

6. Математичне моделювання електромагнітних процесів передачі енергії / Г.Г. Півняк, М.Г. Поляков, А.Я. Рыбалко, С.О. Сушко; За ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2003. – 145 с.

7. Ватсон Г.Н. Теория бесселевых функций.– М.: Изд-во иностранной литературы, 1949. – Ч.1. – 798 с.

8. Рыбалко А.Я. Провод для сетей тока повышенной частоты. – Гірнична електромеханіка та автоматика: Науч.- техн. зб. – 2010. – Вип.84.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зайкою В.Т.
Надійшла до редакції 12.10.10*

УДК 622.333.013.3: 622.272.3

© В. А. Бойко, О. А. Бойко

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ГОРНЫМ МАССИВОМ И ПОТОКОМ ПРОВЕТРИВАЮЩЕГО ГОРНУЮ ВЫРАБОТКУ ВОЗДУХА И РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ НОРМАЛИЗАЦИИ РУДНИЧНОГО МИКРОКЛИМАТА

Розглянуто стан мікроклімату гірничих виробок глибоких шахт Донбасу. Наведено перелік шляхів, що дозволяють скоротити приток тепла у гірничі виробки, і методику розрахунку процесу теплообміну між гірським масивом і потоком повітря, що провітрює гірничу виробку. Пропонується вирішувати задачу нормалізації теплових умов у гірничих виробках за рахунок використання води як основного теплоносія для подачі холоду в шахту і виносу тепла гірничих виробок на-гора для використання його як альтернативного джерела енергії.

Рассмотрено состояние микроклимата горных выработок глубоких шахт Донбасса. Приведены перечень путей, позволяющих сократить теплоприток в горные выработки, и методика расчета тепловых параметров процесса теплообмена между горным массивом и потоком проветривающего горную выработку воздуха. Рекомендуется решать задачу нормализации тепловых условий в горных выработках за счет использования воды в качестве основного теплоносителя для подачи холода в шахту и выноса тепла горных выработок на –гора для его использования как альтернативного источника энергии.

The state of microclimate of the mine headings of deep mines of Donbassin is considered. The list of measures allowing to shorten heat flows in the mine headings and method of calculation of thermal parameters of process of heat exchange between a mining rocks and stream of air ventilating the mining headings have been proposed. It is recommended to decide the task of normalization of thermal conditions in the mine headings due to the use of water as basic heat carrier for the serve of cold in a mine and bearing-out of heat of the mine headings upon the day surface for his use as an alternative energy source.

Уход горных работ на большие глубины в процессе добычи угля сопровождается ростом горного давления и газообильности угольных пластов и горных пород. Вследствие этого возрастает опасность обрушений горных пород и выделение горючих и взрывчатых газов в атмосферу горных выработок, то есть ухудшается безопасность ведения горных работ. Для борьбы с этими факторами опасности приходится прибегать к новым методам управления горным давлением, частичному изменению технологии горных работ, улучшению вентиляции газовых шахт, применению новых способов борьбы с метаном. Горное

давление и газообильность горных выработок пока не являются непреодолимой преградой на пути добычи угля. Но с ростом глубины ведения горных работ увеличивается естественная температура пород горного массива, растут тепловыделения в горные выработки, что ведет к существенному ухудшению рудничного микроклимата. Высокая температура воздуха в горных выработках и тепловое излучение горных пород не только ухудшают условия труда шахтеров, снижая его производительность, но и создают опасность сердечно-сосудистых заболеваний и гибели шахтеров. Тепловых условия труда в шахтах Донбасса стали основным препятствием не только на пути строительства новых глубоких шахт, но и возможности дальнейшей эксплуатации действующих. Нормализовать тепловые условия труда в горных выработках шахт оказывается возможным только за счет охлаждения горного массива и снижения температуры рудничного воздуха, что сопряжено с необходимостью непрерывной подачи холода в горные выработки глубоких шахт.

