получим

$$\frac{\partial\upsilon}{\partial\tau}=a\frac{\partial^2\upsilon}{\partial y^2}+f(\tau,y), \tag{11}$$

$$\upsilon(\tau, y)_{\tau=0} = 0,$$
$$\upsilon(\tau, y)_{y=0} = 0,$$
$$\upsilon(\tau, y)_{y=h} = 0.$$

где

$$f(\tau, y) = aw''_{yy} - w'_{\tau} = -(-a)\cdot C_O(1-\frac{y}{h})\cdot e^{-a\tau} = C_O\cdot a\cdot(1-\frac{y}{h})\cdot e^{-a\tau}.$$

Тогда

$$\frac{\partial\upsilon}{\partial\tau} = a\frac{\partial^2\upsilon}{\partial y^2} + C_0\cdot\alpha\left(1-\frac{y}{h}\right)\cdot e^{-\alpha\tau},$$

$$\upsilon(\tau, y) = \sum_{k=1}^{\infty}\upsilon_k(\tau, y) = \sum_{k=1}^{\infty}X_k(y)\cdot T_k(\tau),$$

где $X_k(y) = \sin\lambda_k y = \sin\frac{k\pi}{h}y, \quad \lambda_k = \frac{k\pi}{h}$.

$T_k(\tau)$ есть решение задачи Коши

$$T_k' + a\lambda_k^2 T_k = f_k(\tau),$$
$$T_k(0) = 0.$$

$$f_k(\tau) = \frac{2}{h}\int_0^h f(\tau, y)\cdot\sin\frac{k\pi}{h}y dy,$$

$$T_k(\tau) = \frac{2C_0\alpha}{\pi k\left(a\lambda_k^2-\alpha\right)}\cdot\left[e^{-\alpha\tau} - e^{-a\lambda_k^2\tau}\right],$$

$$\upsilon(\tau, y) = \frac{2C_0\alpha}{\pi}\cdot\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k\left(a\lambda_k^2-\alpha\right)}\cdot\left[e^{-\alpha\tau} - e^{-a\lambda_k^2\tau}\right]\cdot\sin\frac{k\pi}{h}y,$$

$$C_n = (\tau, y) = \Theta\cdot e^{\beta y} = \varphi(\tau, y)\cdot e^{a\tau}\cdot e^{\beta\tau} = [w(\tau, y) + \nu(\tau, y)]\cdot e^{a\tau}\cdot e^{\beta\tau},$$

$$C_n(\tau, y) = C_o\left(1-\frac{y}{h}\right)\cdot e^{\beta y} + \frac{2C_0\alpha}{\pi}\cdot e^{\beta y}\cdot\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k\left(a\lambda_k^2-\alpha\right)}\cdot\left[1-e^{\left(1-a\lambda_k^2\right)\tau}\right]\cdot\sin\frac{k\pi}{h}y. \quad (12)$$

Полученное выражение (12) подставляем в решение первого уравнения системы (1), которое имеет вид

$$T = T_{в} + 2\sigma\sum_{n=1}^{\infty} A\left\{\frac{1-\exp\left(-\left[a\left(\frac{\mu_n}{h_c}\right)^2 + f\mu - g\right]\cdot\tau\right)}{a\left(\frac{\mu_n}{h_c}\right)^2 - f\mu + g} - \right. \tag{13}$$

$$\left.\frac{\exp(-\chi\tau)-\exp\left(-\left[a\left(\frac{\mu_n}{h_c}\right)^2 + f\mu - g\right]\cdot\tau\right)}{a\left(\frac{\mu_n}{h_c}\right)^2 - (\chi + f\mu - g)}\right\} \times \left\{\cos\frac{\mu_n}{h_c}x - \frac{B_i}{\mu_n}\cdot\sin\frac{\mu_n}{h_c}x\right\}$$

при
$$A = \frac{\mu_n \sin\mu_n + B_i(1-\cos\mu_n)}{\mu_n^2 + B_i(B_i + 2)},$$

$$B_i = \frac{gh_c}{\lambda} \text{ - критерий Био,}$$

$$\sigma = fS, \; f = \frac{C_0 q U_0}{C_p\gamma},$$

$$g = \frac{\alpha_v}{C_p\gamma(1-n)}, \; \chi = \frac{1}{\tau}\ln\frac{C_n}{S}, \; \lambda = aC_p\gamma, \; \mu = \frac{SE}{U_0};$$

