

Gurvich A.G. Principles of analytical biology and theory of the cellular fields / *Gurvich A.G.* – М.: Science, 1991. – 250 p.

7. *Гаряев П.П.* Фрактальность ДНК и речи. Докл. Росс. Акад. Наук / *Гаряев П.П.* – М.: Росс. Акад. Наук, 1994. – 64 с.

Garyaev P.P. Fractal of DNA and speech. Russian Academy of Sciences Report / *Garyaev P.P.* – М.: Russian Academy of Sciences, 1994. – 64 p.

8. *Казначеев В.П.* Космопланетарный феномен человека: Проблемы комплексного изучения / *В.П. Казначеев, Е.А. Спирин.* – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 304 с.

Kaznachev V.P. Space and planetary phenomenon of human: Problems of complex study / *V.P. Kaznachev, E.A. Spirin.* – Novosibirsk: Nauka, 1991. – 304 p.

9. Застосування методу кірліан-графічної оцінки функціонального стану організму людини для встановлення інтоксикації та ступені адаптації організму до неї / [Пісоцька Л.А., Третяк Н.М., Гайдукова С.М. та ін.]; методичні рекомендації МОЗ України. – К, 2006. – 15 с.

Application of method Kirlian-graphic estimations of the functional state of human organism for determination of intoxication and degrees of adaptation of organism to it / [Pisocka L.A., Tretyak N.M., Gaydukova S.M. et al.]; methodical recommendations of MOZ of Ukraine. – K, 2006. – 15 p.

Охарактеризовано мінерал шунгіт, а також обґрунтовано необхідність його застосування для оздоровлення людини. Виділено фактори ризику для здоров'я людини, захист від яких ефективно здійснюється за допомогою мінералу. Виявлено вплив шунгітової кімнати, уніфікованої глиною, на організм людини. Для реєстрації ефекту впливу шунгітової кімнати на організм використовувався метод кірліанграфії. Представлено дані обстеження стану організму групи добровольців до та після перебування в шунгітовій кімнаті.

Ключові слова: *шунгіт, зелена глина, здоров'я людини, шунгітова кімната, кірліанграфія*

The article substantiates the necessity of application of schungite for human health improvement. Risk factors, from which schungite protects human health effectively, are marked. Descriptions and properties of mineral are resulted. Data received during examination of the organism state of group of volunteers before and after their stay in the schungite room through the method of Kirlian and its analysis are presented.

Keywords: *schungite, clay, human health, schungite room, Kirlian effect*

Рекомендовано до публікації докт. біол. наук А.І. Горвою. Дата надходження рукопису 14.03.11

УДК 622.272.3: 622.418: 628.518

О.А. Бойко,

В.А. Бойко, д-р. техн. наук, проф.

Государственное высшее учебное заведение

„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: boykooo@yandex.ru

ПАРАМЕТРЫ ПРИТОКА ТЕПЛА ГОРНОГО МАССИВА В ВЫРАБОТКИ ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА И НЕОХОДИМОЙ ПОДАЧИ ХОЛОДА ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА В НИХ

О.А. Boyko,

V.A. Boyko, Dr. Sci. (Tech.), Professor

State Higher Educational Institution

“National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: boykooo@yandex.ru

ASSESSMENT OF HEAT FLOW FROM ROCK MASSIF INTO HEADINGS OF DEEP MINES OF DONBASS AND COLD AIR INPUT REQUIRED FOR NORMALIZATION OF MICROCLIMATE IN THEM

Разработан аналитический метод расчета притока тепла из горного массива в расположенную в нем выработку, учитывающий формирование цилиндрической теплоуравнивающей оболочки горных пород вокруг выработки за счет их теплопроводности. С применением MathCAD 11 Enterprise определено термическое сопротивление теплоуравнивающих оболочек тепловому потоку и величины теплового потока для основных видов горных пород глубоких горизонтов. Предложены способы и средства снижения притока тепла горного массива в выработку, определена величина дополнительного термического сопротивления, необходимого для ограничения притока тепла в горную выработку заданной величиной.

Ключевые слова: *термическое сопротивление, теплоуравнивающая оболочка, ограничение теплового потока*

Украина получила в наследство мощный угледобывающий бассейн, насчитывавший на момент распада Советского Союза 256 шахт и обеспечивавший годовую добычу (174 млн тонн) каменного угля. Подав-

ляющее число шахт работало более 40–50 лет и нуждалось в капитальном обновлении техники. Начатая по рекомендациям зарубежных специалистов кампания по повышению рентабельности шахт привела к тому, что за 20 лет независимости уровень добычи каменного угля упал до 68 млн тонн и для сохранения про-

мышленного потенциала металлургической промышленности, являющейся основным поставщиком продукции на экспорт и получения валюты, страна вынуждена покупать уголь за рубежом. Отсутствие достаточных разведанных ресурсов нефти и газа, быстрый рост их цены на международном рынке привело к необходимости расходования огромных сумм валюты на оплату этих энергоносителей. Итогом экономических „успехов“ за период строительства капитализма является обнищание – по данным ООН 78% украинцев сейчас живут за порогом бедности.

