

Predicting heat and humidity parameters of mine air

Authors Oniani S.I., Lanchava O.A., Bolkvadze S.L.

Publication date 1985

Conference 4th IBMT Session, United Kingdom

Volume 1

Issue 1

Pages 210-220

4th IBMT SESSION
oe ЗАСЕДАНИЕ МБГТ
te SITZUNG DER IBBW



PAPERS	VOLUME I
ДОКЛАДЫ	ТОМ I
BEITRÄGE	BAND I

UNITED KINGDOM
СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО
VEREINIGTES KÖNIGREICH

MAY
МАЙ
MAI

1985

МЕТОД РАСЧЕТА ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РУДНИЧНОГО
ВОЗДУХА

Ш.И.Ониани

Руководитель лаборатории горной теплофизики,
Институт горной механики имени Г.А.Цулукидзе
Академия Наук Грузинской ССР, Тбилиси, СССР

О.А.Ланчава, С.Л.Болквадзе

Научные сотрудники той же лаборатории

В связи с освоением глубоких горизонтов шахт и рудников возникла проблема прогноза и регулирования тепловлажностных параметров вентиляционной струи, которая остается актуальной по сей день. Для оптимального решения вопросов тепловлажностного кондиционирования рудничного воздуха необходимо дальнейшее развитие и уточнение методов прогнозирования климатических условий глубоких шахт.

Теоретические основы горной теплофизики были созданы авторами работ /1-4/, которые в последствии были развиты в работах /5-9/. Заметим предварительно, что все методы базируются на решениях уравнений теплового баланса. Авторы работ /5,7/ справедливо отмечают о несостоятельности существования расчетных зависимостей для вертикальных, наклонных, горизонтальных, очистных выработок, а также их дифференциации в зависимости от времени проветривания.

Здесь же необходимо заметить, что наличие и значимость тех или иных факторов, влияющих на процесс тепломассообмена между горным массивом и рудничным воздухом не должны служить поводом для создания множества расчетных методик, ибо физическая модель процесса является общей для любых горных выработок. Поэтому, горные выработки, с точки зрения методов определения тепловлажностных параметров вентиляционной струи, следует различать только по условиям проветривания. Следовательно, принципиально должны лишь различаться методы расчета для тупиковых выработок и для выработок, проветриваемых сквозной струей.

Влияние массообмена на тепловые процессы в шахтах всегда считалось существенным, однако разными авторами оно учитывалось по разному и не всегда корректно, чаще всего эмпирически. Исключение составляют лишь работы /6,7,8/. В работах /6,7/ решено дифференциальное уравнение теплового баланса, где влагосодержание рудничного воздуха принято в виде полного дифференциала от координаты и температуры. Однако, в расчетных формулах фигурируют экспериментальные значения относительной влажности по длине выработки, что фактически сужает область применения предложенных методов и лишает их признак общности.

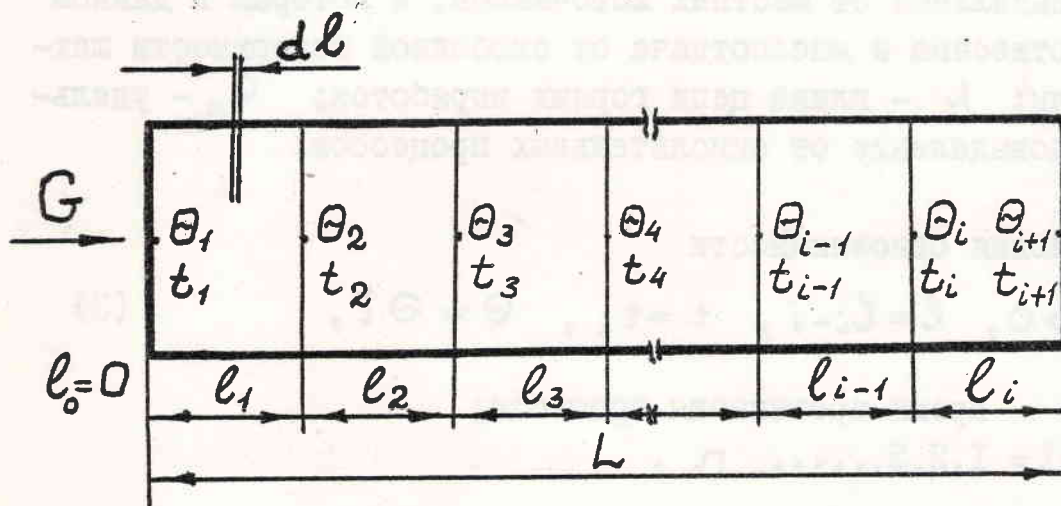
В работе /8/ впервые решены дифференциальные уравнения теплового и материального балансов, в результате получены расчетные формулы для определения температуры и потенциала массопереноса рудничного воздуха. Однако, формулы эти являются весьма громоздкими и справедливы лишь при соблюдении условия $\alpha = \alpha_m$, поэтому их практическое применение ограничено и связано с определенными неудобствами.

