

Выводы:

- разработаны рациональные горно-технические параметры селективной добычи рудных песков для условий карьера №7 "Север" Вольногорского ГМК с использованием в качестве выемочно-транспортного оборудования колесных погрузчиков САТ-988G;

- предложены принципиальные технологические схемы разработки рудных пластов россыпных месторождений колесными погрузчиками;

- применение колесных погрузчиков при селективной добыче рудных песков позволяет:

1) оперативно управлять процессом отдельной выемки требуемых сортов руды за короткий промежуток времени (час, смена);

2) увеличить концентрацию горных работ в рабочей зоне карьера за счет уменьшения ширины рабочей площадки по сравнению с использованием экскаваторов-драглайнов;

3) исключить применение дополнительного погрузочного и транспортного оборудования для доставки руды к рудному складу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.Е.Собко, А.В.Зберовский, А.И. Чернобук. Оценка геологических особенностей россыпных месторождений Украины с применением цифровых геологических моделей.- 2008.- Вісник НГУ №-2. - С. 22-25.
2. Собко Б.Е. Классификация россыпных месторождений Украины.- 2007.- Вісник НГУ №- 7.- С. 32-36.

УДК 622.234.5(088.8)

Д-р техн. наук К.К. Софийский,
канд. техн. наук Д.П. Силин,
канд.техн.наук Э.И. Мучник,
инж. В.Г. Золотин
(ИГТМ НАН Украины)

ОБРАЗОВАНИЕ СВЯЗАННЫХ С ПОВЕРХНОСТЬЮ УГЛЯ ВИДОВ ВЛАГИ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ

Обґрунтовано умови формування непроникного шару дисперсного вугілля з об'ємно-зв'язаною водою при гідродинамічній дії на вугільний пласт.

FORMATION OF THE TYPES OF MOISTURE RELATED TO SURFACE OF COAL AT HY- DRODYNAMIC INFLUENCE ON COAL LAYER

The terms of forming of impenetrable layer of dispersion coal with the volume-coupled water at hydrodynamic action on a coal layer are substantiated.

Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты, кроме развития управляемого газодинамического процесса, существенно интенсифицирующего их дезинтеграцию и дегазацию, сопровождается также образованием объемно-связанной воды, создающей с диспергированным углем слои, обладающие высоким гидравлическим сопротивлением и блокирующими газ внутри массива.

Толщина и проницаемость такого слоя зависит от параметров воздействия, а именно, величины давления и скорости нагнетания воды в пласт, продолжительности воздействия, а также, от содержания в слое разрушенного угля тонких угольных и породных частиц диаметром менее 0,05 мм, которое в свою очередь зависит от числа рабочих циклов.

При проведении горных работ, в зависимости от их специфики, могут стоять различные задачи: интенсифицировать газовыделение и добиться максимального коэффициента дегазации (пересечение выбросоопасных угольных пластов выработками, передовая дегазация очистных забоев) или же заблокировать газ после частичной дегазации и разгрузки массива при проведении подготовительных выработок по выбросоопасным угольным пластам. И то и другое возможно осуществить при применении гидродинамического воздействия на угольный пласт манипулируя параметрами.

При знакопеременных нагрузках, отличающих гидродинамическое воздействие от других видов гидровоздействий, наблюдается прямая и обратная фильтрация водоугольной суспензии через поровую структуру обрабатываемого пласта. В результате этих процессов более крупные частицы разрушенного угля задерживают более тонкие, которые оседают в трещинах и порах угля, и в смеси с водой образуют практически непроницаемые для воды и газа пленки.

Свойства объемно-связанной воды и ее связь с пористыми и дисперсными структурами исследуются как фундаментальной, так и прикладной наукой, вследствие широкого распространения процессов фильтрации жидкостей и газов через пористые тела в самых различных отраслях народного хозяйства.

