

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 622.272.3: 622.418: 628.518

В.А. Бойко, д-р техн. наук, проф.

Государственное высшее учебное заведение “Национальный горный университет”, г. Днепропетровск, Украина

ПРЕДПОСЫЛКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА

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

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine

PREREQUISITES AND PROSPECTS FOR NORMALIZATION OF THERMAL CONDITIONS IN HEADINGS OF DEEP MINES OF DONETS BASIN

На базе анализа возможных путей улучшения микроклимата горных выработок глубоких шахт Донбасса установлено, что применяемые на них схемы и средства нормализации тепловых условий горных выработок за счет подачи охлажденного воздуха в сеть горных выработок исчерпали присущие им резервы подачи холода и не могут обеспечить нормируемые тепловые условия труда шахтеров на глубинах более 1300 м. Обеспечение необходимых темпов проходки горных выработок, удаление огромных запасов тепла пород горного массива, окружающих горные выработки, требует передать воде основную функцию доставки холода и выноса тепла горного массива. Предложены схемы и способы предварительного и совмещенного с проведением горных выработок способов охлаждения горных пород и ускоренного формирования теплоуравняющих оболочек вокруг выработок как средства уменьшения притока тепла в пространство горных выработок, произведено их расчетное обоснование. Показано, что программа нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких горизонтов должна решаться как составная часть проблемы создания шахты-энергокомплекса, обеспечивающего, наряду с добычей угля, извлечение и использование тепла недр Земли.

Ключевые слова: *охлаждение горного массива, способы и схемы, глубокие горизонты, доставка холода*

Экономические трудности Украины в значительной степени обусловлены отсутствием достаточного количества собственных энергоносителей и непрерывным ростом их стоимости на мировом рынке. Украина не имеет достаточных разведанных запасов нефти и газа и за годы независимости в 2,4 раза сократила уровень добычи угля.

Полученная в наследство при обретении независимости промышленность страны ориентирована на производство стали, чугуна, проката, добычу железной руды, которые и являются главными предметами экспорта. В значительных количествах добывается марганцевая руда и производится ферромарганец, также идущие на экспорт.

Промышленное производство Украины традиционно относится к энергоемким. Предпринятые в последние годы попытки сократить объемы потребления энергоносителей дали ощутимые результаты, тем не менее в настоящее время треть потребляемого страной угля, половину потребляемого природного газа и 90% нефти страна вынуждена покупать за рубежом.

Современный уровень мирового промышленного производства характеризуется бурным развитием новых технологий, ориентированных на выпуск наукоемкой продукции при минимальных затратах энергии и сырья. Разработка и быстрое внедрение нанотехнологий стали главной заботой развитых стран, однако известные выгоды от внедрения этих технологий получают и ряд стран третьего мира, привлекаемых в качестве поставщиков дешевой рабочей силы.

Наиболее ярким примером такого сотрудничества являются азиатские „драконы“, активно участвующие в выпуске микроэлектронной и компьютерной продукции по новым технологиям. Несколько граммов кремния, превращенного в микросхемы компьютеров, дают такой же экономический эффект как и тонна проката стали, изготовленная в Украине. К сожалению, объемы затрат сырья, рабочей силы и энергии на производство тонны стали и упомянутых микросхем на основе кремния несоизмеримы.

Украина и после обретения независимости в условиях резкого роста цен на энергоносители сохранила сырьевой профиль и энергоемкую технологию произ-

водства валового продукта, поставляемого на мировой рынок для получения валюты.

Природа щедро одарила Украину земельными ресурсами и многими (но не всеми необходимыми!) энергетическими ресурсами. Украина обладает четвертью мировых ресурсов чернозема, огромными запасами радиоактивных руд, железной и марганцевой руды. К сожалению, доля продукции агросектора в экспорте составляет всего 8%, а марганец, его сплавы и сталь экспортируются как сырье. Отсутствие разведанных запасов нефти и газа, достаточных для удовлетворения потребностей страны, вынуждает приобретать их по ценам основного поставщика – России, которые часто оказываются выше цен мирового рынка.

В условиях существования СССР большое внимание уделялось разведке и освоению природных богатств Сибири. Это привело к тому, что в 60-е годы прошлого столетия разведка природных ресурсов на территории Украины практически прекратилась. В 70-е годы СССР вышел на первое место в мире по уровню добычи угля, а Донбасс достиг рекордного уровня его добычи в 218 млн тонн.

Характеризуя современный уровень мировой добычи угля, пресса сообщает, что каждый четвертый житель Земли – китаец, и этот китаец обеспечен одной тонной добываемого угля. В рекордные времена уровень добычи угля в Донбассе на душу населения Украины в 4 раза превышал достигнутый теперь в Китае, но в последнее десятилетие прошлого века ситуация существенно изменилась. Украина обрела независимость и получила в наследство мощную, хотя и начавшую устаревать индустриальную базу. Страна получила 266 шахт и угольных разрезов, которые еще в год обретения независимости обеспечивали добычу 174млн тонн угля. К сожалению, начав переход на капиталистический путь развития, по разным причинам (главной из которых явилось изменение форм собственности), страна растеряла даже то, что имела. Уровень добычи угля в последние три года составляет 65–70 млн т., что в пересчете на одного жителя (с учетом сократившейся с потерей Крыма численности населения) Украины дает лишь 1,5 т. на человека. Потребность в валюте заставляет страну продолжать традиционно сложившиеся направления производства чугуна, стали, проката, ферросплавов и переработки железной руды. Для их производства требуется обеспечить сырьевую базу коксохимии. Однако, осуществленные по рекомендации зарубежных экономистов с целью повышения рентабельности, закрытие и консервация шахт привели к значительному сокращению числа действующих шахт – из 266 доставшихся в наследство в настоящее время в числе действующих остались лишь 151. В Луганской области на родине Стаханова закрыты шахты, имеющие вскрытые запасы угля по 40÷50 млн т. Одной из причин снижения уровня добычи угля в Донбассе явилось значительное ухудшение условий труда в оставшихся шахтах. До обретения независимости 57 шахт Донбасса имели системы центрального кондиционирования воздуха, обеспечивавшие приемлемые условия труда в горных выработках глубоких шахт. Теперь в числе дей-

ствующих остались только 2 такие системы – на шахтах „Им. А.А. Скочинского“ и „Им. А.Ф. Засядько“. Остальные выработали свой ресурс, и их оборудование отправлено в металлолом.

Температура горных пород на ряде действующих шахт достигает 45°C. Новые шахты не проектируются и не строятся, недостающие для обеспечения потребностей коксохимии, металлургии и энергетики 30÷35млн т. угля приобретаются у соседей – Польши, Германии, России, а теперь – даже у ЮАР, Австралии и Вьетнама. Имеется прецедент приобретения зарубежного предприятия: по данным СМИ, компания Р. Ахметова System Company Managements приобрела в США угольное объединение годовой производительностью 7 млн т. угля.

В советское время по газопроводам Украины в Европу перекачивалось 110÷120 млрд м³ российского природного газа, а ежегодное потребление природного газа Украиной достигало 90÷100 млрд м³, из которых только четвертая часть покрывалась за счет собственной добычи газа, остальной в плановом порядке поступал из Сибири. С обретением независимости этот газ превратился в ценный продукт продажи России, а развал производства и отсутствие средств на его приобретение привели к сокращению объема потребляемого Украиной природного российского газа почти в 3 раза. Теперь в Украине добывается 20÷22 млрд м³ газа в год, покрывающие меньше половины его потребления, и 25÷30 млрд м³ газа приобретается в России по цене до \$385 млн за миллиард кубометров. В связи с высокой ценой российского газа в последнее время Украиной предпринимаются попытки осуществить закупки норвежского и европейского газа. Рассматривается вопрос прокладки газопровода в Польшу, по которому Украина сможет получать приобретаемый в Европе природный газ.

Значительную часть нефти для производства топлива для двигателей внутреннего сгорания приходится покупать по ценам мирового рынка. По состоянию на январь 2015г., в связи с санкциями против России, на мировой рынок выброшено огромное количество нефти и цена барреля нефти упала со 115 до \$50, но воспользоваться такой выгодной ситуацией и выйти на европейский рынок с продуктами переработки нефти Украина не может, так как продукция ее нефтеперерабатывающих предприятий не соответствует требованиям европейских стандартов, а сами предприятия нуждаются в существенной модернизации. Из-за необходимости значительных затрат капитала на осуществление такой модернизации за последние 3–4 года ощутимых сдвигов в повышении качества продуктов переработки нефти на нефтеперерабатывающих заводах Украины не произошло.

Существенные коррективы в обеспечение Украины энергоресурсами могло бы внести увеличение производства электроэнергии на АЭС. Франция закрыла все свои угольные шахты, но обеспечивает производство необходимого для автомобиле- и машиностроения качественного металла за счет внедрения новых технологий переработки металлолома, при этом более 80% тре-

буемой для обеспечения нужд страны электроэнергии вырабатывается на безаварийно действующих атомных электростанциях. В Украине, при наличии достаточных запасов и налаженной добыче урановых руд, лишь третья часть электроэнергии производилась на АЭС, но теплообразующие элементы для ядерных реакторов производятся в России из добываемой в Украине урановой руды. Та же участь постигла оборудование для АЭС. Стоимость типового реактора канального мощностью 1 млн кВт для замены действующего или строительства нового блока на действующей АЭС составляет более \$1 млрд. Украина вела переговоры с фирмой „Вестингауз“ (США) о поставке ТВЭЛ для реакторов, но их применение без существенной модернизации реакторов оказалось невозможным. В последнее время предпринимаются попытки наладить собственное производство ТВЭЛов, но пока модернизация действующих и строительство новых блоков АЭС ориентированы на обеспечение Россией. Отсутствие собственной материальной базы производства реакторов и ТВЭЛов, их высокая стоимость не позволяют решать вопрос о строительстве новых АЭС. Достижимый планируемый максимум в этом направлении в обозримом будущем – изыскать средства и построить 3-й и 4-й блоки Хмельницкой АЭС. А пока в СМИ появились сообщения о том, что АЭС Украины в настоящее время обеспечивают больше половины производимой электроэнергии и о веерных отключениях нагрузки более 3000 МВт. Тайна этого „успеха“ заключается в том, что из-за военно-политической ситуации в Донбассе сократилась добыча угля, его дефицит привел к остановке ряда тепловых электростанций. Поэтому при сохранении прежнего уровня производимой АЭС электроэнергии его удельный вес возрос до 51%. Реальная перспектива роста производства электроэнергии на АЭС на ближайшие годы ограничивается лишь пуском в 2018 г. упомянутых двух блоков АЭС, но этого недостаточно для восстановления прежнего уровня производства электроэнергии в Украине.

