

УДК 622.831.322

**Минеев С.П.**, д-р техн. наук, профессор  
(ИГТМ НАН Украины)

**Потапенко А.А.**, инженер,

**Моисеенко П.Ю.**, канд. техн. наук  
(ГП «ДУЭК»)

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ (ПАВ) НА  
ПРОЦЕСС ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ  
ПЛАСТ В РЕЖИМЕ РЫХЛЕНИЯ**

**Мінєєв С.П.**, д-р техн. наук, професор  
(ИГТМ НАН України)

**Потапенко А.А.**, інженер,

**Мойсеєнко П.Ю.**, канд. техн. наук  
(ДП «ДУЕК»)

**ВПЛИВ ПОВЕРХНЬО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН (ПАВ) НА ПРОЦЕС  
ГИДРАВЛІЧНОГО ВПЛИВУ НА ВУГІЛЬНИЙ ПЛАСТ У РЕЖИМІ  
РОЗПУШУВАННЯ**

**Mineyev S.P.**, D.Sc.(Tech)  
(IGTM NAS of Ukraine)

**Potapenko A.A.**, M.Sc.(Tech),

**Moiseenko P.Yu.**, Ph. D. (Tech)  
(SP «DUEK»)

**IMPACT OF SURFACTANTS ON THE PROCESS OF HYDRAULIC  
ACTION ON THE COAL SEAM IN CONDITIONS OF THE ROCK  
LOOSENING**

**Аннотация.** Целью работы является анализ результатов проведенных исследований по оценке влияния ПАВ на физико-механические свойства угля для разработки параметров повышения эффективности процесса гидравлического воздействия на угольный пласт.

Исследования по оценке влияния увлажнения с ПАВ на изменение физико-механических свойств угля были проведены в лаборатории ИГТМ НАН Украины с учетом требований общих методических положений горной геомеханики. Исследования проводились на угольных образцах, изготовленных в виде кубиков 30×30×30 мм и «балочек» – 30×30×140 мм.

Установлено, что использование волновых высокочастотных воздействий в значительной степени интенсифицирует поступление жидкости в уголь. Растворы ПАВ способствуют существенному снижению упругих и увеличению неупругих характеристик выбросоопасного угля. Так, по сравнению с водой, эффект уменьшения модуля упругости и предела прочности на изгиб составляет с использованием ПАВ составляет более 50%.

**Ключевые слова:** гидравлическое воздействие, уголь, пласт, выбросоопасность, поверхностно - активные вещества.

Нагнетание жидкости в угольный пласт в настоящее время достаточно широко используется для снижения выбросоопасности в виде таких мероприятий, как увлажнение угольных пластов, гидроотжим, гидродинамическое воздействие на угольный пласт, гидрорыхление и других [1, 2, 3]. Нагнетание жидкости в угольный пласт производят через скважины, пробуренные по пласту или через породную пробку из пластовых подготовительных выработок впереди очистного забоя. Нагнетание жидкости различными способами применяется для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, внезапных выдавливаний угля и других ГДЯ. Для повышения эффективности проникания нагнетаемой жидкости в пласт для более эффективного увлажнения или разупрочнения угля за счет изменения его свойств применяют водные растворы с добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ). До последнего времени выполнены достаточно широкие исследования по оценке влияния конкретных ПАВ на процесс изменения параметров угольного массива [1- 5]. Однако влияние ПАВ на изменение свойств угля изучено не достаточной степени. Поэтому авторы работы проанализировали результаты проведенных исследований по оценке влияния ПАВ на физико-механические свойства угля и эффективность процесса гидравлического воздействия на угольный пласт.

Исследования по оценке влияния увлажнения с поверхностно - активными веществами (ПАВ) на изменение физико-механических свойств угля были проведены в лаборатории ИГТМ НАН Украины. Лабораторные исследования по определению оптимальных концентраций растворов ПАВ на изменение физико-механических свойств угля при его увлажнении проводились с учетом требований общих методических положений горной геомеханики [3, 5, 8]. Для проведения на данном этапе исследований лабораторных экспериментов изготавливались угольные образцы в виде кубиков  $30 \times 30 \times 30$  мм и «балочек» –  $30 \times 30 \times 140$  мм. Количество изготавливаемых угольных образцов для каждого вида испытаний определялось с учетом необходимых показателей надежности, коэффициента вариаций и относительной погрешности, согласно методике, изложенной в работе [5].

Увлажнение угольных образцов при проведении экспериментов осуществлялось растворами поверхностно-активных веществ, изготовленных на шахтной воде. Эффективность увлажнения устанавливается для следующих растворов ПАВ: полиакриламида (ПАА); полиэтиленгликолевого эфира дитретбутилфенола (ДБ); смеси ПАА и ДБ. При экспериментах производилось изменение концентрации растворов ПАВ. Давление и время пропитки составляли, соответственно - 11 МПа и 40 мин.

Влагонасыщение образцов определялось путем их гидростатического взвешивания до и после увлажнения, с точностью 0,001 г. Сущность методики взвешивания сводилась к следующему. На аналитических весах определялся вес сухого образца. Затем образец подвешивался к коромыслу весов, под которым устанавливался сосуд с исследуемым раствором. Образец опускался в раствор и определялся его вес в жидкости. После пропитки угольного образца в исследуемом режиме снова определяется его вес в жидкости. Вес впитанной

жидкости  $\Delta P$  определяется как разность между конечным и начальным весом образца в жидкости, т.е.:

$$\Delta P = P_K - P_H, \quad (1)$$

где  $P_H$  - начальный вес образца в жидкости;  $P_K$  - конечный вес образца в жидкости.

