

АСПЕКТЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА В ПЕРИОД ИХ ПРОХОДКИ

Виконано оцінку теплових умов гірничих виробок глибоких шахт Донбасу і вказано причини їх погіршення. Викладено нову концепцію вирішення проблеми нормалізації мікроклімату гірничих виробок глибоких, наведено результати попередніх теплових розрахунків, що ґрунтуються на використанні рівнянь математичної фізики. Основну увагу приділено розрахункам охолодження для схеми зі свердловиною, що випереджає вибір підготовчої виробки.

Проведена оценка тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса и указаны причины их ухудшения. Изложена новая концепция решения проблемы нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт, приведены результаты предварительных тепловых расчетов, базирующиеся на использовании уравнений математической физики. Основное внимание уделено расчетам охлаждения для схемы со скважиной, опережающей забой подготовительной выработки

The estimation of the thermal conditions in the mine workings in deep mines of Donbass and the reasons for their deterioration. Presented a new concept of solving the problem of normalization of the microclimate of mine workings in deep mines and the results of preliminary thermal calculations, based on the equations of mathematical physics. Emphasis is placed on the calculations for the cooling circuit from the bore hole, production advanced slaughtering preparations.

Переживаемый мировым сообществом экономический кризис еще раз подтвердил, что для страны с устаревшими энергоемкими технологиями производства, какой является Украина, главным препятствием на пути роста национального валового продукта и улучшения материального благосостояния населения страны является отсутствие необходимого количества энергоносителей. Украина оказалась крупным должником Международного валютного фонда и продолжает занимать валюту, основная часть которой уходит на оплату приобретаемого природного газа, угля и нефти. Попытки сократить потребление природного газа привели к несомненным успехам, ибо объем потребления его по сравнению с советскими временами сократился практически наполовину, тем не менее финансовая ситуация не претерпела существенных изменений из-за значительного роста цены газа. Крупных работ по разведке и развитию добычи природного газа Украина не производит, вследствие чего за последние годы объем добычи природного газа на территории страны сократился почти на 3 млрд. кубометров в год и покрывает даже при существенно урезанном потреблении газа промышленностью лишь около 20% потребности народного хозяйства. Основная масса потребляемой страной нефти практически полностью покупная, что не вызывает удивления, поскольку на момент приобретения независимости разведанные запасы нефти на ее территории составляли лишь 230 млн. тонн, а годовое потребление с учетом переработки нефти на экспорт достигало

38 млн. тонн. Самые существенные изменения в динамике энергоносителей в стране произошли с углем. Если в начале 70-х прошлого столетия Донбасс достиг рекордного уровня добычи угля в 218 млн. тонн, то уже к моменту приобретения независимости он упал до 174 млн. тонн, а за последовавшие 19 лет снизился до 70 млн. тонн. Потребление угля промышленностью страны при этом не претерпело существенных изменений, поскольку производство чугуна, стали и проката, являющихся основными статьями экспорта Украины, не сократилось. Это привело к тому, что Украина вынуждена покупать уголь за рубежом - у Польши, России, Германии. Прошедший год ознаменовался чрезвычайным событием: Украина в лице СКМ стала собственником угольного объединения с годовой добычей угля 7 млн. тонн на территории США. Парадоксальным фактом такого события является наличие разведанных еще полстолетия назад запасов угля в Донбассе более 100 млрд. тонн, достаточных для того, чтобы полностью обеспечить потребности Украины в энергоносителях на ближайшие 5 столетий. Следует, однако, заметить, что проблема добычи угля в Донбассе за годы независимости страны существенно осложнилась. Развал СССР привел к тому, что заводы горного машиностроения Украины оказались неспособными обеспечить производство техники, необходимой для нормальной работы шахт, шахтный фонд значительно устарел, горные работы ушли на значительную глубину, что сопровождалось ростом температуры горных пород. В то же время произошло разграбление доставшихся в наследство от СССР систем центрального кондиционирования шахт: на момент обретения независимости таких систем действовало 57, а в настоящее время осталось лишь 2 - на шахте им. А. А. Скочинского и на шахте им. А. Ф. Засядько. В итоге на ряде глубоких шахт Донбасса температура горных пород достигла 45°C , что практически исключило возможность ведения горных работ в них. В Германии такая температура горных пород имеет место на глубине 1300 м, но нормализацию тепловых условий на глубоких горизонтах обеспечивают мощные холодильные установки, обеспечивающие подачу в шахту 8-10 млн. Вт холода. Украина такой холодильной техники не производит и из-за отсутствия валюты не имеет возможности приобрести ее за рубежом.

Следует упомянуть еще один существенный путь решения проблемы энергоносителей – использование атомной энергетики. Украина обладает достаточными разведанными запасами урановых руд на территории Днепропетровской и Кировоградской областей и могла бы существенно увеличить производство электроэнергии на атомных электростанциях. Но для этого необходимо построить новые АЭС или добавить блоки на действующих и обеспечить их теплообразующими элементами. Урансодержащую и циркониевую руду Украина добывает, производит циркониевый прокат и первичную обработку окисленных урановых руд, но все это передается России, которая осуществляет производство ТВЭЛов для нужд собственных АЭС и для поставки в Украину. Отсутствие собственных хранилищ отработанных ТВЭЛов и предприятия по их производству ведет к сильному удорожанию производства электроэнергии на АЭС Ук-

раины, но пока в обозримом будущем производство оборудования для строительства АЭС и ТВЭЛов для действующих реакторов не предусматривается.

В сложившихся условиях проблема обеспечения Украины энергоносителями на современном этапе может решаться за счет существенного увеличения добычи угля, перевода на уголь всех действующих электростанций, строительства теплоцентралей, освоения энерготехнологических технологий переработки угля для получения горючих газов и синтетического топлива для двигателей внутреннего сгорания. Для этого нужно строить новые шахты и вести добычу угля на более глубоких горизонтах. Понятно, что в условиях развала экономики страны при современном состоянии угольной промышленности и технологии ведения горных работ задача обеспечения приемлемых условий для ведения горных работ на глубоких горизонтах существующих шахт чрезвычайно усложнилась, а проблема строительства и эксплуатации глубоких шахт представляется трудно решаемой, энергоемкой и экономически нецелесообразной. Надо полагать, здесь кроются истоки предпринимаемых правительством новых шагов по дальнейшему сокращению числа шахт в государственной собственности и выставление на приватизацию очередных 29 шахт Донбасса. С традиционно установившейся точки зрения на шахту как на предприятие, обеспечивающее добычу угля, такое решение вполне оправдано. Действительно, существенно изменившиеся с ростом глубины ведения работ горно-геологические условия привели к значительному возрастанию расхода электроэнергии на вентиляцию, водоотлив, подъем и транспорт, а возросшее горное давление привело к удорожанию поддержания горных выработок. Фактор роста температуры горных пород и тепловыделений в горные выработки рассматривается как вредный, ухудшающий условия труда, снижающий его производительность и расточительный по расходам на вентиляцию и кондиционирование воздуха для обеспечения нормируемых санитарными нормами и Правилами безопасности в угольных шахтах параметров рудничного микроклимата. Находиться в условиях высоких температур воздуха и интенсивного инфракрасного излучения и вести работы по добыче угля человек не может, способной заменить шахтера робототехники в обозримом будущем на Украине не будет создано, а без добычи угля невозможно получить энергоносители для электростанций, котельных, сырье для коксохимии и топливо для населения. Это вынуждает искать приемлемые пути решения проблемы добычи угля на больших глубинах. Одним из таких путей является использование тепла горного массива на больших глубинах. Но для этого необходимо рассматривать шахту как энергетический комплекс и соответственно изменить технологию ведения работ по извлечению энергии.

