

кріплення до 60 %. Подальше збільшення цих параметрів приводить до неконтрольованих проявів гірського масиву та аварійних режимів роботи механізованого комплексу.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.
Надійшла до редакції 27.03.2012*

УДК 622.273.217.4

© Е.Ю. Светкина, М.В. Петлеваний

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ ТВЕРДЕЮЩЕЙ ЗАКЛАДКИ ПРИ РАЗНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ ВЯЖУЩЕГО МАТЕРИАЛА

Приведены результаты исследования влияния величины дисперсных частиц доменного гранулированного шлака и известняка на структурные особенности и прочность закладочного массива при разработке железных руд системами с твердеющей закладкой.

Наведені результати дослідження впливу дисперсних часток доменного гранульованого шлаку та вапняку на структурні особливості та міцність закладного масиву при розробці залізних руд системами з твердіючим закладанням.

Results of research of disperse particles influence of the domain granulated slag and limestone on structural features and strength backfill massif while developing iron ores by the systems with a hardening backfill are given.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. При подземной добыче руды системами с твердеющей закладкой одним из важных вопросов является сохранение устойчивости закладочного массива. Снижение устойчивости закладочного массива приводит к разубоживанию руды и ухудшает технико-экономические показатели работы горного предприятия в целом.

На ЗАО «ЗЖРК» добычу руды ведут в интервале глубин 640–840 м камерной системой с твердеющей закладкой. Прочность формируемого закладочного массива составляет 6–7 МПа. В технологическом процессе добычи руды имеют место разрушения закладочного массива в форме вывалов и обрушений боков и днищ заложённых камер. Среди причин, влияющих на разрушения искусственного массива можно выделить воздействие взрывной отбойки и формирование определенных химических структур.

С переходом на глубины свыше 940 м закладочный массив должен иметь прочность 9–10 МПа, что приведет к возрастанию доли вяжущего вещества в 1 м³ закладочной смеси или к добавлению цемента, и, следовательно, к удорожанию закладочных работ. Одним из способов снижения расхода вяжущего материала можно считать увеличение его дисперсности. Однако в настоящее время недостаточно изучено изменение структуры и прочности твердеющей закладки с увеличением удельной поверхности частиц вяжущего материала.

Постановка задач. Целью статьи является установление закономерностей изменения структуры и прочности твердеющей закладки при влиянии разной дисперсности вяжущих веществ.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Установление закономерностей прочности закладки от показателя удельной поверхности шлака и известняка.
2. Исследование формы и химического состава кристаллических новообразований в структуре твердеющей закладки методом растровой электронной микроскопии.

Изложение материала и результаты. Для заполнения выработанного пространства ЗЖРК использует в качестве вяжущего материала доменный гранулированный шлак предприятия «Запорожсталь» в количестве $400\text{--}500 \text{ кг/м}^3$, отсев известняка флюсового Докучаевского флюсо - доломитного комбината – $850\text{--}1100 \text{ кг/м}^3$ и дробленную отвальную породу как инертный наполнитель – $400\text{--}550 \text{ кг/м}^3$. Цемент добавляют при заполнении днищ камер и поэтажных выработок.

Для решения первой задачи в лаборатории закладочного комплекса был приготовлен ряд составов твердеющей закладки с разной удельной поверхностью частиц шлака и известняка. Удельная поверхность частиц измельченного шлака, получаемая при измельчении в шаровых мельницах закладочного комплекса ЗЖРК, составляет порядка $2000 \text{ см}^2/\text{г}$ при 57 % остатке на сите частиц крупностью – 0,074 мм. Для проведения лабораторных исследований доменный гранулированный шлак и известняк флюсовый были подвержены механическому измельчению в лабораторной установке струйного измельчения УСИ – 20 до удельной поверхности 2800, 4300 и $6600 \text{ см}^2/\text{г}$. При каждом шаге удельной поверхности изменяли расход измельченного шлака 100, 200, 300 кг/м^3 . Согласно [1], в каждый экспериментальный состав твердеющей закладки добавляли измельченный флюсовый известняк в качестве микронаполнителя с удельной поверхностью, аналогичной шлаку в количестве 50 % от его доли. При расходе воды 400 л на 1 м^3 предельное напряжение сдвига экспериментальных закладочных смесей не превышало 10 кг/см^2 , подвижность находилась в пределах 11,3–11,6 см. Время потери подвижности закладочных смесей находится в пределах 13–14 часов. Полагаем, что транспортабельные свойства закладочных смесей удовлетворяют технологии ведения закладочных работ.

