

The authors have analyzed the exhalation valve in the respirator construction and have found that its presence reduces the breathing resistance and allows removing moisture from undermask space. Structural features of the exhalation valve have been investigated by standardized method tests and identified key parameters and impermeability. Analysis of the effect of temperature on the impermeability of valves showed that it leads to damage of the petal

and performance degradation. Tests with simulated ingress of dust into the valve has been carried out.

**Keywords:** exhalation valve, impermeability, valve petal, leakage, temperature influence, dust simulation

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук  
В.І. Голіньком. Дата надходження рукопису 15.02.11*

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

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРИТОКА ТЕПЛА МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ВЫРАБОТКУ И СПОСОБЫ ЕГО СОКРАЩЕНИЯ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА

**О.А. Boyko,  
V.A. Boyko, Dr. Sci. (Tech.), Professor**

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

## PRELIMINARY ASSESSMENT OF HEAT FLOW FROM ROCK MASSIF INTO HEADINGS AND WAYS OF ITS REDUCING FOR MICROCLIMAT NORMALIZATION IN DEEP MINES OF DONBASS

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. Рассчитаны величины удельного теплового потока для основных типов горных пород глубоких горизонтов (песчаника, сланцев и известняка) при охлаждении массива горных пород движущимся в выработке с различной скоростью потоком воздуха. Предложены для использования некоторые способы и средства снижения притока тепла горного массива в выработку.

**Ключевые слова:** охлаждение горного массива, теплоуравнивающая оболочка, удельный тепловой поток

Состояние экономики любой страны и жизненный уровень ее населения в значительной степени зависят от ее природных условий, наличия минеральных ресурсов, степени обеспеченности энергоносителями и наличия квалифицированных кадров.

Украина расположена в зоне благоприятного континентального климата, обладает четвертью мировых ресурсов чернозема, ее недра богаты минеральными ресурсами. Страна обладает трудолюбивым населением и в достаточной степени обеспечена квалифицированными кадрами. Объективно в Украине существуют все условия для развития мощной современной техники и технологии производства, обеспечения высокого жизненного уровня ее населения. Но, к сожалению, двадцатилетие своей независимости страна встречает с не укладывающимися в рамки здравого смысла показателями.

По данным ООН, 78% населения Украины отнесены к живущим ниже уровня бедности, страна импортирует огромное количество зарубежных товаров и продуктов питания, находится в финансовой зави-

симости от МВФ и постоянном ожидании очередных траншей займа, а на мировом рынке выступает как продавец минерального и промышленного сырья. Такая ситуация в значительной степени объясняется особенностями строящегося в стране капитализма. Однако есть и некоторые объективные причины экономических трудностей страны.

Одним из важнейших факторов, приведших к кризисному состоянию экономики страны, является неудовлетворительный уровень обеспеченности энергоресурсами. Перекладывать всю вину за это на руководство Украины в период независимости нельзя, поскольку такая ситуация начала складываться еще в 60-годы прошлого столетия. Поставленная Н.С. Хрущевым задача развития азиатской части Советского Союза была прогрессивной по сути и по форме для огромной страны, но в значительной степени замедлила темпы развития Украины. Разведка и освоение природных запасов Украины практически прекратились, Донбасс в начале 70-х еще вышел на рекордные показатели по добыче угля и выдал 218 млн тонн каменного угля, но проектирование и строительство угольных шахт практически прекратилось, шахтный фонд устаревал. В ито-

ге, на момент развала СССР добыча угля в Донбассе уже упала до 174 млн тонн в год, а в 2010 году составила лишь 68 млн тонн. Теперь принято оценивать технологию производства стали в СССР как устаревшую, энергоемкую, но такой она досталась Украине в наследство 20 лет назад и не претерпела заметных изменений за годы независимости. Сталь (прокат, листовая и трубы) на протяжении всего периода независимости Украины были и остаются основным продуктом поставки на международный рынок и источником получения валюты. Но ее производство требует огромных затрат энергоносителей. Во времена существования СССР объем потребления природного газа Украиной практически равнялся объему экспорта в ФРГ (порядка 112 млрд кубометров в год), значительная часть его расходовалась на производство металла. Исчерпывающиеся запасы природного газа и нефти в недрах Земли привели к значительному росту мировых цен на эти энергоносители. Теперь Украине придется платить России порядка \$300 за 1000 кубометров природного газа. Объем его потребления в стране сократился наполовину, причем уровень собственной добычи природного газа составляет лишь немногим больше 18 млрд. кубометров в год. Возросший автомобильный парк съедает около 18 млн тонн нефти, а уровень собственной добычи нефти составляет лишь 2,2 млн тонн в год. Годовое потребление угля в последние годы находится на уровне 120–125 млн тонн, то есть немногим менее половины его приходится покупать у России, Германии и Польши. В прошлом году к поставщикам угля в Украину добавилось приобретенное Ринатом Ахметовым угольное объединение в США производственной мощностью 7 млн тонн коксующегося угля в год. Можно спорить о причинах и следствиях неудач с заключением договоров на поставку природного газа и нефти (на нью-йоркской бирже цена 1000 кубометров газа составляет \$150, а цена природного газа, поставляемого Россией, рассчитывается по коэффициенту стоимости тонны угля и постоянно растет), о правомерности решения Стокгольмского суда, но неоспоримым является факт, что наличие собственных ресурсов энергоносителей – угля, природного газа и нефти могло исключить огромные расходы на их оплату при закупке.