Основные планы по проблеме обеспечения страны энергоносителями строились на увеличении производства электроэнергии на атомных электростанциях, увеличения добычи угля, газа и нефти. Им не суждено сбыться. Еще не забытая авария на Чернобыльской АЭС, происшедшая без вмешательства природной стихии, повторяется по ее вине на АЭС „Фукусима-1“. Последствия этой аварии выльются в закрытие многих действующих в мире АЭС и прекращение их строительства. Не обойдет стороной эта участь и Украину, которая не имеет собственной техники и средств для создания новых АЭС, но намеревалась заплатить России порядка 35 млрд гривен за строительство двух новых реакторов на Хмельницкой АЭС. За годы независимости не произошло чуда с разведкой новых месторождений нефти и газа. Перспективный по добыче нефти район подаренного Украине острова Змеиный по решению Гаагского суда отошел к Румынии. Тысячи квадратных километров Черноморского побережья, отданных на разведку американской фирме Vanco, за десятилетие не увидели ни одного геологоразведчика, а перспективные акватории Азовского моря не осваиваются из-за затянувшейся проблемы делимитации государственной границы с Россией. Украина имеет 100 млрд тонн запасов каменного угля, которых достаточно для обеспечения всех ее потребностей в энергии на 500 лет. Программа „Украинский уголь“, утвержденная Постановлением Кабинета Министров Украины от 19.09.2001 №1205 предусматривает увеличение добычи угля до 110 млн тонн в 2010 году и до 125 млн тонн 2030 году. О результатах выполнения этой программы свидетельствуют реальные цифры: в год утверждения программы добыча угля составляла 84,5 млн тонн и за прошедшее десятилетие после ее утверждения, вместо роста на 30 млн, упала на 16 млн тонн и сейчас составляет лишь 50% от планировавшейся. Улучшение ситуации с обеспечением страны энергоносителями не наступит до тех пор, пока Украина не возьмется самостоятельно по-настоящему решать эту проблему. Потерявшие работу из-за закрытия и консервации шахт шахтеры вносят посильный вклад в добычу угля. По сведениям, не распространяемым в официальной печати, на оставшихся от проведенной кампании повышения рентабельности угольной промышленности обломках закрытых и законсервированных шахт организована подпольная работа почти 6000 „копалень“, добывающих около 5 млн тонн низкокалорийного, выветренного, но кускового каменного угля, попадающего в штабели действующих шахт и оплачиваемого по вы-

соким расценкам за счет бюджета. Если создать для этих добытчиков угля рабочие места и обеспечить их вместо обушков современной техникой угледобычи, то, несомненно, уровень добычи угля и благосостояние шахтерских семей ощутимо выросли бы.

Но добывать уголь в Донбассе негде. Новые шахты, вместо ликвидированных, не построены. Объективными причинами этого являются отсутствие средств на их строительство и возможности ведения работ в таких шахтах. Общеизвестно, что уже в советское время значительное число шахт перевалило рубеж километровой глубины. Даже теперь, при значительно сократившемся числе шахт, 39 работают на глубине более 1000м, а 4 шахты превысили рубеж 1400 м, где температура горных пород составляет 45°C. Злейшим врагом шахтеров, кроме традиционных, – метана, угольной пыли и высокого давления горных пород – стала температура горных пород и воздуха. Во времена СССР (Советского Союза) на шахтах Донбасса тепловые условия в горных выработках глубоких шахт обеспечивали 57 систем центрального кондиционирования воздуха. В настоящее время их осталось только 2– на шахте „им. Засядько А.Ф.“ и на шахте „им. Скочинского А.А.“ Высокая температура в шахтах и рудниках создает трудности и во многих других странах – в Германии, Венгрии, Чехии, ЮАР, Индии. Требуется применять дорогостоящую мощную холодильную технику для охлаждения воздуха, расходовать значительные средства на электроэнергию. Понятно, что это связано с большими затратами и возрастанием себестоимости добытого минерального сырья. Решение проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт требует проведения научно-исследовательских работ. В настоящее время они практически прекратились.

Проводимые на общественных началах в Национальном горном университете исследования по горной теплофизике не могут решить всего комплекса вопросов проблемы обеспечения нормальных условий труда в глубоких шахтах и сосредоточены, в основном, на решении вопроса за счет использования нетрадиционных способов, схем и средств нормализации рудничного микроклимата. Освещаемый в изданиях НГУ комплекс вопросов направлен на решение доступных задач прогноза и расчетных обоснований параметров кондиционирования воздуха, поиск доступных средств и схем нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт. Вызвано это не только тем, что страна бедная и не может изготовить или купить необходимую технику кондиционирования воздуха в глубоких шахтах, но и тем, что стандартные применяемые схемы и средства кондиционирования воздуха в шахтах, в значительной степени, исчерпали свои возможности. Причина кроется в быстром нарастании температуры и количества тепла в горных породах глубоких горизонтов, малой теплоемкости воздуха, малой пропускной способности по воздуху вентиляционных сетей шахт и, как результат, огромных потерях электроэнергии на кондиционирование, вентиляцию и, в конечном итоге, бесполезный выброс в атмосферу огромного количества тепла недр Земли.

В опубликованных нами работах [1, 2] приведено обоснование необходимости применения воды в качестве хладоносителя для охлаждения массива горных пород, создания теплоуравняющих оболочек горных пород, выноса водой тепла горного массива горных пород на дневную поверхность. Воздуху оставлены его стандартные вентиляционные функции доставки кислорода, разбавления вредных и ядовитых газов, выноса пыли, а как хладоносителю – доставки холода для обеспечения нормальных тепловых условий в горных выработках, горный массив вокруг которых уже подвергнут предварительному охлаждению водой.

В настоящей статье рассматривается вопрос о размерах тепловыделения в горную выработку, пройденную по типовым для глубоких горизонтов горным породам, определяется величина дополнительного к термическому сопротивлению термоуравняющей оболочки термического сопротивления крепи горной выработки, термоизоляции ее стенок и слоя воздуха в ней, обеспечивающих снижение интенсивности удельного теплового потока в выработку до величины, допустимой по условиям подачи холода в квазистационарном режиме функционирования системы нормализации микроклимата горной выработки. Кажущийся непонятным научный термин в предыдущей фразе всего лишь выражает простую мысль: какой должна быть подача холода в длительно выполняющую свое назначение горную выработку для сохранения в ней заданного теплового режима.