В результате испытания образцов твердеющей закладки на одноосное сжатие установлена зависимость прочности твердеющей закладки от величины удельной поверхности, которая представлена на рис. 1.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 1 показывает повышение прочности закладки с увеличением удельной поверхности частиц шлака и известняка. При этом достигаются высокие показатели прочности закладки уже в возрасте 30 дней. Максимальное измельчение шлака и известняка рекомендуется до удельной поверхности $6500 \text{ см}^2/\text{г}$ в связи с медленным шагом набора прочности свыше указанного предела. Используя представленные зависимости можно уменьшить долю доменного шлака в 1,5 – 2 раза, что приведет к эконо-

мии затрат на материалы до 20%, а также подобрать рациональный состав при заданной прочности твердеющей закладки.

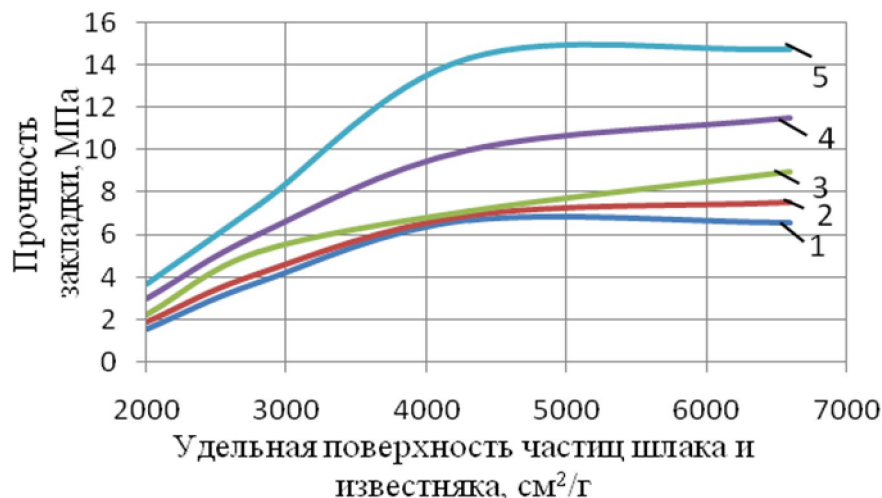


Рис. 1. Зависимость прочности твердеющей закладки от величины удельной поверхности при разном расходе молотых шлака и известняка:
 1 – расход шлака 100 кг/м³, известняка 50 кг/м³; 2 - расход шлака 150 кг/м³, известняка 75 кг/м³; 3 - расход шлака 200 кг/м³, известняка 100 кг/м³; 4 - расход шлака 250 кг/м³, известняка 125 кг/м³; 5 - расход шлака 300 кг/м³, известняка 150 кг/м³.