Собственные запасы нефти в недрах Украины на момент обретения независимости оценивались всего в 220 млн тонн, они могли существенно возрасти за счет российского подарка – нефтеносной зоны острова Змеиний с прилегающей акваторией, но ушли к Румынии по решению Гаагского суда. Перспективные по запасам нефти и природного газа территории черноморского побережья, площадью более 1000 км<sup>2</sup>, переданы для разведки американской фирме Vanco, но за последнее десятилетие никаких работ по разведке газа и нефти эта фирма не производила. В итоге разведанных и пригодных для промышленного освоения месторождений нефти и газа нет (и не будет до тех пор, пока эту работу Украина не выполнит собственными силами). Разведанные запасы каменного угля в Донбассе в 60-е годы прошлого столетия оценивались величиной немногим более 100 млрд

тонн. При годовом потреблении в 160–180 млн тонн для обеспечения всех энергетических потребностей страны, Украина обеспечена каменным углем на период порядка 5 столетий. Это в 2,5 раза превышает средний уровень обеспеченности углем мирового сообщества, составляющий по данным ЮНЕСКО 200 лет. Однако радужные перспективы по обеспеченности Украины углем меркнут при оценке возможности его добычи. К настоящему времени уже 39 шахт Донбасса ведут работы на глубинах более 1000 м, а 4 шахты – на глубине 1400 м, где температура горных пород достигла 45<sup>0</sup>С. Что же касается максимальной температуры на границе залегания разведанных запасов угля в Донбассе, то она составляет 72–73<sup>0</sup>С на глубине 1850 м.

В советское время проблема борьбы с высокими температурами в глубоких шахтах Донбасса решалась за счет применения систем центрального кондиционирования воздуха. На момент развала СССР такие системы работали на 57 глубоких шахтах Донбасса. В настоящее время, в результате мер по „повышению рентабельности угольной промышленности“ таких систем осталось только 2 – на шахте „Им. А.Ф. Засядько“ и „Им. А.А. Скочинского“. Холодильные системы остальных шахт бесследно исчезли. Проблема нормализации тепловых условий в глубоких шахтах Донбасса стала камнем преткновения на пути добычи угля. Такая же проблема встала и перед ФРГ, горные работы шахт которой достигли глубины 1300 м, где температура горных пород составляет те же 45<sup>0</sup>С, а на шахте Ost по пласту Вильгельм 751 ведутся работы на глубине 1500 м [1]. Эта шахта уникальна по величине естественной температуры горных пород в зоне очистных работ (до 64<sup>0</sup>С), по мощности стационарных холодильных установок, расположенных в околостольном дворе (20 МВт холода) и подаче воздуха в лаву (25 м<sup>3</sup>/с). В практику работы глубоких шахт ФРГ входит применение термоизоляции горных выработок, а выпускаемые шахтные холодильные установки, использующие винтовые компрессоры на фреоне, компактны по габаритам, доступны для спуска в шахту и способны обеспечить подачу 10–12 млн Вт холода. Мощность электродвигателей такой холодильной машины составляет 3,5–4 МВт, расходуется огромное количество энергии, возрастает себестоимость добычи угля, но правительство Германии выделяет дотации на оплату электроэнергии, расходуемой такими установками. Однако, несмотря на применение дорогостоящих мероприятий по кондиционированию воздуха, проходку выработок большого сечения (площадь сечения капитальных горных выработок шахт ФРГ в 2–2,5 раза превышает таковую для выработок в шахтах Донбасса и достигает 36 м<sup>2</sup>), подачу миллионов кубометров воздуха в шахту, в горных выработках шахт Германии пришлось допустить предельную температуру 29–32<sup>0</sup>С и ввести ограничения по длительности работы шахтеров при такой температуре. В соответствии с Правилами безопасности (ПБ) Украины (§621), предельная температура воздуха в гор-

ных выработках при скорости его движения не менее 2 м/с составляет 26°C, но ни в одной выработке глубоких шахт Донбасса такая температура теперь не обеспечивается, что ведет к значительному снижению производительности труда шахтеров и ухудшению состояния их здоровья из-за развития сердечно-сосудистой недостаточности.

Решить проблему нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса при естественной температуре горных пород до 35–40°C можно, в какой-то степени, за счет применения мощных систем центрального кондиционирования воздуха в шахтах. Но Украина такие установки не производит и валюты на их приобретение за рубежом не имеет. Однако даже при наличии мощных холодильных установок на глубоких шахтах Донбасса обеспечить нормальные тепловые условия невозможно из-за большого аэродинамического сопротивления вентиляционных сетей шахт, ограничивающего подачу воздуха в шахту, и малой теплоемкости воздуха. Системы центрального кондиционирования необходимы и должны применяться в глубоких шахтах, но смогут обеспечить нормальные условия труда только при условии, что породы горного массива с естественной температурой более 35°C, окружающего горные выработки, будут предварительно охлаждены.