Общеизвестно, что температура горных пород возрастает с глубиной по линейному закону:

$$t_h = t_z + \frac{H - h_z}{h_s} \quad (1)$$

Здесь: t_h - естественная температура пород горного массива на расчетной глубине H , t_z и h_z - соответственно глубина и температура зоны постоянных температур, h_s - величина геотермической ступени для данного региона. Поскольку глубина ведения горных работ на 4 шахтах Донбасса уже достигла 1400 м, а геотермическая ступень в основных регионах Донбасса составляет 33-34 м/°С, то естественная температура горных пород на такой глубине составляет 45-50 °С. Это привело не только к существенному увеличению температуры воздуха в горных выработках глубоких горизонтов, но и к значительному росту интенсивности инфракрасного облучения шахтеров. Величина последней зависит от абсолютной температуры нагретого (излучающего) и более холодного (облучаемого) тел и определяется зависимостью Стефана-Больцмана. В проводимой горной выработке на глубоком горизонте интенсивность инфракрасного облучения шахтера максимальна во свежевскрытой призабойной зоне, где температура стенки горной выработки достигает естественной температуры массива. Максимальная интенсивность инфракрасного облучения горнорабочего в зависимости от температуры стенки выработки составит:

$$f(T) = \xi \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

Здесь: $T_p = 273 + t_h$ - абсолютная естественная температура горного массива, $T_g = 273 + 36.6$ - абсолютная температура человека, F - площадь облучаемой поверхности человека (принимается равной 1.6 м²), ξ - степень черноты облучаемого объекта. Для указанной глубины интенсивность инфракрасного облучения составит 100-125 Вт. Специальные методы защиты горнорабочих от тепловой радиации пока не нашли применения. Общепринятым способом обеспечения приемлемых для горнорабочего тепловых условий стало охлаждение

воздуха, подаваемого в горные выработки глубоких шахт. В Германии, где геотермическая ступень несколько меньше, чем в Донбассе, естественная температура горных пород 45°C имеет место на глубине 1300 м. Для обеспечения нормируемых тепловых условий в угольных шахтах на такой глубине обеспечивается подача в горные выработки 8-10 млн. Вт холода.

В Украине на момент обретения независимости в шахтах Донбасса действовало 57 систем центрального кондиционирования воздуха. В настоящее время такие системы действуют только на двух шахтах Донбасса – шахте им. А. А. Скочинского и шахте им. А. Ф. Засядько, остальные бесследно исчезли. Украина холодильные установки для систем центрального кондиционирования шахт не производит, но могла бы при наличии валюты приобрести их у Германии и Великобритании. К сожалению, средств на приобретение мощной холодильной техники Украина не имеет. Но даже если бы они были изысканы и такие установки появились на глубоких шахтах Донбасса, то кардинально решить проблему нормализации микроклимата глубоких шахт не смогли бы. Опыт работы глубоких шахт Германии показывает, что возможности решения проблемы нормализации микроклимата с использованием современной холодильной техники и применяемой технологии подачи холода в горные выработки практически исчерпаны. Огромные расходы электроэнергии на кондиционирование воздуха в горных выработках глубоких шахт и высокая стоимость такой техники ложатся тяжелым грузом на себестоимость добываемого угля. Пока Германия решает эту проблему за счет установления для угольных шахт льготных цен на электроэнергию. В Украине также пока имеет место обеспечение шахт электроэнергией по льготным тарифам, но проводимая приватизация энергосистем и шахт начисто устранил такую возможность с вытекающими из этого последствиями прекращения добычи угля в глубоких шахтах, а затем - полного прекращения подземной добычи угля. Понятно, что из-за этого Украина лишится возможности производить чугун, сталь, прокат и ферросплавы по применяемым в стране энергоемким технологиям, что приведет к исчезновению источника валютных поступлений. Украина имеет разведанные запасы угля, достаточные для покрытия ее потребностей в энергоносителях на производство кокса, топлива для тепловых электростанций, синтетического топлива для двигателей внутреннего сгорания, газа для нужд теплоснабжения коммунального хозяйства. Для покрытия всех перечисленных нужд в энергии Украине требуется ежегодно добывать 180-200 млн. тонн угля, а его разведанных запасов в Донбассе хватило бы на 450-500 лет. Сложность решения этой проблемы заключается в том, что предельная глубина залегания разведанных запасов угля составляет 1850 м, где естественная температура горных пород достигает $72-75^{\circ}\text{C}$, а вести горные работы в условиях таких температур при существующих системах и средствах нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт не представляется возможным. Применяемые способы и средства нормализации тепловых условий в глубоких шахтах в какой-то степени еще могут быть улучшены, но рассчитывать на повышение их технико-экономических показателей нет оснований. Положение может существенно улучшиться, если тепло горного массива будет рассматриваться как альтернативный источник энергии,