Одним из показателей, характеризующих взаимодействие пористых сред с жидкостью является максимальная молекулярная влагоемкость. По мнению А.Ф. Лебедева [1] максимальная молекулярная влагоемкость является определенным количеством связанной воды, не зависящим от внешней среды. Эта величина связана тесной корреляционной зависимостью с величиной поверхности пористой среды, а также с рядом других ее физических и физико-химических свойств, поэтому может служить эталонным показателем для характеристики свойств пористого тела [2]. Величина максимальной молекулярной влагоемкости ($W_{\text{мол}}$) зависит от величины пор или крупности зерен дисперсной среды через которую фильтруется жидкость: чем мельче частицы, тем выше $W_{\text{мол}}$. Так как движение воды, составляющей $W_{\text{мол}}$ не зависит от гравитационных сил, то чем больше ее величина, тем меньше та часть объема пор в ней, в которой может происходить движение гравитационной воды. Влага, объединенная понятием максимальная молекулярная влагоемкость и представляет собой поверхностно-связанную влагу, которая не участвует в процессах фильтрации, однако при значительных количествах, оказывает гидравлическое сопротивление движению жидкости через пористую среду.

При гидродинамическом воздействии в угольных пластах, наряду с фильтрацией жидкости при полном насыщении ею среды, имеет место совместное движение жидкости и газа при неполном насыщении среды жидкостью. Присутствие газа в пористой среде обуславливает наличие в ней пленок воды между твердыми частицами, вследствие чего на границе трех фаз (твердой, жидкой

и газообразной) возникают капиллярные силы. Величина капиллярных сил зависит от кривизны поверхностей ограничивающую воду. Очевидно, что кривизна эта тем больше, чем мельче частицы пористой среды. Капиллярные силы повышают влагоудерживающую способность пористой среды и всегда задерживают движение в ней жидкости и газа, вследствие высокой энергии связи капиллярной влаги с поверхностью. В дисперсной пористой среде общее количество связанной влаги всегда превышает количество поверхностно-связанной влаги за счет капиллярной, и это превышение тем больше, чем мельче частицы, составляющие пористую сред. Поэтому при оценке процессов фильтрации существует понятие «предельная влагоемкость», определяющее количество воды, которое не может быть удалено из пористой среды в процессе обезвоживания фильтрацией [3]. Вода, составляющая предельную влагоемкость, не способна двигаться в пористом теле не только под воздействием гравитационных сил, но и при достаточно высоких градиентах давления, действующих на пористый слой. Если толщина заполненного водой слоя невелика, что имеет место при невысоких давлениях нагнетания в процессе гидродинамического воздействия, то вследствие давления газа изнутри массива, а также градиента давления, образованного по обе стороны слоя при резком сбросе давления, происходит отрыв и разрушение слоя угля. При многократном повторении циклов подъема и сброса давления, в пласте образуется зона диспергированного угля и система фильтрационных каналов, которые при прекращении воздействия способствуют интенсификации дегазации.

При повтором гидродинамическом воздействии в условиях повышения давления нагнетания воды в пласт, предварительно разрушенная часть пласта быстро заполняется водой на достаточно большую глубину (радиус зоны гидродинамического воздействия составляет более 10 м). В результате многократной прямой и обратной фильтрации водоугольной суспензии, содержащей большое количество тонких угольных и породных частиц происходит кольматация пористого каркаса, понижение его проницаемости, усиленное наращивание количества объемно-связанной влаги, вследствие чего обработанный массив теряет газопроницаемость. Энергия связи объемно-связанной воды настолько велика (до $4,2 \cdot 10^6$ Дж/кг), что ее слой не может быть вытолкнут внутрислоевым давлением газа и градиентом давления по обе стороны слоя, тем более в условиях значительной его толщины [4]. Эти условия способствуют безопасному проведению подготовительных работ по угольным пластам, так как в ходе выполнения таких горных работ не возникает угрозы превышения нормативной концентрации метана в выработке.

Результаты исследования свойств и зависимостей поверхностно- и объемно-связанной влаги, а также энергии ее связи с поверхностью могут служить обоснованием приведенной выше технологии гидродинамической обработки угольного массива перед проведением подготовительной выработки по газонасыщенному выбросоопасному пласту.