Излагаемые ниже расчеты выполнены применительно к условиям горного отвода шахтного поля в Донецко – Макеевском районе, где в конце 60-х годов прошлого столетия проводились разведочные работы по оценке запасов угля и предельной глубины залегания угольных пластов. Нас этот регион будет интересовать, прежде всего, как кладовая крайне необходимого стране коксующегося угля в недрах Земли. Измеренная температура горных пород в зоне пересечения наиболее глубоко залегающих пластов составляет 72–73°C, величина геотермической ступени составляет 30–31 м. Расчеты произведены для глубин от 1300 до 1800 м с интервалом в 100м. Теплофизические характеристики горных пород приняты типовые для условий Донбасса. Они приведены в разработанной МакНИИ „Единой методике прогнозирования температурных условий в угольных шахтах“, но в соответствии с современными требованиями пересчитаны в системе СИ. Горный отвод шахтного поля размером 5 000м по простиранию и 2500м по падению содержит в горных породах с температурой сверх 26°C запас тепла, равный по величине таковому от сжигания 12 млн тонн угля. На вынос этого тепла на-гора охлажденным воздухом с применением типовой системы кондиционирования и

вентиляции потребуется, при максимально допустимой скорости движения воздуха в горных выработках, период времени около 270 лет и расход электроэнергии 72–75 млрд кВт-ч. Понятно, что тратить столько времени и электроэнергии не может себе позволить ни одно государство в мире. В упоминаемых в списке литературы статьях приведены сведения о том, почему типовые схемы кондиционирования воздуха исчерпали свои возможности и почему необходимо использовать воду в качестве хладо- и теплоносителя. Не повторяя их, укажем, что кубометр воды, при одинаковой с воздухом разности температур, способен вынести в 4000 раз больше тепла, чем воздух. Воздух не может выносить тепло при большой разности температур поступающей и исходящей струй, так как в атмосфере шахты всегда находятся люди и даже во многих вентиляционных стволах приходится ограничивать температуру исходящей струи, потому, что по ним осуществляется подъем горнорабочих. Необходимый для доставки холода в шахту и выноса шахтного тепла на дневную поверхность объем воды оказывается сравнительно небольшим, а термоизолированные трубы для ее подачи легко вписываются в сечение стволов. При организации прямоточной системы циркуляции воды ее подача осуществляется при малых перепадах давления насосов, необходимых лишь для преодоления сопротивления трения воды о стенки трубопровода. Если такую схему трудно создать и приходится разрывать поток воды из-за необходимости применения трубопроводов и теплообменников высокого давления, то применение турбины на разгрузке давления воды на горизонте руд двора и использование ее для привода насоса откачки шахтной воды на-гора позволяет экономить 2/3 электроэнергии, расходуемой на откачку воды насосами с обычным электроприводом.

Ниже приводятся результаты некоторых расчетов, выполненные с применением системы MathCAD 11 Enterprise Edition. Расчеты содержат исходные данные задания на расчет и расчетные зависимости для расчетов в характерной для MathCAD форме. Результаты расчетов содержат цифровые данные в виде таблиц (в статьях не приводятся) и итоговые графики. Ниже, на рис.1, приведены результаты расчета предельной величины теплового потока для различных горизонтов ведения горных работ при наличии сформированной теплоуравняющей рубашки радиусом до 10 м в песчанике.

Для сланцев расчет производится по тем же горизонтам ведения горных работ и зависимостям, но при коэффициенте теплопроводности $\lambda_s = 1,77$. Результаты расчетов приведены ниже, на рис. 2.

Для известняка коэффициент теплопроводности 0,985. Результаты расчетов приведены на рис. 3.

$$\begin{aligned}
 H1 &:= 130\text{C}; & H2 &:= 140\text{C}; & H3 &:= 150\text{C}; & H4 &:= 160\text{C}; & H5 &:= 170\text{C}; & H6 &:= 180\text{C}; & st &:= 31; & tv &:= 20; & hz &:= 25; \\
 tz &:= 8; & \lambda_p &:= 2.5\text{C}; & r1 &:= 2; & r &:= 2.2.. 1\text{C}; & r2 &:= 10; & tp1 &:= \frac{H1 - hz}{st} + tz; & tp2 &:= \frac{H2 - hz}{st} + tz;
 \end{aligned}$$

$$tp3 := \frac{H3 - hz}{st} + tz; \quad tp4 := \frac{H4 - hz}{st} + tz; \quad tp5 := \frac{H5 - hz}{st} + tz; \quad tp6 := \frac{H6 - hz}{st} + tz;$$

$$f1(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda p (tp1 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad f2(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda p (tp2 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad f3(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda p (tp3 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)};$$

$$f4(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda p (tp4 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad f5(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda p (tp5 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad f6(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda p (tp6 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}.$$

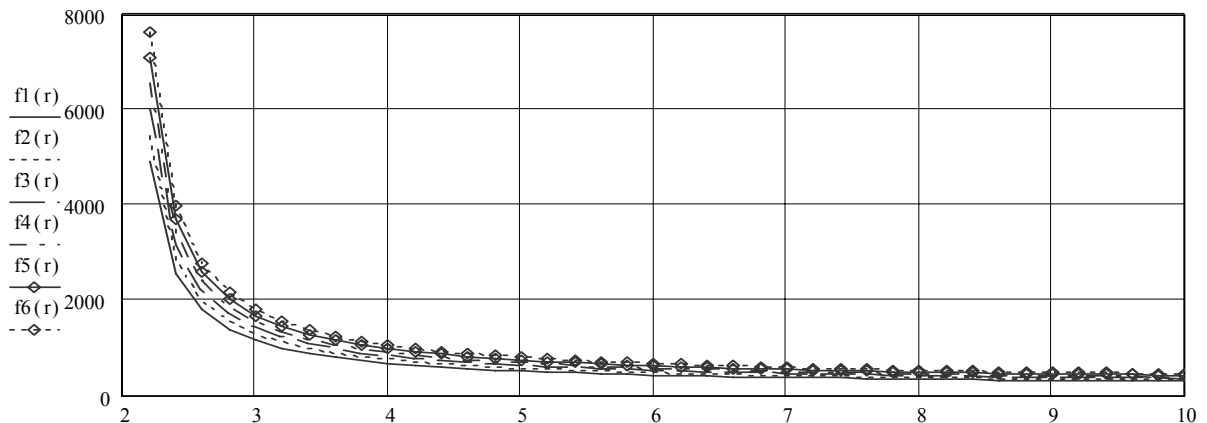


Рис. 1. Предельная величина теплового потока в функции естественной температуры и радиуса ТО в песчанике

$$\lambda s := 1.77; \quad r := 2.2.. 10; \quad tv := 20;$$

$$f1(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda s (tp1 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad f2(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda s (tp2 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad f3(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda s (tp3 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)};$$

$$f4(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda s (tp4 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad f5(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda s (tp5 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad f6(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda s (tp6 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}.$$

