

род, являются весьма сложным процессом, не поддающимся теоретическому описанию в совокупности всех механизмов. Вместе с тем, полученные экспериментальные данные позволяют хотя бы на описательном уровне сформировать состояние проблемы и достигнутые при ее решении результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник физических констант горных пород / Под ред. С.Кларка мл. - М.: Мир, 1969. - 543 с.
2. Механический эффект подземного взрыва / В.Н. Родионов, В.В. Адушкин, В.Н. Костюченко и др. - М.: Недра, 1971. - 224 с.
3. Комир В.М., Назаренко В.Г. О роли газообразных продуктов детонации в процессе разрушения твердой среды // Взрывное дело, 1978. - № 80/37. - С. 77-80.
4. Повышение эффективности действия взрыва в твердой среде / В.М. Комир, В.М. Кузнецов, В.В. Воробьев и др. - М.: Недра, 1988. - 207 с.

УДК 622.272.33:622.413.441

В.Г. Перепелица

МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА НА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКАХ ГЛУБОКИХ ШАХТ

Виконано аналіз підходів і розглянуто питання, які стосуються методів прогнозу та регулювання тепловологісних параметрів на виємочних ділянках глибоких шахт згідно з умовами введення у вироблений простір охолодженого закладального матеріалу. Бібліогр.: 36 найм.

Разработка перспективных способов и средств борьбы с высокими температурами воздуха на выемочных участках глубоких угольных шахт и выбор наиболее эффективных путей нормализации тепловых условий на рабочих местах могут быть осуществлены на основе надежного метода прогнозирования тепловлажностных параметров воздуха в заданных пунктах шахтной сети. Многообразие геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов, а также факторов, влияющих на формирование

тепловлажностных параметров воздуха, обуславливают сложность описания процессов тепломассобмена в горных выработках. Это способствовало разработке многочисленных методов расчета теплового режима шахт часто сугубо специфичных или однотипных по существу.

Вопросам прогноза и регулирования теплового режима в горных выработках выемочных участков глубоких шахт посвящено большое число исследований отечественных и зарубежных авторов [1-10, 12-20]. В основу методов прогноза тепловых условий в лавах положена теория нестационарного теплообмена между горным массивом и воздухом. Наиболее широкое применение при прогнозе тепловых условий в очистных выработках получили методики, изложенные в работах [1,3,4,6]. Зависимости для расчета температуры воздуха в лавах получены из решения уравнения теплового баланса в дифференциальной форме. Методики различаются, главным образом, способом задания и решения уравнения теплового баланса, а также методами учета отдельных источников тепловыделений. Кроме того, в упомянутых методиках принята различная интерпретация приращения энтальпии воздуха [22]. Вследствие этого результаты тепловых расчетов по различным методикам при одних и тех же исходных данных существенно отличаются особенно при значительных изменениях относительной влажности воздуха по длине выработок. Это свидетельствует о погрешностях при решении исходных дифференциальных уравнений теплового баланса.

В работах [1,3,4,6] приращение энтальпии воздуха в выработках учитывается одинаково, но при составлении уравнений теплового баланса авторами принимались различные допущения о характере и закономерностях изменения относительной влажности или влагосодержания воздуха по длине выработок.

В общем случае для выработок, проветриваемых за счет общешахтной депрессии, уравнение теплового баланса в дифференциальной форме имеет вид

$$C_{vd}t = \frac{Q_n}{L} dy + \sum \frac{Q_n}{L} dy \pm 9,81G \sin \Psi dy, \quad (1)$$

где G - весовой расход воздуха в выработки, кг/с; i - энтальпия воздуха, Дж/кг; Q_n - тепловыделение из породного массива в выработку, Вт; Q_m - тепловыделение местных источников, Вт; L - расчетная длина выработки, м; y - продольная координата, м; γ - угол наклона выработки к горизонту.

В правой части уравнения (1) и в последующих зависимостях при слагаемых с двумя знаками (\pm) знак плюс относится к нисходящему проветриванию, а минус - к восходящему.