Снижение температуры горных пород в глубоких шахтах Донбасса становится необходимым и для защиты горнорабочих от инфракрасного (ИФК) излучения. Если при проходке горной выработки в глубокой шахте не произведено тем или иным способом охлаждение массива горной породы по трассе проходки, то температура свежееобнаженных стенок горной выработки будет равна естественной температуре горных пород на глубине заложения горной выработки. В этом случае горнорабочие в выработке будут облучаться инфракрасной радиацией, интенсивность которой определяется по закону Стефана-Больцмана зависимостью

$$Q = S_h \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_h^4) \quad (1)$$

Здесь:  $S_h$  – площадь облучаемой поверхности тела человека, принимаемая в расчетах  $S_h = 1,6 \text{ м}^2$ ;  $T$  и  $T_h$  – соответственно, естественная температура горной породы и температура тела человека в градусах Кельвина (абсолютная температура);  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Расчеты с использованием этой зависимости показывают, что при нормируемой ПБ температуре 26°C горнорабочий будет излучать в окружающее его пространство энергию в 60 Вт, но на предельных глубинах работ 1800 м при отсутствии защиты от ИФК излучений он будет облучаться потоком мощностью 400 Вт.

В опубликованных нами работах [2, 3, 4] предлагается комплекс мероприятий, позволяющих осуществить защиту горнорабочих от теплового облучения и норма-

лизовать тепловые условия труда в горных выработках глубоких шахт без применения мощных импортных шахтных холодильных установок. Но для этого требуется пересмотреть концепцию назначения шахты как предприятия и способы борьбы с высокими температурами.

Выполненный нами подсчет запаса тепла в горном отводе шахты в Донецко-Макеевском районе размером 2500x5000 м при предельной глубине залегания угольных пластов 1800 м показал, что количество тепла в нем, сверх температуры 26°C, эквивалентно 12 млн тонн угля. [6]. Для выноса на поверхность такого количества тепла охлажденным воздухом потребовалось бы затратить на работу холодильной установки и вентиляторов главного проветривания, примерно, 70–75 млрд кВт-ч электроэнергии. Вся эта энергия, как и тепловая энергия горного массива, окажется выброшенной в окружающую среду, поскольку мы пока не научились извлекать ее из миллиардов кубометров воздуха, проветривающих шахту. Воздух оказался неудовлетворительным теплоносителем. Даже если предположить, что в самых благоприятных условиях, в зимнее время, он будет поступать в шахту с температурой +2°C и, при наличии притока воды по стволу, не нагреется ни на градус из-за адиабатического сжатия, то, пройдя через зону ведения горных работ и нагревшись до предельно допустимой ПБ температуры +26°C, кубометр воздуха вынесет на дневную поверхность лишь около 6 ккал тепла. Реально на существование таких условий рассчитывать не приходится, а предотвратить нагревание шахтного воздуха за счет адиабатического сжатия еще никто в мире не научился. Поэтому поступающий с дневной поверхности кубометр воздуха в зимнее время вынесет на поверхность, в лучшем случае, 3 ккал тепла, а в летнее время всего лишь 1–2 ккал. Хотя естественная тяга помогает подавать воздух в глубокую шахту, тем не менее, мощные электродвигатели вентиляторов главного проветривания крупной газовой шахты за сутки потребляют до 80–100 тыс. кВт-ч электроэнергии и значительная часть этой энергии превращается в тепло рудничного воздуха. Выше упоминалось, что рачительные германские горные специалисты для снижения расхода электроэнергии на проветривание шахты проектируют и применяют выработки в 2–2,5 раза большего, чем у нас, сечения. Но это не приводит к такому же росту эффективности охлаждения массива воздухом, так как периметр выработок увеличенного сечения тоже вырос (почти в 1,5 раза), следовательно, нагревающая площадь стенок горных выработок увеличилась в таких же пропорциях. В опубликованных нами работах [2, 3] предлагается в качестве доставщика холода в горные выработки шахты использовать воду, имеющую в 4000 раз большую, чем воздух, объемную теплоемкость. Применение воды в качестве хладо- и теплоносителя открывает Украине возможность строить глубокие шахты без применения дорогостоящих зарубежных шахтных холодильных установок, подавая в шахту охлажденную воду, и используя тот же поток воды для выноса на дневную поверхность тепла гор-

ного массива. При проходке горных выработок применение воды в качестве хладоносителя позволяет решить задачу обеспечения нормальных тепловых условий в проводимой выработке без применения мощных подземных систем охлаждения воздуха. Понятно, что придется в некоторой степени изменить технологию ведения работ и охлаждения горного массива, но применение воды в качестве хладоносителя позволит решать проблему вскрытия и подготовки запасов угля на глубоких горизонтах.