Часть составов твердеющей закладки приготовлены с расчетом испытания в возрасте 30, 90 и 180 дней для исследования динамики набора прочности (рис.2)

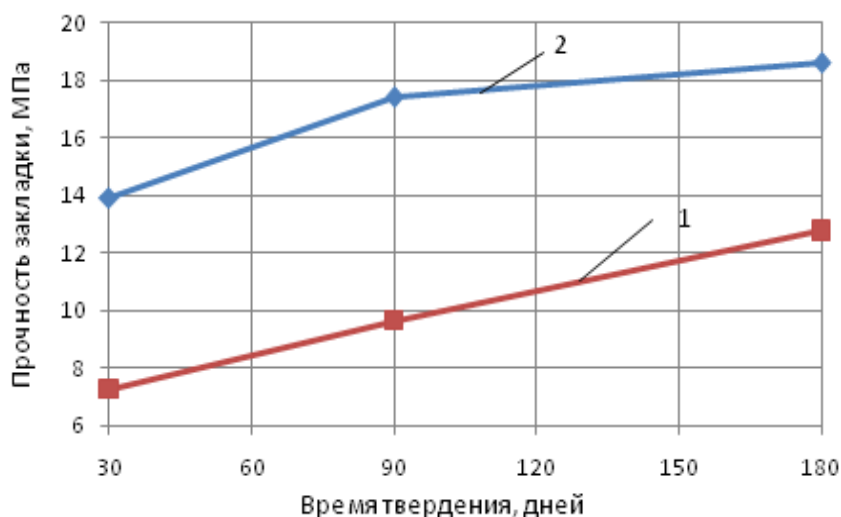


Рис. 2. Зависимость прочности закладки от времени твердения при разной дисперсности молотых шлака и известняка:
 1 – состав с расходом шлака 300 кг/м³ и известняка 150 кг/м³ при S_{уд} = 2800 см²/г; 2 – состав с расходом шлака 300 кг/м³ и известняка 150 кг/м³ при S_{уд} = 4300 см²/г

Приведенные зависимости рис. 2 показывают, что в течение полугода твердения прочность закладки возрастает на 60–80 %, что повысит сопротивляемость закладочного массива к воспринимаемым нагрузкам.

Для решения второй задачи, а также установления причин интенсивного набора прочности твердеющей закладки с увеличением удельной поверхности была исследована структура изломов экспериментальных образцов затвердевшей закладки на растровом электронном микроскопе РЕММА-102-02.

В результате исследования изломов образцов закладки с различной удельной поверхностью обнаружены структуры, представленные на рис. 2

