

Thermal-humidity parameters of air in mine workings of Tkibuli mines

Authors S.I. Oniani, O.A. Lanchava, I.R. Ksovreli

Publication date 1982

Journal Physical processes of mining

Volume 1

Issue 11

Pages 104-111

Publisher Leningrad, Mining Institute

REFERENCES

1. Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах. Макеевка-Донбасс, изд. МакНИИ, 1979.
2. S.I. ONIANI, O.A. LANCHAVA, I.R. KSOVRELI. GENERALIZED DEPENDENCES FOR ISOTHERMIC MASS TRANSFER IN THE "MASS-MINE AIR" SYSTEM. Bulletin of the Academy of Sciences of the Georgian SSR, 1982, 106, N1.
3. S.I. ONIANI, O.A. LANCHAVA. CRITERION CURVES FOR HEAT CALCULATION IN MINES WITH HOT WATER CURRENTS. Bulletin of the Academy of Sciences of the Georgian SSR, 1975, 77, N1.
4. A.N. SHCHERBAN, O.A. KREMNEV, V.Y. ZHURAVLENKO. Guide to regulating the thermal regime of mines. Moscow, Nedra, 1977.

ISSN 0320—5487



ВСЕСОЮЗНЫЙ МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Выпуск 11

ЛЕНИНГРАД

1982

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Ленинградский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горный институт
им. Г. В. Плеханова

ВСЕСОЮЗНЫЙ МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК

**ФИЗИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ
ГОРНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Выпуск 11

Ленинград
1982

УДК 550,0 + 622,0

Основная тематика издания связана с вопросами прогноза и регулирования теплового режима шахт, рудников, карьеров; подземных сооружений и тоннелей; с термическим, термомеханическим, электротермическим методами разрушения горных пород, замораживанием водоносных пород хладоносителями и криогенными жидкостями.

Сборник представляет интерес для научных работников, занимающихся проблемами физики горных пород, их разрушения, оттаивания, замораживания, управления тепловым режимом выработок, а также для инженерно-технических работников горных предприятий, преподавателей и студентов вузов горного профиля.

Редакционная коллегия сборника: профессора А.Т.Айруни, Я.А.Бич, А.А.Борисов, Н.С.Булычев, Н.З.Галаев, А.П.Дмитриев, Ю.Д.Дядькин (председатель), И.П.Иванов, К.В.Кошелев, Б.Б.Кудряшов, Б.Н.Курузов, И.И.Медведев, Г.Г.Мирзаев, В.А.Мироенко, В.Е.Нагоряков, В.П.Небера, Г.Я.Новик, Н.М.Проскурдюков, В.Н.Скуба, М.П.Тонконогов, А.Н.Ханукаев, В.С.Ямшиков, доцент Ю.В.Шувалов.

Ответственный редактор профессор Ю.Д.Дядькин
Зам.ответственного редактора доцент Ю.В.Шувалов

УДК 622.413.3

ТЕРМОВЛАЖНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУХА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ ТКИБУЛИ

Ш.И.ОНИАНИ, О.А.ЛАНЧАВА, Ю.Р.КСОВРЕЛИ
(Ин-т горной механики АН ГССР)

Существует множество расчетных зависимостей [1, 4], с помощью которых можно прогнозировать температурные условия в горных выработках. Однако из-за недостаточной изученности массообменных процессов в шахтах нельзя с достаточной точностью прогнозировать значения относительной влажности в характерных точках вентиляционной сети. Эти значения берут из таблиц, составленных на основе идеализации шахтных условий и не всегда отражающих реальную картину. Указанное обстоятельство существенно снижает точность полученных результатов и, следовательно, качество прогноза климатических условий глубоких шахт, поэтому экспериментальное исследование тепло- и массообмена в капитальных выработках является актуальным.

В данной работе изложены результаты экспериментальных шахтных наблюдений, проведенных с целью: изучения и выявления закономерности протекания массообменных процессов в капитальных горных выработках; установления качественной и количественной картины изменения относительной влажности рудничного воздуха; выявления закономерности изменения коэффициента нестационарного теплообмена с учетом сезонных колебаний температуры в откаточных капитальных выработках; сопоставления экспериментальных значений коэффициента нестационарного теплообмена с теоретическим; составления номограммы по определению поправки и коэффициенту нестационарного теплообмена, учитывающей влияние сезонных колебаний температуры воздуха.