Для элементарной длины dl (рисунок) горной выработки, проветриваемой сквозной струей, энергетический и массовый балансы имеют вид

$$G c_p dt + G z dx = k_{\pi} u (t_0 \pm v l \sin \psi - t) dl - k_{\tau} u_{\tau} (t_{\tau} - t) dl \pm \frac{G l \sin \psi}{427} dl + \frac{\sum Q_m}{h} dl + q_0 u dl, \quad (I)$$

$$G c_m d\theta = k_{\pi m} u (\theta - \theta_0) dl + \frac{\sum W_m}{L} dl, \quad (2)$$

где G - масса рудничного воздуха, проходящего по выработке в единицу времени; c_p , c_m - изобарная теплоемкость и изотермическая массоемкость воздуха; dt , $d\theta$ - приращения температуры и потенциала массопереноса воздуха в результате тепломассообмена; z - удельная теплота фазового перехода вода-пар; dx - приращение влагосодержания возду-



Принципиальная схема к расчету климатических параметров воздуха в цепи горных выработок

ха; K_{τ} , $K_{\tau m}$ - коэффициенты нестационарного тепло- и массообмена; U - периметр горной выработки; t_0 , Θ_0 - естественная температура и естественный потенциал массопереноса горного массива; B - геотермический градиент; Ψ - угол наклона выработки; t , Θ - температура и потенциал массопереноса воздушной струи; K_T - коэффициент теплопередачи трубопровода, расположенного в выработке; U_T - периметр трубопровода; t_T - средняя температура потока жидкости в трубопроводе; $\sum Q_M$, $\sum W_M$ - сумма тепловыделений и массовыделений от местных источников, к которым в данном случае отнесена и массоотдача от свободной поверхности шахтной воды; k - длина цепи горных выработок; q_0 - удельное тепловыделение от окислительных процессов.

Условия однозначности

$$\tau > 0, \quad l = l_{i-1}, \quad t = t_i, \quad \Theta = \Theta_i, \quad (3)$$

где τ - время протекания процесса;
 $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

После несложных преобразований уравнения (1) и (2) соответственно принимают вид

$$\frac{dt + \frac{z}{c_p} dx}{M - \pi t \pm K} = dl, \quad (4)$$

$$\frac{d\Theta}{A(\Theta_0 - \Theta) + B} = dl, \quad (5)$$

где

$$M = \frac{1}{G c_p} (K_{\tau} U t_0 + K_T U_T t_T + \frac{\sum Q_M}{k}) + q_0 U;$$

$$\pi = \frac{1}{G c_p} (K_{\tau} U + K_T U_T);$$

$$K = \frac{l \sin \Psi}{c_p} \left(\frac{K_{\tau} U B}{G} + \frac{1}{427} \right);$$

$$= \left\{ \frac{B_1 \varepsilon A C}{RT} \exp \left[\frac{\theta_0 + \frac{B}{A} - C \exp(-A\ell)}{RT} \right] \cdot x \right. \\ \left. \times \exp(-A\ell) + (M - \pi t \pm K) \right\} d\ell,$$

которое не имеет решение, обеспечивающее приемлемую точность.