В работах [1,2,3] для получения расчетных зависимостей энтальпия воздуха в уравнении (1) выражена в виде функции температуры

$$i = c_p t + r x_H(t) \varphi \quad (2)$$

где c_p - удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); r - удельная теплота парообразования воды, Дж/кг; t - температура воздуха по сухому термометру, °С; $x_H(t)$ - влагосодержание насыщенного пара при температуре t , г/кг; φ - относительная влажность воздуха. Зависимость $x_H(t)$ в общем случае нелинейная функция температуры.

Исходя из того, что в свежeproйденных выработках, особенно при большом перепаде температур между породным массивом и воздуха, температура изменяется неравномерно, в работах [1,6] для теплового расчета используется уравнение теплового баланса в дифференциальной форме. В этом случае дифференциал энтальпии воздуха представляется в виде суммы дифференциалов температуры и влагосодержания воздуха

$$di = c_p dt + r dx \quad (3)$$

В работах [1,25] принят линейный закон изменения относительной влажности воздуха по длине выработки

$$\varphi = \varphi_1 + \frac{\Delta \varphi}{L} y, \quad (4)$$

а влагосодержание насыщенного воздуха в уравнении $x_H(t)$ аппроксимировано в виде

$$x_H(t) = B' t + A' \quad (5)$$

Здесь φ_1 - относительная влажность воздуха в начале расчетного участка; $\frac{\Delta\varphi}{L}$ - приращение относительной влажности воздуха на расчетном участке; A' , B' - расчетные комплексы [1]. При выводе уравнения (5) нелинейная функция парциального давления насыщенных водяных паров в уравнении $x = -0,623\varphi P_H(t) / [B - \varphi P_H(t)]$ аппроксимировалась линейной зависимостью $P_H(t) = n'(t - \varepsilon')$ на небольших (до 10 °С) диапазонах изменения температур воздуха.

С учетом выражений (4) и (5) дифференциал равенства (2) приведем к линейному виду

$$dt = \left[c_p + rB' \left(\varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{L} y \right) \right] dt, \quad (6)$$

а уравнение для влагосодержания при любой температуре воздуха и линейном законе изменения относительной влажности представлено в виде

$$x = B' \left(\varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{L} y \right) - A' \left(\varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{L} y \right) \quad (7)$$

Изменение влагосодержания при изменении температуры воздуха в работе [1] принято в виде частного дифференциала $x = (\partial x / \partial t) dt$ влагосодержания x по температуре t уравнения (7).

После подстановки (3) и полученного частного дифференциала в равенство (1) уравнение теплового баланса горной выработки представлено в виде

$$Gc_p dt + Gc_p \left(\varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{L} y \right) dt = k_t U (t_a - t) dy \pm 9,81 G \sin \Psi dy + \frac{\sum Q_n}{L} dy, \quad (8)$$

где k_t - коэффициент нестационарного теплообмена, Вт/(м² · температура породного массива, °С; U - периметр сечения выработки, м.

Данное уравнение теплового баланса в том или ином виде используется в целом ряде методик расчета температуры воздуха в горных выработках. При таком подходе относительная влажность воздуха в характерных точках выработки является эмпирическим фактором, который задается по данным шахтных замеров. То есть,

при определении температуры воздуха принят детерминированный подход, при определении влажностных параметров воздуха - эмпирический.

Это приводит к тому, что при составлении дифференциального уравнения теплового баланса (8) допускается значительная погрешность из-за представления закона изменения влагосодержания воздуха в виде частного дифференциала по температуре и, как следствие, существенные ошибки в тепловых расчетах выработок с большим изменением относительной влажности. Аналогичный подход принят и в работе [3]. Однако для нахождения дифференциала энтальпии в этом случае в виде линейной зависимости представляется не парциальное давление, а влагосодержание насыщенного воздуха при атмосферном давлении $B=101,3$ кПа

$$x_H(t) = n_1 t + m_1 \quad (9)$$

Проведенный выше анализ показывает, что большинство методик теплового расчета основано на решении балансовых уравнений с заданием функции изменения относительной влажности воздуха по длине выработки вида (4). Среди авторов разработанных ранее методик нет единого мнения относительно исходных значений относительной влажности воздуха в характерных точках лав и прироста ее вдоль очистных забоев. Так, в работе [11] относительную влажность воздуха на входе в лавы рекомендовано принимать равной 0,9, а прирост ее вдоль очистного забоя $\Delta\phi = 0,05$ независимо от его длины. В работе [4] относительную влажность воздуха на выходе из лав рекомендуется принимать равной 0,95 и более, а прирост ее вдоль очистного забоя $\Delta\phi = 0,05-0,10$. Аналогичные значения относительной влажности воздуха рекомендованы в работе [1]. Рекомендуемые значения относительной влажности воздуха получены для устаревших технологий угледобычи. Использование в тепловых расчетах заведомо неточных исходных данных может привести к значительным погрешностям в определении температуры воздуха и холодопроизводительности средств охлаждения.