Экспериментальные наблюдения проведены в течение 1978-1980 гг. на шахтах производственного объединения «Грузуголь». При наблюдениях стремились к выбору таких условий, для характеристики которых достаточно минимальное количество измеряемых величин. Например, при выборе опытных участков предпочтение отдавали тем выработкам, в которых отсутствовали утечки воздуха, местные источники тепла и влаги, изменение площади поперечного сечения и периметра выработки.

В каждом эксперименте влияние местных источников тепла было учтено дифференциально. В зависимости от времени года доля местных источников тепла в общем приращении энтальпии рудничного воздуха составляет 4-12 %. Это влияние частично компенсируется отводом 2-8 % общего количества тепла трубопроводами холодной воды.

Принято, что по всей длине горной выработки температура, относительная влажность, плотность, энтальпия и влагосодержание воздуха изменяются линейно. В период исследований в замерных пунктах площадь поперечного сечения горной выработки оставалась постоянной.

При движении в горных выработках меняется внутренняя энергия воздуха из-за процессов тепло- и массообмена с горным массивом и шахтными водами. Любое изменение внутренней энергии воздуха можно оценить изменением его энтальпии

$$i = c_p t_c + 0,001(2501 + 1,93 t_c) d, \quad (1)$$

где c_p - изобарная теплоемкость воздуха; t_c - температура воздуха по сухому термометру; d - влагосодержание воздуха.

Кроме кинетической энергии движения молекул, которая макроскопически выражена температурой, энтальпия характеризует потенциальную энергию взаимодействия этих молекул. Потенциальная энергия зависит от количества молекул воды в воздухе, макроскопически выражена влагосодержанием и характеризует тепловой эффект фазового превращения. Следовательно, можно написать

$$i_q = c_p t_c; \quad (2)$$

$$i_m = 0,001(2501 + 1,93 t_c) d, \quad (3)$$

где i_q , i_m - соответственно внутренняя кинетическая и потенциальная энергии воздуха.

В трехкомпонентной системе «горный массив - шахтная вода - рудничный воздух» перераспределение энергии может происходить несколькими путями (конвекция, кондукция, испарение, конденсация). Во всех случаях энергию отдают компоненты с высокими значениями потенциалов переноса. В зависимости от направления потоков тепла и массы этот процесс может осуществляться по нескольким схемам. С учетом специфики теплового режима выработок глубоких шахт практический интерес имеют только те схемы, для которых поток тепла, независимо от направления потока массы, направлен от компонентов «горный массив - шахтная вода» к рудничному воздуху. В этих случаях компоненты «массив - вода» отдают основную часть энергии, необходимую для фазового превращения.

После умножения формул (1)-(3) на среднее весовое количество рудничного воздуха \bar{G} получим

$$Q = Q_q + Q_m; \quad (4)$$

$$Q_q = \bar{G} c_p t_c; \quad (5)$$

$$Q_m = 0,001 \bar{G} r d, \quad (6)$$

где Q , Q_q , Q_m - соответственно общая, "явная" и "скрытая" теплота воздуха; r - удельная энтальпия парообразования при температуре t_c .

Таким образом, полная внутренняя энергия некоторого количества воздуха \bar{G} представляется как сумма "явной" и "скрытой" теплоты. На основе формул (5) и (6) можно определить приращение этих видов теплоты для участка горной выработки:

$$\Delta Q_q = \bar{G} c_p \Delta t_c; \quad (7)$$

$$\Delta Q_m = 0,001 \bar{G} r \Delta d. \quad (8)$$

С другой стороны, при помощи коэффициентов нестационарного тепло- и массообмена можно написать

$$\Delta Q_q = K_{\tau} P L (\bar{t}_{\Pi} - \bar{t}_c); \quad (9)$$

$$\Delta Q_m = 0,001 K_{\tau m} (PL - F)(\bar{\theta}_{\Pi} - \bar{\theta}) r, \quad (10)$$

где K_{τ} , $K_{\tau m}$ - коэффициенты нестационарного тепло- и массообмена; P - периметр выработки; L - длина участка; \bar{t}_{Π} , \bar{t}_c - средняя температура соответственно горного массива и воздуха в пределах участка; F - площадь поверхности шахтной воды; $\bar{\theta}_{\Pi}$, $\bar{\theta}$ - средние потенциалы влагопереноса соответственно горного массива и рудничного воздуха в пределах участка.

В формуле (9) не дифференцируется теплоотдача с открытой поверхности шахтной воды, поскольку ее температура практически равна температуре горного массива. Испарение с открытой поверхности воды можно определить с большой точностью. Поэтому в формуле (10) оно дифференцируется. Следовательно, необходимо дифференцировать также влагоприращение воздуха в пределах участка:

$$\Delta d_m = \Delta d - \Delta d_w,$$

где Δd_m , Δd_w - влагоприращения рудничного воздуха, обусловленные соответственно влагообменом и испарением.