Тогда влагонасыщение образца может быть определено по следующей зависимости:

$$B = \frac{\Delta P}{P_C} \cdot 100 \% , \quad (2)$$

где  $P_C$  - вес сухого образца.

Естественно, автор монографии понимал примитивность такой методики, в которой сделано ряд допущений, в частности не учитывается вес газа в угле, плотность испытуемых водных растворов принимается равной плотности воды, не учитывается набухание углей и другие показатели. Тем не менее, увлажнение угольных образцов при экспериментах проводилось по указанной методике. Исследования проводились на образцах угля, отобранных в забое 46-го западного откаточного штрека, гор. 970, бывшей шахты "Кочегарка" ПО "Артемуголь" на выбросоопасном угольном пласте  $m_2$  – "Тонкий". Результаты исследований по влиянию различных концентраций растворов ПАВ на влагонасыщение выбросоопасного угля приведены в виде осредненных значений в таблице 1.

Таблица 1 - Влияние растворов ПАВ на влагонасыщение угля

Наименование раствора	Концентрация, %	Давление пропитки, МПа	Время пропитки, мин	Прирост влажности, $\Delta W$ , %	$\frac{\Delta W_{ПАВ}}{\Delta W_{вода}}$
Вода	-	11	40	2,87	-
ПАА	0,25	11	40	2,94	1,024
ПАА	0,1	11	40	3,33	1,160
ПАА	0,075	11	40	3,68	1,282
ПАА	0,05	11	40	2,60	0,906
ДБ	1	11	40	0,96	0,334
ДБ	0,5	11	40	1,3	0,453
ДБ	0,1	11	40	0,85	0,296
ДБ	0,075	11	40	1,41	0,491
ДБ	0,05	11	40	1,64	0,571
ПАА+ДБ	0,075+0,075	11	40	2,56	0,892

Как видно из таблицы 1 степень влагонасыщения угля существенно зависит от состава и свойств ПАВ. Экспериментальные данные показывают, что для исследуемого угля добавка полиакриламида к воде способствует увеличению проникающей способности последней и, наоборот - добавка смачивателя ДБ препятствует проникновению жидкости в уголь.

В рамках данного цикла экспериментов были проведены исследования по

изучению воздействия смеси растворов различных концентраций полиакриламида и смачивателя ДБ на влагонасыщение угольных образцов в виде кубиков со стороной 30 мм. Перед пропиткой угольные образцы подвергались шлифованию на абразивном круге. В таблице 2 представлены осредненные результаты исследований по оценке влияния различных концентраций растворов ДБ и ПАА на влагонасыщение угольных образцов.

Таблица 2 - Влияние смеси растворов ПАВ (ПАА+ДБ) на влагопоглощение угля

Наименование раствора	Концентрация, %	Давление пропитки, МПа	Время пропитки, мин	Прирост влажности, $\Delta W$ , %	$\frac{\Delta W_{ПАВ}}{\Delta W_{вода}}$
Вода	-	11	40	0,76	-
ПАА+ДБ	0,2+0,5	11	40	0,944	1,242
ПАА+ДБ	0,1+0,1	11	40	0,83	1,092
ПАА+ДБ	0,01+0,01	11	40	0,864	1,237
ПАА+ДБ	0,05+0,05	11	40	0,668	0,879
ПАА+ДБ	0,05+0,5	11	40	0,552	0,726
ПАА+ДБ	0,3+0,5	11	40	0,429	0,564

Результаты опытных данных, приведенные в таблице 2, показывают, что шлифование угольных образцов существенно уменьшает их смачиваемость, что по-видимому, поясняется закупоркой трещин и пор угольной мелочью, и, соответственно, происходит уменьшение водопроницаемости. Так, например при таких концентрациях растворов: 0,2% ПАА+0,5% ДБ, 0,1% ПАА+0,1% ДБ, 0,01% ПАА+0,01% ДБ происходит увеличение прироста влажности угля на 10-25 % больше, чем при увлажнении шахтной водой.

Аналогичные исследования проводились на образцах угля, изготовленных в виде «балочек» с размерами 30×30×140 мм. При увлажнении «балочек» из угля были использованы те же растворы, которые использовались выше. Полученные данные в виде их осредненных значений приводятся в таблице 3.

Таблица 3 - Воздействие растворов ПАВ на влагонасыщение выбросоопасного угля

Наименование раствора	Концентрация, %	Давление пропитки, МПа	Время пропитки, мин	Прирост влажности, $\Delta W$ , %	$\frac{\Delta W_{ПАВ}}{\Delta W_{вода}}$
Вода	-	11	40	2,81	-
ПАА	0,075	11	40	3,11	1,107
ПАА+ДБ	0,2+0,5	11	40	3,15	1,121
ПАА+ДБ	0,1+0,1	11	40	2,97	1,057
ПАА+ДБ	0,01+0,01	11	40	2,92	1,039

Сравнивая результаты экспериментальных исследований видим, что поверхностно-активные вещества незначительно способствуют увеличению влагопоглощения угля. Из всех исследуемых концентраций растворов - лучшей оказалась смесь 0,2% ПАА+0,5% ДБ.

При проведении экспериментов кроме оценки по влажности проводилась

оценка влияния действия растворов ПАВ на прочностные и деформационные характеристики угольных образцов угля. Физико-механические свойства определялись для обработанных образцов угля растворами ПАВ или водой и для сухих, с последующим сравнением полученных результатов. Испытания проводились согласно методике, изложенной в работах [3, 5, 6]. Результаты исследований по определению прочностных, упругих и реологических свойств угольных образцов, увлажненных водой или растворами ПАВ, приведены в таблицах 4- 5.

