

СТУКАЛО В.А.

ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКЕ ПРИ НАГНЕТАТЕЛЬНОМ СПОСОБЕ ПРОВЕТРИВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИИ ИСКУССТВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА

В статье дан вывод расчетных зависимостей для определения температуры воздуха в проходимой тупиковой выработке при нагнетательном способе проветривания и искусственном охлаждении воздуха. Полученные зависимости для расчета температуры воздуха и необходимой производительности холодильной установки при нагнетательном способе проветривания учитывают основные источники тепловыделений в тупиковую выработку и испарение влаги с поверхностей выработки и насыпки транспортируемого конвейерами ископаемого.

ПРОГНОЗ, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЗДУХ, ВЫРАБОТКА, ЗАБОЙ, ТРУБОПРОВОД, ТЕПЛОСОДЕРЖАНИЕ, ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ, СПОСОБ, ПРОВЕТРИВАНИЕ, ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЬ, ВЛАЖНОСТЬ, ИСТОЧНИК, ТЕПЛО

Существующий метод прогноза температуры воздуха в проходимой тупиковой выработке с применением нагнетательного способа проветривания и искусственного охлаждения воздуха [1] весьма приближенно учитывает испарение влаги с поверхности выработки и насыпки ископаемого, что приводит к существенным погрешностям в результатах расчета.

В работах [2,3,4] даны рекомендации по учету испарения влаги с поверхностей выработки и насыпки ископаемого.

При нагнетательном способе проветривания и применением искусственного охлаждения воздуха характерными точками, в которых необходимо знать ожидаемые температуры воздуха являются: точка 2 при поступлении воздуха из воздухопровода в воздухоохладитель; точка 3 – при выходе воздуха из воздухоохладителя в трубопровод; точка 4 – в конце воздухопровода; точка 5 – при выходе воздуха из призабойной зоны выработки; точка 6 – у устья тупиковой выработки. В точке 1 (в трубопроводе за ВМП) температура воздуха может быть предварительно рассчитана или определена путем измерения [2]. В пункте 5 температура воздуха должна быть равна максимально допустимому значению в соответствии с требованиями действующих Правил безопасности.

Расчетные зависимости для определения значений температуры воздуха с точках 2,3,4 и 6 с учетом рекомендаций [3,4,] можно получить решив нижеследующую систему уравнений теплового баланса применительно к тупиковой выработке с нагнетательным способом проветривания и искусственным охлаждением воздуха.

$$\begin{aligned}
& M_4 \cdot \kappa'_{VT.TP} \left[t_2 c_p + \frac{0,623 r n_2 \varphi_2}{B_2 - p_2 \varphi_2} (t_2 - \varepsilon_2) \right] - M_4 \cdot \kappa_{VT.TP} \left[t_1 c_p + \frac{0,623 r n_1 \varphi_1}{B_1 - p_1 \varphi_1} (t_1 - \varepsilon_1) \right] + \\
& + 0,5 M_4 \cdot c_p (\kappa'_{VT.TP} t_2 - \kappa_{VT.TP} t_1) + 0,5 M_4 \left[\kappa'_{VT.TP} \cdot \frac{0,623 r n_2 \varphi_2}{B_2 - p_2 \varphi_2} (t_2 - \varepsilon_2) - \kappa_{VT.TP} \frac{0,623 r n_1 \varphi_1}{B_1 - p_1 \varphi_1} (t_1 - \varepsilon_1) \right] = (1); \\
& = 0,5 \kappa_T u_T L_{1-2} (t_1 + t_2 - t_5 - t_6) \pm 4,9 M_4 (\kappa'_{VT.TP} + \kappa_{VT.TP}) L_{1-2} \sin \psi
\end{aligned}$$

$$M_4 c_p \kappa'_{VT.TP} (t_2 - t_3) + M_4 \kappa'_{VT.TP} \left[\frac{0,623 r n_2 \varphi_2}{B_2 - p_2 \varphi_2} (t_2 - \varepsilon_2) - \frac{0,623 r n_3 \varphi_3}{B_3 - p_3 \varphi_3} (t_3 - \varepsilon_3) \right] = Q_x \quad (2);$$