Принципиально другое дифференциальное уравнение теплового баланса предложено в работе [4]

$$Gc_p dt = A_T \frac{\sum Q}{L} dy, \quad (10)$$

где $\sum Q = Q_s + \sum Q_m$ - суммарные теплопритоки в выработки, Вт; A_T - тепловой коэффициент влагообмена, который представляет собой отношение явного теплоприращения воздуха к полному и характеризует долю тепла, приходящегося на увеличение температуры воздуха при одном и том же теплоприращении, в частности [4]

$$A_T = \frac{\Delta q_{\text{яв}}}{\Delta q_{\text{яв}} + \Delta q_{\text{скр}}} = \frac{1}{1 + \frac{r}{c_p \left(\varphi_2 n_s + x_{H_2O} \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1} \right)}} \quad (11)$$

Здесь $\Delta q_{\text{яв}}$, $\Delta q_{\text{скр}}$ - приращение тепла соответственно в явной и скрытой форме; n_s - коэффициент приращения влагосодержания насыщенного воздуха, зависящий от выбранных температурных интервалов аппроксимации в 10°C при давлении 101,3 кПа.

Коэффициент влагообмена, в общем случае, тесно связан с тепловлажностным отношением, которое широко используется в термодинамике влажного воздуха при анализе процессов изменения его состояния. Однако, если тепловлажностное отношение определяется на основе анализа процессов тепло- и массообмена и расчетов тепло- и влаговыделений на исследуемом объекте, то в работе [4] коэффициент влагообмена (11) определяется на основе задания значений температуры и относительной влажности воздуха на входе и выходе выработки. То есть необходимо "предугадать" процесс изменения состояния влажного воздуха в горной выработке, и количество эмпирической информации в этом случае увеличивается. За исключением работы [36] эмпирических зависимостей для определения коэффициентов влагообмена в горных выработках, которые не были бы связаны с заданием температуры и относительной влажности воздуха в выработку, практически нет.

Из приведенного анализа следует, что в существующих способах учета процессов массообмена в уравнениях теплового баланса имеются погрешности, которые влекут за собой ошибки в тепловых расчетах горных выработок, особенно при большом росте относительной влажности воздуха. Кроме этого, точность результатов

существенно зависит от представительности исходных данных по значениям относительной влажности воздуха, устанавливаемым на основе шахтных наблюдений [21].

Основная роль в общем тепловом балансе вентиляционной струи на выемочных участках глубоких шахт принадлежит процессу тепломассообмена рудничного воздуха с окружающим горным массивом [1,4,5,8,12].

Количественным показателем теплопередачи от горного массива к воздушному потоку является коэффициент нестационарного теплообмена. Кремневым О.А. [1] зависимость для определения коэффициента нестационарного теплообмена получена в результате решения задачи нестационарной теплопроводности для бесконечного полого цилиндра при заданном законе теплообмена на его стенках (граничные условия третьего рода). Теоретические положения О.А. Кремнева подтверждены Б.И. Медведевым [9] на основе экспериментальных исследований на моделях по определению величины k_r при постоянном временном охлаждении выработок по всей длине.

А.Ф. Воропаевым [4] решение задачи нестационарной теплопроводности дано для полуограниченного тела классическим методом. Для последующего перехода от полуограниченного тела к цилиндрической поверхности использован безразмерный коэффициент формы, выраженный в функции критерия Фурье и устанавливающий соотношение между временем охлаждения на одну и ту же глубину в полом цилиндре и полуограниченном теле при одних и тех же условиях. В результате решения получена несложная аналитическая зависимость для определения коэффициента нестационарного теплообмена, рекомендованная автором для всех выработок независимо от времени их проветривания [4].