Численные значения исследуемых параметров угля, приведенные в таблице 4 были получены в результате статистической обработки и осреднения экспериментальных данных с надежностью 90%. Анализ результатов исследований показывает, что увлажнение угля приводит к значительному снижению упругих и увеличению неупругих характеристик выбросоопасного угля. При этом эффект применения растворов ПАВ на исследуемые свойства угля более существенный по сравнению с увлажнением таких же образцов водой. Так, после увлажнения угольных образцов модуль упругости снижается более, чем в два раза, а предел прочности на изгиб – в 1,5-2 раза. По сравнению с шахтной водой, наибольший эффект уменьшения модуля упругости и предела прочности на изгиб оказывает смесь 0,1% ПАА + 0,1% ДБ, соответственно на 83 и 32 %.

Поскольку коэффициент неупругого сопротивления ( $\gamma$ ) является важнейшей характеристикой неупругих свойств материала, то, естественно, при исследовании увлажняемого угля он также исследовался при проведении экспериментов. Так, общепринятой мерой неупругих свойств, определяемых из энергетических соображений, является коэффициент поглощения энергии, который выражается зависимостью:

$$\Psi = \frac{\Delta W}{W}, \quad (3)$$

где  $\Delta W$  - часть энергии деформации необратимого поглощения (рассеяния) телом за один цикл пружинных колебаний;  $W$  - потенциальная энергия тела, отвечающая амплитуде деформации за тот же цикл.

Тогда, в свою очередь, коэффициент поглощения энергии  $\Psi$  можно выразить через логарифмический декремент затухания  $\delta$  и коэффициент неупругого сопротивления  $\gamma$  следующей зависимостью:

$$\Psi = 2\delta = 2\pi\gamma. \quad (4)$$

Выражение (4) связывает  $\gamma, \delta, \Psi$  для напряженных состояний любого вида: сжатия, растяжения, изгиба, сдвига, кручения.

Таблица 4 - Изменение модуля упругости (E) и предела прочности при изгибе ( $\sigma_n$ ) выбросоопасного угля при его увлажнении

Наименование раствора и его концентрация	Условия пропитки		$E_{\text{сух}}$ , кг/см <sup>2</sup>	Коэффициент вариации, %	$E_{\text{увл}}$ , кг/см <sup>2</sup>	Коэффициент вариации, %	$\frac{E_{\text{сух}}}{E_{\text{увл}}}$	$\frac{E_{\text{воды}}}{E_{\text{пав}}}$	$[\sigma_n^{\text{сух}}]$ , кг/см <sup>2</sup>	Коэффициент вариации, %	$[\sigma_n^{\text{увл}}]$ , кг/см <sup>2</sup>	Коэффициент вариации, %	$\frac{[\sigma_n^{\text{сух}}]}{[\sigma_n^{\text{увл}}]}$	$\frac{[\sigma_n^{\text{воды}}]}{[\sigma_n^{\text{пав}}]}$
	Давление P, МПа	Время t, мин												
Вода шахтная	11	40	1097	34	508	47	2,16	-	1,784	16	1,134	42	1,57	-
0,01%ПАА+0,01%ДБ	11	40	1077	28	385	33	2,80	1,32	1,784	16	0,938	27	1,90	1,21
0,1%ПАА+0,1%ДБ	11	40	1121	13	277	27	4,05	1,83	1,784	16	0,859	23	2,08	1,32
0,2%ПАА+0,5%ДБ	11	40	1088	26	453	32	2,40	1,12	1,784	16	1,052	39	1,69	1,08

Таблица 5 - Изменение коэффициента неупругого сопротивления ( $\gamma$ ) под действием воды и растворов ПАВ

Наименование раствора и его концентрация	Условия пропитки		$\gamma_{\text{сух}}$	Коэффициент вариации, %	$\gamma_{\text{увл}}$	Коэффициент вариации, %	$\frac{\gamma_{\text{увл}}}{\gamma_{\text{сух}}}$	$\frac{\gamma_{\text{пав}}}{\gamma_{\text{вода}}}$
	Давление P, МПа	Время t, мин						
Вода шахтная	10	40	0,535	30	0,948	19	1,772	-
0,01%ПАА+0,01%ДБ	10	40	0,543	14	1,123	23	2,068	1,185
0,1%ПАА+0,1%ДБ	10	41	0,588	20	1,124	17	1,912	1,186
	10	41	0,569	38	0,953	7	1,675	1,010
0,2%ПАА+0,5%ДБ	10	120	0,651	-	1,000	-	1,536	1,000

Таблица 6 - Реологические параметры сухого и увлажненного угля

Наименование раствора и его концентрация	Условия пропитки		Параметры ползучести сухих образцов					Параметры ползучести увлажненных образцов					Увеличение	
	Давление P, МПа	Время t, мин	$\alpha$	$\delta$	$\chi$	$\beta$	$\chi/\beta$	$\alpha$	$\delta$	$\chi$	$\beta$	$\chi/\beta$	по сравнению с сухими	по сравнению с водой
Вода шахтная	11	40	0,954	0,0204	0,655	1,57	0,417	0,910	0,0341	0,833	1,130	0,737	1,767	-
0,1%ПАА+0,1%ДБ	11	40	0,822	0,0317	0,617	0,992	0,622	0,552	0,0163	0,817	0,593	1,378	2,215	1,25
0,2%ПАА+0,5%ДБ	11	40	0,593	0,0096	0,385	0,446	0,863	0,521	0,0206	1,200	0,655	1,832	2,123	1,20

Как показывают результаты исследований, приведенные в таблице 5, коэффициент неупругого сопротивления ( $\gamma$ ) увлажненных образцов в 1,5-2 раза больше, чем у сухих образцов. Значение этого коэффициента при увлажнении растворами ПАВ увеличивается по сравнению с водой в среднем на 10-15%.