Выход из положения в решении проблемы энергоносителей может быть найден в увеличении добычи угля. Разведанные еще в 60-е годы прошлого столетия запасы угля в украинской части Донбасса превышают 100 млрд т. Для обеспечения всех потребностей Украины в энергоносителях, по расчетам и опыту Великобритании, достаточно добывать 150÷160 млн т. угля. Но для этого нужно не только иметь необходимый шахтный фонд и добывать требуемое количество угля, но и осваивать, предложенную еще Д.И. Менделеевым, энерготехнологическую переработку угля. При выполнении этих условий страна не испытывала бы недостатка в энергоносителях на протяжении 450÷500 лет, используя разведанные запасы угля. Надо полагать, что за такой период мировая наука сумеет решить проблему производства электроэнергии на основе синтеза водорода и освоить использование альтернативных источников энергии.

На пути решения задачи увеличения добычи угля в Донбассе имеются преграды:

- во-первых, отсутствие средств на строительство новых шахт или модернизацию действующих (о чем свидетельствует постоянное сокращение числа действующих шахт и намерение Кабинета министров Украины в ближайшее время приватизировать еще 42 шахты);
- во-вторых, отсутствие материальной базы и структурных подразделений для строительства новых шахт (о чем свидетельствует приобретение угольного объединения в США);
- в-третьих, отсутствие собственного производства и высокая стоимость холодильной техники для нормализации микроклимата горных выработок шахт, осуществляющих добычу угля на глубоких горизонтах.

К преградам на пути решения задачи добычи угля в глубоких шахтах относится и ухудшение горнотехнических условий ведения горных работ, связанное с ростом горного давления, изменением реологических свойств горных пород, ростом метанообильности угольных пластов и горных пород с глубиной в шахтах Донбасса. В последнее десятилетие более 11000 шахтеров Донбасса работали при температуре на рабочих местах от 32 до 38°C.

В конце 90-х прошлого столетия в зарубежной литературе появились сообщения, свидетельствующие о специфических трудностях решения задач охлаждения воздуха в глубоких шахтах развитых стран. К ним относятся сведения о централизованном выделении в бюджете ФРГ значительных объемов финансирования на электроэнергию, потребляемую системами кондиционирования воздуха в глубоких угольных шахтах Германии, сведения о том, что рост естественной температуры горных пород с глубиной, несмотря на применение эффективных схем и средств охлаждения рудничного воздуха, приводит к росту температуры рудничного воздуха на 1°K при возрастании естественной температуры горных пород на 2°K [1].

Германия выпускает и эксплуатирует мощные шахтные холодильные установки с винтовыми компрессорами, обеспечивающие получение 8÷10 млн Вт холода, но и при такой холодильной технике не всегда удается обеспечить надлежащие тепловые условия труда в горных выработках глубоких шахт.

Система нормирования микроклимата горных выработок глубоких шахт в Германии отличается от таковой в Украине. В §621 Правил безопасности в угольных шахтах указано, что температура воздуха во всех горных выработках при скорости движения его не менее 1 м/с должна быть не более 26°C. Заметим, что такая скорость движения воздуха в горных выработках в период их проходки обеспечивается лишь в редких случаях (обычно она нормируется требованием обеспечить скорость движения не менее 0,25 м/с, вытекающим из условий предотвращения опасных скоплений газа, а при такой скорости температура проветриваемого горную выработку воздуха, в соответствии с требованиями того же §621, не должна быть выше 24°C. Практически требование об обеспечении такой температуры воздуха в глубоких шахтах не выполняется, а инспекция Госгорпромнадзора о нем никогда не вспоминает.

В Германии нормируемая температура воздуха увязывается с длительностью пребывания горнорабочего в условиях повышенной температуры и допускается 30°C. Даже такую, отнюдь не комфортную, температуру воздуха в горных выработках, при упомянутых выше огромных подачах холода системами центрального кондиционирования и применении в дополнение к ней местных передвижных кондиционеров, не всегда удается обеспечить. Объясняется это тем, что системы центрального кондиционирования воздуха в горных выработках, базирующиеся на доставке холода воздухом, исчерпали свой предел возможностей. Причина этого кроется в специфике параметров самого воздуха. Теплоемкость воздуха при постоянном давлении составляет 0,24 ккал/кг.грд. Если даже пойти на усложнение системы кондиционирования воздуха, обеспечив снижение его температуры до 4÷6°C на входе в вентилятор местного проветривания, и осуществлять подачу воздуха по трубопроводу диаметром 1,2 м при скорости движения его 10 м/с, то и в этом, идеальном по параметрам вентиляции подготовительной выработки случае, скорость воздушной струи в самой выработке после выхода воздуха из трубопровода при сечении выработки 15÷16 м² окажется равной всего лишь 0,6 м/с. При такой скорости движения воздуха максимальная величина коэффициента теплоотдачи стенки горной выработки не превышает 6÷7. Охлаждение горного массива будет происходить медленно, во-первых, из-за малой величины коэффициента теплоотдачи стенок горной выработки, во-вторых, из-за малого количества доставленного воздухом холода.

В Германии типовые сечения подготовительных выработок, как минимум, в 2 раза превышают таковые у горных выработок в Донбассе, поэтому при том же дебите воздуха на проветривание выработки коэффициент теплоотдачи оказывается в 2 и более раз ниже, чем в подготовительной выработке шахт Донбасса.

Трудная ситуация в угольных шахтах Германии сложилась уже при глубине ведения горных работ 1300 м. Геотермическая ступень здесь оказалась несколько меньше, чем в Донбассе, и температура горных пород на глубине 1300 м достигла 40–45°C, в то время как такая величина естественной температуры в Донбассе имеет место на глубине 1400 м. Эти данные подтверждают факт, что традиционные применяемые схемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт, базирующиеся на доставке холода проветривающим горные выработки воздухом и применении типовых схем кондиционирования воздуха в горных выработках, исчерпали свои возможности. Поэтому, даже если приобрести для глубоких шахт Донбасса новейшую мощную зарубежную холодильную технику, ожидаемый эффект снижения температуры воздуха в горных выработках на глубине более 1400 м достигнут не будет. Беды с нормализацией тепловых условий в глубоких шахтах, в значительной степени, определены также физическими свойствами воздуха, используемого в качестве переносчика холода. О его малой теплоемкости выше уже сказано, но это свойство не играло бы столь важной роли, если бы не дру-

гой его весомый недостаток – нагрев вследствие адиабатического сжатия.

Поскольку речь идет о глубоких шахтах, то в любом случае, при любой схеме вскрытия и подготовки угольных пластов на больших глубинах будет иметь место схема вентиляции с большими высотами столбов воздуха. Следствием этого является увеличение веса столба воздуха и рост его давления. На каждые 100 м глубины величина барометрического давления нарастает на 10 мм. рт. ст. и, вследствие сжатия, возрастает температура сжатого воздуха на 1°C.

При ведении работ на глубине 1000 м увеличение температуры воздуха за счет адиабатического сжатия произойдет на 10°C, а при работе на предельных глубинах 1800 м следует ожидать возрастания температуры воздуха на входе в околоствольный двор на 18°C. Эту истину теперь знают школьники, но первая спроектированная и построенная на шахте „Горловская глубокая“ система кондиционирования воздуха с мощностью более 1500 кВт обеспечила снижение температуры воздуха в лавах менее 1°C. Не будем анализировать, на какое чудо рассчитывали проектировщики, но эта система с хорошими источниками холода и системой охлаждения воздуха на входе в воздухоподающий ствол в начальный период работы фактически дала нулевой эффект.