$$\begin{aligned}
& M_4 \left[c_p t_4 + \frac{0,623 r n_4 \varphi_4}{B_4 - p_4 \varphi_4} (t_4 - \varepsilon_4) - \kappa'_{VT.TP} c_p t_3 - \frac{\kappa'_{VT.TP} 0,623 r n_3 \varphi_3}{B_2 - p_3 \varphi_3} (t_3 - \varepsilon_3) \right] - \\
& - 0,5 M_4 c_p (t_4 - \kappa'_{VT.TP} t_3) + 0,5 M_4 c_p (t_4 - \kappa'_{VT.TP} t_3) + \\
& + 0,5 M_4 \left[\frac{0,623 r n_4 \varphi_4}{B_4 - p_4 \varphi_4} (t_4 - \varepsilon_4) - \frac{0,623 r n_3 \varphi_3}{B_2 - p_3 \varphi_3} (t_3 - \varepsilon_3) \kappa'_{VT.TP} \right] = \quad (3); \\
& = 0,5 \kappa_T u_T L_{2-4} (2t_5 - t_3 - t_4) \pm 4,9 M_4 (k'_{VT.TP} - 1) L_{2-4} \sin \Psi
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& M_4 c_p (t_5 - t_4) + M_4 \left[\frac{0,623 r n_5 \varphi_5}{B_4 - p_5 \varphi_5} (t_5 - \varepsilon_5) - \frac{0,623 r n_4 \varphi_4}{B_4 - p_4 \varphi_4} (t_4 - \varepsilon_4) \right] = \\
& = F_0 \{ (\alpha_0 + \beta_0 n_0) t_{ПО} - 0,5 [\alpha_0 + 0,5 \beta_0 n_0 (\varphi_4 + \varphi_5)] (t_4 + t_5) - \beta_0 n_0 \varepsilon_0 [1 - 0,5 (\varphi_4 + \varphi_5)] \}; \quad (4) \\
& \cdot \left[1 - \frac{Bi_0}{B'i_0} \left(1 - \frac{1,13 Z_0 - 1}{Z_0^2} \right) \right] + Q_{MO}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& M_4 \left[c_p \cdot \kappa_{VT.TP} t_6 + \frac{\kappa_{VT.TP} 0,623 r n_6 \varphi_6}{B_1 - p_6 \varphi_6} (t_6 - \varepsilon_6) - c_p \cdot t_5 - \frac{0,623 r n_5 \varphi_5}{B_4 - p_5 \varphi_5} (t_5 - \varepsilon_5) \right] = 0,5 M_4 c_p (\kappa_{VT.TP} t_6 - t_5) + \\
& + 0,5 M_4 \left[\frac{\kappa_{VT.TP} 0,623 r n_6 \varphi_6}{B_1 - p_6 \varphi_6} (t_6 - \varepsilon_6) - \frac{0,623 r n_5 \varphi_5}{B_4 - p_5 \varphi_5} (t_5 - \varepsilon_5) \right] + \\
& + UL \{ (\alpha + \beta n) t_{ПСП} - 0,5 [\alpha + 0,5 \beta n (\varphi_5 + \varphi_6)] (t_5 + t_6) - \beta n \varepsilon [1 - 0,5 (\varphi_5 + \varphi_6)] \} \left[1 - \frac{Bi}{B'i} \left(1 - \frac{1,13}{Z_5 + Z_6} \right) \right] +; (5) \\
& + G_{II} C_{II} (1 - \theta_{vk}) [t_{VII} - 0,5 (t_5 + t_6)] - 0,5 \kappa_T u_T L_{1-2} (t_5 + t_6 - t_1 - t_2) - 0,5 \kappa_T u_T L_{2-4} (2t_5 - t_3 - t_4) \pm \\
& \pm 4,9 M_4 L (\kappa_{VT.TP} + 1) \sin \Psi + k_k b_k L [t_B - 0,5 (t_5 + t_6)] + Q_M + q_0 UL
\end{aligned}$$

где M_4 – массовый расход воздуха в конце трубопровода, кг/с;

c_p , c_{II} – теплоемкость соответственно воздуха и транспортируемого ископаемого, Дж/(кг·°C);

r – теплота парообразования, Дж/кг;

$t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$ – температура воздуха соответственно в пунктах 1,2,3,4,5 и 6 выработки и воздухопровода, $^{\circ}\text{C}$;

$n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5, \varepsilon_6$ - коэффициенты в уравнении аппроксимации зависимости величины давления насыщенных водяных паров от температуры воздуха в пунктах 1,2,3,4,5 и 6 выработки и воздухопровода [3] с учетом пересчета на систему единиц СИ;