Применение воды в качестве хладоносителя позволяет многократно, по сравнению с воздухом, увеличить темпы охлаждения горного массива и обеспечить нормальные тепловые условия в проводимой горной выработке. Для этого рекомендуется применить комбинацию следующих мероприятий:

- охлаждение горного массива по трассе проходки выработки с помощью скважины, опережающей забой горной выработки;
- охлаждение горного массива вокруг проводимой горной выработки с целью формирования теплоуравнивающей оболочки (ТО);
- охлаждение призабойной части горной выработки методом орошения для отвода тепла взорванной горной массы и снижения температуры стенок;
- применение радиационного кондиционера для защиты горнорабочих от инфракрасного излучения;
- термоизоляции взорванной горной массы возобновляемым слоем пены.

Для осуществления комплекса перечисленных мероприятий нужна охлажденная вода. Источником холодной воды могут быть:

- в холодное время года – водоем и градирня на дневной поверхности;
- артезианские скважины и водоносные пласты верхних горизонтов шахты;
- промышленные холодильные установки любого типа на дневной поверхности;
- поверхностные хранилища льда;
- разработанные ООО „Холодмаш“ шахтные водоохлаждающие установки МХРВ-1.

В период низкой относительной влажности воздуха на дневной поверхности, при малом притоке воды в воздухоподающем стволе значительное количество холодной воды может быть получено за счет увлажнения воздуха с применением шахтных форсуночных установок.

В работе [4] указывается, что выполнение сложных расчетов по определению коэффициента нестационарного теплообмена горного массива с движущейся в

канале (выработке, скважине) средой (воздухом, водой) можно избежать, если определение удельного теплового потока производить на основании суммарного термического сопротивления на его пути. В этом случае ряд исходных параметров является постоянной величиной, а итоговые результаты, на основании закона сохранения энергии, оказываются такими же, как при расчетах по сложным аналитическим зависимостям неустановившихся тепловых процессов. Исходные параметры для расчета известны – заданы или сравнительно просто рассчитываются.

Для расчетных обоснований мероприятий по нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт нами используется система MathCAD 11, упомянутые выше исходные параметры и необходимые расчетные аналитические зависимости.

Результаты расчетов выдаются компьютером в форме таблиц и в виде графиков.

Из-за громоздкости таблицы изъяты из текста статьи.

В инженерной методике тепловых расчетов по нормализации температурных параметров в горных выработках глубоких шахт первым шагом является определение естественной температуры пород горного массива на проектной глубине ведения горных работ. Она определяется по стандартной методике прогноза температуры горных пород на основании проектной глубины ведения горных работ и геотермической ступени для региона расположения шахты. Далее определяется разность естественной температуры горных пород и нормируемой температуры воздуха в горной выработке.

Расчет производится на основании логарифмического закона распределения температур в цилиндрической оболочке с внутренним радиусом, равным эквивалентному радиусу выработки, и внешним, равным расчетному или заданному диаметру ТО. Следующим шагом является решение вопроса о размере ТО вокруг горной выработки. Диаметр ТО может быть рассчитан из условия предварительного охлаждения горного массива водой в скважине, опережающей забой подготовительной выработки [5], либо принят по опыту ведения горных работ в аналогичных условиях. Определению количества тепла, подлежащего выносу из горного массива для формирования ТО, предшествует расчет распределения температур по ее радиусу. Расчет производится на основании логарифмического закона распределения температур в цилиндрической оболочке. На рис. 1 приведен пример расчета для шахты, расположенной в Донецко-Макеевском районе.

$$H1 := 130; H2 := 140; H3 := 150; H4 := 160; H5 := 170; H6 := 180; st := 3; F := 14; tv := 26;$$

$$r1 := 2; r := 2..10; r2 := 10; tp1 := \frac{H1 - 25}{st} + 8; tp2 := \frac{H2 - 25}{st} + 8$$

$$tp3 := \frac{H3 - 25}{st} + 8; tp4 := \frac{H4 - 25}{st} + 8; tp5 := \frac{H5 - 25}{st} + 8; tp6 := \frac{H6 - 25}{st} + 8;$$

$$f1(r) := tp1 - (tp1 - tv) \cdot \frac{\ln\left(\frac{r}{r2}\right)}{\ln\left(\frac{r1}{r2}\right)}; \quad f2(r) := tp2 - (tp2 - tv) \cdot \frac{\ln\left(\frac{r}{r2}\right)}{\ln\left(\frac{r1}{r2}\right)}; \quad f3(r) := tp3 - (tp3 - tv) \cdot \frac{\ln\left(\frac{r}{r2}\right)}{\ln\left(\frac{r1}{r2}\right)};$$

$$f4(r) := tp4 - (tp4 - tv) \cdot \frac{\ln\left(\frac{r}{r2}\right)}{\ln\left(\frac{r1}{r2}\right)}; \quad f5(r) := tp5 - (tp5 - tv) \cdot \frac{\ln\left(\frac{r}{r2}\right)}{\ln\left(\frac{r1}{r2}\right)}; \quad f6(r) := tp6 - (tp6 - tv) \cdot \frac{\ln\left(\frac{r}{r2}\right)}{\ln\left(\frac{r1}{r2}\right)}.$$