Общеизвестно, что в недрах Земли постоянно идут термоядерные процессы, в результате которых выделяется огромное количество тепла. Б. Гутенберг [1] оценивает энергию постоянно излучаемого в космос теплового потока Земли величиной в $8 \cdot 10^{20}$ Дж/год, эквивалентной тепловой энергии от сжигания 19 млрд. тонн нефти. Из-за наличия теплового потока из недр Земли температура горных пород твердой оболочки Земли (литосферы) возрастает с глубиной.

Слагающие литосферу горные породы неодинаковы по минеральному составу, но имеют температуру плавления порядка 1300°C , поэтому полагают, что толщина твердой оболочки значительной части Земли составляет около 50 километров. Разведанные в Донбассе запасы угля залегают на глубинах до 1800 м, а измеренная при разведочном бурении температура горных пород на такой глубине достигает 75°C . Шахтное поле современной угольной шахты имеет размеры длиной до 5000 м в (горный термин - «по постиранию») и шириной порядка 2500 м («по падению»). Площадь горного отвода такой шахты составляет около 12 квадратных километров. Объем горных пород в пределах горного отвода составляет порядка 14 млрд. м^3 , а запас содержащегося в нем избыточного сверх температуры $+26^{\circ}\text{C}$ тепла 172 трлн. ккал. Для получения такого количества тепла необходимо сжечь около 25 млн тонн условного топлива. На крупной шахте в зимнее время проветривающий шахту воздух за сутки воздух выносит из горных выработок на дневную поверхность до 900 млн ккал тепла. Огромное количество тепла поглощает испаряющаяся шахтная вода. Объем воды, испаряющейся за сутки в горных выработках крупной шахты, составляет до 800-900 кубометров, а количество вынесенного ею на дневную поверхность тепла достигает 400 млн. ккал. Внушительные по величине количества тепла, выносимые из шахты проветривающим горные выработки воздухом, дают некоторое представление об интенсивности охлаждения горного массива и количестве бесполезно выбрасываемого в окружающую среду тепла. Выбрасываемые в атмосферу на дневной поверхности суточные объемы прошедшего через сеть горных выработок воздуха достигают на крупной газовой шахте 70-80 млн. кубометров, но содержащееся в них тепло нигде не используется из-за низкого температурного потенциала и отсутствия доступной техники и технологии извлечения тепла из такой огромной массы воздуха. Совершенно иная картина имеет место, если шахтное тепло выносится на-гора водой. Во-первых, объемная теплоемкость воды превышает таковую для воздуха в почти в 4000 раз. Во-вторых, температурный потенциал выдаваемой из шахты воды может быть значительно больше такового для воздуха ибо вода может выдаваться по теплоизолированным трубопроводам и не оказывать влияния на находящихся в шахте горнорабочих, в то время как температура воздуха ограничена требованием их пребывания и работы в воздушной среде. Исходя из требований санитарных норм, даже в зимнее время, когда температура воздуха на дневной поверхности опускается до -35°C , максимальный прирост температуры воздуха за счет его нагрева в глубокой шахте не может превышать $8-12^{\circ}\text{C}$, поскольку из условий предотвращения аварий подъемных установок из-за обмерзания проводников и расстрелов подаваемый в шахту воздух должен быть подогрет калориферной установкой до температуры не ниже $+2^{\circ}\text{C}$. Опускание воздуха до околоствольного двора действующего горизонта даже при идеальной теплоизоляции стенок воздухоподающего ствола приводит к его нагреву из-за адиабатического сжатия на 1°C на каждые 100 м прироста глубины.

Следовательно, температура поступающего для проветривания горных работ шахты свежего воздуха на глубине 1400 м уже может достичь 16°C и до

допустимых санитарными нормами и Правилами безопасности в угольных шахтах 26°C во всех выработках, где находятся горнорабочие, остается всего 10°C . В то же время контактирующая со стенками горных выработок вода будет иметь температуру лишь на $1-2^{\circ}\text{C}$ меньше, чем температура горных пород, и для глубины 1400м прирост температуры воды, подаваемой с температурой $+2^{\circ}\text{C}$, может составить $40-42^{\circ}\text{C}$, то есть по эффективности выноса тепла горного массива кубометр воды заменит минимум 16000 кубометров воздуха. На предельных глубинах разработки угольных пластов Донбасса температура охлаждавшей горный массив воды может достигать 70°C , что соответствует по эффективности тепловыноса минимум 28000 кубометрам подаваемого в шахту воздуха в зимнее время. Попутно заметим, что нагретая до температуры $+60^{\circ}\text{C}$ вода является теплоносителем отопительных систем зданий и сооружений, то есть выносимое из шахты тепло может быть использовано для инфраструктуры на дневной поверхности, обогрева теплиц и парников, а при применении системы теплового насоса - и для целей перегрева воды, получения пара и производства электроэнергии. Приведенные применительно к выносу тепла водой параметры полностью сохраняются при доставке холода в горные выработки и имеют неоспоримое преимущество, заключающееся в том, что вода является практически несжимаемой средой и поэтому не подвержена нагреву из-за адиабатического сжатия, хотя прирост гидростатического давления для глубины ведения горных работ 1600-1700 м составит 17-18 МПа. Если к этому добавить обеспечиваемое участием воды в процессе теплообмена повышение коэффициента теплоотдачи, превышающее на 1-2 порядка таковой для воздуха при орошении стенок горных выработок и на 2-3 порядка при омывании их водой, то преимущества применения воды в качестве тепло- и холодоносителя при нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт оказываются неоспоримыми [2]. Отрицательным фактором при использовании воды в качестве переносчика тепла и холода является наличие высокого давления в трубопроводах. Применение разомкнутой схемы подачи воды на глубокие горизонты требует применения насосов высокого давления и сопряжено с большим расходом энергии. Использование замкнутой системы циркуляции воды для подачи холода в шахту и выноса тепла на дневную поверхность требует применения дополнительных устройств - вспомогательных теплообменников, что в значительной степени снижает энергопотребление, но не снимает требований применения трубопровода высокого давления.

Приведенные выше сведения, относящиеся к системе извлечения тепла горного массива и доставки холода в шахту, должны приниматься во внимание при решении проблемы добычи угля на больших глубинах. При проведении научного поиска и научно-исследовательских работ необходимо учитывать следующие моменты:

- существующая технология и техника создания нормальных тепловых условий в глубоких шахтах за счет применения системы охлаждения воздуха и выноса тепла горного массива проветривающим горные выработки воздухом

уже практически исчерпала свои возможности и становится экономически нецелесообразной;

- удаляемое из шахты рудничным воздухом тепло практически невозможно извлечь на выходе из шахты из-за огромного расхода воздуха на проветривание шахты и низкого его температурного потенциала;

- основные функции доставки холода в горные выработки шахты и выноса тепла горного массива из шахты должны быть переданы воде, объемная теплоемкость которой в 4000 раз выше таковой для воздуха;

- большая глубина шахт при применении разомкнутых систем подачи охлажденной и нагретой воды повлечет большие расходы электроэнергии на ее циркуляцию, поэтому система должна быть замкнутой объединенной, выполняющей обе функции;

- выносимое нагретой в шахте водой тепло должно быть использовано как источник энергии для нужд инфраструктуры и производства холода, подаваемого в шахту.