$n, \varepsilon, n_0, \varepsilon_0$ – коэффициенты в уравнении аппроксимации величины давления насыщенных водяных паров от средней температуры воздуха в тупиковой выработке между пунктами 1 и 4 и призабойном пространстве [3] с учетом пересчета на систему единиц СИ;

$p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6$ – среднее давление насыщенных водяных паров в пунктах 1,2,3,4,5 и 6 выработки и воздухопровода [5] с учетом пересчета на систему единиц СИ;

$k_{\text{ут.тр}}$ – коэффициент утечек воздуха в трубопроводе, доли ед.;

V_1, V_2, V_3, V_4 – давление воздуха в пунктах 1,2,3,4 выработки и трубопровода, Па;

U – периметр поперечного сечения выработки, м;

L_{1-2}, L_{2-4}, L – длина участков трубопровода 1-2, 2-4 и всей тупиковой выработки, м;

α, α_0 – коэффициент теплоотдачи [3] соответственно для выработки между пунктами 1 и 4 и для призабойного пространства при средней скорости и плотности воздуха, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ [1];

β_1, β_0 – коэффициент массоотдачи соответственно для выработки между пунктами 1 и 4 и призабойного пространства при средней скорости движения и плотности воздуха, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ [5];

Ψ – угол наклона тупиковой выработки, градус;

$t_{\text{ср}}, t_{\text{по}}, t_{\text{в}}$ – среднее значение соответственно , естественной температуры горных пород в горной выработке, призабойном пространстве и воды в водоотливной канавке, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{вн}}$ – начальное среднее значение температуры ископаемого в насыпке при погрузке на конвейер, $^{\circ}\text{C}$;

$k_{\text{т}}, k_{\text{к}}$ – коэффициент теплоотдачи соответственно от теплого трубопровода и закрытой поверхности водоотливной канавки, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

$G_{\text{и}}$ – производительность конвейера, кг/с;

$Q_{\text{м}}, Q_{\text{мо}}$ – суммарное тепловыделение от местных источников тепла соответственно в тупиковой выработке между пунктами 1 и 4 и в призабойном пространстве, Вт [1];

$\theta_{\text{вк}}$ – средняя по объему насыпки температура ископаемого в конце конвейера или цепи последовательно установленных конвейеров, доли ед. [7];

$u_{\text{т}}$ – периметр насыпки ископаемого на конвейере, м [6];

$b_{\text{к}}$ – ширина водоотливной канавки, м;

q_0 – удельная теплота окисления пород в тупиковой выработке, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

F_0 – суммарная боковая поверхность выработки в призабойном пространстве, м^2 ;

Для упрощения вида уравнений (1) - (5) разделим все слагаемые на $M_{4\text{ср}}$ и примем следующие обозначения

$$Y_1 = \kappa'_{YT.TP} - 1; Y_2 = \kappa'_{YT.TP} + \kappa'_{YT.TP}; Y_3 = \kappa'_{YT.TP} + 1$$

$$Л_1 = \frac{0,623m_1\varphi_1}{c_p(B_1 - p_1\varphi_1)}; Л_2 = \frac{0,623m_2\varphi_2}{c_p(B_2 - p_2\varphi_2)}; Л_3 = \frac{0,623m_3\varphi_3}{c_p(B_3 - p_3\varphi_3)}; Л_4 = \frac{0,623m_4\varphi_4}{c_p(B_4 - p_4\varphi_4)};$$

$$Л_5 = \frac{0,623m_5\varphi_5}{c_p(B_4 - p_5\varphi_5)}; Л_6 = \frac{0,623m_6\varphi_6}{c_p(B_1 - p_6\varphi_6)};$$

$$\Pi_{T1} = \frac{0,5\kappa_T u_T L_{1-2}}{M_4 c_p}; \Pi_{T2} = \frac{0,5\kappa_T u_T L_2}{M_4 c_p}; \Pi_k = \frac{0,5\kappa_k b_k L}{M_4 c_p}; \Pi_H = \frac{0,5G_H c_H (1 - \theta_{vk})}{M_4 c_p};$$

$$Д_1 = \frac{4,9Y_2 L_{1-2} \sin \psi}{c_p}; Д_2 = \frac{4,9Y_1 L_{2-4} \sin \psi}{c_p}; Д_3 = \frac{4,9Y_3 L \sin \psi}{c_p}$$