С учетом вышеизложенного формула (8) принимает вид

$$\Delta Q_m = 0,001 \bar{G} r \Delta d_m. \quad (II)$$

После сопоставления формул (7), (9) и (10), (II) получим

$$K_{\tau} = \frac{\bar{G} \Delta t_c c_p}{PL(\bar{t}_{\Pi} - \bar{t}_c)}; \quad (12)$$

$$K_{\tau m} = \frac{\bar{G} \Delta d_m}{(PL - F)(\bar{\theta}_{\Pi} - \bar{\theta})}. \quad (13)$$

Таким образом, изменение температуры рудничного воздуха является результатом действия энергии, подводимой термическим путем (теплопроводностью), а изменение влагосодержания рудничного воздуха – следствием передачи энергии нетермическим путем (влагопроводностью), независимо от природы сил, за счет которых происходит указанное изменение.

Однако способность горного массива проводить тепло и массу отнюдь не исключает ни в глубине, ни на границе массив – воздух превращения энергии из одного вида в другой. В самом деле, «чистой» теплопроводностью пористая среда никогда не характеризуется и градиент температуры всегда порождает дополнительный градиент потенциала массопереноса и, наоборот. Несмотря на это, разделение указанных процессов на две простые составляющие позволяет с некоторым приближением составлять и решать дифференциальные уравнения тепло- и массопереноса для любой замкнутой системы и, наконец, без разделения невозможна экспериментальная проверка полученных теоретических результатов. Исключительно положительным признаком выражений (12) и (13) является то, что все входящие в них величины можно определить экспериментально.

На опытных участках шахты «Западная-2» в пикетах были оборудованы замерные пункты (рис.1). В квершлагах № 2 полностью отсутствовали источники тепла и влаги. Результаты исследований представлены на рис.2. Потенциал влагопереноса рудничного воздуха в конце расчетного участка

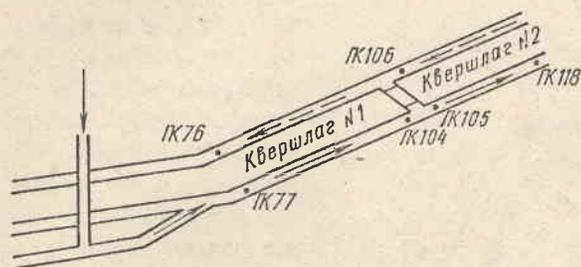


Рис.1. Схема расположения квершлага шахты «Западная-2»

На опытных участках шахты «Западная-2» в пикетах были оборудованы замерные пункты (рис.1). В квершлагах № 2 полностью отсутствовали источники тепла и влаги.

Результаты исследований представлены на рис.2.

Потенциал влагопереноса рудничного воздуха в конце расчетного участка

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{K_{tm} PL (\bar{\theta}_n - \bar{\theta})}{\bar{a} c_m}, \quad (14)$$

где θ_1 – потенциал влагопереноса рудничного воздуха в начале расчетного участка; c_m – коэффициент изотермической влагоемкости горных пород.

Равновесная влагосодержанию горного массива относительная влажность воздуха определена согласно кривым сорбции, составленным в лабораторных условиях^x. По значению равновесной относительной влажности φ вычислены значения потенциала влагопереноса для горного массива

$$\theta = RT \ln \varphi, \quad (15)$$

где R – универсальная газовая постоянная.

^x С участием к.т.н. М.В.Ноникашвили и Ц.А.Чертели.