где $T_в$ - температура воздуха в поровом пространстве окисляющегося объема, °K; C_p - теплоемкость, Дж/(кг·K); λ - теплопроводность Вт/(м·K); a - коэффициент температуропроводности, м^2/с; α_v - теплоотдача в объеме, Вт(м^3·K); U_0 - скорость сорбции кислорода рудой при температуре T_0, м^3(кг·с); C_0 - концентрация кислорода в окисляющемся объеме, доли единицы; γ - плотность объема горной массы, кг/м^3; $П$ -пористость горной массы, м^3/м^3; q - удельная теплота окисления, Дж/м^3; τ - время окисления, с; $\mu_n \to (2n-1)\frac{\pi}{2}$;

$C_н$ - концентрация окисленных форм в окисляющемся объеме, мг/м^3;

E - температурный коэффициент скорости сорбции, м^3/кг.

Аналитические выражения (12) и (13) в отличии от ранее известных [1, 2] позволяют прогнозировать различные стадии эндогенного пожара на складах руды, начиная от самонагревания и возгорания объема и кончая затуханием пожара. Это позволяет своевременно применять профилактические мероприятия по улучшению экологической ситуации в горнодобывающих регионах, а именно предотвращение и тушение эндогенных пожаров на складах шахт, рудников, карьеров и обогатительных фабриках, и разработать комплекс способов и средств профилактики ухудшения качества полезных ископаемых от окисления и загрязнения окружающей среды выделяющимися ядовитыми газами.

Профилактические мероприятия по предотвращению загрязнения окружающей среды газовыделением и снижения качества руды от окисления можно разделить на следующие виды:

- организационно-технологические;
- специальные;
- комбинированные.

К организационно - технологическим мероприятиям относятся: уменьшение времени нахождения руды под окислением на складах; отсыпка складов с определенными параметрами (высота, ширина, длина); усреднение руды по химико-физическим и технологическим показателям. К специальным мероприятиям относятся: уменьшение скорости сорбции кислорода рудой с помощью различных веществ (антипирогены, инертные газы); уменьшение температуры руды (охлаждение с помощью различных веществ и регулирование процессом теплоотдачи). Комбинированные мероприятия включают как организационно-технологические, так и специальные, например, отсыпка слоями заданной высоты с обработкой каждого слоя антипирогеном.

Анализ решения (13) показывает, что при значении выражения

$$a\left(\frac{\mu_n}{h_c}\right)^2 + f\mu - g = 0 \qquad (14)$$

самонагревание не произойдет, так как сумма в (13) будет меньше нуля. Поэтому из формулы (14) можно определить, при каких значениях различных входящих в это выражение физических или физико-химических параметров будет выполняться это условие. Так, например, можно определить при какой высоте рудного склада или при каком значении скорости сорбции кислорода рудой не будет происходить самонагревание и газовыделение на складе руды. Таким образом, приведенные выше аналитические исследования температурно-газового режима в окисляющихся объемах полезных ископаемых при их складировании могут быть использованы для разработки новых способов улучшения экологии горнодобывающих регионов, т.е. профилактики загрязнения окружающей среды и рационального использования окисляющихся руд и углей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмеджанов Т.К., Жанбатыров А.А. Аналитическое обоснование процесса самонагревания руды в карьере // Охрана окружающей среды при разработке твердых полезных ископаемых. – Алма-Ата: МНО Каз ССР, 1989. – С. 16-25.
2. Глузберг Е.И. Теоретические основы прогноза и профилактики эндогенных пожаров. –М.: Недра, 1986 . – 160 с.
3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. - М.: Физматгиз, 1966. – 724 с.

Казахский национальный технический университет

ЖИНАҚТАУ КЕЗІНДЕ ТОТЫҒАТЫН ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАР КӨЛЕМІНДЕ ЖИНАҚТАУҒА БАЙЛАНЫСТЫ ТЕМПЕРАТУРА-ГАЗ РЕЖИМІНІҢ ДИНАМИКАСЫ

Ш.К. Альмухамбетова

Мақалада пайдалы қазбалардың тотықсыздану мәселесіне қатысты температура-газдың режим динамикасын аналитикалық негіздеудің нәтижелері баяндалған. Олардың қоршаған ортаны тотық өнімдерінен ластанудан және тотығу процестерінен минералды шикізаттардың сапасының төмендеуінен қорғауда тау-кен өндіру аймақтарының экологиялық жағдайларын жақсарту үшін нақты шаралар жасауға пайдаланудағы жаңалықтары мен мүмкіндіктері көрсе тілген.