Принимая во внимание приведенные выше моменты, следует ориентироваться на создание системы нормализации тепловых условий в горных выработках, использующей в качестве холодо- и теплоносителя один и тот же поток воды, доставляющий в шахту холод, полученный от работающей на дневной поверхности холодильной установки (а в холодный период года - естественный холод) и выносящий на дневную поверхность тепло горного массива. Требование экономичности транспортирования тепла и холода диктует необходимость применения высокопрочного U-образного трубопровода, снабженного на горизонте действующего околоствольного двора двумя водяными теплообменниками: на входе свежей струи - теплообменником съема холода и на выходе исходящей - теплообменником передачи тепла циркулирующему в трубопроводе потоку воды. Такая схема исключает необходимость применения насосов высокого давления и обеспечивает движение потока воды в трубопроводе лишь за счет работы небольшого насоса на входе в трубопровод на дневной поверхности, создающего перепад давления, достаточный для преодоления сопротивления трения воды о стенки трубопровода. Понятно, что на дневной поверхности с трубопроводом подачи воды должны быть сопряжены два комплекса - комплекс приема горячей воды и использования вынесенного из шахты тепла и комплекс охлаждения воды и подачи ее в трубопровод. Поскольку оба эти комплекса располагаются на дневной поверхности шахты, где поток воды разомкнут и открыт, то основные требования к их оборудованию будут заключаться в обеспечении качественной термоизоляции для исключения потерь тепла и холода соответственно.

Предлагаемая схема холодоснабжения шахты снимает требования применения специальных холодильных машин и может быть реализована на производимых в Украине мощных холодильных машинах общепромышленного применения, предназначенных для предприятий химической, пищевой и других отраслей промышленности. Понятно, что монтируемый в стволах шахты тру-

бопровод подачи тепла и холода наряду с высокой прочностью должен иметь качественную термоизоляцию.

Подземная часть системы нормализации тепловых условий в горных выработках глубокой шахты должна обеспечить охлаждение воздуха в горных выработках до требуемых Правилами безопасности в угольных шахтах норм. Для выполнения этой функции требуется обеспечить вынос тепла, выделяющегося из окружающих горные выработки нагретых горных пород, образующегося при технологических процессах добычи угля и за счет окислительных процессов, а также за счет адиабатического процесса сжатия поступающего в шахту воздуха. Общепринятая в мировой практике добычи угля в глубоких шахтах система нормализации тепловых условий в горных выработках эти функции возлагает на охлажденный воздух, проветривающий сеть горных выработок. Для глубоких газовых шахт количество воздуха, подаваемого в горные выработки из условия обеспечения нормируемого безопасного содержания метана в горных выработках, огромно, но недостаточно для создания требуемых параметров микроклимата. Расчеты показывают, что даже при применении блочной системы подготовки шахтного поля с наличием в каждом блоке стволов диаметром 8 м для свежей и исходящей струй при подаче охлажденного до $+2^{\circ}\text{C}$ воздуха при предельно допустимой скорости движения воздуха 8 м/с для выноса на-гора избыточного сверх температуры $+26^{\circ}\text{C}$ тепла горного массива при предельной глубине отработки разведанных угольных пластов 1750 м потребуются проветривать горные выработки на протяжении периода 270 лет. Нерационально исключить функции отвода тепла горнорабочего за счет кондуктивного и конвективного теплообмена с воздухом и доставки холода в рабочее пространство горных выработок, частичное охлаждение горного массива и вынос тепла на дневную поверхность. Но подача воздуха должна решать лишь часть общей задачи теплообмена, охлаждения горного массива и выноса тепла, то есть ее функция должна быть вспомогательной в пределах подаваемого в шахту количества воздуха, необходимого по газовому фактору.

Огромные поверхности горных выработок глубоких шахт создают дополнительные трудности и повышают стоимость нормализации тепловых условий в горных выработках. Если бы поверхность этих выработок имела температуру ниже нормируемой для обеспечения приемлемых условий труда шахтеров, то, во-первых, существенно сократился бы приток тепла из горного массива в объем горных выработок, во вторых, значительно уменьшилась интенсивность инфракрасного облучения горнорабочих. Выработки имеют форму, приближающуюся к цилиндрической, при расчетах интенсивности инфракрасного облучения выработку любой формы пересчитывают в эквивалент цилиндра. А интенсивность облучения подсчитывают по формуле Стефана-Больцмана. Расчетная поверхность шахтера принимается равной 1.6 кв. метра, угловой коэффициент облучения и степень черноты - равными единице. В условиях, когда температура стенок горных выработок равна максимальной нормируемой §621 Правил безопасности в угольных шахтах температуре воздуха ($+26^{\circ}\text{C}$) оказывается, что шахтер сам является источником инфракрасного излучения и излу-

чает в окружающее его пространство тепловой поток мощностью около 100 Вт. Но свежевскрытые горные породы и угольные пласты имеют температуру, близкую к естественной температуре горного массива на данной глубине, и, если она превышает температуру тела человека, то он становится объектом облучения. Расчеты показывают, что в шахте Донбасса на глубине 1700 м естественная температура горных пород достигает 70°C , а интенсивность облучения - губительной для человека величины 400 Вт. Поэтому наряду со снижением температуры воздуха до нормируемой величины необходимо решать вопрос с защитой шахтеров от теплового облучения, а эта проблема обычной вентиляцией выработок даже переохлажденным воздухом не решается, поскольку процесс охлаждения горного массива является медленно текущим и длительным. Поэтому при добыче полезных ископаемых на больших глубинах шахтным способом наряду с решением проблемы снижения температуры воздуха потребуются решать задачу защиты горняков от инфракрасной радиации. Опыт ФРГ показывает, что даже наличие выпускаемой в стране современной мощной холодильной техники не решает проблемы создания приемлемого микроклимата, поэтому нормативными документами ФРГ регламентированы повышенные по сравнению с действующими в шахтах Украины допустимые температуры, но оговорена влажность воздуха, скорость его движения и длительность пребывания шахтеров в такой зоне. В Украине по образцу и подобию действующих в ФРГ санитарных норм на допустимые температуры в горных выработках еще в 2002 году приняты «Державні санітарні правила та норми. Підприємства вугільної промисловості. ДСПЗ.3.1.095-2002», допускающие такие же максимальные нормы температуры (до 32°C), но нормируемая §621 Правил безопасности в угольных шахтах температура воздуха пока не изменена. Справедливости ради укажем, что в большинстве горных выработок глубоких шахт даже допускаемая санитарными нормами температура превышена. Кондиционирование воздуха в шахтах является дорогостоящим процессом поскольку не только требуются большие затраты на приобретение холодильной техники, но и огромные расходы электроэнергии на получение холода. Не афишируемые широко в технической литературе сведения сообщают, в 2009 шахты ФРГ получили из фонда государства 69 миллионов евро дотацию на оплату электроэнергии. Этот факт свидетельствует о том, что стоимость кондиционирования в глубоких шахтах даже рачительным немцам при грамотной эксплуатации современной холодильной техники обходится недешево. Кстати, объем добычи каменного угля в ФРГ в настоящее время такой же, как и в Украине, каменный уголь им нужен для коксохимии и экспорта, потребности энергетики в энергоносителях удовлетворяются за счет добычи бурого угля, а имеющиеся в стране мощности предприятий по его добыче способны выдавать до 300 млн. тонн в год.

Опыт работ по добыче полезных ископаемых на больших глубинах в других странах также не дает надежд на возможность его заимствования и использования на глубоких шахтах Донбасса. ЮАР ведет горные работы на глубинах, достигающих 3800м. В Донбассе на такой глубине естественная температура достигла бы $110-115^{\circ}\text{C}$. В ЮАР в таких глубоких рудниках ведется добыча зо-

лота, но теплофизические параметры горных пород сходны с таковыми на рудниках Кривбасса, где геотермическая ступень составляет 90 и более метров на $^{\circ}\text{C}$ (в Донбассе она равна 32-35 м/ $^{\circ}\text{C}$). Выход из положения в ЮАР находят следующим образом: будущие шахтеры – привычные к жаре африканцы, перед допуском к работе в руднике проходят 45–дневный курс адаптации к выполнению производственных операций при постепенно возрастающей температуре. На рудниках имеется мощная английская холодильная техника, но практикуется нормализация тепловых условий не во всех горных выработках рудника, а в специально оборудованных камерах, куда горняки приходят для релаксации через каждый час работы. Понятно, что объем горных работ по добыче золота и численность горнорабочих не сравнимы с таковыми по добыче угля на шахтах Донбасса.