Известна поговорка, что на ошибках учатся, но ее часто уточняют вопросом – „на чьих ошибках?“. Больше в СССР таких систем не проектировали, но пока нигде в мире не научились бороться с нагревом проветривающего шахту воздуха за счет адиабатического сжатия, извлекать и использовать тепло адиабатического сжатия и холод адиабатического расширения. А энергия этого процесса на глубоких шахтах с подачей воздуха порядка 500 м³ в секунду составляет впечатляющую величину – до 28000 кВт·ч за сутки. Необходимость исключить нагрев подаваемого в сеть горных выработок воздуха за счет адиабатического сжатия заставила монтировать мощные холодильные установки в пределах руддворов глубоких горизонтов, но и в этом случае эффективность доставки холода основным потребителям – лавам и забоям проводимых выработок – оказалась низкой из-за нагрева воздуха по пути движения при соприкосновении с нагретыми стенками длинных горных выработок. Потребовалось приближать источники холода к потребителям, создавать групповые и местные холодильные установки. Значительная часть недостатков нормализации параметров микроклимата горных выработок может быть устранена при отказе от использования рудничного воздуха в качестве основного средства доставки холода. При эксплуатации шахты в любом случае приходится иметь дело с применением воды и системой ее циркуляции. Вода используется как средство эффективного подавления пыли при бурении, отбойке угля и разрушении горных пород, а также как средство обеспечения пожарной безопасности. В воде можно передать функцию доставки холода на большие расстояния. Упомянувшиеся выше, создаваемые мощной холодильной установкой,

10 МВт холода вполне могут быть доставлены в шахту водой при оптимальных температурах охлаждения. Предположим, необходимо доставить 10 МВт холода в час при температуре поступающей в шахту воды 5°C и нагреве ее в горных выработках на рабочем горизонте до 25°C. Тепловая мощность такого потока составляет 8,6 Гкал, для переноса его при заданной разности температур 20°C потребуются насосная установка производительностью 430 м³ воды в час. Если подача такого количества воды в горные выработки будет осуществляться при использовании открытой системы циркуляции, то в шахте придется ставить высоконапорный насос (или каскад из 2+3 насосных установок), способный обеспечить суммарный перепад давления порядка 18,5 МПа. Мощность привода такого насоса составит 2700 кВт, а суточный расход энергии на циркуляцию воды – около 66000 кВт-час. Скорее всего, эффективным альтернативным решением в этом случае окажется использование U-образного термоизолированного трубопровода с мокрыми теплообменниками на нем на входе и выходе из околоствольного двора. Сравнительно небольшой дебит воды в трубопроводе позволит расположить его подающую ветвь в стволе со свежей струей, а исходящую – в скиповом стволе. Такое решение позволит исключить не только большие потери энергии на циркуляцию воды, но и решит проблему предотвращения ее загрязнения, снижения потерь холода при подаче его в шахту и потерь тепла горных пород, выносимого водой из шахты. Понятно, что для этих целей желательно применить систему прямоточной циркуляции воды с непрерывным трубопроводом высокого давления.

Проблемы обеспечения герметичности и прочности трубопровода не представляют особых трудностей при наличии в стране Института сварки им. Е.О. Патона НАН Украины, имеющего мировой опыт строительства магистральных нефте- и газопроводов высокого давления и огромной длины, поэтому прибегать к консультациям и рекомендациям зарубежных специалистов не потребуется.

Характерной особенностью всего периода существования Украины как независимого государства является отсутствие национальной идеи возрождения Украины как мощного индустриально развитого государства с высоким жизненным уровнем его граждан. Хотя целью этой статьи является решение сравнительно узкого круга вопросов, связанных с проблемой обеспечения страны энергоносителями, но косвенно она касается аспекта возрождения Украины.

В сложившейся в Украине ситуации реальные шаги по возрождению угольной промышленности не предпринимались, пути выхода из энергетического кризиса не найдены.

Не является секретом то, что возрастающий дефицит энергоносителей ведет к сокращению валового национального продукта, снижению доходов от экспорта, дальнейшему падению жизненного уровня населения страны и представляет серьезную угрозу ее независимости. Выход из создавшегося положения затруднен тем обстоятельством, что мощная научная школа гор-

ной теплофизики практически исчезла из-за смерти и старения ее ведущих специалистов, выезда части из них за пределы страны, сокращения числа и снижения качества подготовки специалистов для служб вентиляции шахт, охраны труда и шахтного строительства. Поскольку централизованное планирование и финансирование исследований по проблеме возрождения угольной промышленности отсутствует, лишь в немногих ВУЗах и НИИ ведутся инициативные работы, связанные с подготовкой кадров высшей квалификации.

В процессе выполнения работ по проблеме шахты будущего в Национальном горном университете установлено, что мероприятия, считавшиеся достаточными для обеспечения нормируемых правилами безопасности и санитарными нормами параметров рудничного микроклимата в горных выработках угольных шахт, с ростом глубины ведения горных работ, не могут обеспечить требуемой степени охлаждения горных пород на глубинах свыше 1400 м. В поисках способа и средств обеспечения возможности ведения горных работ в горных выработках с высокой температурой пород горного массива разработаны основные положения концепции нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт. Основные положения этой концепции кратко приведены в [2].

Непременным условием возможности ведения работ в горных выработках является обеспечение нормативных параметров их микроклимата. Обычно микроклимат горных выработок формируется совокупностью таких факторов как состав атмосферы с допустимыми концентрациями газов и запыленностью воздуха, представляющих собой специфическую вредность для конкретного объекта, величина атмосферного давления, влажность, скорость движения и температура воздуха. Последние два фактора в условиях производств с повышенной опасностью, как правило, увязываются между собой. Горные выработки глубоких шахт располагаются в горных породах с повышенной естественной температурой, следствием чего оказывается возможным появление не характерного для шахт обычной глубины фактора опасности – термической радиации.

Инфракрасное излучение проявляется в нагреве холодных тел за счет излучения энергии нагретых или горячих тел. Интенсивность инфракрасной радиации зависит от разности температур излучающего и поглощающего тел (поверхностей), а величина поглощенного количества тепла зависит от площади поглощающей поверхности, степени ее черноты и угла облучения. В длительно действующих выработках обычных шахт температура стенки практически равна температуре движущегося в ней воздуха и не превышает 26°C. В таких условиях горнорабочий сам является источником инфракрасного излучения и излучает в окружающее пространство тепловой поток мощностью около 100 Вт. При наличии нагретых поверхностей свежевскрытых горных пород, оболочек нагретого оборудования с температурой выше 36,6°C горнорабочий становится объектом облучения и при температуре стенок горных пород 70°C будет облу-

чатся гибельным для организма тепловым потоком мощностью 400 Вт.

При ведении горных работ на глубинах до 1000 м не возникала необходимость защиты горнорабочего от инфракрасного излучения даже при наличии свежескритых поверхностей горных пород. Работа на более глубоких горизонтах сопровождается такими излучениями не только при вскрытии новых поверхностей, но и в течение длительного последующего периода времени, поскольку охлаждение пород горного массива, окружающего новообразованные горные выработки при стандартных применяемых схемах кондиционирования воздуха, происходит медленно из-за малой величины коэффициента теплоотдачи стенок горных выработок и низкой теплоемкости проветриваемого выработки воздуха. Интенсивность инфракрасной радиации зависит от абсолютной температуры нагретого (излучающего) и более холодного (облучаемого) тел и определяется зависимостью Стефана-Больцмана. В строящейся на глубоком горизонте горной выработке, в первую очередь, представляет интерес интенсивность инфракрасного облучения шахтера во свежескритой призабойной зоне. Максимальная интенсивность инфракрасного облучения горнорабочего, в зависимости от температуры стенки выработки, составит

$$f(T) = C \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 \right], \quad (1)$$

где $T_p = 273 + t_h$ – абсолютная естественная температура горного массива; $T_g = 273 + 36,6$ – абсолютная температура человека; F – площадь облучаемой поверхности человека (принимается равной $1,6 \text{ м}^2$); $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – постоянная излучения абсолютно черного тела. В общем случае уравнение Стефана-Больцмана содержит ϕ – средний угловой коэффициент облучаемой поверхности относительно излучающей поверхности и степень черноты ϵ . Для горной выработки в любом пункте ее длины (цилиндрическая поверхность) и в призабойной ее части (сфера) средний угловой коэффициент $\phi = 1$.

Для горных пород на больших глубинах степень черноты приближается к единице. Для предварительных расчетов обе эти величины приняты равными единице, а обозначающие их индексы исключены из расчетной формулы. График изменения интенсивности ИФК-облучения в зависимости от абсолютной температуры излучателя (горного массива) представлен на рис. 1.

Цифры по оси ординат графика отражают интенсивность ИФК-излучения в выработку, $\text{Вт}/\text{м}^2$ (относятся к верхней линии графика). По оси абсцисс отложена величина абсолютной температуры. Для защиты горнорабочих от инфракрасного излучения требуется исключить возможность появления свежескритых нагретых поверхностей горных выработок или применить средства защиты от ИФК-излучения. Обеспечение защиты горнорабочих от ИФК-излучения может быть осуществлено за счет экранирования нагретых поверх-

ностей или применения специальной технологии ведения горных работ, обеспечивающей отвод тепла массива горных пород, окружающего будущие горные выработки, до их вскрытия. Защита горнорабочих от ИФК-излучения в ограниченном по размеру призабойном пространстве может осуществляться за счет применения радиационного кондиционера или защитного экрана, представляющего собой преграду с пониженной температурой или повышенным термическим сопротивлением, способствующую отводу тепла этого потока за пределы призабойного пространства. Экранирование огромных по площади поверхностей, подверженных деформации за счет горного давления протяженных горных выработок при современной технологии ведения работ трудно осуществимо, но может быть исключено за счет применения технологии ведения горных работ, обеспечивающей ускоренное формирование теплоуравнивающих оболочек вокруг будущих горных выработок и сокращение притока тепла из горного массива в пространство горной выработки. Снижение температуры горного массива может быть обеспечено такими способами:

- охлаждением горного массива за счет создания ниже самого глубокого проектируемого к отработке горизонта сети каналов для циркуляции хладагента [3];
- предварительным охлаждением горного массива за счет создания сети горных выработок для циркуляции хладагента на горизонте ниже подлежащего отработке;
- охлаждением горного массива обрабатываемого горизонта за счет применения каналов, опережающих забой подготовительных и очистных выработок, и управляемого орошения стенок горных выработок [4].

