

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ПОРОДАМИ И ВОЗДУХОМ В ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ НАЛИЧИИ ИСПАРЕНИЯ ВЛАГИ

В статье дан вывод зависимостей для расчета среднеинтегральных значений коэффициентов нестационарного теплообмена для проходимых тупиковых выработок при наличии испарения влаги с их поверхности.

РАСЧЕТ, КОЭФФИЦИЕНТ, ТЕПЛООБМЕН, ПОРОДЫ, ВОЗДУХ, ВЫРАБОТКА,
ИСПАРЕНИЕ, ВЛАГА, ШАХТА, ТЕМПЕРАТУРА, ДАВЛЕНИЕ, ПАР.

В глубоких угольных шахтах Донбасса для борьбы с пылью широко применяют орошение мест отбойки, погрузки и перегрузки ископаемого, смыв пыли со стенок выработок. В таких условиях процесс передачи тепла от пород к воздуху в проходимой тупиковой выработке существенно интенсифицируется за счет испарения влаги со стенок выработки.

Основным параметром при расчете тепловыделений от горных пород в проходимых выработках является коэффициент нестационарного теплообмена. От степени точности его определения в значительной мере зависит величина погрешности при тепловых расчетах. В ныне действующем нормативном документе [1] при расчете величины коэффициента нестационарного теплообмена влияние испарения влаги на интенсивность теплообмена горных пород и воздуха в выработке не учитывается. Кроме того, для расчета тепловыделения от горных пород в выработке необходимо использовать величину среднеинтегрального значения коэффициента нестационарного теплообмена в расчетный промежуток времени ее проведения, что в нормативном документе [1] не учитывается.

Для получения величин среднеинтегральных значений коэффициентов нестационарного теплообмена горных пород и воздуха в подготовительной выработке и ее призабойной зоне используем ранее полученное выражение для коэффициента нестационарного теплообмена для выработок, проветриваемых менее одного года, при наличии испарения влаги [2]

$$K\tau = \left[1 - \frac{Bi}{B'i} f(z) \right] \left[(\alpha + \beta n)t_{ПСП} - (\alpha + \beta n\varphi_{CP})t_{CP} - \beta n\varepsilon(1 - \varphi_{CP}) \right] / (t_{ПСП} - t_{CP}), \quad (1)$$

где Bi – критерий Био; $Bi = \frac{(\alpha + \beta n)R_o}{\lambda}$; $B'i = Bi + 0,375$;

$$Z = Bi' \sqrt{F_o}; \quad F_o - \text{критерий Фурье}; \quad F_o = \frac{a\tau}{R_o^2};$$

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С);

β – коэффициент массоотдачи, Вт/(м²·Па);

n, ε – коэффициенты в уравнении аппроксимации зависимости давления насыщенных водяных паров от температуры воздуха; принимаются по рекомендации [3];

$t_{ПСП}$ – средняя естественная температура пород в горной выработке, °С;

R_o - эквивалентный радиус выработки, м;

a – коэффициент температуропроводности пород, м²/ч;

ϕ – продолжительность охлаждения пород в выработке, ч;

λ – коэффициент теплопроводности пород в выработке, Вт/(м·°С).

Согласно [3] функция $f(z)$ имеет вид

$$f(z) = 1 - \exp(-z^2) \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-z^2) dz \right] \quad (2)$$

Представим величину $Z = b\sqrt{\tau}$ при $b = \frac{Bi\sqrt{a}}{R_o}$

Тогда с учетом выражения (2) и замены параметра z зависимость для коэффициента $K\tau$ примет вид

$$K\tau = \left\{ 1 - \frac{Bi}{Bi'} \left[1 - \exp(b^2\tau) \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{b\sqrt{\tau}} \exp(-b^2\tau) d(b\sqrt{\tau}) \right) \right] \right\} \times \quad (3)$$

$$\times [(\alpha + \beta n)t_{ПЗ} - (\alpha + \beta n\phi_{CP})t_{CP} - \beta n\varepsilon(1 - \phi_{CP})](t_{ПЗ} - t_{CP})^{-1}$$

Тупиковую выработку по продолжительности охлаждения горных пород разделим на две части: первая от забоя до конца воздухопровода с охлаждением горных пород от 0 до τ_1 ; вторая от конца трубопровода до устья с охлаждением горных пород от τ_1 до τ_2 .