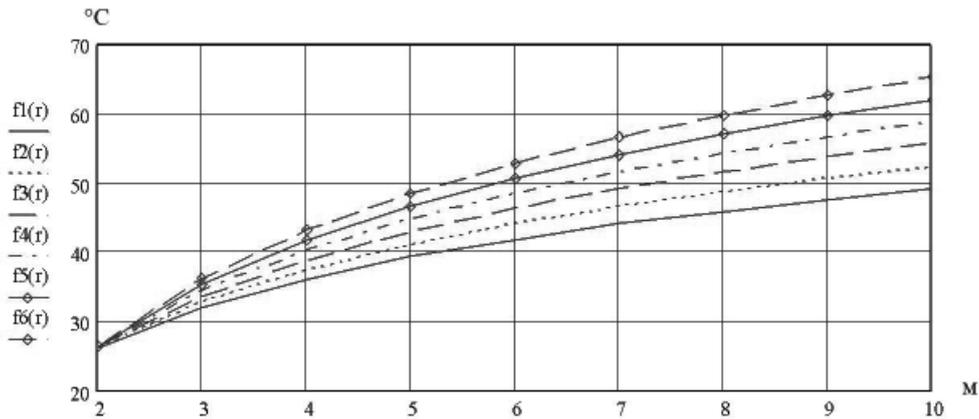


Рис. 1. Изменение температуры горных пород в ТО радиусом 10 м в горном массиве на глубине:  $f1(r)$ –1300;  $f2(r)$ –1400;  $f3(r)$ –1500;  $f4(r)$ –1600;  $f5(r)$ –1700;  $f6(r)$ –1800 м, геотермическая ступень – 30 м, среднегодовая температура + 8°C

Далее для каждого горизонта производится разбивка окружающей выработку ТО на слои толщиной 0,2 м и подсчет количества тепла, подлежащего выносу из ка-

ждого слоя оболочки. Аналитические зависимости и графики результатов расчетов для выработки, пройденной по песчанику, приведены ниже, на рис. 2.

$$f7(r) := 2 \cdot c \cdot G \cdot (tp1 - f1(r)) \cdot \int_{r1}^r r \, dr; \quad f8(r) := 2 \cdot c \cdot G \cdot (tp2 - f2(r)) \cdot \int_{r1}^r r \, dr; \quad f9(r) := 2 \cdot c \cdot G \cdot (tp3 - f3(r)) \cdot \int_{r1}^r r \, dr;$$

$$f10(r) := 2 \cdot c \cdot G \cdot (tp4 - f4(r)) \cdot \int_{r1}^r r \, dr; \quad f11(r) := 2 \cdot c \cdot G \cdot (tp5 - f5(r)) \cdot \int_{r1}^r r \, dr; \quad f12(r) := 2 \cdot c \cdot G \cdot (tp6 - f6(r)) \cdot \int_{r1}^r r \, dr.$$

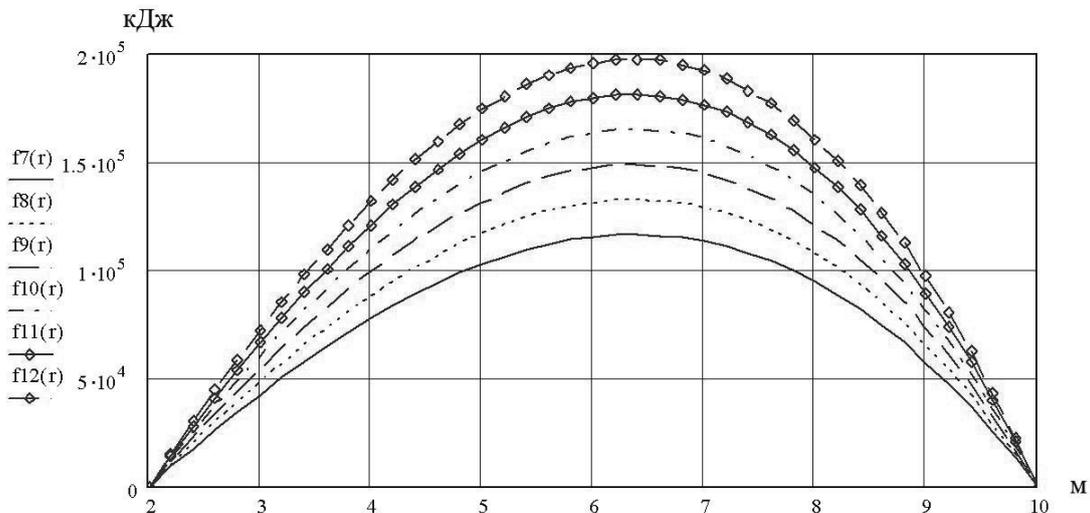


Рис. 2. Изменение количества тепла, подлежащего выносу из горного массива для формирования теплоуравняющей оболочки вокруг горной выработки в песчанике на глубине ведения горных работ:  $f7(r)$ –1300;  $f8(r)$ –1400;  $f9(r)$ –1500;  $f10(r)$ –1600;  $f11(r)$ –1700;  $f12(r)$ –1800 м