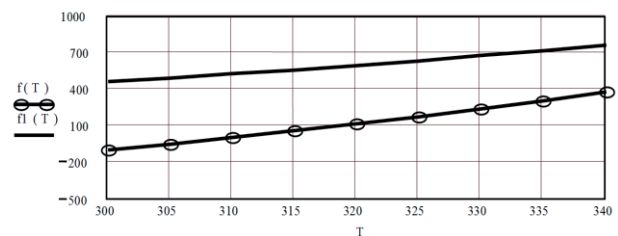


Рис. 1. Изменение интегральной плотности инфракрасного излучения горного массива в выработку $f(T)$, $\text{Вт}/\text{м}^2$ и интенсивности облучения человека $H(T)$, $^\circ\text{C}$ в зависимости от абсолютной температуры T

Для краткости горизонт каналов или горных выработок для циркуляции охлаждающей среды ниже обрабатываемого именуется подсечным. Создание подсечного горизонта ниже самых глубоко залегающих пластов преследует цель охлаждения всего горного массива в пределах шахтного поля. Поскольку добыча полезного ископаемого, как правило, ведется последовательной отработкой горизонтов сверху вниз, то процесс создания подсечного горизонта может осуществляться параллельно с ведением горных работ по отработке верхних горизонтов, а длительность периода охлаждения горного массива в пределах шахтного поля будет лишь немногим меньше срока эксплуатации шахты. Циркулирующая в каналах горизонта охлаждения

вода способна снизить температуру массива горных пород выше горизонта подсечки в пределах всего шахтного поля до температуры ниже 26°C. Выполненные нами расчеты для шахты в зоне Ясиноватско-Макеевского региона показывают, что количество извлеченного из горного массива тепла эквивалентно таковому от сжигания 12 млн т. угля [3]. Реализации такого варианта препятствует необходимость предварительного создания каналов для циркуляции воды в горном массиве с температурой 75–80°C. Пока техника и технология проходки длинных горных выработок без присутствия человека не разработана, соответствующие робототехнические системы не созданы, а способ проведения скважин методом проплавления горных пород испытан для скважин сравнительно небольшой длины, поэтому применить такой способ охлаждения не представляется возможным.

Предложенный коллективом ученых Института горной теплофизики НАН Украины метод извлечения тепла недр Земли путем бурения скважин и создания каналов для циркуляции охлаждающей воды методом гидроразрыва для этих целей непригоден, поскольку требуется создать каналы для циркуляции воды в пределах сравнительно большой площади шахтного поля и сохранить возможность циркуляции воды в них в течение длительного времени.

Для реализации варианта охлаждения нагретого горного массива, совмещаемого с процессом проведения подготовительных выработок строящегося этажа, панели или горизонта, создание специальных средств и систем управления тепловым режимом горных выработок не требовалось, поскольку естественная температура горных пород не достигла опасной величины и основные технологические процессы строительства горных выработок обеспечивали поддержание температуры воздуха на рабочих местах в нормируемых Правилами безопасности и санитарными нормами пределах.

Проветривающий сеть горных выработок воздух выполнял функцию охлаждения стенок горных выработок и выноса выделяющегося в них тепла. Ситуация в корне меняется при ведении горных работ на глубинах, где естественная температура горных пород превышает 40°C, требуется охлаждать огромные объемы окружающего горные выработки массива горных пород, а возможность создания большой площади охлаждения стенок горных выработок ограничена. В таком случае воздух не может выполнить функции отвода и выноса требуемого количества тепла в короткий срок времени, и требуется существенно изменить технологию охлаждения пород горного массива [5].

Для обеспечения нормальных условий труда горнорабочих процесс охлаждения горного массива вокруг горной выработки рекомендуется разбивать на несколько этапов, разнесенных в пространстве и времени [6]. В качестве первого этапа снижения температуры горного массива по трассе проходки горной выработки целесообразно применить охлаждение за счет применения скважины, охлаждаемой водой и опережающей забой подготовительной выработки (рис. 2).

Скважина бурится в породах с естественной для глубины расположения выработки температурой.

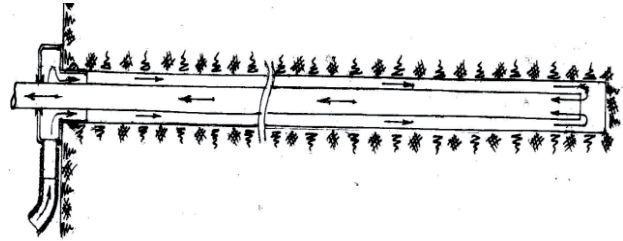


Рис.2. Схема охлаждения горного массива скважиной, опережающей забой горной выработки

Так как начало бурения скважины осуществляется из рабочей зоны действующей выработки, то необходимые для нахождения в ней горнорабочих условия обеспечиваются системой вентиляции и кондиционирования воздуха. Грудь забоя горной выработки охлаждается проветриваемым ее воздухом и имеет приемлемую температуру, но температура горного массива впереди забоя по трассе проходки повышенная и равна естественной температуре горного массива на глубине ведения горных работ. При бурении скважины в зоне повышенной температуры оказывается только штанга и буровой орган. В зависимости от крепости горных пород может применяться как резание при вращательном бурении, так и ударновращательное бурение, при этом дополнительное охлаждение рабочего органа, кроме предусмотренного технологией бурения, не требуется. Поскольку скважина должна выполнить функцию опережающего охлаждения горного массива по трассе проходки горной выработки, то параметры буримой скважины необходимо определить из условия обеспечения выноса тепла из горного массива. Для этого необходимо задать требуемую скорость проходки выработки, выбрать рациональный график ведения буровых работ по обеспечению необходимой длины скважины, определить температуру доступного источника охлаждающей воды и желательные параметры зоны охлаждения горного массива вокруг скважины. Такая постановка задачи для глубоких шахт Донбасса является новой.

Разработанная МакНИИ „Типовая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах“ является полезным источником определения ряда исходных параметров горного массива в регионе расположения шахты, но она не содержит рекомендаций по расчету параметров охлаждения горного массива и аналитического аппарата, поскольку опыт практического применения такого способа охлаждения горного массива пока отсутствует. Некоторые параметры могут быть заданы заранее, исходя из условий технической целесообразности. Например, заранее ясно, что применение схемы обновления длины скважины по циклу суточного подвигания подготовительного забоя окажется нежелательным из-за трудностей совмещения операций бурения скважины с технологическим процессом проведения выработки. Желательно иметь, по возможности, большую длину опережающей скважины, что

повысит эффективность охлаждения и обеспечит повышенную скорость проведения выработки. Но, исходя из условий обеспечения параметров охлаждения горного массива при требуемом темпе проведения выработки, необходимо сохранять определенную неснижаемую длину скважины впереди забоя. Поддержание повышенной длины скважины сопряжено со снижением скорости ее бурения, поэтому, на основании расчета и последующего выбора типового диаметра, рационального графика организации работ по проходке и опыта применения с учетом свойств горных пород и параметров техники бурения, придется принять оптимальную для конкретных условий длину скважины. На параметры скважины и системы охлаждения существенное влияние окажет требуемая величина диаметра формируемой зоны охлаждения пород горного массива вокруг скважины. Желательная ее величина должна быть такой, чтобы при вскрытии выработки принятым способом проходки на проектную величину сечения выработки вчерне температура свежесквyrтой поверхности выработки (груди забоя и стенок) не превышала 26°C. В этом случае не потребуется осуществление дополнительных мероприятий по защите горнорабочих от тепловой радиации. Однако, как показывают расчеты, величина диаметра требуемой зоны охлаждения вокруг выработки, обеспечивающей такую температуру свежесквyrтой поверхности выработки, с ростом естественной температуры горного массива сильно возрастает. Поэтому, с ростом глубины ведения горных работ может оказаться необходимым несколько увеличить диаметр скважины или ориентироваться на дополнительное орошение водой вскрытой поверхности стенок выработки либо образовавшегося при стадийном взрывании уступа в груди забоя.

Определение рационального диаметра зоны охлаждения вокруг горной выработки требует заранее принимать во внимание технологию ведения горных работ на шахте и период использования проводимой горной выработки. При большом сроке службы горной выработки может оказаться, что охлажденная при проходке до температуры ниже 26 °C стенка выработки приобретет существенно большую температуру, а поскольку применяемая на шахтах крепь горных выработок не позволяет обеспечить высокое термическое сопротивление тепловому потоку в горную выработку, то приток тепла в нее будет большим, а доставка проветривающим выработку воздухом требуемого количества холода для нормализации тепловых условий в расположенную далее по пути движения струи часть выработки окажется невозможной. С учетом этих обстоятельств заранее понятно, что заблаговременное создание охлажденной оболочки горных пород необходимого размера вокруг горной выработки, именуемой в литературе по горной теплофизике „теплоуравнивающей оболочкой“, заведомо выгодно, особенно, если имеется естественный источник холода (например, водоносный горизонт или водоем с пониженной температурой воды). Совместить процесс охлаждения горного массива вокруг выработки с технологическими операциями процесса проходки выработки и избежать необходимо-

сти бурения слишком длинных или имеющих повышенный диаметр скважин может помочь способ охлаждения горных пород орошением стенок горных выработок за экраном. Требования безопасности ведения работ в горной выработке исключают возможность оставления незакрепленным ее призабойного участка повышенной длины и совмещение работ по возведению постоянной крепи выработки и ее орошению, в то время как орошение свежесквyrтой поверхности вскрытой на сечение вчерне выработки чрезвычайно выгодно из-за значительно большей площади теплоотдачи. Затопить водой выработку для ускоренного охлаждения окружающего ее массива при существующей технологии проходки горизонтальных и наклонных горных выработок невозможно, однако, даже не мешающее процессам проходки орошение ее стенок мелкодисперсной водой приводит к возрастанию коэффициента ее теплоотдачи примерно на два порядка по сравнению с сухой стенкой.

Обеспечить выполнение этих кажущихся несовместимыми требований может применение временной передвижной крепи в виде прочного прижимаемого к стенке экрана, позволяющее решать такие задачи:

- защитить горнорабочих от механического травматизма из-за возможного разрушения и падения кусков породы;
- обеспечить эффективный теплоотъем и быстрое охлаждение горной породы;
- исключить попадание струй и капель воды на одежду горнорабочих, оборудование и инструменты в призабойной части выработки. Весьма вероятно, что, при ведении горных работ на предельных глубинах отработки угольных пластов и возросших трудностях предварительного охлаждения горного массива, временная крепь в виде передвижного экрана, покрытого слоем термоизоляции, сможет выполнять функцию защиты горнорабочих от тепловой радиации свежесквyrтых стенок горной выработки с повышенной естественной температурой.