Сравнение расчетных значений коэффициента k_r для условий очистных выработок показало, что результаты вычислений по зависимостям работы [4] на 0,9-12,4 % ниже, чем по зависимостям работы [1]. При увеличении продолжительности теплообмена различие результатов достигает 40 %, что объясняется самой струк-

турой формулы А.Ф. Воропаева, полученной для ограниченного слоя охлаждения пород.

В.А. Богоявленским [10] при исследованиях процессов теплообмена предложено рассматривать поперечное сечение лавы как выработку, состоящую из отдельных участков с различным временем проветривания. Путем интегрирования выражения для определения коэффициента нестационарного теплообмена согласно [1] автором получены зависимости для определения средних значений коэффициента k_r для соответствующих участков рабочего пространства лавы. Величину коэффициента нестационарного теплообмена, общую для всей лавы, автор рекомендует определять как средневзвешенное по периметру значение k_r . В указанных работах при определении величины k_r не учитываются никаким образом влаговыделения от горного массива, с которыми связаны 60-70 % всех тепловыделений в выработку. В других работах [2,32], где вводится понятие коэффициента нестационарного массообмена для расчета влаговыделений, практически отсутствует экспериментальное обоснование, позволяющее практически определять эту величину для условий горных выработок. Вопрос определения влаговыделений в выработки от породного массива в настоящее время экспериментально слабо изучен, хотя работ в данном направлении достаточно много. В частности, в работах [12,13,14,32 и др.] предложены различного вида зависимости, описывающие с определенной степенью приближения совместное влияние тепло-массообмена на изменение параметров воздуха в горных выработках. Однако решение этих зависимостей весьма сложно, причем многие исходные данные (влажность пород, коэффициенты массопроводности и массоемкости и др.) являются практически неизвестными, и их определение требует постановки сложных и трудоемких исследований.

Исследования показывают, что в реальных условиях в лавах, являющихся сложными тепловыми объектами, существенную роль на теплообмен оказывают массообменные процессы, местные источники тепловыделения, приточки воздуха из выработанного про-

странства, десорбция метана и т.п. В очистных выработках, оснащенных механизированными комплексами, 60-70 % поверхности горного массива в призабойных работах зонах ограждено перекрытиями и основаниями крепи, что определяет некоторые особенности теплообменных процессов в сравнении с лавами, закрепленными индивидуальной крепью в связи с созданием сопротивления потокам тепла и влаги. Основная часть тепловой мощности воспринимается воздухом в скрытом виде. Поэтому учесть влияние перечисленных выше факторов на основе принятых в отечественной горной теплофизике аналитических моделей крайне затруднительно.

Применяемый в Германии метод тепловых расчетов, разработанный И.Фоссом [15,16], базируется на общих законах теплообмена. Определяя удельные тепловые нагрузки методом последовательных приближений (для коротких участков вентиляционного пути), находят изменения температуры и влагосодержания воздуха. Для каждого участка учитывается также влияние сжатия (расширения) воздуха, теплоотдачи электрооборудования и других местных источников. Необходимые для расчетов массообменные показатели: эквивалентная теплопроводность ($\lambda_{эф}$), коэффициенты, характеризующие влажность вентиляционного пути (η_f) и другие данные определяются статистически на основании большого числа тепловых съемок. Применение рассмотренного метода в условиях, отличающихся от условий шахт Германии, требует дополнительного изучения большого числа влияющих факторов и проведения значительного количества измерений.

В методике тепловых расчетов, предложенной Л.Суханом [17], общее изменение температуры рудничного воздуха в выработке выражается суммой частных изменений температур от влияния различных факторов - горных пород, сжатия или расширения воздуха, испарения воды, тепловыделения электрических машин, окисления угля. Отдельные составляющие уравнения теплового баланса рассчитываются по формулам с эмпирическими значениями коэффициентов, получаемых для различных условий. При широком диапазоне изменения геологических и горнотехнических ус-

ловий и отдельных определяющих факторов подобный путь приводит к существенным ошибкам. Серьезным недостатком метода является также то, что он не учитывает взаимное и изменяющееся действие всех факторов на тепловые и влажностные условия в выработке.

Наиболее полно разработаны аналитические методики теплового расчета для сухих выработок.

Наиболее простыми из них являются методики расчета температуры воздуха, движущегося по горной выработке, при отсутствии процессов массопереноса в системе "горные породы - воздух" [18].