Результаты экспериментов по исследованию реологических свойств угольных образцов (сухих и увлажненных водой и различными растворами ПАВ) были усреднены и приведены в таблице 6. Данные, приведенные в таблице 6, показывают, что в результате пропитки угля водой и растворами ПАВ комплексный реологический показатель  $\lambda/\beta$ , характеризующий неупругие свойства среды, возрастает в 1,7-2,2 раза. Причем наибольший рост реологических параметров по этому показателю (25 %) установлен при пропитке угля раствором 0,1% ППА+0,1% ДБ, по сравнению с увлажнением водой. По полученным результатам экспериментальных исследований построены графики, наиболее характерные из которых представлены на рисунке 1.

Анализ графиков 1 показывает, что величина рассеянной энергии (площадь петли гистерезиса) при деформировании угольных образцов, обработанных водой меньше, чем обработанных растворами ПАВ. Величина необратимых деформаций углей, пропитанных растворами ПАВ на 30-60 % больше по сравнению с образцами, увлажненными водой.

Результаты проведенных исследований по оценке влияния увлажнения на ползучесть образцов выбросоопасного угля пласта  $m_2$  водой и растворами ПАВ различной концентрации и состава, приведены на рисунке 2.

Анализ закономерностей, представленных на рис. 2 показывает, что под действием растворов ПАВ значительно возрастает ползучесть выбросоопасного угля по сравнению с образцами, увлажненными только водой. Это подтверждает известный факт возможного и существенного снижения выбросоопасности массива за счет увеличения неупругих свойств угля при его увлажнении.

Для уточнения возможности применения высокочастотного волнового воздействия на угольный массив и повышения эффективности его увлажнения был проведен дополнительный эксперимент МакНИИ и ИГТМ НАН Украины [1, 2, 9]. Изучение совместного действия ультразвука и растворов ПАВ было проведено в лабораторных исследованиях на выбросоопасных углях бывших шахты "Кочегарка", комбината "Артемуголь" и шахты "Кировская" комбината "Донецкуголь". Пробы угля для проведения экспериментов отбирались в забоях откаточных выработок, проводимых, соответственно по выбросоопасным угольным пластам  $m_2$  - "Тонкий", горизонта 970 м (марка угля - Ж) и  $k_7$  - "Смоляниновский", горизонта 1080 м (марка угля - К). Сущность экспериментов сводилась к следующему.

**По выбросоопасному угольному пласту  $m_2$ .** Источником ультразвуковых колебаний для воздействия на уголь служил прибор УЗДН-1. Воздействие осуществлялась при частоте 35 кГц и токе 0,7 а. Угольные образцы для эксперимента изготавливались из проб угля размером 30x30x30 мм. В качестве реагентов для пропитки образцов использовались вода и смесь растворов 0,2%

ПАА+0,5% ДБ. Время пропитки составляло 5 мин. Ультразвуковое воздействие передавалось непосредственно исследуемой жидкости с помощью излучателя. Образцы взвешивались на аналитических весах.

В таблице 7 приведены результаты экспериментов, проведенных с угольным образцом из выбросоопасного пласта  $m_2$  шахты «Кочегарка».