а не как враг, с которым неизбежно нужно бороться. Требуется пересмотреть основы концепции нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт и решать эту проблему с позиций комплексного использования энергоносителей Земли - ее минеральных источников, запаса энергии Земли как нагретого тела, а также энергии, выделяемой в результате непрерывно текущих в толще Земли процессов радиоактивного распада. Понятно, что не все аспекты проблемы в такой постановке решены и поэтому их нужно решать в дальнейшем. Причина этого кроется в том, что процессы теплообмена в горном массиве сложны по своей природе. Передача тепла в горном массиве, как и в любом физическом объекте, осуществляется теплопроводностью и описывается уравнением Фурье:

$$dQ = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \cdot dF \quad (3)$$

Здесь: dQ – количество теплоты, переносимое в единицу времени через элемент изотермической поверхности площадью dF , $\frac{\partial t}{\partial n}$ - градиент температуры, λ - коэффициент теплопроводности горных пород. Однако процесс теплопереноса в горном массиве происходит в огромных объемах горных пород и характеризуется изменением температуры в пространстве и времени. Зависимость между пространственным и временным изменением температуры в любом теле, включая и горный массив любой конфигурации и размеров, определяется дифференциальным уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \cdot t + \frac{q_v}{\rho \cdot c} \quad (4)$$

Здесь: $a = \lambda / \rho \cdot c$ - коэффициент температуропроводности, ρ и c - соответственно плотность и теплоемкость теплопроводящего тела, ∇ - оператор Лапласа для соответствующей системы координат, q_v - мощность источника внутреннего тепловыделения. Система координат для длинной выработки, как правило, принимается цилиндрической, для призабойной части тупиковой выработки – сферической. Независимо от принятой системы координат, уравнение теплопроводности, описывающее зависимость между пространственным и временным изменением температуры горного массива, будет дифференциальным уравнением второй степени в частных производных.

Решение дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных представляет сложную задачу. Над ее решением успешно работали советские ученые Лыков А. В. [1], Лурье А. И. [2] и многие другие специалисты в области математики и термодинамики. Применительно к задачам угольной промышленности огромный объем исследований выполнен ведущими учеными Украины академиками А. Н. Щербанем и О. А. Кремневым [3,4], разработавшими научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Теоретический уровень этих работ значительно опережает реальный уровень практических работ в Украине в области создания систем и средств нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт в период их строительства и последующей эксплуатации. Не составляет тайны, что при-

чины этого кроются не только в технической отсталости Украины, но и в недостаточном уровне математической подготовки специалистов научно-исследовательских подразделений и инженерных кадров горнодобывающей промышленности. Слишком сложным для усвоения научно-технической общественностью угольной промышленности Украины оказался аналитический аппарат расчетов регулирования теплового режима глубоких шахт, а перспективы решения этой чрезвычайно актуальной для страны задачи в условиях отсутствия современной технической базы кондиционирования воздуха в шахтах кажутся безнадежными.

Авторы настоящей работы не ставят перед собой задачу разработать более простую и доступную для понимания и применения математическую модель и методику решения задач расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт, поскольку такой шаг был бы попыткой профанации научных наработок и оскорблением памяти наших учителей. Но существенные изменения в уровне аппаратного обеспечения сложных научных задач и инженерных обоснований за счет появившейся в последние годы компьютерной техники и безвыходное положение с приобретением и использованием современной зарубежной техники кондиционирования воздуха в глубоких шахтах заставляют попробовать показать заинтересованным лицам, что имеется возможность на базе научных наработок школы акад. А. Н. Щербаня вести поиск доступных для реализации в современных неблагоприятных условиях путей и средств выхода из создавшегося положения. Финансирование на науку и решение проблем угольной промышленности страны отсутствует, но есть талантливые неравнодушные специалисты, способные найти доступные способы и средства решения актуальной задачи обеспечения нормального микроклимата глубоких шахт, что позволит создать безопасные условия труда в глубоких угольных шахтах Украины. Нам представляется целесообразным конспективно изложить некоторые соображения о возможных путях решения этих задач, что ускорит и облегчит работу тех энтузиастов, которые возьмутся за дело. Ниже приводятся некоторые из них.

1. Выше уже упоминалось о том, что возможности современных применяемых схем и средств кондиционирования воздуха в шахтах практически исчерпаны. Обусловлено это малой теплоемкостью воздуха и его подверженностью нагреву из-за адиабатического сжатия. Но почему в таком случае не передать основные функции доставки холода в глубокую шахту и выноса тепла из нее воде, имеющей в 4000 раз большую теплоемкость и практически не подверженной нагреву из-за сжатия?!