Поэтому в настоящей работе избран иной путь. Поскольку численное значение T (К) в данном случае примерно на порядок выше по сравнению с t ($^{\circ}\text{C}$), допускается, что приращение температуры на расчетном участке не оказывает существенного влияния на значение θ , а ε для взятого интервала изменения температуры является величиной постоянной. Поэтому после подстановки dx из формулы (7) уравнение (4) принимает вид

$$\frac{1 \pm \frac{\pi}{\varepsilon} B_1 \exp \frac{\theta}{RT}}{M - \pi t \pm K} dt = d\ell. \quad (8)$$

Таблица I

Интервал изменения температуры	n	ε	$P_{\text{ср}}, \text{Па}$
0 - 15	71,3	-7,48	1065,8
5 - 20	95,7	-3,06	1486,8
10 - 25	126,6	1,33	2052,6
15 - 30	165,8	5,72	2777,3
20 - 35	214,7	10,09	3736,8
25 - 40	275,3	14,45	4973,7
30 - 45	349,3	18,79	6539,5
35 - 50	438,2	23,06	8513,1

Общие интегралы выражений (5) и (8) соответственно имеют

$$A = \frac{\kappa_{\tau m} U}{G c_m} ;$$

$$B = \frac{\sum W_m}{L G c_m} .$$

Апроксимированная зависимость влагосодержания от относительной влажности, температуры и давления для шахтных условий имеет вид /10/

$$x = \frac{0,623 \psi n (t - \varepsilon)}{B - P_{cp}} , \quad (6)$$

где ψ - относительная влажность воздуха;

n, ε - коэффициенты аппроксимаций;

B - барометрическое давление;

P_{cp} - среднее парциальное давление водяного пара.

Значения величин n , ε , P_{cp} в зависимости от пределов аппроксимации приведены в табл. I.

Из определения химического потенциала массопереноса следует, что $\psi = \exp \theta / RT$, где R - универсальная газовая постоянная; T - абсолютная температура. С учетом этого, уравнение (6) принимает вид

$$x = B_1 (t - \varepsilon) \exp \frac{\theta}{RT} , \quad (7)$$

где

$$B_1 = \frac{0,623 n}{B - P_{cp}} .$$

Подстановка полного дифференциала от x из формулы (7) в уравнение (4), с учетом (5), приводит к выражению

$$\left\{ 1 + B_1 \exp \left[\frac{\theta_0 + \frac{B}{A} - C \exp(-A\ell)}{RT} \right] \times \right. \\ \left. \times \left[1 + \frac{\theta_0 + \frac{B}{A} - C \exp(-A\ell)}{RT^2} \right] \right\} =$$

$$= \left\{ \frac{B_1 \varepsilon A C}{RT} \exp \left[\frac{\theta_0 + \frac{B}{A} - C \exp(-A\ell)}{RT} \right] \times \right. \\ \left. \times \exp(-A\ell) + (M - \pi t \pm K) \right\} d\ell,$$

которое не имеет решение, обеспечивающее приемлемую точность.

Поэтому в настоящей работе избран иной путь. Поскольку численное значение T (К) в данном случае примерно на порядок выше по сравнению с t ($^{\circ}\text{C}$), допускается, что приращение температуры на расчетном участке не оказывает существенного влияния на значение θ , а ε для взятого интервала изменения температуры является величиной постоянной. Поэтому после подстановки dx из формулы (7) уравнение (4) принимает вид

$$\frac{1 \pm \frac{\pi}{\varepsilon p} B_1 \exp \frac{\theta}{RT}}{M - \pi t \pm K} dt = d\ell. \quad (8)$$