Плановые научно-исследовательские работы по проблеме шахты будущего в Украине практически не ведутся по той простой причине, что новые владельцы шахт преследуют цель извлечь максимальную прибыль из пока действующих шахт и нашли возможность не только не финансировать развитие угольной промышленности, но и получать из госбюджета около 7 миллиардов гривен в год на модернизацию (фактически - на поддержание в рабочем состоянии) взятых ими у государства в аренду шахт. Государство не занимается проблемой возрождения угольной промышленности как из-за финансовых трудностей, так и из-за непрекращающихся войн по переделу власти и отсутствия квалифицированного руководства отраслью. Тем не менее, в порядке личной инициативы в некоторых вузах и научно-исследовательских организациях страны ведутся поисковые работы по обеспечению выживания угольной промышленности, одним из направлений которого является разработка способа и средств обеспечения добычи угля в глубоких шахтах. Поэтому проведение практических работ по нормализации микроклимата глубоких шахт имеет под собой некоторый научный задел, оставленный школой академика А. Н. Щербаня, и разработок немногочисленных продолжателей этого научного направления.

К настоящему времени достаточно четко определились основные положения предлагаемой НГУ концепции проведения научно-прикладных работ по решению проблемы обеспечения нормальных тепловых условий труда в горных выработках глубоких шахт Донбасса [3].

Сущность концепции сводится к следующему:

1. Обеспечить нормальные тепловые условия труда в горных выработках глубоких шахт Донбасса только за счет применения эффективной вентиляции и типовых систем кондиционирования воздуха в шахтах не представляется возможным.

2. Эффективная вентиляция и система нормализации тепловых условий в горных выработках должны дополнить мероприятия по организованному отводу тепла массива горных пород в пределах шахтного отвода.

3. Заблаговременно снизить температуру горного массива можно несколькими способами:

-охлаждением горного массива шахты в целом или отдельного ее блока с помощью сети горных выработок подсечного горизонта, расположенного ниже предельной глубины разработки угольных пластов [4].

- орошением груди забоя и призабойного пространства проводимой выработки;

- охлаждением горных пород по трассе проведения горной выработки с помощью серии опережающих ее параллельных скважин, буримых из специальной камеры;

- охлаждением горных пород по периметру проводимой выработки при выбуривании горных пород и выносе тепла буровой пульпой;

- охлаждением горного массива по трассе выработки за счет опережающей подготовительный забой скважины.

4. Обеспечение нормальных условий труда в призабойной зоне проводимой горной выработки может быть обеспечено применением радиационного кондиционера, защищающего находящихся под ним горнорабочих от потока инфракрасного излучения нагретых горных пород.

5. Мероприятия по нормализации тепловых условий труда на глубоких горизонтах шахт Донбасса должны обеспечить сокращение нагрева движущегося по горным выработкам воздуха за счет его предварительного тепло-влажностного насыщения.

6. Сокращение поступления тепла горного массива в горные выработки глубокой шахты должно быть обеспечено созданием теплоуравняющей рубашки расчетной величины, служащей термическим сопротивлением на пути теплового потока в горную выработку;

7. Холодоподача с проветривающим горные выработки воздухом должна компенсировать нагрев воздуха за счет окислительных процессов, тепловыделений от работающих машин и механизмов и поступления тепла горного массива через теплоуравняющую рубашку горной выработки по пути движения воздушного потока.

8. Снабжение холодом сети подземных выработок глубокой шахты должно осуществляться расположенной на дневной поверхности системой его получения и осуществляться водой, подаваемой по замкнутому теплоизолированному трубопроводу на уровень околоствольного двора действующего горизонта.

9. Замкнутый трубопровод подачи тепла в шахту и выноса тепла на дневную поверхность должен быть высоконапорным, рассчитанным на гидростатическое давление столба воды, равного максимальной глубине залегания отрабатываемых пластов, теплоизолированным и снабженным теплообменниками на холодоподающей и тепловыдающей ветвях. Холодоподающая ветвь должна располагаться в клетьевом воздухоподающем стволе, тепловыдающая - в скиповом стволе на исходящей струе.

10. Расположенная вблизи стволов система производства холода и утилизации тепла должны быть спроектированы с учетом возможности использова-

ния естественного холода в зимнее время, сезонного сохранения тепла и при необходимости - устройствами повышения температурного потенциала воды.

Предложения по нормализации тепловых условий за счет соответствующего порядка отработки угольных пластов, расширенного применения энергии сжатого воздуха, сокращения теплопритока из горного массива в выработки за счет применения теплоизоляции стенок выработок твердой пеной и воздушнонаполненными оболочками не встречают возражения поскольку уже известны и апробированы.

Содержащиеся в концепции положения в значительной степени базируются на результатах исследований школы А. Н. Щербаня [5], на отечественном и зарубежном опыте работ по нормализации тепловых условий в горных выработках шахт и результатах поисковых научно-исследовательских работ, выполненных в НГУ [4,6].

Впервые натурные инструментальные исследования параметров теплоуравнивающих оболочек, формирующихся вокруг горных выработок, выполнены школой А. Н.Щербаня в 60-е годы прошедшего столетия на шахте «Комсомолец» и дали отнюдь не радующие перспективой результаты. Оказалось, что толщина теплоуравнивающей рубашки (ТР-как ее называли исследователи) при охлаждении стенок выработки проветривающим ее воздухом увеличится на 10-15 метров лишь спустя минимум десять лет. Понятно, что при таких сроках формирования ТР никаких проектов по их использованию не возникло, тем не менее в монографии [5] приведены аналитические выкладки по оценке влияния ТР на сезонные колебания температуры воздуха в горных выработках шахты. По-видимому, большой срок формирования ТР вынудил ученых школы А. Н. Щербаня и МакНИИ при разработке «Единой методики прогнозирования температурных условий в угольных шахтах» учесть постепенно происходящие изменения параметров горного массива вокруг выработок разбивкой расчетного периода на срок до года, от года до 10 лет и более 10 лет и предложить для этих периодов соответствующие расчетные зависимости.

Перспектива использования ТР при решении проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт в то время не вызвала большого интереса по нескольким причинам, к числу которых относятся длительный период их формирования при доставке холода потоком проветривающего горные выработки воздухом, сравнительно небольшой перепад температур горного массива и воздуха на глубине ведения работ и малая стоимость электроэнергии, поставляемой шахтам по двухставочному тарифу. Попутно заметим, что в то время Украину как и всю мировую общественность еще не беспокоил призрак энергетического голода и дефицита энергоносителей и не стоял на повестке дня поиск альтернативных источников энергии. За прошедшие пять десятилетий ситуация в корне изменилась, исчерпание запасов природного газа и нефти сделало проблему энергоносителей условием благополучия и выживания многих государств, а пока не оправдавшиеся надежды на получение ядерной энергии водородного синтеза заставляют разрабатывать и применять новые энергосберегающие технологии. Украина, к сожалению, не входит в число та-

ких стран и стоит перед перспективой дальнейшего развала экономики и ухудшения благосостояния населения страны, если не решит проблемы энергоносителей. А решать эту проблему придется по образцу Франции за счет расширения производства электроэнергии на АЭС и за счет добычи угля, запасами которого природа снабдила Украину на добрых пять столетий, но спрятала на большой глубине.

Решение проблемы добычи угля в глубоких шахтах Донбасса стало вопросом ее технического престижа, условием сохранения металлургической промышленности как источника получения валюты на международном рынке, решения социальной проблемы обеспечения работой значительной части населения Донбасса и - в конечном итоге - гарантией обеспечения независимости страны от внешнего экономического и политического давления. Угольная промышленность в настоящем ее состоянии решить эту проблему не может. Чем скорее руководство страны это поймет и примет соответствующие меры, тем с меньшими потерями будут достигнуты успехи в восстановлении не только угольной промышленности, но и всего промышленного комплекса страны.