Коэффициент нестационарного теплообмена $K\phi$ по мере охлаждения горных пород уменьшается по нелинейному закону, поэтому для расчета тепловыделения от горных пород необходимо использовать среднеинтегральное значение в соответствующем промежутке продолжительности охлаждения пород.

Выражения для определения среднеинтегральных значений коэффициентов нестационарного теплообмена K_{τ}^{cp} при изменении продолжительности охлаждения в пределах $0 \leq \phi \leq \phi$ и $\tau_1 \leq \phi \leq \tau_2$ (где τ_1 и τ_2 менее года) можно получить проинтегрировав в соответствующих пределах зависимость (3).

При изменении продолжительности охлаждения пород в первой части выработки $0 \leq \phi \leq \tau_1$ для интегрирования запишем

$$K_{\tau}^{cp} = \frac{1}{\tau_1} \left[\frac{(\alpha_3 + \beta_3 n_3)t_{ПЗ} - (\alpha_3 + \beta_3 n_3\phi_3)t_3 - \beta_3 n_3\varepsilon_3(1 - \phi_3)}{t_{ПЗ} - t_3} \right] \times \quad (4)$$

$$\times \int_0^{\tau_1} \left\{ 1 - \frac{Bi_3}{Bi'_3} \left[1 - \exp(b^2\tau) \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{b\sqrt{\tau}} \exp(-b^2\tau) d(b\sqrt{\tau}) \right) \right] \right\} d\tau$$

где $Bi_3 = \frac{(\alpha_3 + \beta_3 n_3) R_o}{\lambda}$; $B'i_3 = Bi_3 + 0,375$;

α_3 , β_3 – коэффициенты теплоотдачи и массоотдачи применительно к призабойной части выработки;

ε_3 , n_3 – коэффициент в уравнении аппроксимации зависимости давления насыщенных водяных паров от температуры в призабойной части выработки.

Из выражения (4) после интегрирования получим

$$K_{\tau}^{CP} = \left[\frac{(\alpha_3 + \beta_3 n_3) t_{ПЗ} - (\alpha_3 + \beta_3 n_3 \varphi_3) t_3 - \beta_3 n_3 \varepsilon_3 (1 - \varphi_3)}{t_{ПЗ} - t_3} \right] \times$$

$$\times \left\{ 1 - \frac{Bi_3}{B'i_3} \left[1 - \frac{1}{b^2 \tau_i} \exp(b^2 \tau_1) \operatorname{erfc}(b\sqrt{\tau_1}) - \frac{1,13b\sqrt{\tau_1} - 1}{b^2 \tau_1} \right] \right\}$$

(5)

При изменении продолжительности охлаждения пород в выработке $\tau_1 \leq \phi \leq \tau_2$ для интегрирования запишем

$$K_{\tau}^{CP} = \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \left[\frac{(\alpha + \beta n) t_{ПСП} - (\alpha + \beta n \varphi_{CP}) t_{CP} - \beta n \varepsilon (1 - \varphi_{CP})}{t_{ПСП} - t_{CP}} \right] \times$$

$$\times \int_{\tau_1}^{\tau_2} \left\{ 1 - \frac{Bi}{B'i} \left[1 - \exp(b^2 \tau) \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{b\sqrt{\tau}} \exp(-b^2 \tau) d(b\sqrt{\tau}) \right) \right] \right\} d\tau$$

(6)

Проинтегрировав выражение (6), получим

$$K_{\tau}^{CP} = \left[\frac{(\alpha + \beta n) t_{ПСП} - (\alpha + \beta n \varphi_{CP}) t_{CP} - \beta n \varepsilon (1 - \varphi_{CP})}{t_{ПСП} - t_{CP}} \right] \times$$

$$\times \left\{ 1 - \frac{Bi}{B'i} \left[1 + \frac{1}{b^2 (\tau_2 - \tau_1)} \left[\exp(b^2 \tau_1) \operatorname{erfc}(b\sqrt{\tau_1}) - \exp(b^2 \tau_2) \operatorname{erfc}(b\sqrt{\tau_2}) \right] - \frac{1,13}{b(\sqrt{\tau_1} + \sqrt{\tau_2})} \right] \right\}$$