2. В случае передачи воде значительной части функций по доставке холода в горные выработки глубокой шахты отпадает необходимость приобретения или создания мощных холодильных машин, пригодных для эксплуатации в шахте. С задачей выработки холода могут справиться находящиеся на дневной поверхности мощные аммиачные холодильные машины, обеспечивающие охлаждение пищевых продуктов в хранилищах мясокомбинатов, торговых предприятий, а также мощные холодильные бромисто-литиевые абсорбционные ус-

тановки химических комплексов. Такая техника в Украине производится либо более доступна.

3. Использование воды в качестве средства доставки холода и выноса нагара шахтного тепла позволяет начать решение задачи использования тепла недр Земли как альтернативного источника энергии для обеспечения нужд инфраструктуры шахты, в том числе и для снижения расхода электроэнергии на производство холода. При достаточно больших объемах извлекаемого из шахты тепла после повышения его потенциала на основе использования теплового насоса появляется возможность использовать его для нужд энергетики.

4. Наши расчеты показывают, что применение воды в качестве холодоносителя открывает возможность не только создать благоприятные климатические условия в подготовительных забоях проводимых горных выработок, но и ускоренными темпами формировать теплоуравнивающие рубашки вокруг горных выработок, что влечет за собой существенное снижение теплопритоков из окружающего породного массива в горную выработку и, соответственно, значительно снижает потребность в холоде на нормализацию тепловых условий в горных выработках [5,6].

5. Представляет интерес разработка технологических схем проведения горных выработок с опережающим забой подготовительной выработки охлаждением горного массива по трассе проходки [7].

6. Тепло горных выработок (включая сюда не только тепло горного массива, но и произведенное при работе горных машин и механизмов и выделившееся за счет окислительных процессов в горных выработках) может быть использовано для регулирования проветривания шахты за счет использования естественной тяги.

7. Создание комбинированной системы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт за счет доставки холода водой и проветривающим шахту воздухом открывает перспективу снижения температуры горного массива нижележащего подготавливаемого горизонта.

8. При разработке научных основ расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт школой акад. А. Н. Щербаня основное внимание уделено процессам теплообмена проветривающего горные выработки воздуха, а теплообменные процессы оросительного охлаждения стенок выработок водой практически не рассмотрены. Наши расчеты показывают высокую эффективность такого способа теплоотвода, что особенно важно для сокращения времени охлаждения горного массива при проведении горных выработок.

Ниже приведены представляющие интерес некоторые сведения по методике компьютерных расчетов теплообменных процессов с использованием аналитического аппарата школы А. Н. Щербаня и некоторые результаты расчетов по оросительному охлаждению стенок горной выработки водой.

При разработке научных основ расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт [3,4] применительно к нормализации микроклимата проводимой горной выработки принят ряд упрощающих допущений:

- температура охлаждающей стенки выработки воздуха принимается неизменной во времени. Влияние ее изменения во времени учитывается поправ-

ками к коэффициенту нестационарного теплообмена при неизменной температуре воздуха;

- ввиду незначительного, составляющего сотые доли градуса на метр длины, изменения температуры горной выработки по длине расчет коэффициента теплообмена производится по величине тепловыделений для усредненных температур;

- влияние осевого градиента температур является пренебрежимо малым. Хотя выработка рассматривается как бесконечно длинный цилиндр, теплообмен в ней по сути сводится к таковому лишь по одной координате - перпендикулярно к оси выработки по ее радиусу R ;

- горный массив рассматривается как изотропное изотермическое тело.

С учетом приведенных выше допущений система дифференциальных уравнений принимает вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial t}{\partial R} \right) \quad (5)$$

$$t = t_n \text{ при } \tau = 0; \quad (6)$$

$$t \rightarrow t_n \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0; \quad (7)$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial R} - \alpha \cdot (t - t_n) = 0 \text{ при } R = R_0 = \frac{2 \cdot F}{U} \quad (8)$$

Здесь: (5)-дифференциальное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах,

(6) - закон начального распределения температур в горном массиве, (7) - условие неограниченности массива в радиальном направлении и (8) - закон теплообмена поверхности выработок с воздушной струей при $t_n = \text{const}$. R_0 - эквивалентный радиус выработки площадью сечения F и периметром U .