Применение такой защиты позволит обеспечить нормализацию тепловых условий в призабойном пространстве подготовительной выработки, не прибегая к применению излишне длинной опережающей скважины. Поскольку стенки свежесквyrтой выработки уже будут иметь пониженную против естественной температуру, то кратковременное орошение ее поверхности, значительно большей, чем площадь скважины во вскрытой части выработки, позволит исключить появление тепловой радиации горного массива в призабойном пространстве. Однако, из-за высокой интенсивности удельного теплового потока в горную выработку на глубоком горизонте спустя сравнительно небольшой промежуток времени температура стенки выработки может значительно повыситься. Установка защитного экрана, выполняющего функции временной крепи, ограждения зоны поверхности орошения (водозащитный зонт зоны ведения работ) и ускорителя охлаждения горного массива, экрана защиты от инфракрасной радиации требует небольшого промежутка времени. Поэтому тепловые условия в призабойной части выработки

не будут нарушены, а оросительное охлаждение значительной по величине (порядка 60–70% площади поверхности перекрытой такой временной крепью призабойной части выработки) позволит быстро отводить тепло как с груди забоя, так и со стенок призабойной части выработки. Поскольку такая схема охлаждения горного массива позволяет осуществлять орошение увеличенной поверхности свежевскрытых поверхностей пород горного массива, то результатом такого воздействия должно явиться ускоренное формирование теплоуравнивающей оболочки вокруг выработки [7]. Для краткости назовем такую схему охлаждения горного массива (представлена ниже на рис. 3) комбинированной.

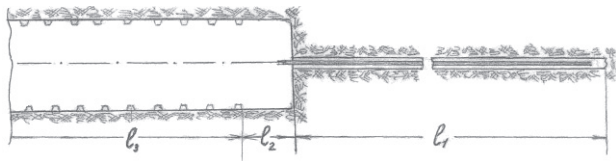


Рис.3. Комбинированная схема охлаждения горного массива горной выработки

Участок длиной l_1 охлаждается за счет циркулирующей в скважине воды, следующий за ним участок l_2 небольшой длины закреплен временной крепью и допускает охлаждение обнаженной поверхности груди забоя и обнаженных стенок выработки. Участок выработки l_3 уже закреплен постоянной крепью или находится в стадии окончания ее возведения. При ведении горных работ в пределах сильно нагретых пород горного массива, имеющих место в зоне нижней части залегания угольных пластов, окажется необходимым дополнительное охлаждение пород горного массива и формирование теплоуравнивающей оболочки повышенного радиуса вокруг горной выработки. Его придется производить в пределах уже закрепленной, оборудованной конвейером или рельсовым путем и водоотливной канавкой части горной выработки. Наличие постоянной крепи горной выработки ведет к увеличению термического сопротивления теплового потока из горного массива в полость выработки из-за чего интенсивность удельного теплового потока снижается в 6–7 раз. Понятно, что необходимость ведения работ по охлаждению пород горного массива вокруг закрепленной выработки существенно осложнится и потребует увеличения периода охлаждения и длины охлаждаемого участка выработки.

На глубоких горизонтах для обеспечения повышенной скорости проведения горной выработки может оказаться неприемлемым одновременное ведение горных работ по проходке выработки и по формированию теплоуравнивающей оболочки горных пород вокруг нее. В этом случае выход из положения может быть найден в продолжении охлаждения горного массива орошением на участке действующей выработки l_4 . Поскольку по выработке будут перемещаться горнорабочие и осуществляться транспортировка горной массы, элементов крепи, материалов и оборудования, то

в зоне дополнительного охлаждения придется установить легкий экран, расположив на нем форсунки орошения. Экран должен в уменьшенном размере (с зазором между его поверхностью и поверхностью стенок крепи горной выработки) повторять контур выработки, иметь отогнутые края и желобки вдоль нижнего края, что позволит выполнять функцию защиты горнорабочих от струй и брызг, отвода попадающей на его внешнюю поверхность воды в водоотводящую канавку и водосборник насосной установки. Схема оборудования участка выработки, охлаждаемого с помощью орошения ее стенок за оболочкой защитного экрана, представлена на рис.4.

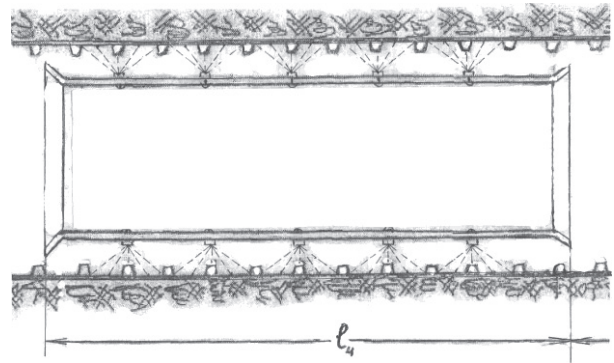


Рис.4. Схема охлаждения горного массива участка выработки орошением стенок выработки за оболочкой защитного экрана

Эффективность охлаждения горного массива и скорость наращивания теплоуравнивающей оболочки из-за наличия постоянной крепи выработки на этом участке окажется ниже, чем на призабойном, но зона его расположения может быть выбрана на значительном удалении от забоя горной выработки, а поскольку наличие экрана в ней не создает помех работам цикла проходки, время действия может быть увеличенным. Оценка эффективности горно-технических мероприятий по нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт требует выполнения соответствующих тепловых расчетов. Значительная часть их может быть выполнена на базе разработанных под руководством академика НАН Украины А.Н. Щербаня отечественной школой горной теплофизики научных основ расчета и регулирования теплового режима горных выработок глубоких шахт Донбасса [8].

Однако со времени их разработки истекло более половины столетия. В тот период времени предельная глубина ведения горных работ в Донбассе еще не превышала 1000 м, а выполненные экспериментальные работы по горной теплофизике, результаты которых легли в основу теоретических обоснований, проводились на шахтах, глубина ведения горных работ в которых не превышала 700 м. За истекший с тех пор период времени горные работы в шахтах Донбасса уже достигли глубины 1400 м (и даже превзошли ее), а теплофизические параметры горных пород на глубоких горизонтах шахт изменились в такой степени, что системы кондиционирования воздуха оказались неспособными обеспечить нормативные параметры микроклимата ра-

бочих мест в горных выработках. Претерпели существенное изменение и источники обеспечения энергетического баланса Украины, существенно изменились условия обеспечения ее нормальной жизни: выросли мировые цены на нефть, газ и уголь; поток нефти и газа из Сибири стал доростоящим; большая часть тех 65÷70 млн т. угля, добычу которых пока могут обеспечить шахты Донбасса, недоступна из-за напряженной военно-политической ситуации.

Выше указано, что разведанные запасы каменного угля в Донбассе достаточны для обеспечения энергетических потребностей страны в течение пяти столетий, но значительная часть этих запасов залегает в горячих горных породах. Это значит, что в ближайшем будущем придется решать задачи охлаждения горного массива глубоких шахт. Применение самых совершенных и мощных систем кондиционирования воздуха не может решить эту проблему, поскольку проветриваемый горные выработки глубоких шахт воздух не может доставить необходимое для нормализации тепловых условий горных выработок количество холода, способное быстро охладить породы горного массива и вынести извлеченное тепло на дневную поверхность для утилизации. Поэтому следует начать работы по превращению глубоких шахт в энерготехнологические комплексы по добыче угля, извлечению и использованию тепла недр Земли, разумно совмещая эти процессы.

Для этого требуется начать решать теоретические и прикладные задачи:

- перейти на использование воды в качестве основной среды для доставки холода в горные выработки глубоких шахт;
- применить технологию преимущественного охлаждения пород горного массива глубоких горизонтов и выноса извлеченного тепла на дневную поверхность водой;
- применить систему подачи холода в шахту и выдачи тепла на дневную поверхность за счет *U*-образного трубопровода, позволяющего в значительной степени использовать силы Архимеда для движение воды;
- применить прямоточную систему циркуляции чистой воды в трубопроводе, расположенном в стволах, снабженную двумя мокрыми теплообменниками в околоствольном дворе шахты: для приема холода – возле трубопровода, подающего воздух ствола; для отвода тепла нагретой шахтной воды – возле трубопровода в стволе, выдающем воздух из шахты;
- создать эффективную систему использования вынесенного водой на дневную поверхность тепла для получения холода и электроэнергии, тепла для обогрева инфраструктуры шахты и парников;
- поскольку Донбасс не обладает достаточными запасами воды, то необходимо создать на дневной поверхности шахт систему сбора дождевой воды и обеспечить ее хранение в водоемах на дневной поверхности или подземных резервуарах;
- создать на дневной поверхности глубоких шахт системы охлаждения чистой воды за счет низкой температуры воздуха в холодный период года и обеспечить ее хранение в термоизолированных резервуарах на горизонтах вблизи дневной поверхности для исполь-

зования в качестве альтернативного источника холода для систем нормализации тепловых условий горных выработок на глубоких горизонтах. Понятно, что выполнению перечисленных выше мероприятий по нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт должен предшествовать расчет потребности количества холода по периодам года, учитывающий план развития горных работ, климатические условия региона расположения шахты, параметры действующих и строящихся горных выработок, объемы тепловыделения оборудования в подготовительных и очистных забоях, а также тепловыделения за счет окислительных процессов в горных выработках и выработанном пространстве. Системы кондиционирования воздуха глубоких шахт и рудников развитых стран, а также ведущих на больших глубинах добычу золота и алмазов рудников ЮАР и Индии, оснащаются мощными холодильными установками, использующими для сжатия хладагента компактные винтовые компрессоры. Компрессоры этого типа долгое время не находили применения в холодильной технике из-за малого перепада давления на ступень сжатия и технологической сложности изготовления винтовой пары. Но уже в середине 50-х годов прошлого столетия в Англии на их основе были созданы шахтные установки „Airdox“ для крупноблочного разрушения угольных пластов, обеспечивающие давление сжатого воздуха во взрывной камере скважины до 80 МПа.