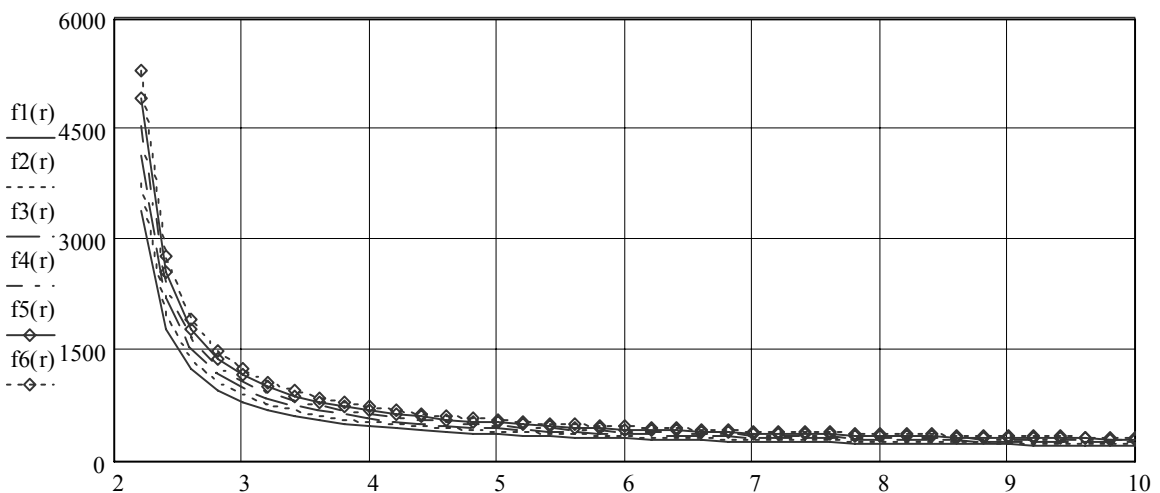


Рис. 2. Предельная величина теплового потока в функции естественной температуры и радиуса ТО в сланцах

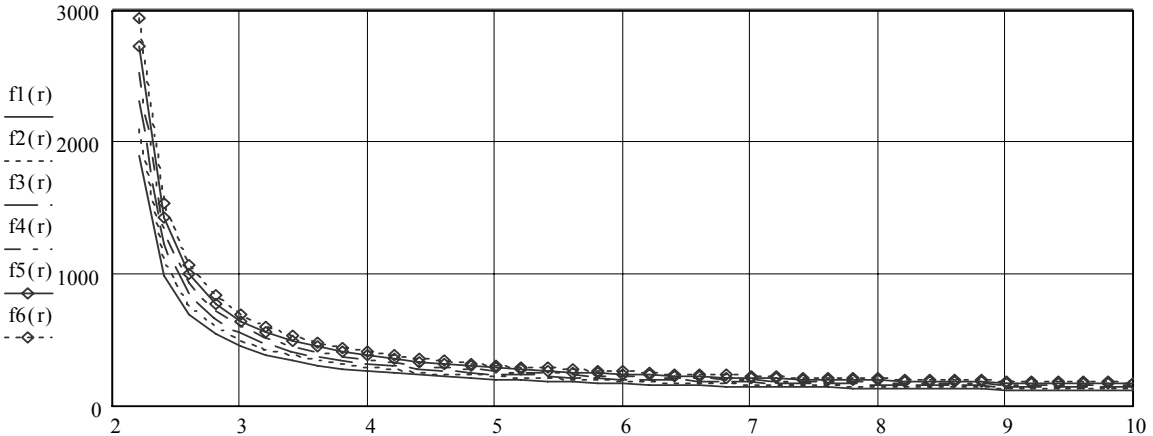


Рис. 3. Предельная величина теплового потока в функции естественной температуры и радиуса ТО в известняке

Приведенные на рисунках 1–3 графики изменения величины удельного потока для типичных горных пород глубоких горизонтов Донбасса свидетельствуют о том, что увеличение радиуса ТО приводит к значительному снижению теплового потока из горного массива в выработку. Пугающе большие величины теплового потока при малых радиуса ТО объясняются тем, что по условиям расчета при любой величине радиуса ТО сохраняется постоянной величина температуры на внешней границе ТО – она равна естественной температуре горных пород на заданной глубине. Вторым обстоятельством является факт отсутствия на внутренней границе оболочки какого-либо термического сопротивления переходу тепла в среду, заполняющую горную выработку. Такое явление будет наблюдаться при заполнении горной выработки водой, когда коэффициент теплоотдачи стенки выработки становится трех-четырёхзначной величиной. При таких величинах коэффициента теплоотдачи стенки выработки тепловой поток отличается от такового при коэффициенте теплоотдачи, равном бесконечности, на ничтожно малую величину. Учеными школы А. Н. Щербаня коэффициент теплоотдачи определялся расчетом с использованием чисел Фурье и Био и условие идеальной теплоотдачи записано через величину числа Био. Большие коэффициенты теплоотдачи представляют интерес при охлаждении горного массива за счет орошения стенок выработки водой.

В практике нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт большой интерес представляет суммарная величина теплового потока из горного массива в выработку в период ее использования по основному назначению. Из публикаций журнала „Глюкауф“ следует, что в 80-е годы исследования в глубоких шахтах ФРГ проводил J.Voss. В это же время в глубоких шахтах Донбасса отделом кондиционирования воздуха МакНИИ под руководством Н. Н. Хохотвы интенсивно велись работы по нормализации тепловых условий в глубоких шахтах Донбасса.