При решении задачи нормализации тепловых условий в горных выработках при любом способе подачи холода в шахту необходимо знать требуемые размеры выделений тепла в объем горных выработок. Не существует двух одинаковых по горно-техническим условиям шахт, поэтому проект кондиционирования воздуха содержит расчеты тепловыделений от различных источников - окислительных процессов в горных выработках, от работающих машин и механизмов, повышение температуры от степени сжатия воздуха с глубиной, учитывает обводненность горных выработок и степень доступности поверхности воды для испарения, а также естественную температуру горных пород на глубине ведения горных работ. Методика расчета теплового баланса горных выработок достаточно хорошо разработана, однако требует учета многих конкретных факторов. К сожалению, расчет поступления тепла из окружающего горные выработки породного массива разработан значительно слабее, чем по другим параметрам, и учитывает лишь влияние скорости движения воздуха на величину коэффициента теплообмена. При прогнозировании тепловых условий в горной выработке по действующей методике обязательно требуется знать средний срок существования выработки. Все упомянутые выше моменты включены в методику прогноза в связи с тем, что процесс теплообмена в горных выработках является неустановившимся и описывается уравнением Фурье, а при движении охлаждающей среды в дополнение к процессу теплопередачи теплопроводностью вступает в действие процесс охлаждения по закону Ньютона-Рихмана. Описывающие процесс теплопередачи дифференциальные уравнения в частных производных и труднодоступные для горного инженера, не изучавшего в вузе курс математической физики, превращаются в трудно решаемые и для осведомленного в этих вопросах математика из-за того, что такие уравнения становятся неоднородными и не решаются стандартными методами.

Для цилиндрического тела бесконечной длины, каким в расчете представляется горная выработка, эти уравнение Фурье имеют вид:

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

$$t = t_n \text{ при } \tau = 0; \quad (2)$$

$$t \rightarrow t_n \text{ при } R \rightarrow \infty, \quad \tau > 0; \quad (3)$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial R} - \alpha \cdot (t - t_n) = 0 \text{ при } R = R_0 = \frac{2 \cdot F}{U} \quad (4)$$

Здесь: (1)-дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье в цилиндрических координатах, (2) - закон начального распределения температур в горном массиве, (3) - условие неограниченности массива в радиальном направлении и (4) - закон теплообмена поверхности выработок с воздушной струей при постоянной температуре $t_n = \text{const}$.

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

$$\vartheta = \frac{t - t_n}{t_n - t_n} \quad (5)$$

Для решения дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных, каким является уравнение (1), обычно применяется метод преобразования Лапласа, сущность которого 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 $T(s)$:

$$T(s) = \int_0^{\infty} f(\tau) \cdot e^{s\tau} d\tau \quad (6)$$

Изображения для значительного числа функций, встречающихся на практике, приведены в литературе по операционному исчислению. Решение уравнений, составленных из изображений функций, сводятся к решению дифференциального уравнения от одной переменной R . Переход от полученного решения $T(s)$ к оригиналу осуществляется по таблицам, если получено его табличное решение, либо с помощью теоремы разложения. Если после выполнения перечисленных выше операций решение не получено, то прибегают к решению общего для перехода от изображения к оригиналу интеграла

$$\vartheta(R, \tau) = \frac{1}{2\pi \cdot i} \int_{\sigma - i\infty}^{\sigma + i\infty} e^{s\tau} T_{R,s} ds \quad (7)$$

Замена температурных функций их изображениями приводит к получению уравнения Бесселя с мнимым аргументом, которое подстановкой $T = u + \frac{1}{s}$,

$\frac{s}{a} R^2 = x^2$ приводится к виду:

$$x^2 u'' + x u' - x^2 u = 0 \quad (8)$$

Решением такого уравнения есть бесселевы функции мнимого аргумента первого и второго рода нулевого порядка. Аналитический аппарат этих расчетов известен и используется специалистами-математиками, но труднодоступен для научных и инженерных кадров горнодобывающей промышленности, поэтому желательно получить интересующие нас параметры теплового процесса теплообмена в окружающем горную выработку более простым методом. Для этого попробуем избежать расчетов промежуточных параметров теплообмена во времени и пространстве, воспользовавшись конечными результатами таких расчетов, вытекающих из общих для протяженных цилиндрических тел закономерностей. В цилиндрическом протяженном теле, в качестве которого может служить горная выработка, при установившемся процессе теплообмена температура горного массива по радиусу изменяется по логарифмическому закону:

$$t_r = t_p - (t_p - t_c) \cdot \frac{\ln(r/r_2)}{\ln(r_1/r_2)} \quad (9)$$

Установлению такого распределения температур предшествовал вынос определенного количества тепла из рассматриваемого объема массива. Начальная температура горного массива равна его естественной температуре, то есть зависит от глубины залегания. Распределение температуры при новом установившемся режиме зависит от разности температур на внешней и внутренней границах теплоуравнивающей рубашки. Представляющими практический интерес величинами являются величина выноса тепла из горного массива в объеме образовавшейся ТР и линейный тепловой поток при наличии ТР. Эти величины определяют требуемую для охлаждения величину и необходимую интенсивность подачи холода для поддержания установившегося квазистационарного теплового режима горного массива. Понятно, что величина требуемого выноса тепла из ТР зависит от разности температур горного массива и поверхности внутренней границы рубашки, удельной теплоемкости горной породы, а линейный тепловой поток - еще и от коэффициента теплопроводности слагающей горный массив. Теплообмен движущегося в горной выработке потока воздуха с породным массивом имеет нестационарный характер и для любого момента времени для участка длиной dx определяется зависимостью $dQ = k_\tau \cdot U \cdot (t_n - t) \cdot dx$. Здесь U - периметр выработки, t_n - естественная температура пород горного массива на глубине ведения горных работ, t - температура воздуха на расстоянии x от устья выработки, k_τ - коэффициент нестационарного теплообмена. Тепловыделение dQ в элементарном участке выработки расходуется на повышение теплосодержания воздуха, что приведет к повышению его температуры на величину dt , т. е. $dQ = G \cdot c \cdot dt$. Величина теплосъема со стенки скважины и повышение теплосодержания охлаждающей воды окажутся равными, т. е.

$$G \cdot c \cdot dt = k_\tau \cdot U \cdot (t_n - t) \cdot dx \quad (10)$$

Перепишем это равенство в виде

$$\frac{dt}{dx} + \frac{k_{\tau} \cdot U}{G \cdot c} \cdot t = \frac{k_{\tau} \cdot U \cdot t_n}{G \cdot c} \quad (11)$$

Получено дифференциальное линейное уравнение первого порядка. Решение этого уравнения имеет вид

$$t = e^{-\int \frac{k_{\tau} \cdot U}{G \cdot c} dz} \cdot \left[\int \frac{k_{\tau} \cdot U \cdot t_n}{G \cdot c} \cdot e^{\int \frac{k_{\tau} \cdot U}{G \cdot c} dz} + K \right] \quad (12)$$