Таблица I

Интервал изменения температуры	n	ε	$P_{\text{ср}}, \text{Па}$
0 - 15	71,3	-7,48	1065,8
5 - 20	95,7	-3,06	1486,8
10 - 25	126,6	1,33	2052,6
15 - 30	165,8	5,72	2777,3
20 - 35	214,7	10,09	3736,8
25 - 40	275,3	14,45	4973,7
30 - 45	349,3	18,79	6539,5
35 - 50	438,2	23,06	8513,1

Общие интегралы выражений (5) и (8) соответственно имеют

ВИД

$$\theta = \theta_0 + \frac{B}{A} - C e^{-A\ell}, \quad (9)$$

$$\frac{1 + \frac{z}{c_p} b_1 \exp \frac{\theta}{RT}}{\pi} \ln |M - \pi t \pm K| = \ell + C. \quad (10)$$

С учетом условий однозначности и после введения обозначения

$$\mathcal{H}_{i,i+1} = \frac{\pi}{1 + b_1 \frac{z}{c_p} \exp \frac{\theta_{i+1,i}}{RT_{i,i+1}}} \quad (11)$$

получаются зависимости для определения потенциала массопереноса и температуры рудничного воздуха при прямом тепловом расчете

$$\theta_{i+1} = \theta_0 + \frac{B}{A} - \left(\theta_0 + \frac{B}{A} - \theta_i \right) e^{-A(\ell_i - \ell_{i-1})}, \quad (12)$$

$$t_{i+1} = \frac{M \pm K}{\pi} - \left(\frac{M \pm K}{\pi} - t_i \right) e^{-\mathcal{H}_i(\ell_i - \ell_{i-1})}. \quad (13)$$

Для обратного расчета эти формулы соответственно имеют

ВИД

$$\theta_i = \theta_0 + \frac{B}{A} - \left(\theta_0 + \frac{B}{A} - \theta_{i+1} \right) e^{-A(\ell_{i-1} - \ell_i)}, \quad (14)$$

$$t_i = \frac{M \pm K}{\pi} - \left(\frac{M \pm K}{\pi} - t_{i+1} \right) e^{-\mathcal{H}_{i+1}(\ell_{i-1} - \ell_i)}. \quad (15)$$

В формулах (13) и (14) знак "+" перед K относится случаю нисходящего движения, а знак "-" случаю восходящего движения воздуха.

Относительная влажность рудничного воздуха в i -той точке вычисляется по формуле

$$\varphi_i = e^{\frac{\theta_i}{RT_i}}. \quad (16)$$

Удобство практического применения предложенного метода

рассмотрим на примере прямого расчета. Дело в том, что потенциал массопереноса воздуха является функцией двух переменных — температуры и относительной влажности; при вычислении потенциала по формуле (I2) мы знаем лишь суммарное влияние этих двух переменных в виде Θ_{i+1} . В отличие от других методов здесь для вычисления температуры по формуле (I3) не требуется наличие значения относительной влажности в точке $(i+1)$, достаточно значение потенциала массопереноса в этой точке (т.е. знание суммарного эффекта ψ и t) с помощью которого по формуле (II) вычисляется

$$\mathcal{H}_i = \frac{\pi}{1 + \frac{z}{c_p} B_1 \exp \frac{\Theta_{i+1}}{RT_i}}$$

затем, зная Θ_{i+1} и T_{i+1} по формуле (I6) можно вычислить значение относительной влажности в этой точке.

Таким образом, предложенный метод выгодно отличается от существующих и является общим для всех месторождений, поскольку в нем отсутствует необходимость применения предварительно определенных экспериментальных или иных значений относительной влажности воздуха.

Расчетные нами погрешности определения $\Delta\psi$, обусловленные принятыми выше допущениями, для Ткибули-Шаорского и Ткварчельского каменноугольных месторождений, принимают значения, приведенные в табл.2.

Из табл.2 следует, что даже в том случае, когда приращение температуры рудничного воздуха на расчетном участке достигает 5 градусов, погрешность определения приращений относительной влажности не превышает 10%. Следовательно, полученные с помощью предложенного метода конечные результаты будут достоверными для реальных шахтных условий.