По результатам расчетов ожидаемых выделений тепла в длинных выработках глубоких шахт в моно-

графии [3] докт. техн. наук Ф.С. Клебановым интенсивность теплового потока в длительно действующих выработках глубоких шахт оценивается величиной $0.2\text{--}0.5 \text{ Вт/м}^2$. Поскольку до настоящего времени не выполнены исследования по оптимизации параметров микроклимата горных выработок глубоких шахт и отсутствуют рекомендуемые величины удельного теплового потока (а именно о нем идет выше речь), до появления обоснованных рекомендаций будем считать, что приемлемой величиной удельного теплового потока для выработок со сформированной ТО, установленной постоянной крепью и произведенной термоизоляцией стенок выработки, является 1 Вт/м^2 . Величина теплового потока в горную выработку зависит от разности температур (естественной температуры и температуры стенки выработки) и суммарного термического сопротивления термоуравнивающей оболочки и упоминавшегося выше дополнительного термического сопротивления на пути теплового потока. Обозначим величину термического сопротивления ТО индексом R_o , а дополнительное сопротивление – R_d .

При формировании ТР процесс можно рассматривать как стационарный. В зависимости от количества удаленного из оболочки массива тепла изменяется диаметр оболочки, а закон распределения температур по радиусу оболочки для цилиндрической оболочки, какой является горная выработка, является одним и тем же и описывается логарифмической зависимостью вида

$$t_r = t_p - (t_p - t_c) \cdot \frac{\ln(r/r_2)}{\ln(r_1/r_2)}. \quad (1)$$

Здесь: t_r – температура оболочки горного массива радиусом r ; t_p – естественная температура горной породы на расчетной глубине; t_c – температура охлаждаемой стенки выработки (скважины); r_1 – эквивалентный внутренний радиус охлаждаемой оболочки; r_2 – наружный радиус теплоуравнивающей оболочки. Понятно, что задаваемая в расчете величина

радиуса r может изменяться в пределах от r_1 до r_2 , поскольку нас интересуют величины температуры внутри теплоуравнивающей оболочки. Величина эквивалентного радиуса внутренней стенки оболочки определяется как гидравлический радиус выработки любой принятой в проекте формы – прямоугольной, квадратной, круглой, трапециевидной или арочной. Площадь поперечного сечения выработки или диаметр буримой скважины заданы. Что касается внешнего радиуса теплоуравнивающей оболочки, то его размер может быть задан в зависимости от цели расчета. На основании результатов выполненных учеными школы А. Н. Щербаня на шахтах Донбасса более 50 лет назад экспериментальных наблюдений известно, что хотя теплоуравнивающая рубашка проветриваемой горной выработки может формироваться в течение десятилетий, но внешний диаметр ее не превышает 25–30 м. Исходя из срока существования горных выработок, зависящего от их назначения, можно считать, что представляющие интерес при нормализации тепловых условий в горных выработках процессы будут иметь место в течение не более 10 лет, а диаметры ТР не превысят 40–50 м.

Информация о распределении температуры в ТР любого радиуса дает возможность определить количество оставшегося в ней тепла. Проходка новой выработки начинается с уже действующей, окруженной частично охлажденными породами, то устье засекаемой выработки будет иметь несколько меньшую, чем естественная, температуру, но этот участок будет коротким и не окажет влияния на точность расчетов. Удобно вести расчеты для участка выработки единичной длины, тогда получим сведения о необходимом для формирования участка ТР единичной длины выносе тепла при охлаждении и тепловом потоке из горного массива в выработку (скважину), носящем название удельного теплового потока. Понятно, что ТР заданного размера, даже при интенсивном охлаждении горной породы горного массива, формируется в течение промежутка времени определенной длительности, в течение которого имеет место неустановившийся тепловой режим, описываемый дифференциальным уравнением второй степени в частных производных. Выше отмечалось, что при применении типовой системы кондиционирования воздуха формирование ТР занимает длительный период времени. В основе этого процесса лежит процесс теплообмена горного массива и потока воздуха в горной выработке, протекающий по закону Ньютона. Расчетная схема комплекса „горный массив – выработка (скважина)“ в виде цилиндрической стенки, термическое сопротивление R_c которой определяется зависимостью

$$R_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{dp}{2 \cdot R_0} . \quad (2)$$

Здесь λ – коэффициент теплопроводности окружающей выработку горной породы, dp – расчетный диаметр ТР, а R_0 – эквивалентный радиус выработки. Но кроме термического сопротивления горной породы на пути теплового потока к среде в объеме

выработки (скважины) находится последовательно включенное термическое сопротивление R_{mc} „стенка – охлаждающая среда“, зависящее от теплофизических свойств и режима движения последней, определяемое выражением

$$R_{mc} = \frac{1}{\alpha \cdot 2 \pi \cdot R_0} . \quad (3)$$

Общее термическое сопротивление удельному тепловому потоку из горного массива в охлаждающую среду равно сумме $R_c + R_{mc}$, а величина удельного теплового потока определяется выражением

$$qt = \frac{\pi \cdot (tp - tc)}{\frac{1}{\alpha \cdot 2 R_0} + \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{dp}{2 \cdot R_0}} . \quad (4)$$

Количество тепла в ТР единичной длины определяется интегрированием функции распределения температуры по ее радиусу на площадь сечения, удельную плотность и удельную теплоемкость вмещающей горной породы. Аналитическое описание изменения удельного теплового потока при неустановившемся процессе теплообмена горного массива и охлаждающей среды $q(\tau)$ в работах школы А.Н. Щербаня и составленной на их основе „Единой методике прогнозирования температурных условий в угольных шахтах“ базируется на сложной зависимости, учитывающей изменение констант теплообмена во времени.

Поскольку оба эти сопротивления на пути теплового потока включены последовательно, то величина теплового потока в отрезок выработки единичной длины запишется выражением

$$Q = \frac{tp - tv}{R_o + R_d} . \quad (5)$$

Интересующая нас величина притока тепла с одного квадратного метра стенки выработки определится частным от деления теплового потока в отрезок выработки единичной длины на площадь поверхности этого участка. Поскольку речь идет об одном и том же участке единичной длины, то площадь поверхности численно равна величине периметра выработки. Тогда $q = \frac{Q}{U}$, где U – периметр выработки.