Распределение подлежащего выносу из ТО количества тепла на рис.2 приведено по радиусу оболочки. Для определения суммарного количества тепла, подлежащего выносу при формировании отрезка

оболочки единичной длины, необходимо произвести суммирование распределенных по радиусу величин, что выполнено на рис. 3 с применением специальной функции программирования.

$$\begin{aligned}
 s1(r) &:= \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 2, 2.2..r ; \\ s \leftarrow f7(i) + s \end{cases} &
 s2(r) &:= \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 2, 2.2..r ; \\ s \leftarrow f8(i) + s \end{cases} &
 s3(r) &:= \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 2, 2.2..r ; \\ s \leftarrow f9(i) + s \end{cases} \\
 s4(r) &:= \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 2, 2.2..r ; \\ s \leftarrow f10(i) + s \end{cases} &
 s5(r) &:= \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 2, 2.2..r ; \\ s \leftarrow f11(i) + s \end{cases} &
 s6(r) &:= \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 2, 2.2..r ; \\ s \leftarrow f12(i) + s \end{cases}
 \end{aligned}$$

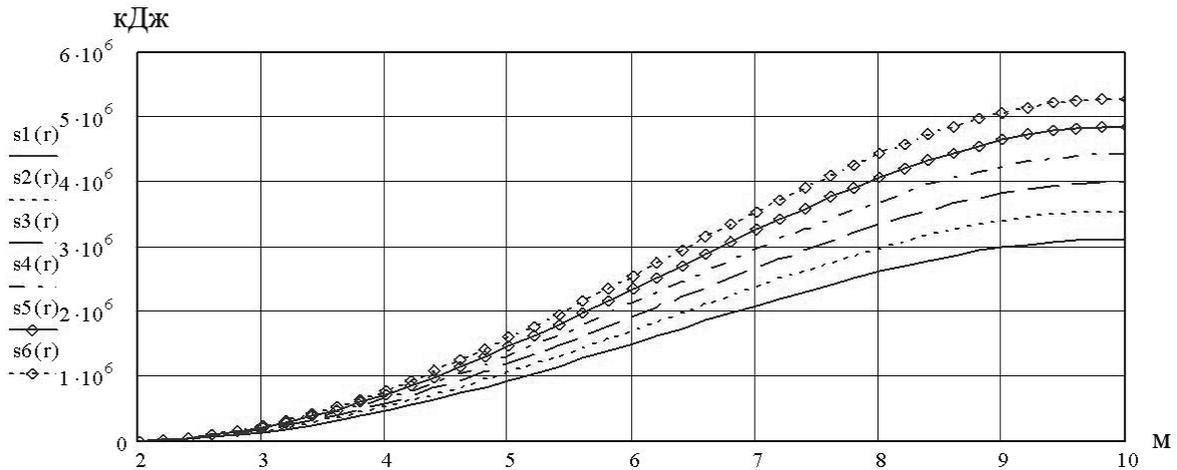


Рис. 3. Характер изменения суммарного количества тепла, подлежащего выносу из горного массива при формировании теплоуравняющей оболочки вокруг отрезка горной выработки единичной длины на горизонте:  $s1(r)$ –1300;  $s2(r)$ –1400;  $s3(r)$ –1500;  $s4(r)$ –1600;  $s5(r)$ –1700;  $s6(r)$ –1800 м

Изменение термического сопротивления горной породы ТО единичной длины тепловому потоку для

трех основных типов горных пород глубоких горизонтов приведено на рис. 4.

$$r1 := 2; \lambda_p := 2.56; \lambda_s := 1.77; \lambda_c := 0.985; r = 2..10;$$

$$f1(r) := \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad
 f2(r) := \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_s}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}; \quad
 f3(r) := \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_c}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}.$$

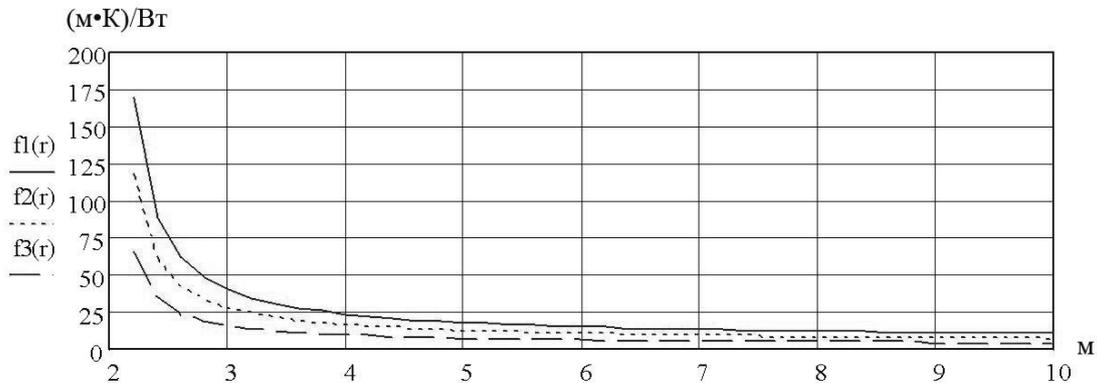


Рис. 4. Изменение величины термического сопротивления ТО единичной длины в функции радиуса:  $f1(r)$ –для песчаника;  $f2(r)$ –для сланца;  $f3(r)$ –для известняка