Несомненными достоинствами винтовых компрессоров являются их огромная производительность при малых габаритах и весе оборудования, высокая надежность, что позволяет не только опускать в шахту мощные холодильные установки, но также использовать винтовые компрессоры в составе рабочих инструментов в подготовительных и очистных выработках шахт и рудников.

Машиностроение Украины пока не может осуществить производство мощной холодильной техники для шахт на базе использования винтовых компрессоров. Но с использованием их на Сумском заводе начато производство шахтных передвижных компрессоров, а на Одесском заводе холодильной техники – шахтных передвижных кондиционеров КПШ-300.

Переход на доставку холода в горные выработки водой позволяет использовать устанавливаемые на дневной поверхности мощные холодильные установки, предназначенные для крупных хранилищ пищевых продуктов, серийное производство которых осуществляется в Украине. Доставка холода водой позволит использовать эти машины для решения задач нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса без расходования крупных сумм валюты на приобретение холодильного оборудования за рубежом.

Необходимость создания приемлемых условий труда при проведении выработки требует осуществлять подачу холода, обеспечивающего темп охлаждения, гарантирующий проектную скорость проведения выработки и соблюдение условия, что температура свеженабуженной стенки поверхности выработки при буровзрывном способе проходки при вскрытии на расчет-

ную величину сечения вчерне будет меньше или равна нормируемым 26°C. Это условие ставит задачу обеспечить заданную температуру горного массива на поверхности гидравлического радиуса выработки R , удаленной от устья скважины на шаг подвигания груди забоя выработки за цикл взрывания. Для решения этой задачи нужно определить величину количества тепла, подлежащего удалению из объема разрушаемой за цикл подвигания забоя горной породы. Но при охлаждении горного массива с помощью скважины будет иметь место вынос тепла из формирующейся вокруг нее теплоуравнивающей оболочки, радиус которой значительно больше гидравлического радиуса выработки. Поэтому придется определять величину радиуса теплоуравнивающей оболочки, при наличии которой обеспечивается заданная температура горного массива на окружности гидравлического радиуса выработки, рассчитать распределение температуры горного массива по радиусу теплоуравнивающей оболочки, определить теплосодержание пород горного массива объема теплоуравнивающей оболочки единичной длины при естественной температуре горного массива и теплосодержание того же объема уже сформировавшейся теплоуравнивающей оболочки. По разности вычисленных указанных теплосодержаний можно определить в первом приближении величину количества тепла, подлежащего выносу из горного массива теплоуравнивающей оболочки единичной длины. Фраза „в первом приближении“ приведена не случайно, поскольку температура охлаждающей воды при ее движении по скважине изменяется от начальной температуры подаваемой на охлаждение воды до близкой к естественной температуре горного массива в конце скважины. Поэтому определяемые в ходе расчетов величины представляют собой результаты суммирования теплосодержания в объеме теплоуравнивающей оболочки, определяемые зависимостями двойного интегрирования (по радиусу теплоуравнивающей оболочки и по длине скважины).

Математическая модель процесса охлаждения горного массива достаточно полно разработана отечественной школой горной теплофизики [8], но расчеты с использованием ее аналитического аппарата весьма трудоемки. Поэтому нами в НГУ, в качестве начального этапа исследований, выполнена разработка алгоритма и программы расчетов охлаждения горного массива по трассе проходки выработки с применением опережающей скважины и поиску удобной для пользования формы хранения полученных результатов расчетов [9]. Одним из основных требований к таким явилась возможность хранения большого объема результатов расчетов и их наглядность для оценки тенденции изменения определяемых в расчете параметров. По результатам анализа многочисленных пробных расчетов нами отдано предпочтение графической форме их представления, обеспечиваемой при использовании аппарата системы MathCAD. Результаты вычислений выдаются компьютером в виде цифровых таблиц и системы графиков. Выдаваемые компьютером таблицы результатов вычислений громоздки, но содержат точную ци-

фровую информацию и позволяют выявить даже незначительное различие анализируемых процессов, во время как система графиков, благодаря наглядности и обобщению, позволяет в течение нескольких секунд выявить тенденции изменения процесса, но вследствие ограниченной точности графического представления результатов может не выбрать лучший вариант при малом различии их величин. Приняв во внимание приведенные выше сведения, приведем анализ результатов выполненных нами расчетов по оценке влияния диаметра скважины на показатели охлаждения горного массива.

Исследования проведем для трех основных типов вмещающих горных пород – песчаника, сланцев и известняка.

Расчетам любых параметров теплообмена потока охлаждающей среды с горным массивом должно предшествовать определение коэффициентов теплообмена стенки горной выработки с охлаждающей средой. В литературе по горной теплофизике могут приводиться ссылки на то, что коэффициент теплоотдачи перехода „стенка–вода“ несравнимо больше такового для перехода „стенка–воздух“ и рекомендации в тепловых расчетах принимать его равным бесконечности. Выполненные в МакНИИ исследования процессов теплопередачи в скважинах с потоком воды показали, что величина коэффициента теплообмена α имеет сравнительно небольшую величину и зависит от температуры воды, скорости ее движения и диаметра скважины. Для расчета величины α предложена эмпирическая зависимость вида

$$\alpha = (1190 + 21,4 \cdot t) \frac{v^{0,8}}{d^{0,2}}, \quad (2)$$

где t , v , d – соответственно, температура воды, скорость ее движения и диаметр скважины. Поскольку приводимые ниже расчеты выполняются с применением системы MathCAD, где может потребоваться представить искомую величину α как функцию температуры, то, с учетом специфики представления математических зависимостей в MathCAD, запишем $\alpha = f(\vartheta)$, где вместо текущей температуры t используем безразмерную относительную температуру, обозначаемую символом ϑ . Величина относительной температуры определяется из приведенного ниже выражения (7).

Ниже приведены представляющие интерес некоторые сведения по методике компьютерных расчетов теплообменных процессов с использованием аналитического аппарата школы А.Н. Щербаня и фрагмент расчета интенсивности отвода тепла горного массива охлаждаемой водой скважиной, опережающей забой подготовительной выработки. При разработке научных основ расчета и регулирования теплового режима горных выработок глубоких шахт принят ряд допущений [10]:

- температура среды, охлаждающей стенки горной выработки, принимается неизменной по времени;
- ввиду незначительного, составляющего сотые доли градуса на метр длины выработки, расчет коэффици-

ента теплообмена в ней 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

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial t}{\partial R} \right); \quad (3)$$

$$t = t_n \text{ при } \tau = 0; \quad (4)$$

$$t \rightarrow t_n \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0; \quad (5)$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial R} - a \cdot (t - t_n) = 0 \text{ при } R = R_0 = \frac{2 \cdot F}{U}. \quad (6)$$

Здесь (3) – дифференциальное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах; (4) – закон начального распределения температур в горном массиве; (5) – условие неограниченности массива в радиальном направлении; (6) – закон теплообмена поверхности выработки с воздушной струей при $t_n = const$;

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, используется безразмерная температура, определяемая выражением

$$g = \frac{t - t_n}{t_n - t_n}. \quad (7)$$

В этом случае дифференциальное уравнение (3) и краевые условия (4–6) принимают вид

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} = a \cdot \left[\frac{\partial^2 g}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial g}{\partial R} \right]; \quad (8)$$

$$g = 1 \text{ при } \tau = 0; \quad (9)$$

$$g \rightarrow 1 \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0; \quad (10)$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial g}{\partial R} - a \cdot g = 0 \text{ при } R = R_0. \quad (11)$$

Для решения дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных применяется метод преобразования Лапласа, основные положения которого изложены в работах по дифференциальным уравнениям в частных производных и руководствах по операционному исчислению.

Сущность метода заключается в приведении дифференциального уравнения в частных производных от R и τ к обыкновенным дифференциальным уравнениям от R путем замены функции $f(\tau)$ ее изображением $T(s)$

$$T(s) = \int_0^{\infty} f(\tau) \cdot e^{-s\tau} d\tau. \quad (12)$$

Показатель степени в (12) 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 производным по R

$$\begin{aligned} [g(R, \tau)] = T_{R,s}; \quad \left[\frac{\partial g(R, \tau)}{\partial R} \right] &= \frac{dT_{R,s}}{dR}; \\ \left[\frac{\partial^2 g(R, \tau)}{\partial R^2} \right] &= \frac{d^2 T_{R,s}}{dR^2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Изображения для значительного числа функций, встречающиеся на практике, приведены в справочной литературе по дифференциальным уравнениям. 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 табличное решение, либо с помощью теоремы разложения, если решение представляет собой отношение полиномов, удовлетворяющее определенным условиям.