Периметр выработки можно определить, зная форму сечения выработки и площадь сечения выработки. Они известны, по их величинам определяется эквивалентный диаметр выработки, фигурирующий в расчетах как заданная величина r_1 . Выразив площадь поверхности выработки через r_1 , получим

$$q = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r_1} , \text{ откуда } Q = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot q . \quad (6)$$

Поскольку в (5) и (6) левые части равны, запишем равенство в виде

$$\frac{tp - tv}{R_o + R_d} = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot q . \quad (7)$$

Из равенства (7) определим величину

$$Rd = \frac{tp - tv}{2 \cdot \pi \cdot r1 \cdot q} - Ro .$$

Термическое сопротивление Ro выше уже участвовало в расчетах, результаты которых приведены на рис.1–3. Оно зависит от размеров ТО и коэффициента теплопроводности породы, определяется выражением

$$Ro = \frac{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} . \quad (8)$$

Тогда величина дополнительного термического сопротивления определится выражением

$$Rd = \frac{tp - tv}{2 \cdot \pi \cdot r1 \cdot q} - \frac{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} . \quad (9)$$

Выполним расчеты по определению величины дополнительного термического сопротивления, ограничивающего в совокупности с термическим сопротивлением ТО удельный тепловой поток в горную выработку заданной величиной. Расчет производится с использованием зависимости (9), но в соответствии со спецификой MathCAD для каждого из видов горных пород. В приводимых ниже расчетах учитывается величина его коэффициента теплопроводности и температуры по горизонтам.

Расчетные зависимости и графики расчета величины дополнительного термического сопротивления для выработки в песчанике приведены ниже, на рис. 4.

$$q := 1; \quad r1 := 2; \quad \lambda_p := 2.56; \quad \lambda_s := 1,77; \quad \lambda_c := 0.985;$$

$$f7(r) := \frac{tp1 - tv}{2 \cdot \pi \cdot r1 \cdot q} - \frac{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p}; \quad f8(r) := \frac{tp2 - tv}{2 \cdot \pi \cdot r1 \cdot q} - \frac{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p}; \quad f9(r) := \frac{tp3 - tv}{2 \cdot \pi \cdot r1 \cdot q} - \frac{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p};$$

$$f10(r) := \frac{tp4 - tv}{2 \cdot \pi \cdot r1 \cdot q} - \frac{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p}; \quad f11(r) := \frac{tp5 - tv}{2 \cdot \pi \cdot r1 \cdot q} - \frac{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p}; \quad f12(r) := \frac{tp6 - tv}{2 \cdot \pi \cdot r1 \cdot q} - \frac{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p}.$$

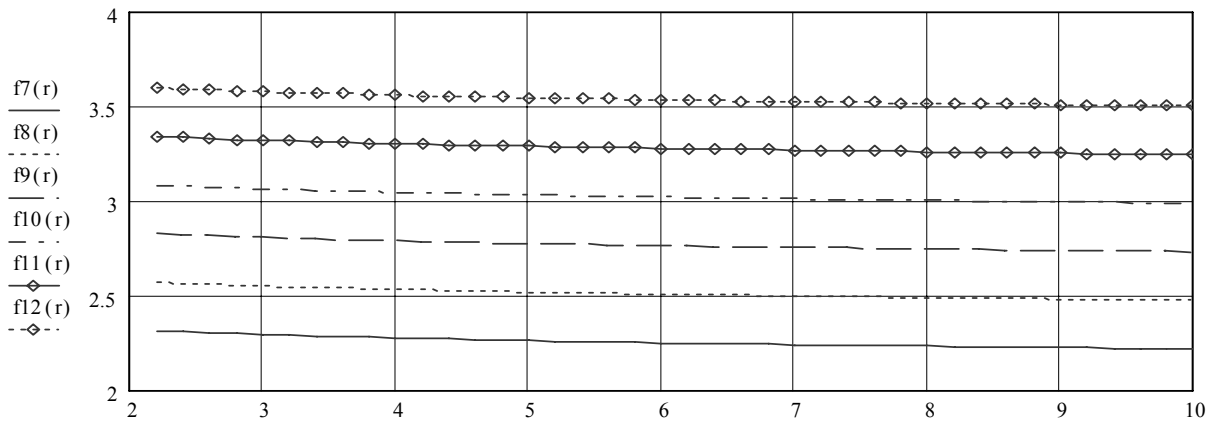


Рис.4. Зависимость величины дополнительного термического сопротивления, ограничивающего величину теплового потока из горного массива (песчаника) в выработку, от радиуса теплоуравняющей оболочки

Значения величин коэффициентов теплопроводности сланцев и известняка записаны в исходные данные на рис. 4 с соответствующими символами. Расчеты величин дополнительных термических сопротивлений для сланца и известняка произведем по тем же

уравнениям (9), что и для песчаника, но с подстановкой соответствующих каждой породе значений λ . В целях экономии объема статьи, формулы из рисунков 5 и 6 изъяты, графики результатов расчетов приведены ниже.

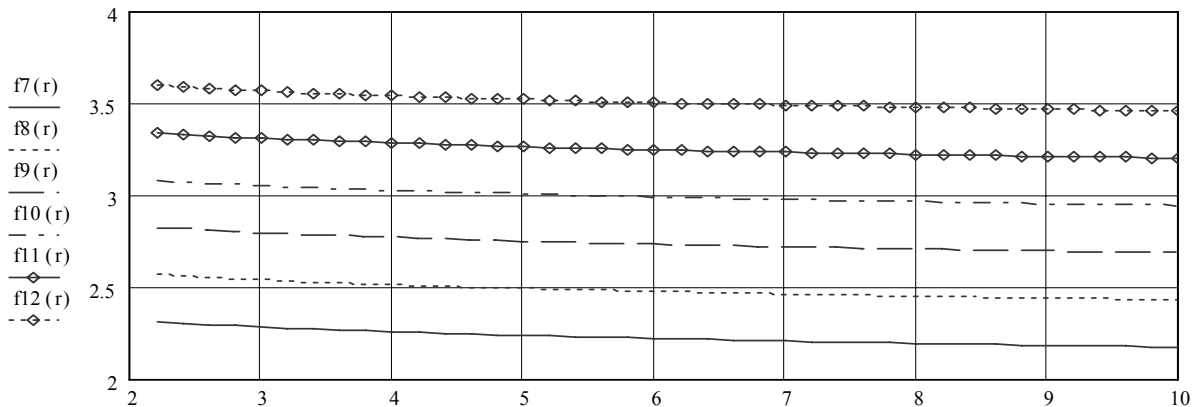


Рис. 5. Зависимость величины дополнительного термического сопротивления, ограничивающего величину теплового потока из горного массива (сланца) в выработку, от радиуса теплоуравнивающей оболочки