(7)

Зависимости (5) и (7) сложны и требуют затрат времени на расчеты. В связи с необходимостью их упрощения был изучен диапазон изменения комплекса $\exp(b^2 \tau) \operatorname{erfc}(b\sqrt{\tau})$, входящего в эти выражения. Установлено, что для проходимых тупиковых выработок комплексом $\exp(b^2 \tau) \operatorname{erfc}(b\sqrt{\tau})$ а тем более их разностью при τ_1 и τ_2 в выражениях (5) и (7) можно пренебречь, если

$$b\sqrt{\tau} \geq 3$$

(8)

Это условие хорошо выполняется для подготовительных выработок, поэтому можно зависимости (5) и (7) упростить и записать их в виде:

при продолжительности охлаждения горных пород $0 \leq \phi \leq \tau_1$

$$K_{\tau_3}^{CP} = \left[\frac{(\alpha_3 + \beta_3 n_3) t_{ПЗ} - (\alpha_3 + \beta_3 n_3 \varphi_3) t_3 - \beta_3 n_3 \varepsilon_3 (1 - \varphi_3)}{t_{ПЗ} - t_3} \right] \left[1 - \frac{Bi_3}{B'i_3} \left(1 - \frac{1,13 z_1 - 1}{z_1^2} \right) \right] \quad (9)$$

при продолжительности охлаждения пород $\tau_1 \leq \phi \leq \tau_2$

$$K_{\tau}^{CP} = \left[\frac{(\alpha + \beta n) t_{ПСП} - (\alpha + \beta n \varphi_{CP}) t_{CP} - \beta n \varepsilon (1 - \varphi_{CP})}{t_{ПСП} - t_{CP}} \right] \left[1 - \frac{Bi}{B'i} \left(1 - \frac{1,13}{z_1 + z_2} \right) \right] \quad (10)$$

Зависимости (9) и (10) рекомендуются для расчета среднеинтегральных значений коэффициентов нестационарного теплообмена K_{τ}^{cp} применительно к проходным тупиковым выработкам в глубоких шахтах.

СТУКАЛО В.А., к.т.н. (ДонНТУ)

РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТІВ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ МІЖ ГІРСЬКИМИ ПОРОДАМИ І ПОВІТРЯМ У ТУПІКОВІ ВИРОБЦІ ПРИ НАЯВНОСТІ ВИПАРОВУВАННЯ ВОЛОГИ.

У статті дано висновок залежностей для розрахунку середнінтегральних значень коефіцієнтів нестационарного теплообміну для прохідних тупикових виробок при наявності випаровування вологи з їхньої поверхні

РОЗРАХУНОК, КОЕФІЦІЄНТ, ТЕПЛООБМІН, ПОРОДИ, ПОВІТРЯ, ВИРОБКА, ВИПАРУВАННЯ, ВОЛОГА, ШАХТА, ТЕМПЕРАТУРА, ТИСК, ПАРА.

STUKALO V.A. (DonNTU)

CALCULATION OF KOFIKHENTIV OF NON-STATIONARY HEAT EXCHANGE BETWEEN MOUNTAIN BREEDS AND AIR IN DEAD-LOCKED MAKING AT PRESENCE OF EVAPORATION OF MOISTURE.

The paper gives a derivation of average integral values for the calculation of unsteady heat transfer coefficients for the blind workings of passable if the evaporation of moisture from the surface

CALCULATION, COEFFICIENT, HEAT EXCHANGE, BREEDS, AIR, MAKING, EVAPORATION, MOISTURE, MINE, TEMPERATTURE, PRESSURE, STEAM.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Прогнозирование и нормализация тепловых условий в угольных шахтах. Стандарт Минэнергоуглепрома Украины. К.: 2011.
2. Стукало В.А., Гуцин А.М. Нестационарный теплообмен между породами и рудничным воздухом при граничных условиях третьего рода, осложненных влагообменом. /- Известия вузов. Горный журнал, 1984, №12.
3. Щербань А.Н., Кремнев О.А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Том 1. Изд-во АНУССР. – К.: 1959.