Если после выполнения перечисленных выше операций решение не получено, то придется прибегнуть к решению общего для перехода от изображения к оригиналу интеграла

$$g(R, \tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} e^{s\tau} T_{R,s} ds. \quad (14)$$

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

$$a \frac{d^2 T}{dR^2} + a \frac{1}{R} \frac{dT}{dR} - sT + 1 = 0; \quad (15)$$

$$T = \frac{1}{s} \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0 \text{ и при } \tau = 0; \quad (16)$$

$$-\lambda \frac{dT}{dR} + aT = 0 \text{ при } R = R_0. \quad (17)$$

Выражение (17) есть уравнение Бесселя с мнимым аргументом, которое подстановкой

$$T = u + \frac{1}{s}; \quad \frac{s}{a} R^2 = x^2$$

приводится к виду

$$x^2 u'' + xu' - x^2 = 0. \quad (18)$$

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

Применение современных компьютерных систем MathCAD, MathLAB или MAPLE позволит 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 проникнуть в сущность процесса перехода от изображения к оригиналу температурной функции при выполнении тепловых расчетов в горных выработках глубоких шахт отсыла-

ются к работам Р.О. Кузьмина, А.И. Лурье, М.М. Смирнова, В.Я. Арсенина, С. Фарлоу, в которых этот вопрос изложен детально.

Специалистам, желающим получить конкретные результаты инженерных расчетов тепловых процессов

в горных выработках, не вникая в тонкости высшей математики, рекомендуется воспользоваться конечной зависимостью для определения относительной безразмерной температуры стенок горной выработки, приведенной в [8]

$$g_{cm} = \frac{4}{\pi^2 \cdot Bi} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\mu Fo} d\mu}{\mu \left[I_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} I_1(\mu) \right]^2 + \mu \left[Y_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} Y_1(\mu) \right]^2}, \quad (19)$$

где $Fo = \frac{a \cdot \tau}{R_0^2}$ – число гомохронности (Фурье); $Bi = \frac{a \cdot R_0}{\lambda}$

– число граничных условий (Био); $\mu = R_0 \cdot \sqrt{\frac{s}{a}}$; s – переменная интегрирования при замене функции $f(\tau)$ ее изображением $T(s)$ в (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.

В приводимом ниже примере определения выноса тепла водой из охлаждаемой скважины трех диаметров (0,1; 0,2; 0,3 м) опережающей забой подготовительной выработки применена система MathCAD Enterprise Edition. На рис.5 представлена математическая модель, исходные данные и результаты расчета в виде формул и графиков, выдаваемых компьютером [11].

Таблицы цифровых данных расчета для сокращения объема статьи изъяты. Изложение вопросов нормализации тепловых условий горных выработок будет логически незавершенным, если хотя бы кратко не упомянуть возможные методы и средства нормализации тепловых условий действующих горных выработок на глубоких горизонтах. Во всех случаях, когда естественная температура пород горного массива превышает 26°C, будет иметь место приток тепла в горные выработки. Это еще не повод для беспокойства, поскольку проветривающий горную выработку воздух, при соответствии его параметров санитарным нормам, будет охлаждать стенки горной выработки и уносить выделившееся в горные

выработки тепло на дневную поверхность. Выше упоминалось об ограниченной способности воздуха по доставке холода в горные выработки. Казалось бы, что по доставке на дневную поверхность тепла исходящей воздушной струей такие ограничения отсутствуют. Но реально по таким выработкам перемещаются горнорабочие, осуществляется доставка крепи и оборудования, а часто – и транспорт с добытым углем, поэтому даже на выработки вентиляционного горизонта с исходящей струей распространяется требование обеспечить температуру воздуха не более 26°C. Из-за этого приходится принимать во внимание изменение интенсивности выделения тепла в горные выработки с течением времени. При проходке выработки по породам с повышенной температурой быстрому охлаждению окружающих выработку горных пород способствует орошение водой обнаженных стенок породы и стенок горной выработки. Этот путь отвода поступающего в полость горных выработок тепла горного массива практически исключен, поэтому приходится ориентироваться лишь на охлаждающую способность воздуха и ограничивать приток тепла в горные выработки за счет управления тепловым режимом горных выработок, ориентируясь на величину его удельного потока. Средства для снижения величины теплового потока в выработку ограничены и сводятся к созданию теплоуравнивающей оболочки соответствующей толщины и повышению термического сопротивления крепи выработки. Методика таких расчетов, с учетом срока существования горных выработок на глубоких горизонтах, находится в стадии разработки [10,12].

Расчет выноса тепла горного массива из скважин диаметром 0,1; 0,2; 0,3 м

$L := 12$	$\lambda := 2$	$a := 0.00438$	$tp := 40$	$tv1 := 5$	$tv2 := 20$
$d1 := 0.1$	$R1 := 0.45 \cdot d1$	$\alpha1 := 350$	$U1 := \pi \cdot d1 \cdot L$		
$d2 := 0.2$	$R2 := 0.45 \cdot d2$	$\alpha2 := 1200$	$U2 := \pi \cdot d2 \cdot L$		
$d3 := 0.3$	$R3 := 0.45 \cdot d3$	$\alpha3 := 2200$	$U3 := \pi \cdot d3 \cdot L$		
$m1 := \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot \alpha1 \cdot R1}$		$n1 := \frac{\alpha1}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot R1}$		$k1 := 1 + \frac{\lambda}{2 \cdot \alpha1 \cdot R1}$	
$m2 := \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot \alpha2 \cdot R2}$		$n2 := \frac{\alpha2}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot R2}$		$k2 := 1 + \frac{\lambda}{2 \cdot \alpha2 \cdot R2}$	
$m3 := \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot \alpha3 \cdot R3}$		$n3 := \frac{\alpha3}{\lambda} + \frac{1}{2 \cdot R3}$		$k3 := 1 + \frac{\lambda}{2 \cdot \alpha3 \cdot R3}$	

$$f1(\tau) := \frac{(tp - tv1)}{m1} \cdot \left[\left(\frac{\tau}{2 \cdot R1} \right) + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{k1 \cdot \sqrt{a \cdot \pi}} + \frac{\left(\frac{\alpha1}{\lambda} \right) \cdot e^{n1 \cdot a \cdot \tau}}{n1^2 \cdot a} \cdot \operatorname{erfc}(n1 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}) - \frac{\left(\frac{\alpha1}{\lambda} \right)}{n1^2 \cdot a} \right] \cdot U1$$

$$f2(\tau) := \frac{(tp - tv1)}{m2} \cdot \left[\left(\frac{\tau}{2 \cdot R2} \right) + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{k2 \cdot \sqrt{a \cdot \pi}} + \frac{\left(\frac{\alpha2}{\lambda} \right) \cdot e^{n2 \cdot a \cdot \tau}}{n2^2 \cdot a} \cdot \operatorname{erfc}(n2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}) - \frac{\left(\frac{\alpha2}{\lambda} \right)}{n2^2 \cdot a} \right] \cdot U2$$

$$f3(\tau) := \frac{(tp - tv1)}{m3} \cdot \left[\left(\frac{\tau}{2 \cdot R3} \right) + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{k3 \cdot \sqrt{a \cdot \pi}} + \frac{\left(\frac{\alpha3}{\lambda} \right) \cdot e^{n3 \cdot a \cdot \tau}}{n3^2 \cdot a} \cdot \operatorname{erfc}(n3 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}) - \frac{\left(\frac{\alpha3}{\lambda} \right)}{n3^2 \cdot a} \right] \cdot U3$$

$$f4(\tau) := \frac{(tp - tv2)}{m1} \cdot \left[\left(\frac{\tau}{2 \cdot R1} \right) + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{k1 \cdot \sqrt{a \cdot \pi}} + \frac{\left(\frac{\alpha1}{\lambda} \right) \cdot e^{n1 \cdot a \cdot \tau}}{n1^2 \cdot a} \cdot \operatorname{erfc}(n1 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}) - \frac{\left(\frac{\alpha1}{\lambda} \right)}{n1^2 \cdot a} \right] \cdot U1$$

$$f5(\tau) := \frac{(tp - tv2)}{m1} \cdot \left[\left(\frac{\tau}{2 \cdot R2} \right) + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{k1 \cdot \sqrt{a \cdot \pi}} + \frac{\left(\frac{\alpha2}{\lambda} \right) \cdot e^{n2 \cdot a \cdot \tau}}{n1^2 \cdot a} \cdot \operatorname{erfc}(n2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}) - \frac{\left(\frac{\alpha2}{\lambda} \right)}{n2^2 \cdot a} \right] \cdot U2$$

$$f6(\tau) := \frac{(tp - tv2)}{m1} \cdot \left[\left(\frac{\tau}{2 \cdot R3} \right) + \frac{2 \cdot \sqrt{\tau}}{k1 \cdot \sqrt{a \cdot \pi}} + \frac{\left(\frac{\alpha3}{\lambda} \right) \cdot e^{n3 \cdot a \cdot \tau}}{n1^2 \cdot a} \cdot \operatorname{erfc}(n3 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}) - \frac{\left(\frac{\alpha3}{\lambda} \right)}{n3^2 \cdot a} \right] \cdot U3$$