Хотя приведенное выше уравнение является интегральным и значительно проще исходного дифференциального уравнения в частных производных, для получения конечного результата расчета еще необходимо учесть конвективный теплообмен по закону Ньютона, для чего придется воспользоваться системой переноса координат. В итоге окажется необходимым выполнить большой объем вычислений для получения решения частного случая. На этапе предварительной оценки охлаждения горного массива движущимся потоком воздуха, а также при орошении стенки выработки водой выполнение такого рода трудоемких расчетов нецелесообразно. Желательно получить более полную интегральную оценку, которую в данном случае может дать ответ на вопрос: какое количество тепла необходимо удалить из окружающего выработку горного массива для охлаждения его до заданной температуры и при каких параметрах орошения (температуре и расходе воды) будет обеспечен требуемый результат. Это позволит оценить требуемые параметры подачи холода, после чего можно целенаправленно решать вопрос о времени охлаждения. Выше приведен перечень нескольких возможных направлений нормализации тепловых условий в горной выработке. Оценка потенциальных возможностей каждого из них требует проведения предварительных расчетов и последующей экспериментальной проверки. В одной статье рассмотреть все варианты невозможно, поэтому в качестве первого опыта попробуем рассмотреть наименее изученный из предлагаемых вариантов - охлаждение горного массива с применением скважины, опережающей забой подготовительной выработки. В качестве цели приводимого ниже расчета поставим представляющую практический интерес задачу – определить требуемую величину предварительного выноса тепла из окружающего выработку горного массива для обеспечения условия, что вскрытие выработки взрывными работами или выемкой породы комбайном на полное сечение выработки вчерне будет сопровождаться обнажением стенки выработки с заданной допустимой температурой. Примем во внимание, что до начала работ по проведению горной выработки естественная температура горного массива на некотором расстоянии впереди подготовительного забоя остается неизменной, равной естественной температуре горного массива на данной глубине. Предполагаемое охлаждение горного массива должно привести к образованию ТР, внутренняя поверхность которой имеет заданную температуру (например, равную нормируемой ПБ 26⁰С или предельную по санитарным нормам 32⁰С). В предположении возможности обеспечения быстрого охлаждения

горного массива период формирования ТР будем полагать сравнительно небольшим. Тогда притоком тепла из недр Земли в горную выработку за этот промежуток времени можно пренебречь, а расчет вести только на отвод тепла, содержащегося в горном массиве. В этом случае необходимый отвод тепла для формирования ТР единичной длины можно определить как изменение количества тепла в ней за период перехода массива из стационарного состояния с естественной температурой в новое, принимаемое в качестве стационарного состояние пород ТР, сформировавшееся в результате охлаждения. При отсутствии дополнительных источников энергии в объеме ТР распределение температуры пород горного массива в пределах ТР будет подчиняться логарифмическому закону. Поэтому в качестве первого этапа решения поставленной задачи определим величину радиуса ТР, создание которой обеспечит заданную температуру стенки будущей выработки. Расчеты выполним с применением системы MathCAD Enterprise 11.

В качестве исходных величин примем гидравлический радиус выработки $R=2$ м, температуру будущей стенки выработки $t_r=32^\circ\text{C}$, температуру подаваемой в скважину охлаждающей воды в пределах от 4 до 10°C , естественную температуру пород горного массива равной $40, 50, 60$ и 70°C соответственно. Зависимость для определения требуемого внешнего радиуса ТР получим из равенства (9), положив, что температура стенки горного массива, окружающего скважину, равна изменяющейся в заданном пределе температуре охлаждающей воды, а температура будущей стенки выработки (т. е. точек массива, удаленных от центра выработки на расстояние, равное принятому эквивалентному радиусу выработки) равна заданной. Другими словами - решаем задачу нахождения внешнего радиуса ТР из условия, что описывающая распределение температуры горных пород в охлаждаемой оболочке логарифмическая кривая проходит через три точки - точку стенки скважины с температурой охлаждающей воды, точку будущей стенки выработки радиусом R и точку внешней поверхности ТР, где температура горного массива равна естественной. Заметим, что температура стенки скважины принимается равной температуре охлаждающей воды, а не естественной температуре горного массива. Это обусловлено тем, что вода, имея большую теплоемкость и теплопроводность, практически мгновенно охлаждает омываемую ею поверхность горного массива. Для воздуха такое допущение неприемлемо из-за его теплофизических параметров. В приводимых ниже на рис 1. расчетных зависимостях из-за специфики вычислений в системе MathCAD искомый радиус внешней поверхности ТР записывается как функция температуры стенки скважины (по сути - температуры охлаждающей воды), то есть $f1(tw)=r2$, а температура стенки скважины записана как температура охлаждающей воды $tw=t_c$.

Исходные данные для расчета и необходимые аналитические зависимости представлены ниже на рис.1, содержащем фрагмент расчета с использованием MathCAD 11 Enterprise.

R := 2	r1 := 0.15	tw := 4..10	tp1 := 40	tp2 := 50	tp3 := 60	tp4 := 70	tr := 32
		$f1(tw) := e^{\frac{\frac{\frac{tp1-tr}{tp1-tw} \cdot \ln(r1) - \ln(\frac{tp1-tr}{tp1-tw} - 1)}{tp1-tw}}$		$f2(tw) := e^{\frac{\frac{\frac{tp2-tr}{tp2-tw} \cdot \ln(r1) - \ln(\frac{tp2-tr}{tp2-tw} - 1)}{tp2-tw}}$			
		$f3(tw) := e^{\frac{\frac{\frac{tp3-tr}{tp3-tw} \cdot \ln(r1) - \ln(\frac{tp3-tr}{tp3-tw} - 1)}{tp3-tw}}$		$f4(tw) := e^{\frac{\frac{\frac{tp4-tr}{tp4-tw} \cdot \ln(r1) - \ln(\frac{tp4-tr}{tp4-tw} - 1)}{tp4-tw}}$			
tw := 4,5..10							
tw =	f1(tw) =	f2(tw) =	f3(tw) =	f4(tw) =			
4	4.192	10.573	26.667	67.256			
5	4.309	11.246	29.352	76.609			
6	4.438	12.018	32.546	88.14			
7	4.582	12.912	36.388	102.55			
8	4.743	13.955	41.064	120.832			
9	4.924	15.185	46.83	144.419			
10	5.13	16.651	54.047	175.431			

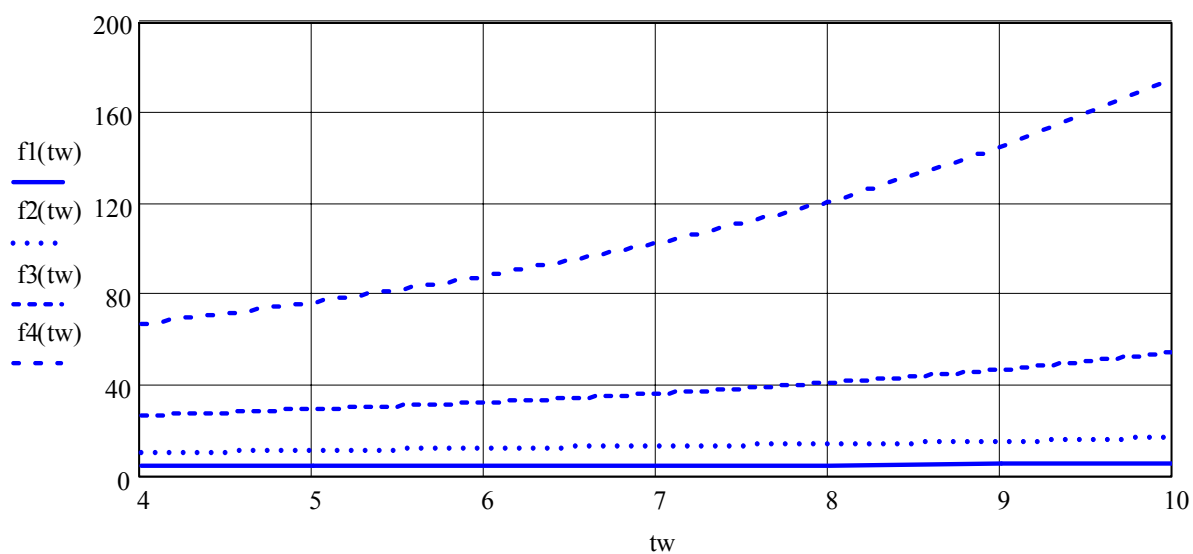


Рис.1. Зависимость размера ТР от температуры охлаждающей воды

Произведем расчет формирования ТР при охлаждении окружающего скважину диаметром 0.3 м известняка с естественной температурой 40, 50, 60 и 70⁰С водой с $tw=5^0C$. Расчетный радиус ТР по данным таблицы на рис.1. принят равным 4.31, 11.25, 29.35 и 76.6м. Масштаб количества тепла для температуры пород 40-60⁰С принят равным $k=0.0002$.