Предлагаемая выше методика определения количества тепла в ТО горных пород вокруг выработки, количества тепла, подлежащего выносу, а также расчета термического сопротивления тепловому потоку в горную выработку позволяет рассчитать величину теплового потока при выбранных параметрах ТО, типе крепи и термоизоляции выработки. Такие расчеты дают возможность сравнивать показатели тепловых потоков в горную выработку при различных вариантах способов и средств нормализации микроклимата горных выработок и обосновывать оптимальный вариант, то есть в какой-то степени решать вопросы технико-экономического обоснования и выбора рациональных схем и средств нормализации тепловых условий горных выработок глубоких шахт.

Доступные для расчета аналитические зависимости, разработанные применительно к использованию скорректированной концепции глубокой шахты Донбасса, позволяют рассчитать количество холода для предварительного охлаждения горного массива (оно, в основном, будет доставлено в шахту охлажденной водой) и количество тепла, доставляемого воздухом, проветривающим горные выработки. Такой подход позволяет перейти к разделению функций доставки холода водой и воздухом, повысить экономичность нормализации микроклимата горных выработок за счет сокращения расхода электроэнергии на его осуществление и начать практически решать задачу использования тепла горного массива как альтернативного источника энергии.

Авторы статьи намерены в одной из следующих публикаций продолжить изложение этого комплекса вопросов в надежде, что они окажутся полезными для инженерно-технических работников глубоких угольных шахт в деле улучшения условий труда шахтеров.

#### **Выводы:**

1. Разведанные в Донбассе запасы угля составляют около 100 млрд тонн и при их энерготехнологической переработке достаточны для удовлетворения потребностей коксохимии, металлургии, энергетики, производства горючих газов и топлива для двигателей внутреннего сгорания на протяжении периода в пять столетий.

2. Минимум в 39 шахтах, ведущих горные работы на глубине более 1000 м, преградой на пути дальнейшего ведения работ по проходке горных выработок и добыче угля стала проблема обеспечения нормального температурного режима в горных выработках. Добыча угля в Донбассе, по сравнению с достигнутой в 70 годы прошлого столетия, снизилась в 3 раза, что привело к его дефициту и необходимости покупки за рубежом.

3. Температура горных пород в глубоких шахтах Донбасса достигла  $45^{\circ}\text{C}$ , а на предельных глубинах залегания разведанных угольных пластов составляет  $72-73^{\circ}\text{C}$ . За период независимости страны в Донбассе из действовавших на шахтах 57 систем центрального кондиционирования воздуха осталось только 2. Мощные

холодильные машины для шахт Украина не производит, валюты для их приобретения за рубежом не имеет.

4. Украина может решать проблему добычи угля на глубоких горизонтах при условии изменения действующей концепции назначения шахты (как предприятия по добыче угля) на новую: шахта – это энерготехнологический комплекс по добыче угля и извлечению тепла недр Земли. Такая концепция соответствует современному направлению геотермии по освоению альтернативных источников энергии и открывает возможность попутного получения значительного количества тепловой энергии без проведения специальных работ по доступу к нагретым горным породам. Реализация функций энерготехнологического комплекса потребует кардинального изменения структуры и средств подачи холода в горные выработки шахты, извлечения тепла горного массива, выноса его на дневную поверхность и использования.

5. Вода, по сравнению с воздухом, обладает в 4000 раз большей объемной теплоемкостью. Она не подвержена увеличению температуры из-за адиабатического сжатия и при подаче по прямоточной циркуляционной схеме (по U-образному трубопроводу при оборудовании 2 теплообменниками на уровне околоствольного двора) способна выполнить функции доставки холода в шахту и выноса тепла горного массива на дневную поверхность. Все это возможно при минимальных затратах энергии на преодоление сопротивления трения воды о стенки трубопровода. Вода должна полностью выполнять функции предварительного охлаждения горного массива, охлаждения поверхностей радиационного кондиционера, оросительного охлаждения призабойной части выработки и выноса извлеченного тепла на дневную поверхность.

6. Источниками холода, необходимого для нормализации температурных условий в горных выработках глубоких шахт, могут быть: естественный холод на дневной поверхности в холодное время года, вода артезианских скважин и водных пластов верхних горизонтов шахты, мощные промышленные холодильные установки любого типа на дневной поверхности, шахтные водоохлаждающие установки, а в период малой влажности воздуха на дневной поверхности – форсуночные оросители, позволяющие получать значительное количество холода за счет испарения воды.