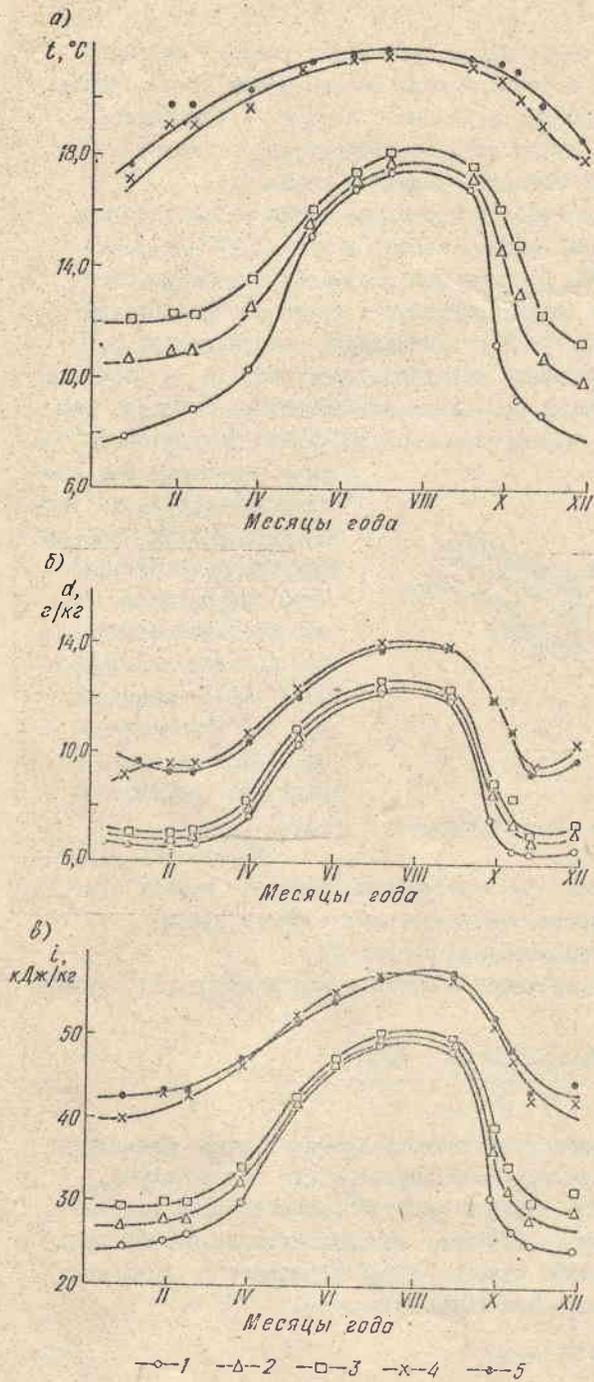


Рис.2. Годовое изменение параметров рудничного воздуха; а - температуры; б - влагосодержания; в - энтальпии
 1 - ПК 77; 2 - ПК 104, 105; 3 - ПК 118; 4 - ПК 103;
 5 - ПК 76

Относительная влажность воздуха в конце участка

$$\varphi_2 = \exp \theta_2 / RT_2, (16)$$

где T_2 - температура рудничного воздуха в конце расчетного участка.

К сожалению, нам не удалось установить закономерности в годовом колебании значений коэффициента нестационарного массообмена, определенных по формуле (13). Очевидно, что при фундаментальном изучении массообменных процессов в горных выработках, с точки зрения образования осушенных зон или влагоуравнивающих оболочек, массообмен с горным массивом и коэффициент $K_{\tau m}$ имеют основополагающее значение. По всей вероятности, необходимы более глубокие теоретические и экспериментальные исследования массообменных процессов и определение достоверных значений коэффициента $K_{\tau m}$, пригодных для практического применения. До этих исследований можно воспользоваться известным соотношением между безразмерным потенциалом переноса и соответствующим коэффициентом тепло- или массоотда-

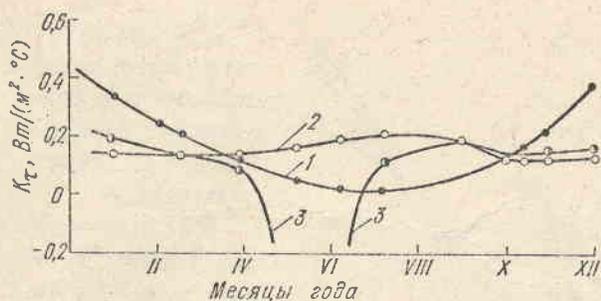


Рис. 3. Годовое изменение коэффициента нестационарного теплообмена на участке между пикетами 77 и 104
1 - экспериментальные значения; 2 - теоретические без поправки; 3 - те же с поправкой

теоретических значений K_T подставлялось реально измеренное значение скорости воздушного потока, которая зависит от времени года и изменяется из-за влияния естественной тяги.

Особое следует остановиться на поправке к коэффициенту нестационарного теплообмена. Известно, что все аналитические выражения коэффициента нестационарного теплообмена получены при допущении, что температура воздуха постоянна. Однако температура претерпевает существенное изменение во времени. Поправка, учитывающая годовое колебание температуры, определяется по выражению [4]

$$\Delta K_T = AF(\tau), \quad (17)$$

где $A = \Delta t / (\bar{t}_n - \bar{t}_c)$; $F(\tau)$ - сложная функция времени проветривания; Δt - максимальное отклонение средней температуры рудничного воздуха в интересующий период года от среднегодового его значения в пределах той же выработки.