$$\begin{aligned}
 r1 &:= 0.15 & tw &:= 5 & tp1 &:= 40 & c &:= 0.204 & rp1 &:= 4.35 & r &:= 0.15..4.35 & G &:= 2340 & \Delta r &:= 0.2 \\
 k &:= 0.0002 \\
 f1(r) &:= \left[tp1 - (tp1 - tw) \cdot \frac{\ln\left(\frac{rp1}{r}\right)}{\ln\left(\frac{rp1}{r1}\right)} \right] \\
 f2(r) &:= 2 \cdot \pi \cdot k \cdot c \cdot G \cdot f1(r) \cdot \left(\int_r^{r+\Delta r} r \, dr \right) \\
 f3(r) &:= 2 \cdot \pi \cdot k \cdot c \cdot G \cdot tp1 \cdot \int_r^{r+\Delta r} r \, dr \\
 f4(r) &:= 2 \cdot \pi \cdot k \cdot c \cdot G \cdot (tp1 - f1(r)) \cdot \int_r^{r+\Delta r} r \, dr
 \end{aligned}$$

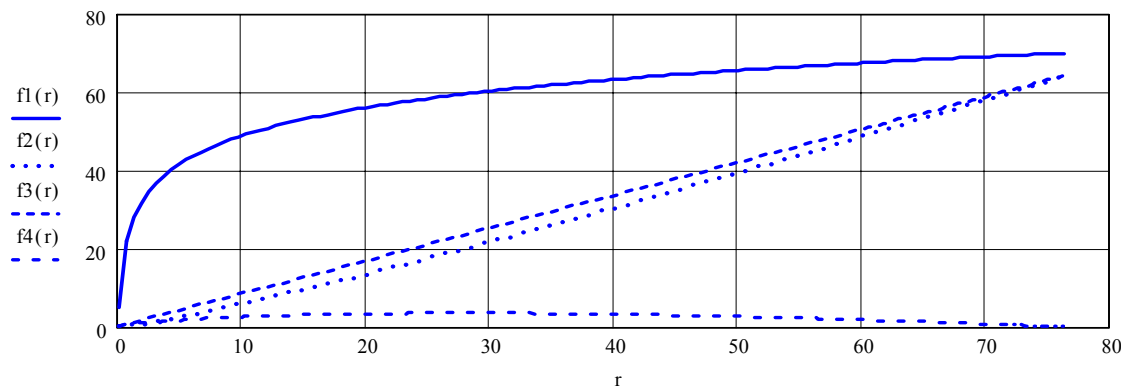
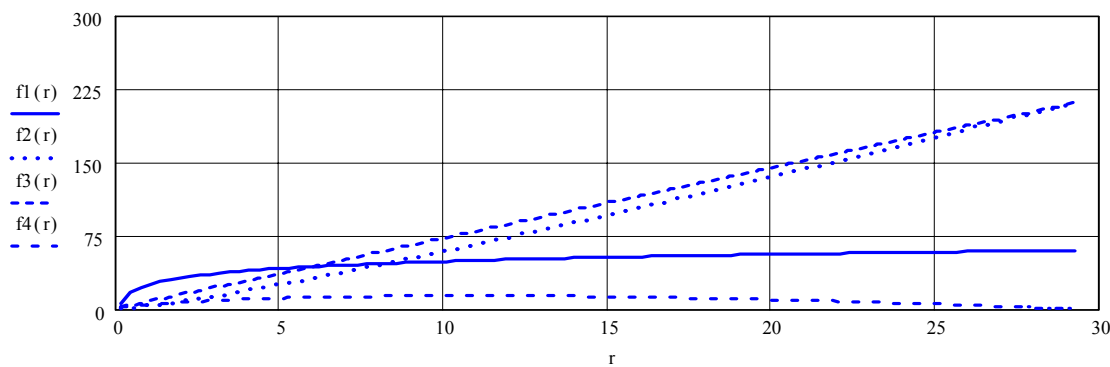
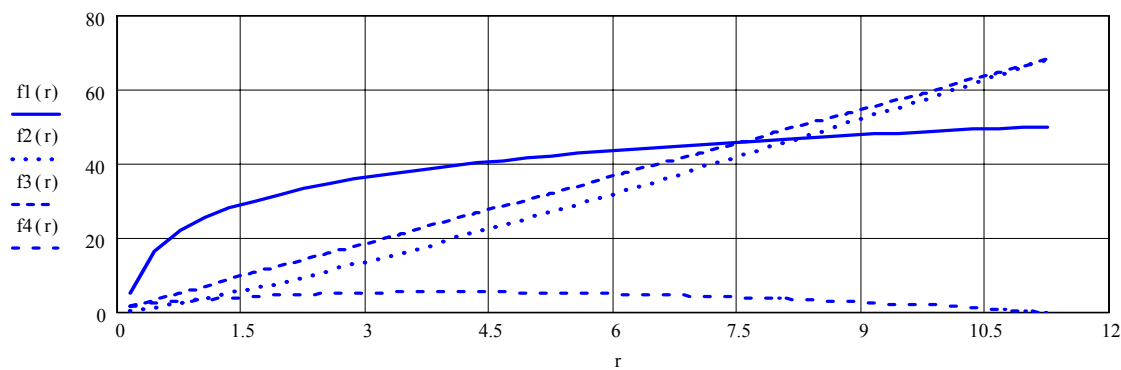
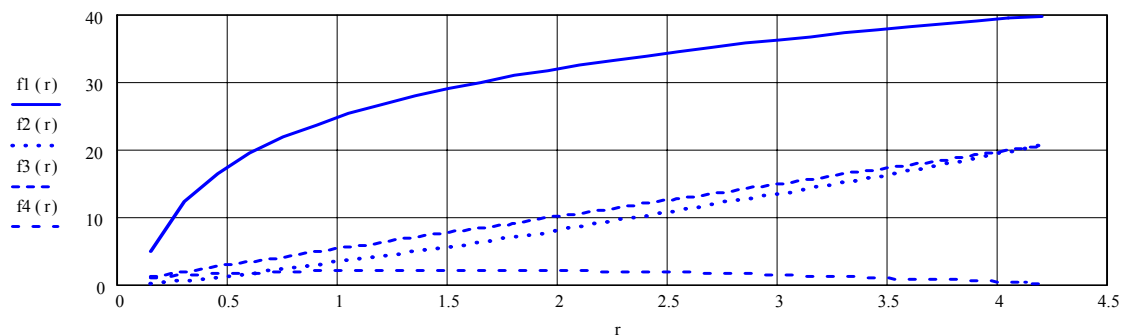


Рис.2. Изменение температуры и содержания тепла в ТР

На графике для температуры пород 70°C масштаб уменьшен еще на порядок (0.00002).

Из таблиц и графика рис.1 видно, что радиус ТР сильно зависит от величины естественной температуры. Например, при $t_w = 5^{\circ}\text{C}$ и естественной температуре массива горных пород 40, 50, 60 и 70°C его размер составит соответственно 4.3, 11.2, 29.3 и 76.6 м. Величина размера ТР с увеличением температуры горных пород нелинейно возрастает и достигает пугающе больших размеров. В следующих публикациях будут раскрыты возможности существенного уменьшения размеров ТР, а пока оценим характер изменения температуры горных пород в пределах ТР, величину необходимого отвода тепла для формирования ТР единичной длины (1м.). Ординаты кривых для температур соответствуют расчетной температуре в $^{\circ}\text{C}$.