Поверхностно-связанная влага, определяемая показателем $W_{\text{мол}}$ (максимальная молекулярная влагоемкость) представляет собой, в основном, влагу моно- и полимолекулярной адсорбации, микрокапилляров и адгезионную. При наличии

в дисперсной среде значительного количества тонких частиц, в ее состав входит также некоторое количество стыковой и капиллярной влаги. Содержание ее составляет от 30 до 50%, (в относительных процентах к общей влажности) в зависимости от крупности зерен, составляющих пористое тело. В абсолютных процентах содержание поверхностной влажности составляет 5-30 % (табл. 1). Объясняется это зависимостью $W_{\text{мол}}$ от суммы внешней и части внутренней поверхности, которая увеличивается с ростом внешней поверхности.

Анализ таблицы показывает, что не для всех фракций содержание поверхностно-связанных видов влаги совпадает со значением $W_{\text{мол}}$: так для более крупных фракций ($W_{\text{мол}} = 5,8$), часть адгезионной воды удаляется при фильтрации жидкости через слои диспергированного угля, для более мелких фракций ($W_{\text{мол}} = 24,5\%$), в состав поверхностно-связанной воды входит часть капиллярно-стыковой влаги. Принадлежность к максимальной молекулярной влагоемкости говорит о прочности связей этой воды и неспособностью ее к фильтрации под влиянием каких-либо механических воздействий.

Таблица 1 – Виды влаги, составляющие поверхностно-связанную влагу ($W_{\text{пр}}$)

Фракция, мм	$W_{\text{мол}}$, %	Капиллярная, %		Адгезионная, %	Микрокапиллярная, %	Полимолекулярная, %	Мономолекулярная, %
		Промежуточная, %	Стыковая, %				
0-0,5	16,4	5	7	6	4	3	1
0,16-0,25	5,8	2	2	4	1	2,5	0,5
0,08-0,16	7,6	5	12	5	3	3	1
0,04-0,08	11,1	5	15	6	2	3	1
<0,04	24,5	5	17	7	2	3	1
<0,01	28,0	5	18	9	2	3	1

Зависимость $W_{\text{мол}}$ от удельной поверхности пористого тела представлена на рис. 1. Кривая показывает возрастание максимальной молекулярной влагоемкости с увеличением внешней удельной поверхности пористой среды.

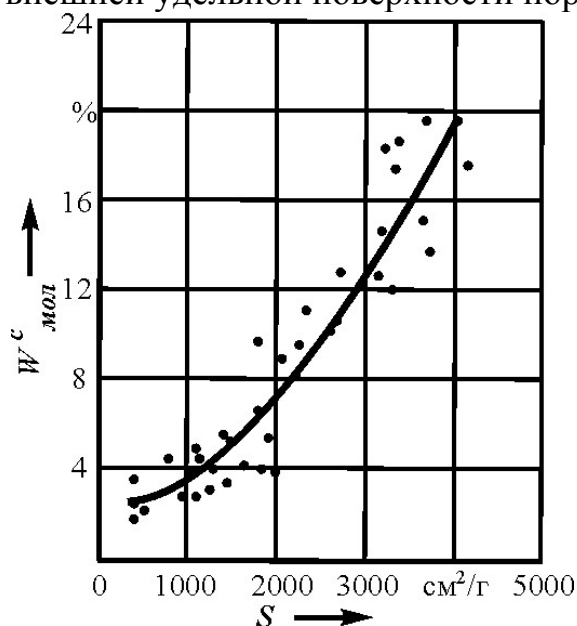


Рис. 1 - Зависимость молекулярной влагоемкости от удельной поверхности

Установлено также, что величина $W_{\text{мол}}$ и угольных и породных дисперсных систем возрастает с увеличением в них содержания тонких классов (рис. 2).