Для получения конечных зависимостей в безразмерном виде, определяющих относительную температуру любой точки массива в любой момент времени, использована безразмерная температура, определяемая выражением

$$g = \frac{t - t_e}{t_n - t_e} \quad (9)$$

В этом случае дифференциальное уравнение (5) и краевые условия (6)-(8) принимают вид:

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 g}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial g}{\partial R} \right]; \quad (10)$$

$$g = 1 \text{ при } \tau = 0; \quad (11)$$

$$g > 1 \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0; \quad (12)$$

$$-\lambda \frac{\partial g}{\partial R} - \alpha g = 0 \text{ при } R = R_0. \quad (13)$$

Для решения дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных применяется метод преобразования Лапласа, основные положения которого изложены в упоминавшихся выше работах [1] и [2] и руководствах по операционному исчислению [8]. Сущность метода заключается в приведении дифференциального уравнения в частных производных от R и τ к обыкновен-

ным дифференциальным уравнениям от R путем замены функции $f(\tau)$ ее изображением $T(s)$:

$$T(s) = \int_0^{\infty} f(\tau) \cdot e^{s\tau} d\tau \quad (14)$$

Показатель степени s в равенстве (14) есть переменная Лапласа. Изображения функции от R и τ . Первой и второй ее частных производных по R равны соответственно функции $T_{R,s}$, первой и второй ее производной по R :

$$[\mathcal{G}(R, \tau)] = T_{R,s} ; \quad \left[\frac{\partial \mathcal{G}(R, \tau)}{\partial R} \right] = \frac{dT_{R,s}}{dR} ; \quad \left[\frac{\partial^2 \mathcal{G}(R, \tau)}{\partial R^2} \right] = \frac{d^2 T_{R,s}}{dR^2} \quad (15)$$

Изображения для значительного числа функций, встречающихся на практике, приведены в работах [1], [2]. Решение уравнений, составленных из изображений функций, сводятся к решению дифференциального уравнения от одной переменной R . Переход от полученного решения $T(s)$ к оригиналу осуществляется по таблицам, если получено его табличное решение, либо с помощью теоремы разложения, если решение для изображения представляет собой отношение полиномов, удовлетворяющее определенным условиям [2]. Если после выполнения перечисленных выше операций решение не получено, то придется прибегнуть к решению общего для перехода от изображения к оригиналу интеграла

$$\mathcal{A}(R, \tau) = \frac{1}{2\pi \cdot i} \int_{\sigma - i\infty}^{\sigma + i\infty} e^{s\tau} T_{R,s} ds \quad (16)$$

Замена в уравнениях (10)-(13) температурных функций их изображениями дает

$$a \frac{d^2 T}{dR^2} + a \frac{1}{R} \frac{dT}{dR} - sT + 1 = 0 ; \quad (17)$$

$$T = \frac{1}{s} \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0 \text{ и при } \tau = 0 ; \quad (18)$$

$$-\lambda \frac{dT}{dR} + \alpha T = 0 \text{ при } R = R_0 . \quad (19)$$

Выражение (17) есть уравнение Бесселя с мнимым аргументом, которое подстановкой $T = u + \frac{1}{s}$, $\frac{s}{a} R^2 = x^2$ приводится к виду

$$x^2 u'' + xu' - x^2 u = 0 . \quad (20)$$

Решением такого уравнения есть бесселевы функции мнимого аргумента первого и второго рода нулевого порядка.

Выполняющие тепловые расчеты горные специалисты, как правило, не владеют аппаратом этих математических операций, но это не должно пугать и останавливать лиц, хорошо знакомых с компьютерной техникой. Применение современных компьютерных систем MathCAD, MathLAB или MAPLE позволит им получить численные значения инженерных тепловых расчетов в горных выработках не прибегая к тонкостям операций математических преобразований при решении дифференциальных уравнений в частных производных. Изъявившие желание глубже вникнуть в сущность процесса перехода от изображения к

оригиналу температурной функции при выполнении тепловых расчетов в горных выработках глубоких шахт отсылаются к работам [2,4], в которых детально изложен этот вопрос.