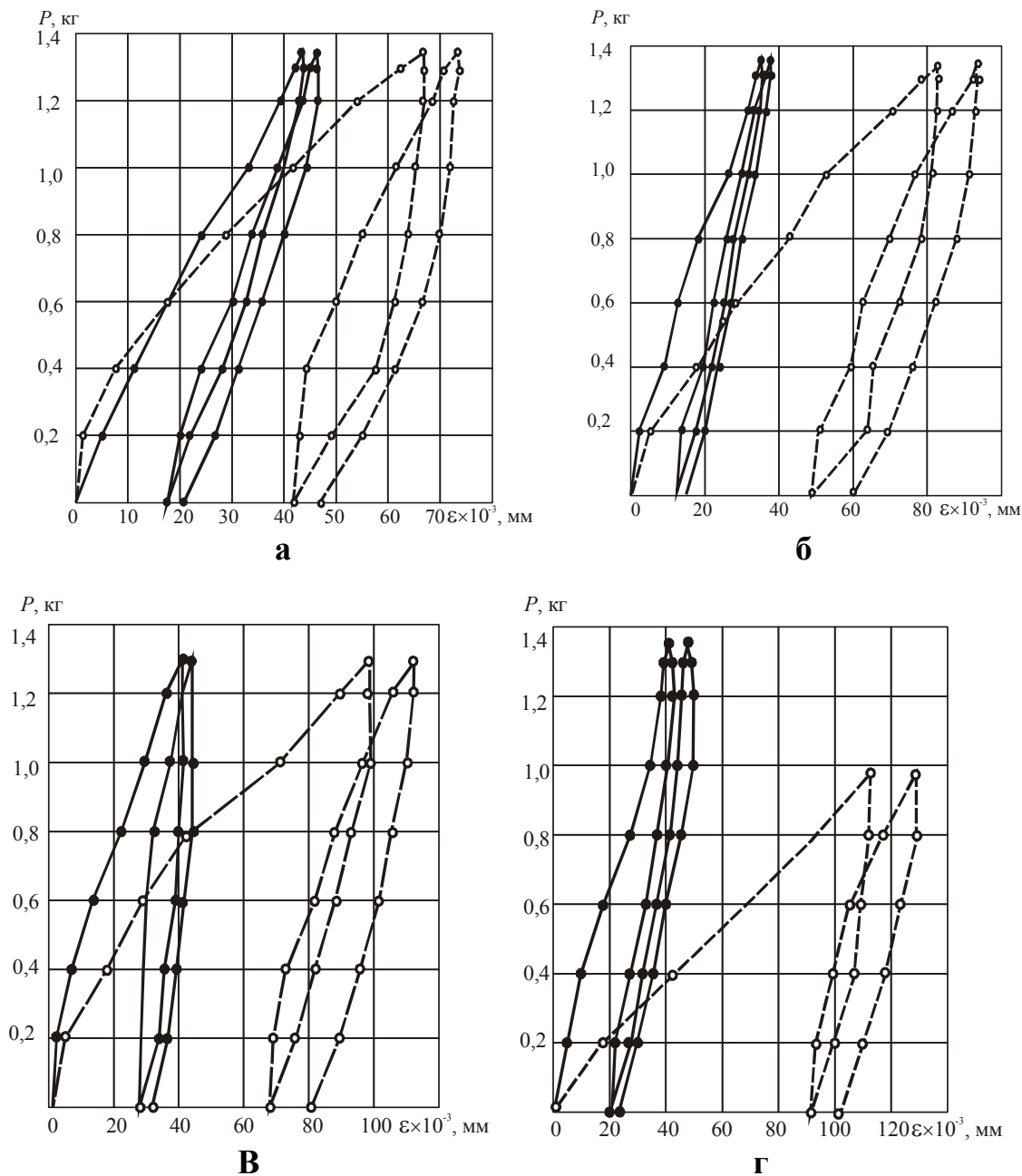


Рисунок 1 - Зависимости деформирования выбросоопасного угля: 1- сплошная линия - сухого; 2 – пунктирная линия - увлажненного; а – увлажненного водой; б – увлажненного раствором 0,2% ПАА + 0,5% ДБ; в – увлажненного раствором 0,01% ПАА+ 0,01% ДБ; г – увлажненного раствором 0,1% ПАА+0,2% ДБ



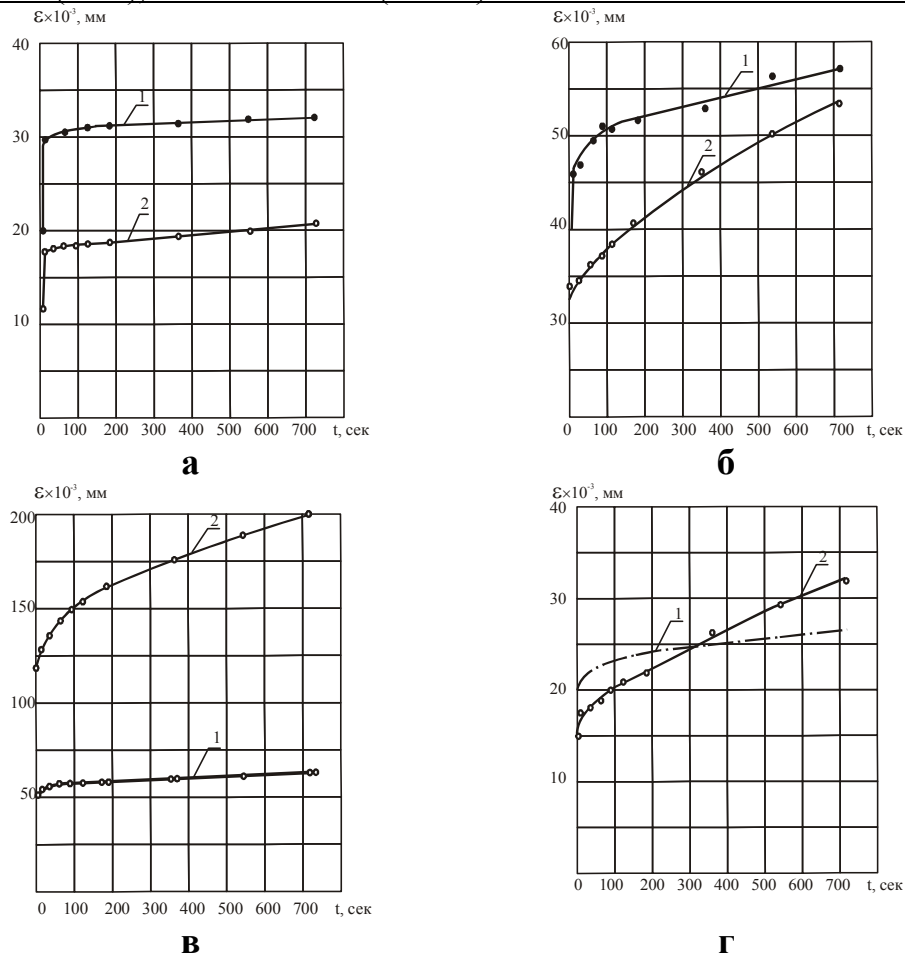


Рисунок 2 - Кривые ползучести выбросоопасного угля: 1- сухого; 2- увлажненного; а – увлажненного водой; б – увлажненного раствором 0,1% ПАА + 0,1% ДБ; в – увлажненного раствором 0,2% ПАА+ 0,5% ДБ; г – увлажненного раствором 0,2% ПАА+0,5% ДБ

Таблица 7 - Влияние ультразвука на пропитку угольного образца пласта  $m_2$  водой