$$A = 1 - \frac{B_i}{B'_i} \left(1 - \frac{1,13}{Z_5 + Z_6} \right); A_0 = 1 + \frac{B_{i0}}{B'_{i0}} \left(1 - \frac{1,13Z_0 - 1}{Z^2_0} \right);$$

$$B = (\alpha + \beta n) t_{ncp}; E = 0,5[\alpha + 0,5\beta n(\varphi_5 + \varphi_6)]; N = \frac{UL}{M_4 c_p}; H = \beta n \varepsilon [1 - 0,5(\varphi_5 + \varphi_6)]$$

$$N_0 = \frac{F_0}{M_4 c_p}; B_0 = (\alpha_0 + \beta_0 n_0) t_{no}; E_0 = 0,5[\alpha_0 + \beta_0 n_0(\varphi_4 + \varphi_5)];$$

$$H_0 = \beta_0 n_0 \varepsilon_0 [1 - 0,5(\varphi_4 + \varphi_5)]; Bi = \frac{\alpha R_0}{\lambda}; Bi' = Bi + 0,375; Bi_0 = \frac{\alpha_0 R_0}{\lambda};$$

$$Bi'_0 = Bi_0 + 0,375$$

R_0 – эквивалентный радиус выработки, м;

λ – средневзвешенный коэффициент теплопроводности горных пород, Вт/(м·°C);

$$Z = Bi' \sqrt{\frac{a\tau}{R_0^2}}; Z_0 = Bi'_0 \sqrt{\frac{a\tau_0}{R_0^2}};$$

a – средневзвешенный коэффициент температуропроводности горных пород, м²/с;

τ_1 τ_0 – продолжительность охлаждения горных пород соответственно в горной выработке и ее призабойном пространстве, с.

Сгруппируем слагаемые уравнений (1) – (5) относительно величины t_2 , t_3 , t_4 , t_5 , t_6 и с учетом принятых обозначений после несложных преобразований систему уравнений (1), (2), (3), (4) и (5) можно представить в виде:

$$a_{11} t_2 - a_{15} t_6 = d_1 \quad (7)$$

$$b_{21} t_2 - b_{22} t_3 - Q_x = d_2 \quad (8)$$

$$-c_{32} t_3 + c_{33} t_4 = d_3 \quad (9)$$

$$e_{43} t_4 = d_4 \quad (10)$$

$$-q_{51} t_2 - q_{52} t_3 - q_{53} t_4 + q_{55} t_6 = d_5 \quad (11)$$

где $a_{11} = 1,5 \kappa'_{YT.TP} (1 + Л_2)$; $a_{15} = \Pi_{T1}$; ·

$$d_1 = [1,5 \kappa_{YT.TP} (1 + Л_1) + \Pi_{T1}] t_1 - \Pi_{T1} t_5 + 1,5 (\kappa'_{YT.TP} Л_2 \varepsilon_2 - \kappa_{YT.TP} Л_1 \varepsilon_1) \pm Д_1$$

$$e_{21} = \kappa'_{YT.TP} (1 + Л_2); e_{22} = \kappa'_{YT.TP} (1 + Л_3); d_2 = Q_x + \kappa'_{YT.TP} (Л_3 \varepsilon_3 - Л_2 \varepsilon_2);$$

$$c_{32} = 1,5 \kappa'_{YT.TP} (1 + Л_3); c_{33} = 1,5 \kappa'_{YT.TP} (1 + Л_4); d_3 = 1,5 (Л_4 \varepsilon_4 - Л_3 \varepsilon_3) + 2 \Pi_T t_5$$

$$e_{43} = A_0 E_0 N_0 - 1 - L_4;$$

$$d_4 = A_0 N_0 (B_0 - I_0) + L_5 \varepsilon_5 - L_4 \varepsilon_4 + \frac{Q_{MO}}{M_4 c_p} - [(1 + L_5) - A_0 E_0 N_0] t_5;$$

$$q_{51} = \Pi_{T1}; \quad q_{52} = q_{53} = \Pi_{T2}; \quad q_{55} = 0,5(1 + L_5) + AEN + \Pi_{и} + \Pi_{T1} - \Pi_{к};$$

$$d_5 = [0,5(1 + L_5) + AEN + \Pi_{и} + \Pi_{T1} + 2\Pi_{T2} + \Pi_{к}] t_5 + 2(\Pi_{и} t_{вн} + \Pi_{к} t_{в}) - \Pi_{T1} t_1 + \frac{Q_M}{M_4 c_p} + q_0 N \pm D_3$$