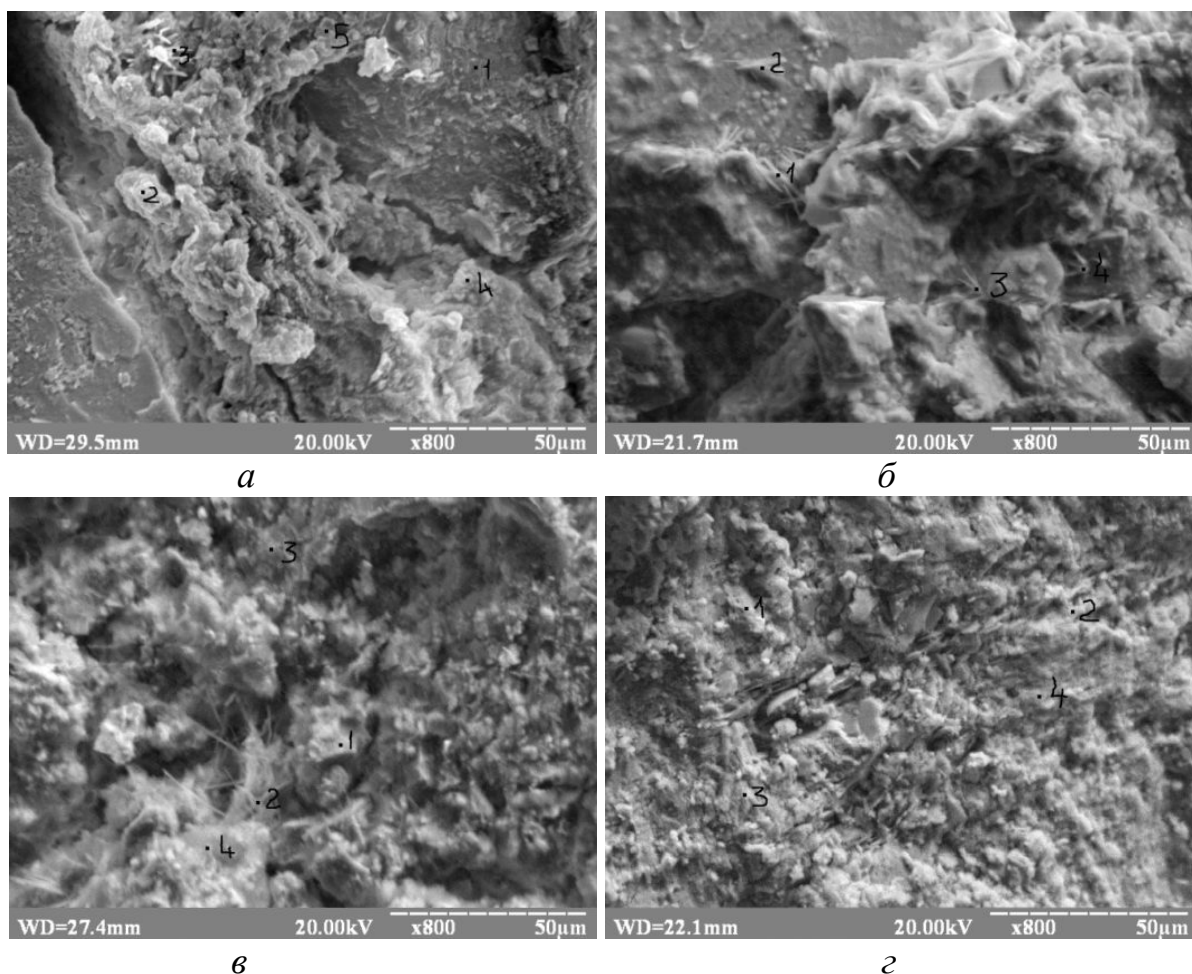


Рис.3. Структура искусственного закладочного камня:

а – ЗЖРК ($S_{уд.} = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$, $R_{сж} = 5,5 \text{ МПа}$); б – экспериментальный состав ($S_{уд.} = 2800 \text{ см}^2/\text{г}$, $R_{сж} = 6 \text{ МПа}$); в - экспериментальный состав ($S_{уд.} = 4300 \text{ см}^2/\text{г}$, $R_{сж} = 7,12 \text{ МПа}$); г - экспериментальный состав ($S_{уд.} = 6600 \text{ см}^2/\text{г}$, $R_{сж} = 14,6 \text{ МПа}$).

На рис. 3 представлены формы химических связей в структуре образцов закладки. При гидратации минералов шлака формируются гидросиликаты кальция переменного состава. Прочность химических связей гидросиликатов кальция зависит от их основности, а именно соотношения CaO/SiO_2 . Считается, что высокой прочностью обладают низкоосновные гидросиликаты кальция, что обусловлено возрастанием доли сильной ионной ковалентной связи Si–O.

С помощью встроенного микрорентгеноспектрального анализатора в микроскопе РЕММА-102-02 получены данные количественного содержания оксидов CaO и SiO₂ в гидросиликатах кальция в исследуемых точках. В таблице 1 приведены показатели основности гидросиликатов кальция в исследуемых образцах, а также их форма при разной удельной поверхности шлака и известняка.

Таблица 1

Химический состав гидросиликатных связей и форма новообразований
в структуре закладки

Образец твердеющей закладки	S _{уд} , см ² /г	№ точки	Содержание оксидов в точках, %		Среднее значение CaO /SiO ₂	Форма новообразований
			CaO	SiO ₂		
ЗЖРК	2000	2	55,12	25,14	2.63	Округлая, неопределенная
		3	52,48	26,60		
		4	49,68	26,63		
		5	71,53	15,76		
Экспериментальный № 1	2800	1	39,21	26,27	1.77	Пирамидальная остроугольная, толстые иголки
		2	56,99	26,22		
		3	40,23	21,59		
		4	37,49	24,27		
Экспериментальный № 2	4300	2	45,50	22,06	1.48	Пирамидальная остроугольная, игольчато-волокнистая
		3	31,16	34,18		
		4	38,10	29,70		
Экспериментальный № 3	6600	1	41,40	23,58	1.37	Мелкокристаллическая, слоисто – пластинчатая, остроугольная
		2	40,11	23,55		
		3	38,26	28,50		
		4	27,96	38,70		