В основе методики Ю.Хираматсу и Ю.Кокадо (Япония) лежит решение дифференциального уравнения теплопроводности при условии равенства тепловых потоков на границе "стенка-воздух" и сохранения естественной температуры пород на достаточно большом удалении от выработки. Уравнение теплопроводности решается совместно с балансовым уравнением температуры воздуха для последовательного ряда элементарных отрезков пути и времени, на которых определяется изменение температурного поля пород вокруг выработки при постоянной температуре движущегося по ней воздуха. Для конкретных условий на ЭВМ рассчитаны значения безразмерной температуры стенки, которые представлены в виде графических зависимостей от времени и расстояния применительно к принятому авторами диапазону условий. Учет других источников тепла в выработках осуществляется простым суммированием приращения температуры к полученному значению, учитывающему тепловыделения горного массива.

Аналогичной по постановке задачи является методика О.Капельмайера и Е.Мундри (Германия) [20]. Полученные в результате решения дифференциального уравнения теплопроводности выражения для безразмерной температуры стенки в функции критериев Био и Фурье является довольно сложным. На основе расчетов на ЭВМ получены зависимости для определения относительной температуры стенки и изменения теплового потока в функции критериев Био от 0,5 до 40 и Фурье от 0,01 до 1000. По

существо в методиках [19,20] учитывается лишь явный тепловой поток от окружающей выработку горного массива.

И.Вацлавиком [14] для определения динамики теплообменных процессов решена система дифференциальных уравнений теплопроводности и баланса влаги для пород при граничных условиях первого и третьего рода. При этом уравнения баланса тепла и массы не зависят друг от друга. Процесс увеличения влажности воздуха в выработке рассматривается как результат испарения воды с поверхности выработки и вследствие притока влаги в неявном виде непосредственно из горных пород. На основании решений уравнений баланса тепла и массы получены зависимости для безразмерных температуры и потенциалов массопереноса. Зависимости имеют очень сложный вид, поэтому они представлены в виде номограмм. Сложность расчетных зависимостей, а также недостаток или отсутствие экспериментальных данных о величинах, определяющих процессы массопереноса в горных выработках, затрудняют использование предложенной методики.

Анализ всего многообразия методов прогноза тепловлажностных условий в горных выработках указывает на то, что основой всех методов является детерминированный подход при описании процессов теплообмена в выработках с учетом массообмена за счет введения эмпирических факторов, характеризующих тепловлажностные процессы в выработке.

В работах [23-28] приводятся результаты исследования влияния на формирование микроклимата выемочных участков полной закладки выработанного пространства. Исследование Ш.И. Ониани [23,24] базируются на результатах натуральных наблюдений на шахтах Ткибули-Шаорского каменноугольного месторождения, математического и аналогового моделирования. Натурные наблюдения выполнялись при слоевой выемке мощных пластов с использованием гидрозакладки выработанного пространства с целью определения влияния гидрозакладки на тепловой режим шахт. Методом математического моделирования определялись температурные поля в прилегающих к закладке массивах угля и породы. Математические модели формулировались как системы краевых задач не-

стационарной одномерной теплопроводности в трехслойных системах с различными теплофизическими параметрами. Начальные распределения температуры в породе и в угле, примыкающих к закладке, были аппроксимированы линейной и экспоненциальной функциями. Введение теплоты гидратации цемента в закладке описывалось однородной по координате функцией плотности источников тепла в уравнении теплопереноса в закладке. Проведены также лабораторные исследования закладочного материала, определены его гранулометрический состав, влажность, средняя плотность. Однако, полученные моделированием на интеграторе температурные поля в системе "уголь - закладка - порода" обусловлены перераспределением тепла горных пород и гидратации и не связаны с температурой вентиляционного воздуха. В связи с этим определить коэффициент нестационарного теплообмена между закладкой и воздухом, движущимся по лаве и вентиляционному штраку, нельзя [29].

В работах [27,28] приводятся результаты экспериментальных исследований теплообмена между воздухом и закладкой в лавах шахт Германии и данные о проникновении теплового поля (прогреве) в закладку для моментов времени 2, 8 и 16 часов. Значения принятых в Германии расчетных параметров (эффективных коэффициентов тепло- и массопроводности) определялись лабораторным способом на образцах.