7. Вспомогательным источником энергии при применении машинных схем получения холода должно явиться выносимое из шахты тепло горного массива, используемое в схеме перегрева рабочего хладагента холодильных машин. Применение предлагаемой схемы получения и доставки холода позволит значительно снизить потребление электроэнергии на нормализацию микроклимата глубоких шахт.

8. Использование воды для охлаждения горного массива и выноса тепла позволяет значительно ускорить процесс формирования теплоуравнивающей оболочки горных выработок. Наличие теплоуравнивающих оболочек горных выработок на глубоких горизонтах позволит значительно сократить приток тепла

горного массива в горные выработки и обеспечить поддержание нормируемых параметров микроклимата горных выработок на глубоких горизонтах при умеренной подаче холода, доставляемого воздухом.

9. Параметры системы нормализации микроклимата горных выработок шахт должны определяться с учетом разделения функций кондиционирования рудничного воздуха и охлаждения пород горного массива. Применение воды для охлаждения горного массива глубоких горизонтов и выноса его на дневную поверхность позволит значительно снизить расход электроэнергии на получение холода и начать использование тепла горных пород отводов глубоких шахт в качестве альтернативного источника энергии.

### Список литературы / References

1. Mantwill D. Leistungsfahiner Abbay bei hohen Gebirgstamperaturen. / Mantwill D., Baumer F. Gluck auf, 2004, No.1(2), Mai, – p.23–34.
2. 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.  
*Boyko 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 underground constructions” / V.A. Boyko, O.A. Boyko. – Dnepropetrovsk: NGU, 2003. – P. 142–153.*
3. Бойко В.А. Способ и средства нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт в период их строительства: Збірник наукових праць Національного гірничого університету №32 / В.А. Бойко, О.А. Бойко. – Днепропетровск: РВК НГУ, 2009. – С. 214–225  
*Boyko V.A. Ways and means of microclimate normalization in mine tunnels of deep mines during their construction: Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu №32 / V.A. Boyko, O.A. Boyko. – Dnepropetrovsk: RVK NGU, 2009. – P. 214–225*
4. 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. – Р. 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.*
5. Бойко В.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“ / В.А. Бойко, О.А. Бойко. – Днепропетровск: НГУ, 2009. – С. 57–73. ISBN 978-966-350-155-0  
*Boyko V.A. Design of ways and means the heat equalizing cover of mine workings formation in a deep mine and estimation of influence of its parameters on heat penetration from rock massif: Materials of the International conference [“Forum of miners 2009”], breakup group “Mine aerology and labor safety” / V.A. Boyko, O.A. Boyko. – Dnepropetrovsk: NGU, 2009. – P. 57–73. ISBN 978-966-350-155-0*
6. Бойко В.А. Оценка теплового потенциала горного массива глубокой шахты Донбасса и возможностей типовой схемы нормализации условий труда: Сборник научных трудов Национального горного университета №16 / В. А. Бойко, О. А. Бойко. – Днепропетровск: РВК НГУ, 2003. – С. 113–124.  
*Boyko V.A. Estimation of thermal potential of rock massif of deep mine in Donbass and capabilities of standard scheme of work environment normalization: Sbornik nauchnykh trudov Natsionalnogo gornogo universiteta No.16 / V.A. Boyko, O.A. Boyko. – Dnepropetrovsk: RVK NGU, 2003. – P. 113–124*

Розроблено аналітичний метод розрахунку притоку тепла гірського масиву в розташовану в ньому виробку, що враховує формування циліндричної тепло-вирівнювальної оболонки гірських порід навколо виробки за рахунок теплопроведення. З використанням MathCAD 11 Enterprise визначено термічний опір тепло-вирівнювальної оболонки. Розраховано величини питомого теплового потоку для основних типів гірських порід глибоких горизонтів Донбасу (піщаника, сланців та вапняку) при охолодженні масиву гірських порід потоком повітря, що рухається в гірничій виробці з різною швидкістю. Запропоновано для використання деякі способи і засоби зменшення притоку тепла гірського масиву у виробку.

**Ключові слова:** охолодження гірського масиву, тепло-вирівнювальна оболонка, питомий тепловий потік

Authors developed analytical method for calculating the heat flow from the rock massif into located in it tunnel which takes into account formation of a cylindrical heat equalizing shell of rocks around tunnel due to their thermal conductivity. Using MathCAD 11 Enterprise it is defined thermal resistance of heat equalizing shell for heat flux and it is calculated values of specific heat flux for the main types of rocks of deep horizons (sandstone, shale and limestone) during cooling of the rock mass by air flow moving in the tunnel with different speed. Authors proposed some ways and means of reducing heat flow incoming into the tunnel from the mine rock massif.

**Keywords:** cooling of a rock massif, heat equalizing shell, specific heat flux

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Голінком. Дата надходження рукопису 04.03.11