На рис.2 кривая $f1(r)$ –сплошная линия – представляет изменение температуры горного массива в объеме от охлаждающей поверхности скважины до внешней границы ТР.

Из графиков следует, что при радиусе 2м (величине r ,отсчитываемой по оси абсцисс) любая кривая проходит через точку с температурой 32°C , как и предусмотрено заданием на расчет. Кривая $f3(r)$ –пунктирная линия - отражает характер нарастания количества тепла в неохлажденном горном массиве, а $f2(r)$ –точечная линия - остаточное количество тепла в нем же после образования ТР. Кривая $f4(r)$ - штрих-пунктирная линия - отражает распределение по радиусу ТР требуемого выноса тепла для формирования. Хотя количество тепла для определения величин теплосодержания неохлажденного и частично охлажденного для формирования ТР массива, а также количество тепла, подлежащего выносу при охлаждении, определены по зависимостям, содежащим знак интегрирования, Полученные после учета масштабного коэффициента (умножения значений ординат на 5000 для первых трех рисунков и на 50000 для графика, соответствующего температуре 70°C , полученные значения отражают соответствующую длине ТР 1м величину.

Суммарная величина количества тепла, которое воде необходимо вынести воде при формировании ТР по всей длине проводимой выработки будет равна произведению длины выработки на величину отвода тепла участка ТР единичной длины. Заметим, что расчет, произведенный по изложенной выше методике, не потребовал использования сложного аппарата математической физики по решению дифференциальных уравнений в частных производных и интегрирования сложных функций и обеспечил необходимые для проектирования системы нормализации тепловых параметров микроклимата горной выработки достаточно точные результаты расчета требуемой подачи холода.

Заканчивая статью, хотим обратить внимание научно-технической общестственности угольной промышленности на вселяющие надежду на успешное решение проблемы нормализации тепловых условий глубоких шахт разработки ООО «Холодмаш». Созданная этим объединением водоохлаждающая машина МХРВ-1 на основе использования винтового компрессора способна обеспечить подачу миллиона Вт холода. Это на порядок меньше, чем подача холода производимыми в ФРГ и Великобритании мощных холодильных установок для шахт. Один из авторов статьи во время годичной научной стажировки в Вели-

кобритании познакомился в 1960 году в Ньюкасле с выпускавшимися фирмой ХьюВуд для поставки в ЮАР удивительными по своим параметрам холодильными установками. Эта же фирма производила компрессорные установки для ведения взрывных работ по добыче крупногабаритного угля, создающие давление сжатого воздуха до 70-80 МПа. Винтовой компрессор мощной холодильной установки имел габариты меньше письменного канцелярского стола и казался игрушечным дополнением к огромному по сравнению с ним электродвигателю для его привода.

Начавшееся обеспечение глубоких угольных шахт мощными водоохлаждающими установками открывает дорогу для перехода на качественно новую ступень осуществления работ по нормализации тепловых условий в глубоких шахтах Донбасса на основе доставки холода и охлаждения горного массива водой по схемам, изложенным в настоящей статье.

Выводы

1. Тепловые условия горных выработок глубоких шахт значительно осложнились из-за роста естественной температуры горных пород с глубиной ведения горных пород и не соответствуют параметрам нормативных документов.

2. Для обеспечения нормируемых параметров микроклимата горных выработок глубоких шахт требуется создание мощных энергоемких и дорогостоящих систем кондиционирования, технику для которых Украина не производит.

3. Приобретение дорогостоящих импортных холодильных установок для шахт Донбасса, ведущих горные работы на глубине более 1400 м, не решит проблему нормализации тепловых условий в сети их горных выработок так как проветривающий шахту воздух не может доставить в горные выработки требуемое количество холода.

4. Использование рудничного воздуха в качестве средства доставки холода не решает проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках при их проходке в связи с малой теплоемкостью и объемным весом воздуха и сопряжено с потерей выносимого из шахты тепла в связи с огромными расходами воздуха, проветривающего современные глубокие шахты.

5. Переход на использование воды в качестве транспортера холода и тепла способен решить проблему нормализации тепловых условий горных выработок глубоких шахт и положить начало использования тепла горного массива горного отвода глубокой шахты как альтернативного источника энергии для нужд инфраструктуры и энергетики.

6. Предложена новая концепция нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт, способы и средства ее реализации, позволяющие решить проблему нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса при умеренных затратах электроэнергии на получение холода и использовать холод естественных источников.

7. Разработана пригодная для практического использования службами ИТР шахт инженерная методика расчета холодоснабжения горных выработок глубоких шахт.

8. Начатые в Украине с опозданием по сравнению с Великобританией на 60 лет работы по созданию шахтных холодильных установок на базе винтовых компрессоров способны обеспечить подачу в горные выработки охлажденной воды и, по нашему мнению, являются в высшей степени своевременной разра-

боткой, способной обеспечить ведение горных работ и добычу угля в Донбассе на глубоких горизонтах.

Список литературы

1. Гуттенберг Б. Физика земных недр. – М.: Издательство иностранной литературы 1963. - 263 с.
2. Бойко В. А., Бойко О. А. Оценка теплового потенциала горного массива глубокой шахты Донбасса и возможностей типовой схемы нормализации условий труда //Сб. науч. трудов НГУ.- №16.- 2003.- Днепропетровск.- С.113-124.
3. Бойко В. А., Бойко А.В. К вопросу о выборе способа и средств нормализации тепловых условий в подготовительных горных выработках глубоких шахт Донбасса в период их проходки //Зб. наук. праць НГУ №32.- 2009.- Дніпропетровськ: НГУ.- С.193-206
4. Бойко В. А., Бойко О. А. Проблема нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса, способы и средства ее решения. Материалы международной конференции “Форум горняков 2009”.- Дн-ск: НГУ.- С.142-153.
5. Щербань А. Н., Кремнев О. А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Том 1,2. Издат. АН УССР, Киев, 1959. - 430 с,1960.-348 с.
6. Бойко В. А., Бойко О. А. Способ и средства нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт в период их строительства //Зб. наук. праць НГУ.-2009.- №32.- Дніпропетровськ: НГУ.- С.214-225.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 25.10.10*

УДК 622.235:504.06

© А.А. Юрченко

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИНОВОЙ ПРОБКИ С АНКЕРНЫМ УСТРОЙСТВОМ В КАЧЕСТВЕ ЗАБОЙКИ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

Наведені результати розробки по удосконаленню конструкції набивки свердловинних зарядів при масових вибухах в кар'єрах. Обґрунтована доцільність використання резинової пробки з анкерним пристроєм для здійснення регулювання швидкості вильоту набивки із свердловини при вибухах, а тим самим і висоти підйому пилогазової хмари.

Приведены результаты разработки по совершенствованию конструкции забойки скважинных зарядов при массовых взрывах в карьерах. Обоснована целесообразность применения резиновой пробки с анкерным устройством для осуществления регулирования скорости вылета забойки из скважины при взрывах, а тем самым и высоты подъёма пылегазового облака.

The results of development on perfection of construction of zaboyki of mining hole charges at the mass explosions in careers are resulted. Expedience of application of rubber cork with the anchor device for realization of adjusting of speed of flight of zaboyki from a mining hole at the explosion is grounded, and the same and heights of getting up of pilegazovogo cloud.

Введение. Одним из важнейших факторов, определяющим условия и эффективность взрыва скважинных зарядов, является внутренняя забойка скважин. Её величина и качество в значительной мере определяют степень использования