С повышением удельной поверхности форма новообразований закономерно изменяется, игольчато-волокнистая структура перестает формироваться, образуются слоисто-пластинчатые гидросиликаты кальция.

Обработка данных средних значений основности гидросиликатов в структуре твердеющей закладки (табл.1) позволила установить степенную зависимость основности гидросиликатов кальция от величины удельной поверхности, которая представлена на рис.4.

В результате эффекта снижения основности происходит упрочнение всех гидросиликатных связей в закладочном массиве.

Для того чтобы классифицировать связи гидросиликатов кальция в структурах исследуемых образцов закладки по основности необходимо оперировать значениями основности. При химическом исследовании цементного камня гидросиликаты кальция с отношением CaO/SiO₂ < 1,5 являются низкоосновными и представляют собой слоистый гидросиликат кальция, а с отношением CaO/SiO₂ > 1,5 высокоосновными – в основном волокнистый гидросиликат кальция [2]. В твердеющей закладке низкоосновные гидросиликаты кальция, согласно табл. 1, формируются при удельной поверхности шлака и доломита 4300-6600 см²/г.

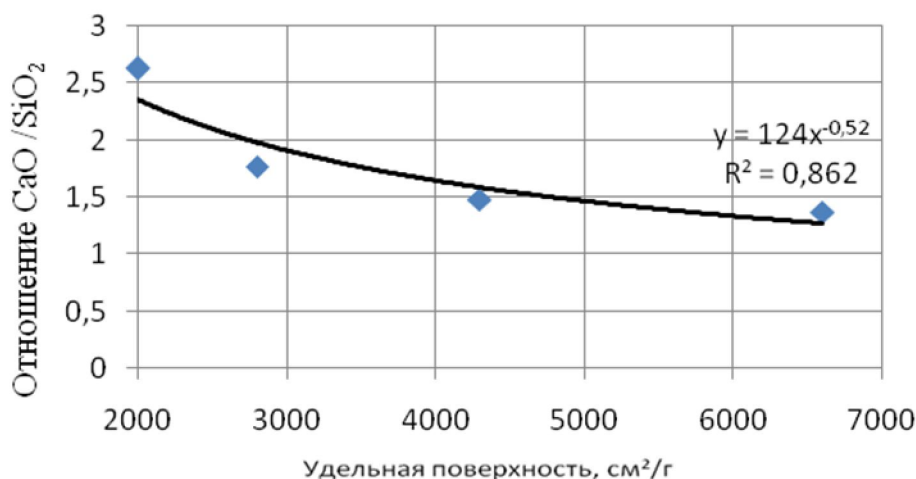


Рис. 4. Зависимость основности гидросиликатов кальция от удельной поверхности доменного шлака и известняка

Для уточнения влияния технологического процесса закладочных работ (приготовление, транспортирование, возведение) на структурные особенности закладочного массива взят образец закладки камеры 4/1 с гор. этажа 775 - 825 м. На рис. 5. для сравнения представлены микрофотографии структуры лабораторного образца, который взят из бункер-смесителя перед подачей в закладочный трубопровод и образца закладочного массива после его возведения в подземных условиях.