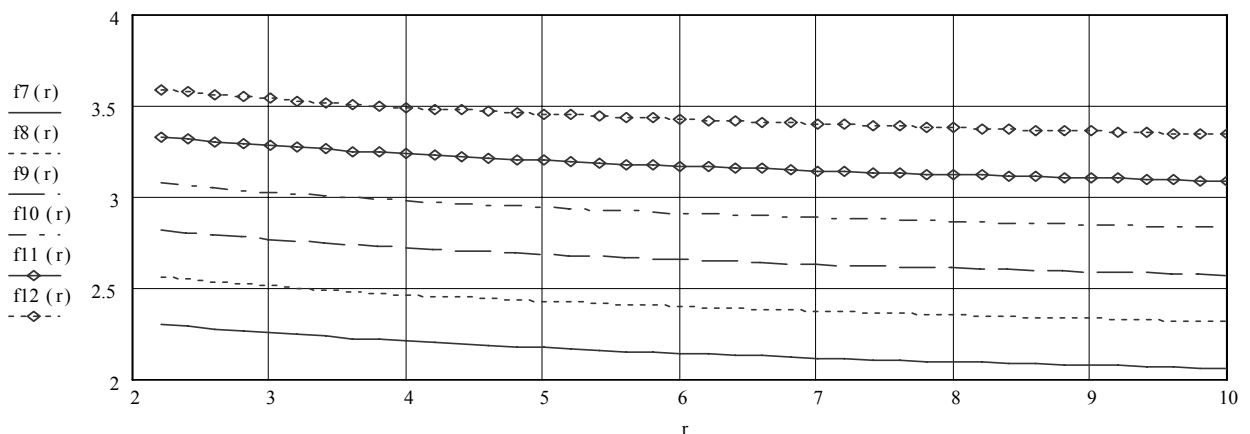


Рис. 6. Зависимость величины дополнительного термического сопротивления, ограничивающего величину теплового потока из горного массива (известняка) в выработку, от радиуса теплоуравнивающей оболочки

Беглый просмотр приведенных на рисунках 4–6 результатов расчетов свидетельствует о том, что с увеличением радиуса теплоуравнивающей рубашки величина дополнительного термического сопротивления, необходимого для ограничения интенсивности удельного теплового потока, изменяется сравнительно мало, зато четко видно, что на глубине 1800 м дополнительное термическое сопротивление при том же радиусе ТО должно быть примерно в 2 раза больше, чем на глубине 1300 м. Как и следовало ожидать, заметно большее влияние на величину теплового потока в горную выработку при одинаковом радиусе ТО оказывает известняк. Результаты расчетов рис. 4–5 свидетельствуют о том, что теплоуравнивающие оболочки действительно существенно снижают величины теплопритока из горного массива в выработку, но в то же время показывают, что на больших глубинах нормализовать тепловые условия только за счет их применения невозможно. Анализ изменения граничных величин притока тепла в горную выработку (рис.1–3) показывает, что сравнительно небольшая по размеру ТО (толщиной 1–2 м, что на графиках соответствует радиусу ТО 3–4 м) выполняет чрезвычайно важную роль в ограничении теплового потока

в горную выработку. К сожалению, из-за отсутствия возможности провести в шахтных условиях исследования влияния формирующейся ТО на изменение притока тепла в горную выработку, результаты расчетов пока не подтверждены натурными наблюдениями. Нами пока не обнаружены публикации зарубежных или отечественных авторов по формированию теплоуравнивающих оболочек вокруг горных выработок и их влиянию на тепловые условия в горных выработках глубоких шахт. В то же время в отечественной и зарубежной печати имеются сведения о пока еще не слишком большом опыте проведения выработок в горных породах с повышенной естественной температурой. Влияние формирующейся при охлаждении горного массива ТО особенно ярко проявилось при скоростном проведении квершлага комбайном бурового действия на шахте „Виктория“ 1/2 в ФРГ. Квершлаг сечением 28 кв. м проводился на глубине 1060 м, где естественная температура горных пород составляла 49⁰С. Проходка выработки осуществлялась комбайном бурового действия фирмы ДЕМАГ с рекордными показателями по скорости проведения выработки- до 20–23 метров в сутки.

Мощность электродвигателей комбайна составляла 1100 кВт. Понятно, что в горную выработку выделялось огромное количество тепла как за счет работы комбайна, так и притока тепла из горного массива. Для нормализации тепловых условий в забое квершлага был применен комплекс мероприятий, включавший:

- мощную вентиляцию выработки – воздух к забою подавался по трубопроводу диаметром 1,4 м;
- эффективное охлаждение воздуха – две холодильные установки суммарной холодопроизводительностью 466 кВт находились не далее 30 м от груди забоя;
- эффективное охлаждение призабойной поверхности выработки – обдув осуществлялся через два каскада воздухоохладителей, находящихся на расстоянии 7 и 16 м от забоя;
- эффективное охлаждение груди забоя – вся поверхность забоя орошалась водой.