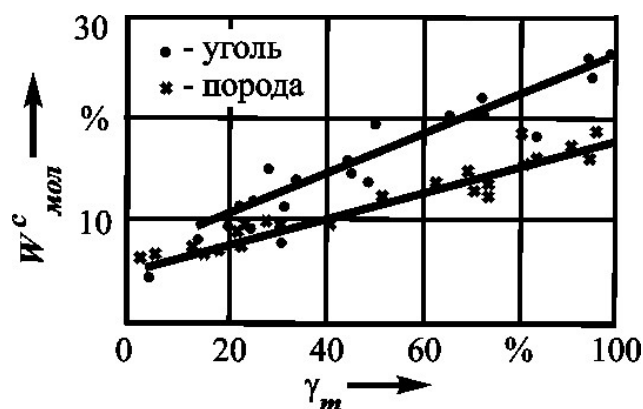


Рис. 2 - Зависимость молекулярной влагоемкости от содержания тонких классов

Величина максимальной молекулярной влагоемкости является функцией гранулометрического состава дисперсной системы, определяющей количество в ней воды, не способной к движению ни при каких величинах механического воздействия. При продавливании воздуха через пористую среду заполненную водой, влажность всегда превышает величину максимальной молекулярной влагоемкости. Разница между этой «предельной влажностью» и значением $W_{\text{мол}}$ составляет объемно-связанную воду: $\Delta W = W_{\text{пр}} - W_{\text{мол}}$.

При анализе зависимости $W_{\text{мол}}$ и $W_{\text{пр}}$ от содержания класса $<0,04$ мм (рис. 3) обращает на себя внимание тот факт, что при содержании фракции $<0,04$ мм, не превышающем 30%, эти показатели практически равны, при увеличении этой фракции в дисперсной структуре значение $W_{\text{пр}}$ начинает быстро увеличиваться.

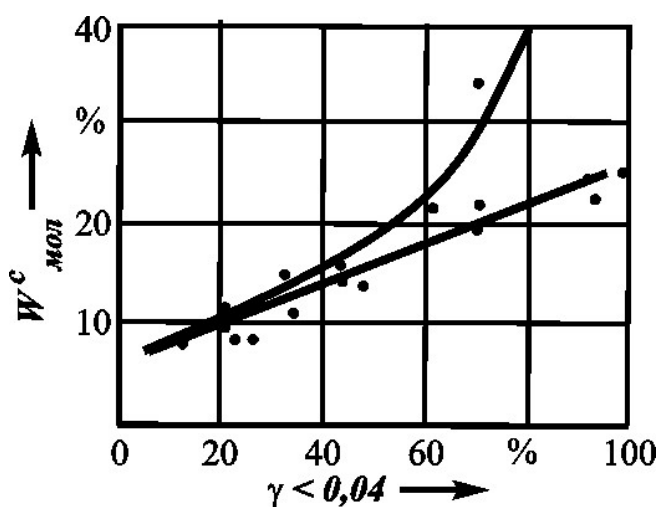


Рис. 3 - Зависимость молекулярной влагоемкости от содержания класса $<0,04$ мм

При увеличении показателя $W_{\text{пр}}$, т.е. объемно-связанной влаги, наблюдается повышение удельного сопротивления заполненного ею пористого слоя (рис. 4).

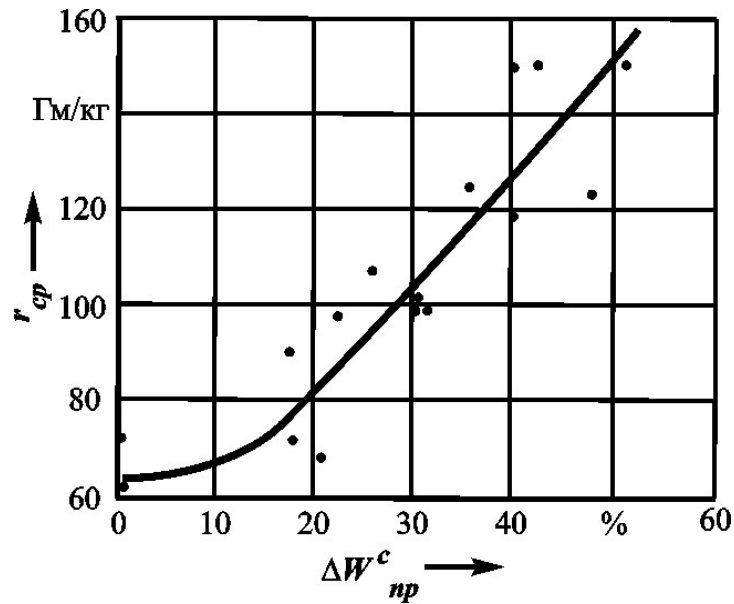


Рис. 4 - Зависимость удельного сопротивления от молекулярной влагоемкости

На основе исследований величин энергии связи [4] различных видов влаги с поверхностью пористых тел, была установлена зависимость этого показателя для объемно-связанной влаги от средней крупности дисперсных сред (рис. 5). Очевидно, что уменьшение средней крупности частиц, а следовательно и пор приводит к повышению энергии связи на порядок и составляет от $4,2 \cdot 10^4$ до $4,2 \cdot 10^6$ Дж.