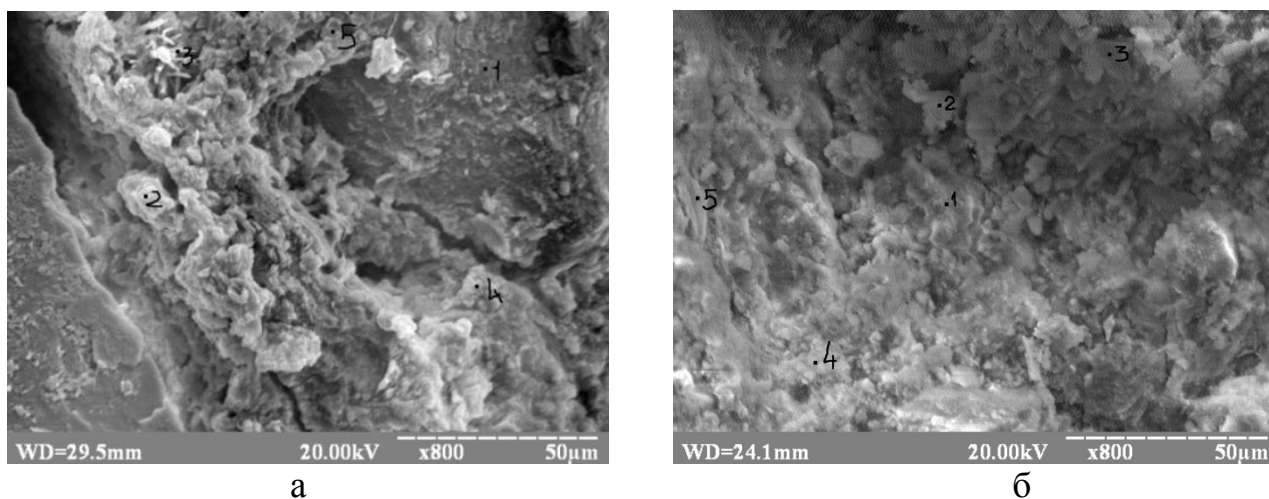


Рис. 5. Сравнение структурных особенностей образцов закладки:
 а – лабораторный (возраст 3 месяца, CaO/SiO₂ = 2,68);
 б – шахтный (возраст 6 месяцев, CaO/SiO₂ = 1,8).

На рис. 5 а гидросиликаты кальция представлены в виде гелеобразной массы, округлой формы. В шахтном образце (рис. 5 б) сохраняется округлая форма гидросиликатов кальция, отсутствуют формы геля, так как степень закристаллизованности более высокая, чем в лабораторном образце, о чем говорит снижение основности с 2,68 до 1,8. Следовательно, можно сделать вывод о том,

что технологические процессы закладочных работ кардинально не влияют на структуру твердеющей закладки.

Одной из причин слабой устойчивости искусственного массива при воздействии горного давления и сейсмических волн при отбойке руды является отсутствие в структуре к трехмесячному возрасту закладки прочных связей низкоосновных гидросиликатов кальция, которые начинают формироваться к более позднему сроку. Об этом свидетельствуют показатели высокой прочности некоторых образцов в возрасте 6 месяцев (9–13 МПа).

Исходя из химического состава и формы структурных связей в твердеющей закладке, рекомендуется к заполнению в областях действия растягивающих напряжений составы твердеющей закладки, микроструктура которых после твердения принимает игольчато-волоконистые формы новообразований. Это объясняется тем, что игольчатые связи распределяются в искусственном камне неопределенно, иглы и волокна взаимопересекаются, что создает армирование твердеющей системы и повышение силы сцепления между кристаллами. Данная структура достигается при удельной поверхности доменного гранулированного шлака и доломита 4000–4500 см²/г.

В областях действия сжимающих напряжений, наиболее эффективно использовать твердеющую закладку со слоистой структурой новообразований. Горизонтальное расположение слоисто-пластинчатых гидросиликатов кальция в структуре закладки повышает сопротивляемость к сжатию искусственного массива в целом. Данная структура достигается при удельной поверхности доменного гранулированного шлака и доломита свыше 6000 см²/г.