Раствор	№ образ-цов	Условия пропитки	Вес образца, г			Вес впитанной жидкости, г	Прирост влажности, $\Delta W$ , %	$\frac{\Delta W_{ПЛАВ}}{\Delta W_{вода}}$
			сухого	до пропитки	после пропитки			
Вода Шахт-ная	1	с УЗВ	55,82	15,76	17,10	1,34	2,36	3,26
		без УЗВ	55,38	19,29	19,70	0,41	0,73	
	2	с УЗВ	37,48	8,91	8,91	1,14	3,04	2,49
		без УЗВ.	37,50	8,41	8,41	0,46	1,22	
	3	с УЗВ	38,80	9,12	9,12	1,18	3,03	3,60
		без УЗВ	41,71	9,87	9,87	0,35	0,84	
	4	с УЗВ	27,74	6,59	6,59	0,83	2,98	4,73
		без УЗВ	28,94	5,96	5,96	0,19	0,63	
Среднее значение							3,34	

**По выбросоопасному угольному пласту  $h_7$ .** При проведении эксперимента с этим углем образцы размером 50x50x50 мм помещались на стенд в виде гидравлической шахтной стойки ГС-3, которая заполнялась водой или раствором

ПАВ. Увлажнение образца осуществлялось под давлением 1,8 МПа в течение 20 минут. Ультразвуковое воздействие передавалось на жидкость и образец через стенку стойки. Для пропитки образца использовалась вода, а также 0,5% растворы КМЦ и ПАА. Частота ультразвукового воздействия при эксперименте составляла 22 кГц при токе - 0,6 а. Результаты исследований, полученные в данном цикле эксперимента, представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Влияние ПАВ и ультразвука на пропитку угля

Наименование раствора	Условия пропитки	Вес образца до пропитки, г	Вес образца после пропитки, г	Вес впитанной жидкости, г	Прирост влажности, %	$\frac{\Delta W_{ПАВ}}{\Delta W_{вода}}$
Вода шахтная	УЗВ	162,70	164,46	1,76	1,07	1,30
		163,69	166,02	2,33	1,4	
		164,41	166,09	2,28	1,37	
КМЦ	УЗВ	159,13	161,02	1,89	1,17	1,23
		173,77	173,26	2,49	1,44	
ПАА	УЗВ	163,41	165,44	2,03	1,23	1,69
		169,39	174,01	3,62	2,08	

Анализ данных, приведенных в таблицах 7 и 8 показывает, что водопроницаемость угля, отобранного в двух разных местах по простиранию пласта, не является постоянной величиной. В зависимости от изменения свойств угля изменяется эффективность действия ультразвукового воздействия на процесс пропитки образцов. Однако важным является тот факт, что действие ультразвука всегда оказывает положительное и существенное влияние на влагопоглощение углей. Влажность угольных образцов под влиянием ультразвукового воздействия значительно возрастает. Так, при применении воды влажность угля увеличилась в 1,9 раза - в одном случае, и 3,34 раза в другом случае.

Изучая совместное воздействие ПАВ и ультразвука, установлен положительный эффект их влияния. Анализируя полученные данные, можно заметить, что во всех случаях ультразвук способствует влагопоглощению угля. При применении воды влагопоглощение образца увеличилось на 30%, КМЦ на 23%, ПАА на 69%. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что под действием ультразвукового поля интенсивность увлажнения значительно увеличивается.

В шахтных условиях исследования влияния растворов поверхностно-активных веществ ПАВ на процесс гидрорыхления угольного пласта проводились в 9-м западном конвейерном штреке пласта  $\ell_1$  шахты им. А.Ф. Засядько на протяжении 110 м подвигания забоя. В качестве добавки ПАВ к воде применялся 0,2% раствор сульфонола НП-3. Изменение содержания влаги в пласте оценивалось по пробам угля, отбираемых при бурении скважин до и после гидрорыхления с чистой водой и с добавками ПАВ. Наряду с этим регистрировалось давление нагнетания, продолжительность процесса гидрорыхления до его завершения и количество поданной к этому времени воды или раствора в сква-

жину. В общей сложности выполнено 10 определений естественной влажности угля до гидрообработки пласта, 26 после гидрорыхления чистой водой без ПАВ и 24 с применением ПАВ. При этом было установлено, что при естественной влажности угля 0,8% после гидрорыхления чистой водой влажность составляла 0,97-1,07%, а с добавкой ПАВ 1,52-1,55%, т.е. увеличилась почти в 1,5 раза.

Максимальное давление нагнетания с добавками ПАВ было меньше в среднем на 10-15% чем при нагнетании чистой воды, что обусловлено, по видимому, проникновением раствора в более мелкие поры и трещины. Во столько же раз увеличивалось и количество воды с добавками ПАВ, подаваемой в скважины к моменту завершения гидрорыхления, но существенных изменений продолжительности этого процесса не наблюдалось, хотя в отдельных случаях он завершался на 20-30% раньше, чем при нагнетании чистой воды.

В настоящее время существующими нормативными документами (СОУ) [1] для повышения эффективности поступления жидкости в пласт и интенсификации процесса его гидрорыхления рекомендовано применение водных растворов с добавками ПАВ. Выбор типа и концентрации ПАВ в воде рекомендуется производить с учетом данных таблицы 9.