Специалистам, желающим получить конкретные результаты инженерных расчетов параметров тепловых процессов в горных выработках, не вникая в тонкости высшей математики, рекомендуется воспользоваться конечной зависимостью для определения относительной безразмерной температуры стенок горных выработок, приведенной в [4]:

$$\vartheta_{cm} = \frac{4}{\pi^2 \cdot Bi} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\mu^2 Fo} d\mu}{\mu \left[I_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} I_1(\mu) \right]^2 + \mu \left[Y_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} Y_1(\mu) \right]^2}. \quad (21)$$

Здесь: $Fo = \frac{a \cdot \tau}{R_0^2}$ - число гомохронности (Фурье), $Bi = \frac{\alpha \cdot R_0}{\lambda}$ - число гранич-

ных условий (Био), $\mu = R_0 \cdot \sqrt{\frac{s}{a}}$, s - переменная интегрирования при замене функции $f(\tau)$ ее изображением $T(s)$ в уравнении (14), $I_0(x), I_1(x), Y_0(x), Y_1(x)$ - бесселевы функции первого и второго рода от действительного аргумента нулевого и первого порядка.

Авторы статьи для определения параметров процессов теплообмена горного массива и воздушного потока в горной выработке, а также при охлаждении горных пород за счет орошения стенок выработки водой и применения потока воды в скважине, опережающей забой подготовительной выработки, применяют систему MathCAD 11 Enterprise Edition, а для подсчета выноса тепла при формировании теплоуравнивающей рубашки, требующей большого объема циклических вычислений, программу, основанную на применении C++.

Выводы

1. Разведанные запасы угля в украинской части Донбасса достаточны для обеспечения потребностей страны на протяжении 450-500 лет, однако извлечение этих запасов требует решения проблемы борьбы с высокими температурами горных пород, достигающими 45°C в зоне действующих шахт и 75°C на нижней границе залегания угольных пластов.

2. Тепловые условия в горных выработках действующих глубоких шахт Донбасса за годы независимости резко ухудшились из-за исчезновения на 55 шахтах систем центрального кондиционирования. Восстановить их невозможно ввиду отсутствия производства в стране требующейся холодильной техники и средств на приобретение ее за рубежом.

3. Работа горняков в горячих забоях сопряжена с неизбежным ухудшением их здоровья и гибелью от нарушений сердечно-сосудистой системы.

4. Нормализация тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса является необходимым условием обеспечения возможности ведения работ по дальнейшей добыче угля в действующих глубоких шахтах и строительства новых глубоких шахт Донбасса.

5. При отсутствии средств на науку и приобретение холодильной техники для нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт последняя может быть осуществлена за счет применения нетрадиционных для шахтных условий способов подачи холода в горные выработки и сокращения притока тепла из массива горных пород путем использования воды в качестве холодоносителя.

6. Предлагается привлечь для решения задач обеспечения нормальных тепловых условий в горных выработках шахт научно-техническую общественность угольной промышленности Украины.

7. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт разработаны, однако их аналитический аппарат сложен и труднодоступен. Рекомендуется для решения прикладных задач нормализации тепловых условий в горных выработках шахт использовать современные компьютерные математические системы.

8. Для облегчения работы энтузиастов, изъявивших желание участвовать в решении проблемы нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт, приведены основные положения методики расчета параметров теплообмена между горным массивом и потоком проветривающего горную выработку воздуха, разработанной школой акад. А. Н. Щербаня.

Список литературы

1. Лыков А. В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа, 1967. -600 с.
2. Диткин В. А., Прудников А.П. Операционное исчисление. – М.: Высшая школа, 1975,-407 с.
3. Щербань А. Н., Кремнев О. А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Том 1,2. Издат. АН УССР, Киев, 1959. - 430 с,1960.-348 с.
4. Кремнев О. А., Журавленко В. Я. Тепломассообмен в горном массиве и подземных сооружениях. – К.: Наукова думка, 1986.-342 с.
5. Бойко В. А., Бойко О. А. Разработка способа и средств формирования теплозащитной оболочки горных выработок глубокой шахты и оценка влияния ее параметров на теплоприток из горного массива. Материалы международной конференции “Форум горняков 2009”, секция “Рудничная аэрология и безопасность труда”, с.57-73, Дн-ск, НГУ, 2009.
6. Бойко В. А., Бойко О. А. Способ и средства нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт в период их строительства. Збірник наукових праць НГУ №32.- 2009.- Дніпропетровськ: НГУ.- С.214-225.
7. Бойко В. А., Бойко О. А. Проблема нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса, способы и средства ее решения. Материалы международной конференции “Форум горняков 2009”, секция “Строительство шахт и подземных сооружений”, с.142-153, Дн-ск, НГУ, 2009.
8. Лурье А. И. Операционное исчисление и его приложение к задачам механики. – М.-Л.: Гостехиздат, 1950. -432 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 22.09.10*