При одинаковой прочности твердеющей закладки варьируя величиной удельной поверхности можно искусственному массиву придавать разную структуру. Управление структурой твердеющей закладки является новым и важным технологическим аспектом с увеличением глубины разработки.

Выводы.

1. С увеличением удельной поверхности шлака и известняка с 2000 до 6000 см²/г происходят структурные изменения в закладочном массиве состава «шлак – известняк – порода», связанные с переходом формы связей гидросиликатов кальция от округлой к слоисто-пластинчатой, при этом их основность снижается на 56 % и выражается степенной зависимостью, что приводит к упрочнению твердеющей закладки в 3,1–4,5 раза (в зависимости от расхода шлака и известняка).

2. Игольчато-волоконистая структура закладочного массива наиболее устойчива к растяжению, слоисто-пластинчатая к сжатию. Следовательно, заполнять составами твердеющей закладки с вышеуказанной структурой следует в областях концентрации растягивающих и сжимающих напряжений, возникающих при отработке камер, что повысит устойчивость закладочного массива.

Список литературы

1. Кузьменко А.М. Петлеваный М.В., Усатый В.Ю. Влияние тонкоизмельченных фракций шлака на прочностные свойства твердеющей закладки./Школа подземной разработки: Сборник научных трудов/ V Международная научно-практическая конференция, Днепропетровск, НГУ, 2011, С. 278 – 284.

2. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства: Учебник для вузов / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, В. С. Колокольников. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Кузьменком О.М.
Надійшла до редакції 25.04.2012*

УДК 622.333.013.3; 681.5: 622.817.478

© О.А. Бойко, В.А. Бойко

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА И ПУТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Прозведен аналитический анализ величин тепловой энергии, получаемой воздушным потоком, проветривающим вентиляционные сети шахт среднего и крупного размеров за счет адиабатического сжатия воздуха при опускании по стволам различной глубины, показано, что эти величины достаточно велики и для снижения температуры воздуха требуют значительного расхода электроэнергии на питание холодильных установок системы кондиционирования воздуха в глубокой шахте. Предлагается извлекать тепловую энергию сжатия воздуха и выносить ее на дневную поверхность водой. Рассматривается вопрос ускоренного формирования теплоуравняющей оболочки (ТО) вокруг горной выработки за счет применения опережающей подготовительной забой скважины, охлаждаемой водой.

Виконано аналітичний аналіз величин теплової енергії, що її отримує потік повітря, провітрюючий вентиляційні мережі середніх і великих за розміром шахт, за рахунок адиабатичного стискування повітря при опусканні по стволах різної глибини. Показано, що ці величини досить великі і для зменшення температури повітря вимагають значних витрат електроенергії для живлення холодильних установок системи кондиціювання повітря в глибокій шахті. Пропонується витягувати теплову енергію адиабатичного стискування повітря і видаляти його на денну поверхню водою. Розглядається питання пришвидшеного формування теплоірівнюючої оболонки (ТО) гірської породи за рахунок використання охолоджуваної водою свердловини, що випереджає вибій підготовчої виробки.

Produced by the analytical analysis of the quantities of heat energy generated by air flow, air-ventilated mines network of medium and large sizes due to adiabatic compression of air by lowering the trunks of varying depth, it is shown that these quantities are large enough to reduce the air temperature require significant energy consumption for food refrigeration setting the air conditioning system in a deep mine. It is proposed to extract the thermal energy of compression of air and make it to the surface water.

Введение. В условиях экономического кризиса быстрый переход Украины на наукоемкие и энергосберегающие технологии и рост экспорта весьма проблематичны, что с особой остротой ставит задачу решения проблемы обеспечения Украины энергоносителями за счет собственных ресурсов.

Сознавая опасность сокращения добычи угля как энергоносителя, Кабинет министров в мае 2007 года принял решение об обеспечении шахт электроэнергией по льготным ценам (отнесение шахт к первой категории потребителей), что, по сути, является скрытой дотацией за счет бюджета страны в разме-