Таблица 2

Приращение температуры воздуха на расчетном участке Δt , °C	Интервал изменения температуры, °C	Погрешность определения $\Delta \varphi$, %
1	10 - 40	2,9
2	10 - 40	4,8
3	10 - 40	6,8
4	10 - 40	8,5
5	10 - 40	10

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Щербань А.Н. Основы теории и методы тепловых расчетов рудничного воздуха. М., Углетехиздат, 1953, стр.308.
2. Щербань А.Н., Кремнев О.А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Том I, Издательство АН УССР, Киев, 1959, стр.430.
3. Щербань А.Н., Кремнев О.А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Том II, Издательство АН УССР, Киев, 1960, стр.348.
4. Воропаев А.Ф. Управление тепловым режимом в глубоких шахтах. М., Госгортехиздат, 1961, стр.248.
5. Дядькин Ю.Д. Основы горной теплофизики для шахт и рудников Севера. М., Издательство Недр, 1968, стр.256.
6. Единая методика прогнозирования тепловых условий в угольных шахтах. Донбасс-Макеевка, Издательство МакНИИ, 1979, стр.196.
7. Кузин В.А., Хохотва Н.Н., Николаенко Л.В. Метод расчета тепловых условий в горных выработках глубоких шахт. В кн.: Охлаждение воздуха в угольных шахтах. Макеевка-Донбасс, Издательство МакНИИ, 1977.
8. Кремнев О.А., Журавленко В.Я. Тепло- и массообмен в горном массиве и подземных сооружениях. Киев, Издательство Наукова думка, 1980, стр.384.
9. Медведев Б.И. Упрощенный метод теплового расчета цепи горных выработок. В кн.: Тепловые и механические процессы при разработке полезных ископаемых. М., 1965.
10. Свойства влажного воздуха при давлениях 500-100 мм.рт.ст., (авторы Щербань А.Н., Кремнев О.А., Титова Н.М.), М., Госгортехиздат, 1960.

- 1-21 GENERALISED EQUATIONS FOR STRATA ENERGY AND MASS BALANCE
Waclawik, J., Branny, M and Mikalajczyk, W ... Poland
- 1-22 PREDICTING HEAT AND HUMIDITY PARAMETERS OF MINE AIR
Oniani, Sh I., Lanchava, O A and Bolkvadse, S L ... USSR
- 1-23 PREDICTION OF MINE CLIMATE PARAMETERS IN LEVEL UNDERGROUND WORKINGS
Holek, S F ... Poland
- 1-24 A SIMPLIFIED METHOD FOR PREDICTION OF TEMPERATURE AND MOISTURE CONTENT
CHANGES OF AIR DURING ITS PASSAGE IN A MINE AIRWAY
Banerjee, S P and Chernyak, V P ... India and USSR
- 1-25 CLIMATE PREDICTION BASED ON CONSIDERATION OF TECHNICAL AND OPERATIONAL
FACTORS
Lurig, H J ... FGR

WORKING GROUP 2

- 2- 1 MICROCLIMATE OF FACE WORKPLACES IN MINES OF THE LGOM LEGNICA-GLOCOW COPPER
BASIN
Nedza, Z., Sikora, M and Urbanski, J ... Poland
- 2- 2 INDICES OF MINE CLIMATE : A BIOPHYSICAL STUDY
Morris, L A ... UK
- 2- 3 ANALYSIS OF THE POTENTIAL FOR ATTAINING SATISFACTORY HEAT EXCHANGE BETWEEN
HUMANS AND THE ENVIRONMENT IN MINING
Bakardzhieva, T and Dimitrov, D ... Bulgaria
- 2-4 POSITIVE AIR TEMPERATURE - A DECISIVE FACTOR IN RAISING PRODUCTIVITY AND
IMPROVING WORKING CONDITIONS IN THE NORTHERN MINES
Skuba, V N., Tsygankov, A V and Shchukin, V P ... USSR