Применение этого комплекса мероприятий позволило обеспечить в призабойной части выработки эффективную температуру воздуха 28⁰ С. Публикация не содержит сведений о расходе воды на орошение, однако упоминание о том, что по всей длине выработки через 100–150 м были установлены автоматические пневмонасосы, подключенные к трубопроводу отвода воды диаметром 100 мм, свидетельствует о том, что расход воды был достаточно большим. Анализ структуры системы и выполняемых ею функций позволяет сделать вывод о том, что уже в призабойной зоне осуществлялось формирование охлажденной оболочки горных пород вокруг горной выработки. Нужного количества холода подаваемый в выработку воздух доставить не мог, подачу холода обеспечила мощная система охлаждения, находящаяся в непосредственной близости от забоя. Подача воздуха через два каскада воздухоохладителей на малом расстоянии от забоя обеспечила эффективный обдув стенок выработки и высокий коэффициент теплоотдачи от стенок к воздуху. Орошение груди забоя приводило не только к охлаждению буровой мелочи, но и к испарению воды и связанному с этим процессом охлаждению воздуха. Увлажненному и нагревшемуся воздуху оставалось вынести это тепло из выработки. Понятно, что реальные суммарные затраты холода на охлаждение призабойной части выработки за счет применения воды в значительной степени превысили указанную достаточно большую холодопроизводительность двух воздухоохладителей. Приведенный пример зарубежной практики подтверждает тот факт, что проветривающий выработку воздух не может доставить необходимое для нормализации тепловых условий количество холода, поэтому нужно подать его от установленной в непосредственной близости от забоя холодильной установки и использовать охлаждающую способность воды и энергию ее испарения.

К сожалению, в условиях Донбасса использовать в чистом виде этот опыт невозможно уже из-за того, что в выработке стандартного поперечного сечения

негде расположить трубопровод диаметром 1,4 м, отсутствуют малогабаритные воздухоохладительные холодильные установки, а для обеспечения такой высокой холодопроизводительности потребовалось бы забить выработку батареями из 5–6 передвижных кондиционеров КПШ, что исключает возможность ведения работ по проходке выработки. Вероятно, мощных проходческих комбайнов типа „Союз“ уже не осталось и рекордов скорости проходки выработок в Украине нет.

Авторы статьи надеются, что приведенные методика и результаты расчетов окажутся полезными при решении вопросов нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт Донбасса и помогут заинтересованным лицам проводить творческий поиск средств и методов, направленных на решение чрезвычайно актуальной для Украины задачи добычи угля на глубоких горизонтах.

Выводы:

1. Нормализация тепловых условий при проведении горных выработок на глубоких горизонтах требует интенсивного выноса большого количества тепла горного массива за короткий период времени, который не может осуществить проветривающий выработку охлажденный воздух. Обеспечение нормальных тепловых условий может быть обеспечено подачей холода мощной холодильной установкой, расположенной вблизи забоя выработки, охлаждением горного массива призабойной части выработки водой и ограничением притока тепла горного массива в выработку за счет ускоренного формирования теплоуравняющей оболочки вокруг выработки и последующей термоизоляции ее стенок.

2. Теплоуравняющая оболочка сравнительно небольшой толщины (1–2 м) способна существенно сократить приток тепла в горную выработку, но даже при толщине 10 м не может снизить его до величины, доступной для удаления проветривающим выработку воздухом.

3. Предложены аналитические зависимости расчета дополнительного термического сопротивления тепловому потоку и произведены расчеты его величины, обеспечивающие ограничение величины притока тепла до заданной величины. Рассмотрены средства обеспечения требуемой величины дополнительного термического сопротивления тепловому потоку горного массива в выработку.

Список литературы / References

1. *Бойко В.А.* Проблема нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса, способы и средства ее решения: Материалы международной конференции [„Форум горняков 2009“], секция „Строительство шахт и подземных сооружений“ / В.А. Бойко, О.А. Бойко. – Днепропетровск: НГУ, 2003. – С. 142–153.

Boiko V.A. Problem of microclimate normalization in deep mines of Donbass, ways and means of solution: Materials of the International conference “Forum of miners 2009”, breakup group “Building of mines and under-

ground constructions” / V.A. Boyko, O.A. Boyko. – Dnepropetrovsk: NGU, 2003. – P. 142–153.

2. *Бойко В.А.* Аналитическая оценка системы охлаждения горного массива глубокой шахты с применением скважины, опережающей забой горной выработки: Науковий вісник НГУ №11–12 / В.А. Бойко, О.А. Бойко. – Днепропетровск: РВК НГУ, 2010. – P. 106–113.

Boyko V.A. Analytic estimation of rock massif cooling system in deep mine with use of borehole advance coal-face: Naukovyi visnyk NHU No.11–12 / V.A. Boyko, O.A. Boyko. – Dnepropetrovsk: RVK NGU, 2009. – P. 106–113.

3. *Клебанов Ф.С.* Воздух в шахте. / Клебанов Ф.С. // Российская академия естественных наук, Академия горных наук, ИГД им. А.А. Скочинского; – М.: „Имидж-Сет“, 1995, – С. 600. ISBN 5-860044-065-0

Klebanov F.S. Air in mine. / Klebanov F.S. // Russian Academy of Natural Sciences, Academy of Mining Sciences, A.A. Skochinskiy IGD; – М.: “Imidzh-Set”, 1995, – P. 600 ISBN 5-860044-065-0

Розроблено придатний для інженерної методики аналітичний метод розрахунку притоку тепла гірського масиву в розташовану в ньому виробку, що враховує формування циліндричної тепловирівнювальної оболонки гірських порід навколо виробки за рахунок теплопроведення. З використанням MathCAD 11 Enterprise ви-

значено термічний опір тепловирівнювальної оболонки і розраховано величини питомого теплового потоку для основних типів гірських порід глибоких горизонтів. Запропоновано способи і засоби зменшення притоку тепла гірського масиву у виробку, визначено величину додаткового термічного опору, необхідного для обмеження притоку тепла в гірничу виробку бажаної обмеженої величини.

Ключові слова: *термічний опір, тепловирівнювальна оболонка, обмеження теплового потоку*

Analytical method of calculation of the heat flow from the rock massif into mine tunnel located in it taking into account the formation of a cylindrical heat equalizing shell of rocks around the tunnel due to its thermal conductivity was worked out. By means of MathCAD 11 Enterprise the heat equalizing shell thermal resistance was determined and values of specific heat flux for the main types of rocks of deep horizons were calculated. Some ways and means of reduction of heat flow into the tunnel located in the massif are suggested.

Keywords: *thermal resistance, heat equalizing shell, heat flux limitation*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Голіньком. Дата надходження рукопису 05.04.11