Из уравнения (9) следует

$$t_4 = \frac{d_4}{e_{43}} \quad (11)$$

Из уравнения (8) с учетом значения величины t_4 получим:

$$t_3 = \frac{c_{33} t_4 - d_3}{c_{32}} \quad (12)$$

Из уравнения (7) получим:

$$Q_x = \frac{b_{21} t_2 - b_{22} t_3}{d_2} \quad (13)$$

Из уравнения (6) получим:

$$t_2 = \frac{d_1 - a_{15} t_6}{a_{11}} \quad (14)$$

Из уравнения (10) с учетом выражений (11), (12), (14) получим:

$$t_6 = \frac{a_{11} [d_5 e_{43} c_{32} + d_4 (c_{32} q_{53} + c_{33} q_{52}) - d_3 e_{43} c_{33} q_{52}] + d_1 e_{43} c_{32} q_{51}}{e_{43} c_{32} (a_{11} q_{55} + a_{15} q_{51})} \quad (15)$$

Расчетные зависимости (11), (12), (14) и (15) рекомендуются для определения температуры воздуха в характерных пунктах тупиковой выработки и воздухопровода. Зависимость (13) рекомендуется для определения необходимой производительности холодильной установки для охлаждения воздуха, поступающего в призабойное пространство выработки.

СТУКАЛО В.А., к.т.н (ДонНТУ)

ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У ТУПИКОВІЙ ВИРОБКИ ПРИ НАГНІТАЛЬНОМУ СПОСОБІ ПРОВІТРЮВАННЯ І ЗАСТОСУВАННІ ШТУЧНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ

У статті дано вивід розрахункових залежностей для визначення температури повітря у проходимої тупикової виробки при нагнітальному способі провітрювання і штучному охолодженні повітря. Одержана також залежність для визначення потужності холодильної установки . Одержані залежності для розрахунку температури повітря і необхідної потужності холодильної установки при нагнітальному способі провітрювання враховують основні джерела тепловиділень в тупикову виробку та випарування вологи з поверхні виробки і насипки вкопного, яке транспортується конвеєрами.

ПРОГНОЗ, ТЕМПЕРАТУРА, ПОВІТРЯ, ВИРОБКА, ВИБІЙ, ТРУБОПРОВІД, ТЕПЛОВМІСТ, ВОЛОГОВМІСТ, СПОСІБ, ПРОВІТРЮВАННЯ, ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧ, ВОЛОГІСТЬ, ДЖЕРЕЛО, ТЕПЛО

Stukalo V. A. PhD (DNTU)

AIR TEMPERATURE FORECASTS IN A DEADLOCK ELABORATION WITH DELIVERY METHOD AND APPLICATION OF ARTIFICIAL VENTILATION AIR COOLING

The paper gives a conclusion calculated dependences to determine the air temperature in the development of deadlock passable at discharge method and artificial ventilation air cooling . The dependences obtained for the calculation of air temperature and the required performance of the refrigeration unit in the discharge process ventilation cover common heat source in the stub generation and evaporation of moisture from the surface of the formulation and application phase pipelines transported fossil

WEATHER , TEMPERATURE , AIR , ENERGY, SLAUGHTERING, PIPING , HEAT CONTENT , MOISTURE CONTENT , THE METHOD OF VENTILATION, AIR COOLERS, HUMIDITY , SOURCE , HEAT

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.-с. 43-48.

3. Стукало В.А., Гушин А.М. Расчет коэффициентов нестационарного теплообмена выработок при наличии испарения влаги / Известия вузов. Горный журнал, 1985, №2. –с. 35-40

4. Стукало в.А. Расчет коэффициентов нестационарного теплообмена между породами и воздухом в тупиковых выработках при наличии испарения влаги / ВІСТІ ДГІ, №2, 2013.

5. Щербань А.Н., Кремнев О.А., Журавленко В.Я. Руководство по регулированию теплового режима шахт. –М.: Недра, 1977.

6. Стукало В.А. Методика учета тепловыделений на конвейерном транспорте при прогнозе теплового режима в выработках глубоких шахт. «Разработка месторождений полезных ископаемых»: Респ.межвед. науч.-техн. сб., 1980, вып.56. –с.72-78.