Таблица 9 - Типы и концентрации ПАВ в водных растворах

Типы ПАВ	Концентрация ПАВ в воде по маркам угля, %				
	Г	Ж	К	С	Х
Сульфанол	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,1-0,5	0,1-0,5
Пенообразователь (ПО-1а, ПО-1ф)	0,1-0,3	–	0,2-0,4	–	–
ДБ	0,2-0,3	0,3-0,4	–	–	–

В целом, результаты проведенных исследований по оценке влияния растворов поверхностно-активных веществ на влагопоглощение, прочностные и деформационные характеристики угля показывают, что:

1. Полиакриламид и смесь полиакриламида с ДБ способствуют влагопоглощению угля. Причем наибольший прирост влажности наблюдается для следующих концентраций растворов: при 0,075% ПАА – 28% и 0,2% ПАА+ 0,5% ДБ – 26%.

2. Растворы ПАВ способствуют существенному снижению упругих и увеличению неупругих характеристик выбросоопасного угля. Так, по сравнению с водой, наибольший эффект уменьшения модуля упругости и предела прочности на изгиб оказывает смесь 0,1% ПАА+0,1% ДБ, соответственно - на 83 и 32%. Комплексный реологический показатель при увлажнении образцов угля растворами ПАВ увеличивается по сравнению с образцами, пропитанными шахтной водой: для раствора 0,2% ПАА+0,5% ДБ на 20%, а для раствора 0,1% ПАА+0,1% ДБ на 25%. Коэффициент неупругого сопротивления возрастает в среднем на 18% под действием растворов 0,1% ПАА+0,1% ДБ, и 0,01% ПАА+0,01% ДБ по сравнению с водой. Необратимые деформации образцов углей, пропитанных растворами ПАВ на 30-60% больше необратимых де-

формаций образцов, пропитанных водой.

3. Использование волновых высокочастотных воздействий в значительной степени интенсифицирует поступление жидкости в уголь.

4. Нормативными документами рекомендовано использование ПАВ при нагнетании жидкости в пласт для применяемых на выбросоопасных пластах мероприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.00174088.011 - 2005. Утв. Минуглепромом Украины 30.12.05.-Киев, 2005.- 225 с.
2. Минеев, С.П. Повышение эффективности гидравлического рыхления выбросоопасных угольных пластов / С.П. Минеев, А.А. Потапенко, Т.Я. Мхатвари, А.В. Никифоров.- Донецк: Східний видавничий дім, 2013. - 242 с.
3. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных пластах / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г.Радченко.- Донецк: Східний видавничий дім, 2010. - 604 с.
4. Минеев, С.П. Свойства газонасыщенных углей / С.П. Минеев. - Днепропетровск: НГУ, 2009. - 220 с.
5. Зорин А.Н. Управление динамическими проявлениями горного давления / А.Н. Зорин.- М.: Недра, 1978.- 174 с.
6. Карагодин, Л.Н. Способы борьбы с внезапными выбросами угля и газа // Л.Н. Карагодин, Е.С. Розанцев. – М.: Недра, 1973. – 208 с.
7. Нетрадиционные технологические процессы добычи угля / В.Н. Потураев, С.А. Полуянский, А.Н. Зорин [и др.]. – Киев: Техника, 1986. -117 с.
8. Механика и физика динамических явлений в шахтах / А.Н. Зорин, В.Г. Колесников, К.К. Софийский [и др.]. – Киев: Наукова думка, 1979. – 168 с.
9. Большинский, М.И. Исследование и разработка способов предотвращения выбросов угля и газа при механизированном проведении подготовительных выработок: Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. ... д-ра техн. наук 05.15.11 / Большинский М.И. – М.: ИПКОН АН СССР, 1978.- 51 с.

#### REFERENCES

1. Mynugleprom of Ukraine (2005), *SOU 10.1.00174088.011 Rules of conduct of mine works on the layers inclined to the gas-dynamics phenomena*, Kiev, Ukraine.
2. Myneev, S.P., Potapenko, A.A., Mkhathvary, T.Ya. and Nykyforov A.V. (2013), *Povisheniye effektivnosti gidravlicheskogo rykhleniya vybrosoopasnikh ugolnykh plastov* [Rise of efficiency of the hydraulic loosening of the phone to outburst coal layers], *Skhidny vydavnychyuy dim*, Donetsk, UA.
3. Myneev, S.P., Rubynskyy, A.A., Vytushko, O.V. and Радченко, А.У. (2010), *Gornyye raboty v clozhnykh usloviyakh na vybrosoopasnikh plastakh* [Mine works in difficult terms on the phone to outburst layers], *Skhidny vydavnychyuy dim*, Donetsk, UA.
4. Myneev, S.P. (2009), *Svoyctva gazonasyshchennykh ugley* [Properties of gas-saturated coals], NGU, Dnepropetrovsk, UA.
5. Zoryn, A.N. (1978), *Upravleniye dinamicheskimi proyavleniyami gornogo davleniya* [Management by the dynamic displays of mine pressure], Nedra, Moscow, SU.
6. Karagodyn, L.N. and Rozantsev, Ye.S. (1973), *Sposoby borby s vnezapnymi vybrosami uglya I gaza* [Means of fight against the sudden coal-and-gas outbursts], Nedra, Moscow, SU.
7. Poturaev, V.N., Poluyansky, S.A. and Zoryn, A.N. (1976), *Netraditsionnyye tekhnologicheskiye prptsessy dobychi uglya* [Untraditional technological processes of mining], Technique, Kiev, SU.
8. Zoryn, A.N., Kolesnykov, V.G. and Sophiyskiy, K.K. (1979), *Mekhanika I fizika dinamicheskikh yavleniy v shakhtakh* [Mechanics and physics of the dynamic phenomena in mines], Naukova dumka, Kiev, SU.
9. Bolshynskyy, M.I. (1978), Research and development of methods of prevention of the troop landings of coal and gas at mechanized construction of preparatory making: Abstract of Ph. D. Thesis, 05.15.11, IPKON AS of USSR, Moscow, SU.