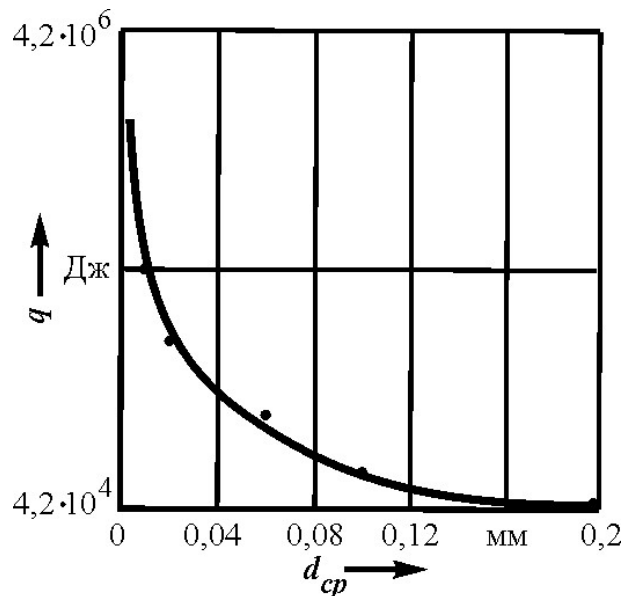


Рис. 5 - Зависимость энергии связи от средней крупности дисперсных сред

Работа по перемещению 1 кг воды в пористом теле под действием градиента давления, образованного при резком сбросе давления в системе плюс давления газа, выдавливающего воду из пласта, рассчитана следующим образом.

Сила, действующая на воду в слое, равна

$$F = \Delta P \cdot S \cdot m,$$

где ΔP - градиент давления, МПа; S – поверхность приложения силы, m^2 ; m – пористость.

Толщина слоя, заполненного водой равна

$$l = \frac{V}{Sm}, \text{ м,}$$

где V – объем воды, заполняющей слой.

Работа A силы F на участке l равна

$$A = F \cdot l = \Delta P \cdot V, \text{ Дж.}$$

Работа по перемещению 1 кг воды, заполняющей объем 10-3 м³ при $\Delta P = 4$ МПа составляет 4·10³ Дж. Очевидно, что эта работа минимум на порядок ниже энергии связи объемно-связанной воды в слое угольного пласта и не может преодолеть его сопротивления.

Так как при повторном гидродинамическом воздействии на угольный пласт газ надежно блокируется в глубине пласта, выброс его в выработку становится невозможным.

Таким образом, результаты исследований подтверждают целесообразность двухстадийной гидродинамической обработки угольных пластов перед проведением подготовительных выработок при следующих параметрах:

- 1 стадия – давление нагнетания - 5 МПа, давление сброса - 2 МПа (при этих условиях происходит разрушение пласта послойным отрывом, образование фильтрационного объема из крупных частиц и интенсивная дегазация);
- 2 стадия – давление нагнетания - 10 МПа, давление сброса – 7 МПа (при этом по периметру обработанной зоны образуется слой тонкодисперсного угля и объемно связанной воды, препятствующий выходу газа в выработку).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Ф. Лебедев Почвенные и грунтовые воды. – М.: Изд-во 4-е АН СССР, 1936. – 190 с.
2. К.Д. Содерленд, И.В. Уорк. Принципы флотации. – М.: Metallurgizdat, 1958. – 256 с.
3. Э.И. Мучник. Исследование влагоудерживающих свойств угольных шлагов и их влияния на результаты процесса обезвоживания на дисковых вакуум-фильтрах. Дисс... канд.техн.наук: 05.15.08. – Днепропетровск. – 1977. – 175 с.
4. К.К. Софийский, Э.И. Мучник, Д.П. Силин. / Исследование энергии связи рабочей жидкости с углем при гидродинамическом воздействии на пласт. // Геотехническая механика. – 2000. - № 21. – С. 97-101.