В работе [4] функция $F(\tau)$ и поправка ΔK_T были номограммированы в зависимости от комплекса A и месяца года. Сложная зависимость, существующая между $F(\tau)$ и A , принята линейной. Поэтому при экстраполировании номограммы для больших A авторы получили результаты, не отражающие реальную картину годового изменения интенсивности теплообменных процессов в шахтах (см. рис. 3, кривые 3). Согласно нашим исследованиям, зависимость функции $F(\tau)$ от комплекса A носит экспоненциальный характер. Построенная номограмма (рис. 4) отражает реальную картину протекания этого процесса в шахтах Ткибули с учетом годового колебания температуры рудничного воздуха.

чи (3). Безразмерный потенциал массопереноса на стенках горной выработки в зависимости от значений критериев Фурье, Био и Пოსнова приведен в работе [2].

Экспериментальные значения коэффициента нестационарного теплообмена K_T (рис. 3) определены по формуле (12), а теоретические - согласно работе [4].

При определении теоре-

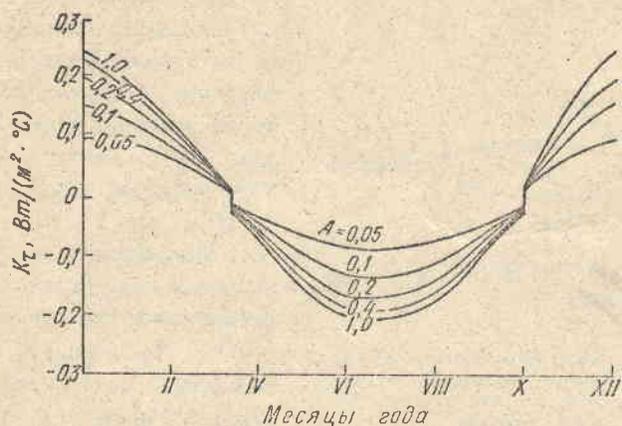


Рис.4. Номограмма для определения поправки к коэффициенту нестационарного теплообмена

Выводы

Г. Амплитуда годового колебания влагосодержания рудничного воздуха практически не зависит от длины горных выработок.

2. С увеличением длины горных выработок амплитуда колебания температуры воздуха неуклонно уменьшается. Однако приращение энтальпии воздуха в капитальных выработках в течение года неодинаково.

3. Амплитуда годового колебания относительной влажности с увеличением длины горных выработок увеличивается, достигает максимума и в выработках с отработанным рудничным воздухом сохраняет практически постоянное значение в течение года.

4. Согласно экспериментальным наблюдениям, коэффициент нестационарного массообмена минимальное значение имеет в теплый период года. В выработках со свежим воздушным потоком его годовое колебание носит сложный характер. В выработках же с отработанной струей оно имеет вид близкий к синусоидальному. Проведенные нами эксперименты не позволяют определить значения K_{Tm} для заданного периода года с необходимой точностью.

5. Коэффициент нестационарного теплообмена имеет минимальное значение в теплые месяцы года, в холодные месяцы — его численное значение возрастает более чем на порядок. Теоретические формулы дают либо постоянные значения указанной величины в течение года, либо ее максимум в летние месяцы. Составленная нами номограмма позволяет получить поправку, обеспечивающую согласование результатов теоретических расчетов с данными эксперимента.

6. В подавляющем большинстве случаев с открытой поверхности шахтной воды испаряется 3-20 % общего количества влаги, воспринимаемого рудничным воздухом при его движении в горных выработках. Основную часть влаги рудничный воздух принимает от горного массива. Формирование микроклимата в капитальных выработках происходит, главным образом, за счет теплообменных процессов, массообменные процессы имеют второстепенное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Единая методика прогнозирования температурных условий в глубоких шахтах. Макеев-ка-Донбасс, изд. МакНИИ, 1979.

2. Ониани Ш.И., Лапчава О.А., Ксоврели Ю.Р. Обобщенные зависимости изотермического массопереноса в системе горный массив - рудничный воздух. - Сообщения АН ГССР, 1981, т. 106, № 1.

3. Ониани Ш.И., Лапчава О.А. Критериальные кривые для теплового расчета горных выработок с термами. - Сообщения АН ГССР, 1975, т. 77, № 1.

4. Шербань А.Н., Кремиев О.А., Журавленко В.Я. Руководство теплового режима шахт. М., Недра, 1977.