Условия проведения исследований теплообменных процессов между закладкой и вмещающими породами [23,24,27,28] существенно отличаются от условий, характерных для глубоких шахт Донецкого бассейна. В связи с этим предложенные авторами методы теплового расчета не могут быть использованы для оценки теплового режима выемочных участков с закладкой из охлажденных брикетированных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербань А.Н., Кремнев О.А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. В 2-х т. - К.: Изд-во АН УССР, 1959, т. 1. - 430 с.
2. Щербань А.Н., Кремнев О.А., Журавленко В.Я. Руководство по регулированию теплового режима шахт. - М.: Недра, 1977. - 360 с.
3. Дядькин Ю.Д. Основы горной теплофизики для шахт и рудников Севера. - М.: Недра, 1968. - 256 с.
4. Воропаев А.Ф. Теория теплообмена рудничного воздуха и горных пород в глубоких шахтах. - М.: Недра, 1966.- 250 с.
5. Воропаев А.Ф. Тепловое кондиционирование рудничного воздуха в глубоких шахтах. - М.: Недра, 1979. - 192 с.
6. Величко А.Е. Уточнение и упрощение зависимостей теплового расчета рудничного воздуха. "Охлаждение воздуха в угольных шахтах". Сб.ст., вып. 1. - М.: Недра, 1969. - С. 53-63.
7. Кузин В.А., Хохотва Н.Н., Николаенко Л.В. Метод расчета тепловых условий в горных выработках глубоких шахт. "Охлаждение воздуха в угольных шахтах". Сб статей, вып. 5, изд. МакНИИ, 1983. - С. 63-67.
8. Яковенко А.К. К вопросу расчета тепловыделений горного массива при повышении скорости подвигания забоя. "Вопросы вентиляции, охлаждения воздуха, борьбы с пылью и контроля рудничной атмосферы в шахтах". Сб.науч.трудов, изд. МакНИИ, 1983. - С. 63-67.
9. Медведев Б.И. Экспериментальное определение коэффициента нестационарного теплообмена в горных выработках. - Разработка месторождений полезных ископаемых. Респ.межвед.науч.-техн.сб., вып. 2. Киев, 1964. - С. 107-109.
10. Богоявленский В.А. Тепловой расчет вентиляционной струи в очистных забоях глубоких шахт с учетом специфики лавы, как теплообменной выработки. Труды ХГИ, т. 1X. - Харьков, изд. ХГУ, 1961. - С. 73-80.

11. Временная инструкция по проверке количества воздуха для проветривания угольных шахт по тепловому фактору. Макеев-ка-Донбасс, изд. МакНИИ, 1967. - 46 с.

12. Криворучко А.М. Вывод формул для тепловых расчетов горных выработок. - В кн.: Вопросы проветривания шахт Донецкого бассейна. М.: Недра, 1969. - С. 199-213.

13. Терещенко В.Г., Шелиманов В.А. Экспериментальное определение коэффициента массоотдачи в очистных забоях глубоких шахт Донбасса. - "Труды института теплоэнергетики АН УССР", № 26, 1963. - С. 43-48.

14. Waclawik J. Wplyw wilgotnosci na temperature skal. - "Archiwum Gornictwa", no.1, s. 35-39.

15. Voss J. Ein neues Verfahren zur Klimarausberechnung in Steinkohlenbergwerken. - Gluckauf-Forschungsergebnisse, 1969, Nr. 6, S. 321-331.

16. Voss J. Neue Forschungsergebnisse auf dem Gebiet "Grubenklima". - Gluckauf-Forschungshefte, 1981, 42, Nr. 6, S. - 241-249.

17. Сухан Л. Кондиционирование воздуха в глубоких шахтах. - М.: Недра, 1969.

18. Batzel S. Bergbau Archiv, 13, 1952, H. 3,4.

19. Yiramatsuy, Kokado I. Eine Untersuchung über die Kurlung von Gruber durch den Wetterstrom. Bergbau-Archiv, 19, 1958, H. 1,2.

20. Kappelmayer O., Mundry E. Über die Lösung der Wärmeleitungs-gleichung. Kali und Steinsalg, Bd 3, 1963, Heft 11.

21. Величко А.Е., Дубина П.П., Близнюк В.Г. Анализ методов теплового расчета горных выработок. - "Промышленная теплотехника", 1984, № 1, С. 22-30.