**Об авторах:**

**Минеев Сергей Павлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, [sergminee@gmail.com](mailto:sergminee@gmail.com)

**Потапенко Александр Алексеевич**, генеральный директор ДП «Донецкая угольная энергетическая компания» (ДУЭК) Минэнергоуглепрома Украины, Донецк, Украина

**Моисеенко Павел Юрьевич**, канд. техн. наук, технолог ДП «Донецкая угольная энергетическая компания» (ДУЭК) Минэнергоуглепрома Украины, Донецк, Украина

**About the authors**

**Mineyev Sergey Pavlovich**, D.Sc. (Tech), Professor, Head of Department of Pressure Dynamic Control in Rocks of the N.S. Pokyakov Institute of Geotechnical Mechanics NFS of Ukraine (UGTM NAS of Ukraine), [sergminee@gmail.ru](mailto:sergminee@gmail.ru)

**Potapenko Aleksandr Alekseevich**, General Director of «Donetsk Coal Energy Company» (DCEK) Minenergougleprom of Ukraine, Donetsk, Ukraine

**Moiseenko Pavel Yuriyevich**, Ph. D. (Tech), technologist of «Donetsk Coal Energy Company» (DCEK) Minenergougleprom of Ukraine, Donetsk, Ukraine

**Анотація.** Метою роботи є аналіз результатів проведених досліджень щодо оцінки впливу ПАР на фізико-механічні властивості вугілля для розробки параметрів підвищення ефективності процесу гідравлічного впливу на вугільний пласт. Дослідження щодо оцінки впливу зволоження з ПАР на зміну фізико-механических властивостей вугілля були проведені в лабораторії ІГТМ НАН України з урахуванням вимог загальних методичних положень гірської геомеханіки. Дослідження проводилися на вугільних зразках, виготовлених у вигляді кубиків 30×30×30 мм і «балочок» – 30×30×140 мм.

Встановлено, що використання хвильових високочастотних дій в значній мірі інтенсифікує надходження рідини у вугілля. Розчини ПАР сприяють істотному зниженню пружних і збільшенню непружних характеристик викидонебезпечного вугілля. Так, в порівнянні з водою, ефект зменшення модуля пружності і межі міцності на вигин складає з використанням ПАВ складає більше 50%.

**Ключові слова:** гідравлічна дія, вугілля, пласт, викидонебезпечність, поверхнево - активні речовини.

**Abstract.** The purpose of work is the analysis of the results of studies on the effect of surfactants on physical-mechanical properties of coal for the development of the parameters of increase of efficiency of process of hydraulic impacts on the coal seam. Research on assessing the impact of moisture with a surfactant on the change of physico-mechanical properties of coal were carried out in the laboratory of the Institute of geotechnical mechanics of the NAS of Ukraine taking into account the requirements of the General methodological regulations of mining geomechanics. For this stage of the Studies were conducted on coal samples manufactured in the form of cubes 30 x 30 x 30 mm and «балочек» - 30 x 30 x 140 mm. It is established that the use of high-frequency wave influences greatly intensifies the flow of fluid in coal. Surfactants in solutions contributed significantly reduce the elastic and increase inelastic characteristics of outburst of coal. So, in comparison with water, effect of decrease in the elasticity modulus and tensile bending strength is using surfactant is more than 50%.

**Keywords:** hydraulic influence, coal, layer, outburst hazard, superficial are active matters.

*Статья поступила в редакцию 20.07.2014*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко*

**Кирия Р.В.**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.  
(ИГТМ НАН Украины)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СИСТЕМ ПОДЗЕМНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА  
УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

**Kiriya R.V.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
(ИГТМ НАН України)

**ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ  
ПІДЗЕМНОГО КОНВЕЄРНОГО ТРАНСПОРТУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

**R.V. Kiriya**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher  
(IGTM NAS of Ukraine)

**DETERMINATION OF POWER EFFICIENCY OF SYSTEMS OF  
UNDERGROUND CONVEYER TRANSPORT OF COAL MINES**

**Аннотация.** В работе рассмотрен вопрос определения энергетической эффективности систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт с последовательным и параллельным соединением бункеров, а также с древовидной самоподобной структурой. При этом учитывались простои конвейерного оборудования и ограниченность объема груза в бункере. На основании математической модели функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт с использованием метода динамики средних получен алгоритм определения средней энергоемкости транспортирования систем конвейерного транспорта. На основании этого определен критерий эффективности систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт при различных соотношениях грузопотоков, поступающих из лав, и производительностей бункеров. Приведен пример расчета и дан анализ влияния величин грузопотоков, поступающих из лав, производительности питателей, объема аккумулирующих бункеров и стоимости 1 кВт электроэнергии на критерий эффективности функционирования систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт.

**Ключевые слова:** системы конвейерного транспорта, бункер, самоподобная структура, функционирование, пропускная способность, энергоемкость, энергетическая эффективность.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами**

В настоящее время в связи с удорожанием электроэнергии повысилась себестоимость добычи угля на угольных шахтах Украины. Одним из путей уменьшения себестоимости угля в этих условиях является снижение энергозатрат. Наибольшие потери электроэнергии при добыче угля приходится на конвейерный транспорт.

Основной характеристикой экономической эффективности работы системы конвейерного транспорта является себестоимость транспортирования угля.

Себестоимость транспортирования состоит из суммарных расходов на перемещение груза, т.е. энергоемкость транспортирования  $C_Э$ , и затрат, идущих на поддержание системы транспорта в рабочем состоянии  $C_P$ , куда входят расходы на ремонт и обслуживание.