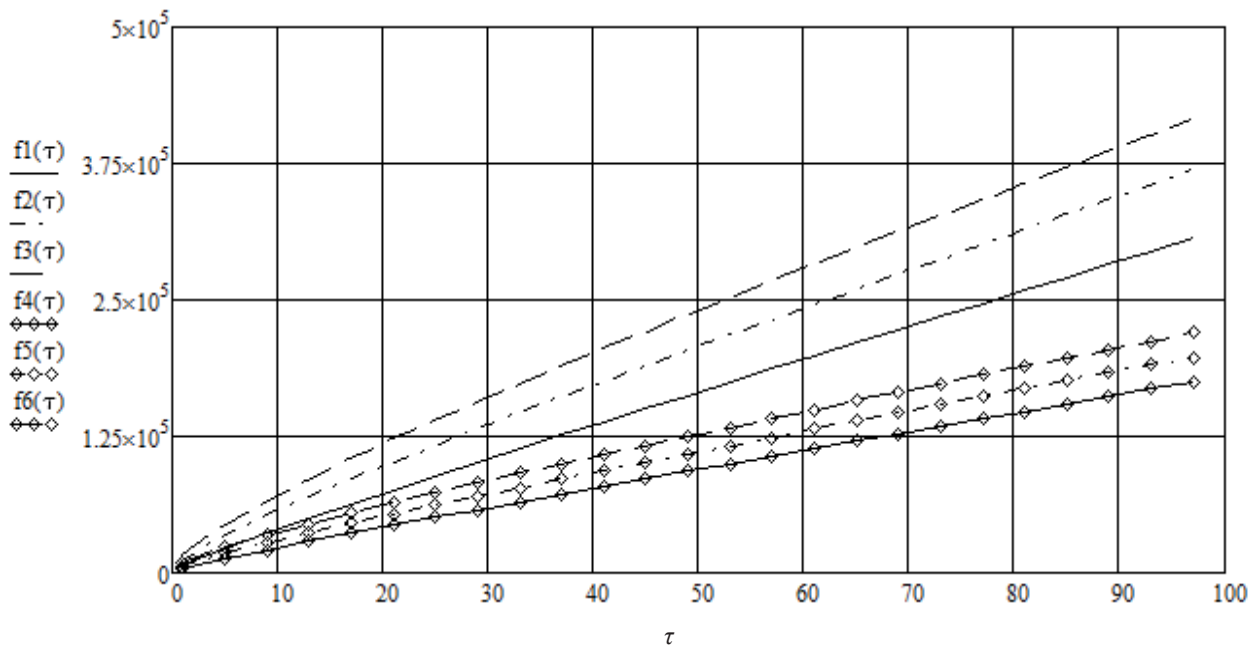


Рис. 5. Математическая модель расчета выноса тепла и результаты расчета тепла из скважины диаметром 0,1; 0,2; 0,3 м за 100 часов

Выводы.

1. Ведение горных работ по вскрытию и подготовке к выемке запасов угля на глубоких горизонтах, где температура горных пород достигает 75°C, невозможно как из-за отсутствия в шахтах Донбасса соответствующей холодильной техники, так и из-за истощения ресурса доставки холода в горные выработки воздухом.

2. Для решения проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких горизонтов в

период их строительства предлагается применять систему нормализации микроклимата, основанную на ускоренном формировании охлажденной оболочки горных пород вокруг проводимых выработок и доставки холода водой.

3. Применение воды в качестве средства доставки холода позволяет, наряду с ускоренным формированием охлажденной оболочки горных пород вокруг выработок, значительно сократить приток тепла в горные выработки

и вынести на-гора извлеченное тепло нагретого горного массива для его последующего использования.

4. Переход на применение воды в качестве основного средства доставки холода в шахту открывает возможность использования холода аммиачных и бромисто-литиевых на дневной поверхности, и альтернативных естественных источников холода зимнего периода, водоемов и водоносных горизонтов для решения проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт.

5. Выполненные в НГУ предварительные расчеты по нормализации микроклимата проводимых на глубоких горизонтах горных выработок показывают, что для начального ускоренного формирования теплоуравнивающих оболочек горных выработок требуется извлечь из горного массива сравнительно небольшую, составляющую 7–10%, содержащегося в них запаса тепла.

6. Рекомендуемые в статье схемные решения и пригодная для инженерных расчетов методика определения тепловых параметров горного массива позволяет в значительной степени ускорить и упростить решение прикладных задач горной теплофизики, в том числе требующих применения сложного аппарата математической физики.

Список литературы / References

1. Voss J. (1981), Neue Forschungsergebnisse auf dem Gebiet "Grubenklima", Gliickauf-Forschungshefte, 42, no.6, pp. 241–249.
2. Бойко В.А. Концепция нормализации тепловых условий горных выработок глубоких шахт Донбасса / В.А. Бойко // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ, 2011. – №36.
3. Бойко В.А. Оценка теплового потенциала горного массива глубокой шахты Донбасса и возможностей типовой схемы нормализации условий труда / В.А. Бойко // Сборник научных трудов Национального горного университета. – Днепропетровск, 2003. – №16. – С. 113–124.
4. Бойко В.А. Способ управляемого извлечения тепла горного массива глубокой шахты Донбасса / В.А. Бойко, О.А. Бойко // Сборник научных трудов НГУ. – Днепропетровск, 2005. – №22. – С. 186–192.
5. Бойко В.А. Энерготехнологические аспекты нормализации микроклимата горных выработок при строительстве и эксплуатации глубоких шахт Донбасса: матеріали міжнародної конференції „Форум гірників-2008“ / В.А. Бойко, А.В. Бойко // НГУ. – Дніпропетровськ, 2008. – С.7–19.

Boyko, V.A. and Boyko, A.V. (2008), "Power technological aspects of normalization of the microclimate mine workings during construction and operation of deep mines", *Proc. of the int. conf. "Forum Gornyakov – 2008"*, National Mining University, Dnepropetrovsk, pp. 7–19.

6. Бойко В.А. Аспекты решения проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт в период их проходки / В.А. Бойко, О.А. Бойко // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ, 2010. – №35. – Т.2. – С.91–111.

Boyko, V.A. and Boyko, O.A. (2010), "Aspects of the solution to the problem of normalization of the thermal conditions in mine workings of deep mines while driving", *Sbornik nauchnykh trudov NGU*, no. 35, pp. 91–111.

7. Бойко В.А. Разработка способа и средств формирования теплозащитной оболочки горных выработок глубокой шахты и оценка влияния ее параметров на теплоприток из горного массива: матер. междунар. конф. "Форум горняков-2009" / В.А. Бойко, О.А. Бойко – Днепропетровск : РВК НГУ, 2009. С.57–73.

Boyko, V.A. and Boyko, O.A. (2009), "Development of the method and means of heat protective shell creation in deep mines and estimation of influence of its parameters on the heat flow from the rock mass", *Proc. of the int. conf. "Forum Gornyakov – 2009"*, National Mining University, Dnepropetrovsk, RVK NGU, pp. 57–73.

8. Щербань А.Н. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт / Щербань А.Н., Кремнев О.А. – К.:Издат. АН УССР, 1960 – Т. 1, 2. – 778 с.

Shcherban, A.N. and Kremnev, O.A. (1960), *Nauchnye osnovy rascheta i regulirovaniya teplovogo rezhima glubokhkh shakht* [Scientific Basis of Calculating and Regulating of the Thermal Regime of Deep Mines], USSR Academy of Sciences, Kiev, Vol. 1, 2.

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

Boyko, V.A. and Boyko, O.A. (2010), "Analytical evaluation of the degree of rock massif cooling in deep mine by means of borehole preceding the face of the development heading", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 11–12, pp. 106–113.

10. Бойко В.А. Структура и математическая модель системы охлаждения горного массива глубокой шахты / В.А.Бойко // Науковий вісник НГУ. – 2004. – № 9. – С. 63–69.

Boyko, V.A. (2004), "The structure and mathematical model of the cooling system of the rock mass deep mine", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 9, pp. 63–69.

11. Бойко О.А. Параметры притока тепла горного массива в выработки глубоких шахт Донбасса и необходимой подачи холода для нормализации микроклимата в них / О.А. Бойко, В.А. Бойко // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2011. – №6. – С.111–121.

Boyko, V.A. and Boyko, O.A. (2011), "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", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no. 6, pp. 111–121.

12. Пивняк Г.Г. Научные и прикладные аспекты решения проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса / Г.Г. Пивняк, В.А. Бойко // Горный журнал. – 2012. – №8. – С.15–18.

Pivnyak, G.G., Boyko, V.A. (2012), "Scientific and practical aspects of solving the problem of normalization of the thermal conditions in mine workings of deep mines of Donbass", *Gornyi Zhurnal*, no. 8, pp. 15–18.

На основі аналізу можливих шляхів поліпшення мікроклімату гірничих виробок глибоких шахт Донбасу встановлено, що використовувані на глибоких шахтах схеми та способи нормалізації теплових умов гірничих виробок за рахунок подачі охолодженого повітря в мережу гірничих виробок вичерпали притаманні їм резерви подачі холоду та не можуть забезпечити нормовані теплові умови праці гірників на глибинах більш як 1300 м. Забезпечення необхідних темпів проведення виробок, видалення величезних запасів тепла порід гірського масиву, що оточує гірничі виробки, вимагає передати воді основну функцію доставки холоду та виносу тепла гірського масиву. Запропоновані схеми й засоби попереднього та суміщеного з проведенням гірничих виробок способів охолодження масиву гірських порід і прискореного формування тепловирівнюючих оболонок навколо виробок як засобу зменшення притоку тепла у простір гірничих виробок, наведене їх розрахункове обґрунтування. Показано, що програма нормалізації теп-

лових умов у гірничих виробках глибоких горизонтів повинна вирішуватись як складова частина створення шахти-енергокомплексу, що поряд з видобутком вугілля забезпечує витяг і використання тепла надр Землі.

Ключові слова: охолодження гірського масиву, способи й схеми, глибокі горизонти, засоби транспортування холоду

Based on the analysis of possible ways of improvement of the microclimate of mine tunnels in deep mines of Donets basin we have found that the plans and tools applied for the normalization of the thermal conditions in mine workings through cold air supply have exhausted their capacity and are not able to provide normal thermal conditions for miners at the depths exceeding 1,300 m. The required high progress rate and the necessity to remove great heat flow from the rocks surrounding the mine workings force us to assign the basic function of the delivery of cold and heat removal to the water. The schemes and methods of the preliminary cooling and the cooling combined with drivage, and the methods of accelerated formation of thermalequalizing shells around the workings have been developed as means of reduction of heat flow into the tunnels; their design-basis has been justified. It is shown that the program of the thermal conditions normalization at deep levels of mines should be addressed as a part of the problem of creation of a mine of the future that provides extraction and utilizing of heat of the Earth's interior together with mining of coal.

Keywords: cooling of rock massif, methods and means, deep horizons, means of cold delivery

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Голіньком. Дата надходження рукопису 26.04.14.