22. Величко А.Е., Кузин В.А., Яковенко А.К. Оценка существующих зависимостей теплового расчета воздуха в горных выработках. "Кондиционирование рудничного воздуха в глубоких шахтах". Сб. статей, вып. 6. Макеев-ка-Донбасс, изд. МакНИИ, 1978. - С. 19-24.

23. Ониани Ш.И. Тепловой режим глубоких шахт. - Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1969. - 207 с.
24. Ониани Ш.И. Тепловой режим глубоких шахт при гидравлической закладке выработанного пространства и сложном рельефе поверхности. Тбилиси.: Мецниереба, 1973. - 308 с.
25. Фосс И. Влияние теплоотдачи транспортируемого угля и закладочного материала на тепловой режим очистных забоев. - Глюкауф, 1964, № 6. - С. 349-361.
26. Фосс И. Исходные данные для предварительного расчета параметров климатических условий в шахте. - Глюкауф, 1973, № 13. - С. 29-38.
27. Фосс И. Улучшение климатических условий в результате применения пневматической закладки. - Глюкауф, 1974, № 4. - С. 8-12.
28. Линде Ф.К. Пневматическая закладка выработанного пространства на шахте "Хуго". - Глюкауф, 1982, № 14. - С. 6-13.
29. Исследовать тепломассообменные процессы на вентиляционных горизонтах с исходящей струей воздуха шахт, разрабатывающих крутые пласты. Отчет по НИР. Гос. Рег. № 81082998. Том 1. Кузин В.А. - Макеевка: МакНИИ, 1984. - 114 с.
30. Руководство по проведению тепловых съемок на угольных шахтах. - Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1982. - 68 с.
31. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мещалкин Л.Д. Основы моделирования и первичная обработка данных. - М.: Финансы и статистика, 1983. - 471 с.
32. Кремнев О.А., Журавленко В.Я. Тепло- и массообмен в горном массиве и подземных сооружениях. - К.: Наук.думка, 1980. - 320 с.
33. Бобров А.И., Аверин Г.В. Теоретические основы переноса импульса, тепла и примеси в горных выработках. - Макеевка-Донбасс: Изд. МакНИИ, 1994. - 270 с.
34. Берман Л.Д. Тепло и массообмен в парогазовой фазе при интенсивном испарении жидкости // Теплообмен и гидравлика. - Л.: Наука, 1977. - С. 116-130.

35. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1969. - 440 с.

36. Яковенко А.К., Аверин Г.В. Статистический анализ взаимосвязи тепломассообменных процессов в горных выработках // Физические процессы горного производства. Тепломассообмен в горных выработках и породных- коллекторах. Сб. науч.трудов. + Л, Изд. ЛГИ, 1985. - С. 687-72.

УДК 622.33 : 622.273.217.5

В.Г. Перепелица, А.А. Волошин, О.В.Рябцев

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ СИСТЕМАМИ С ЗАКЛАДКОЙ
ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ
ВИБРОПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ДОСТАВКЕ ЗАКЛАДОЧНОГО
МАТЕРИАЛА**

Приведено технічну характеристику вібропнево-транспортних машин циклічної (ВПМЦ) та безперервної (ВПМН) дії. Описано технічні схеми ведення закладальних робіт з використанням ВПМЦ при відробці крутих пластів. Табл. 2.

Производственная деятельность угольной промышленности Донецкого бассейна характеризуется систематическим увеличением отходов от основного производства - породы, воды и газа. Особенно интенсивно увеличиваются объемы породы, получаемые при проведении и ремонте выработок, от засорения угля породой в очистных забоях. Суммарный объем породы, поступающей в отвалы, достиг объемов товарной продукции, а к 2005 году прогнозируется увеличение выхода пустых пород еще на 40 %. Такая тенденция обусловлена объективно существующим ухудшением горно-геологических условий разработки, но является по сути своей негативной, поскольку известно, что нормальное функционирование шахт, как технологических систем, обеспечивается при относительном выходе породы не более 35-40 % к объему добываемого угля.

Традиционно пустая порода выдается на поверхность и складывается в отвалах на территории промплощадок шахт. В последние годы, в связи с достижением предельно допустимой высоты