

УДК 622.833/.838;622.02:531

**С.Е. Чирков, А.В. Лиманский, В.А. Луняков**

**АКТИВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЯ ГОРНОГО  
МАССИВА ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ  
КАК СЛЕДСТВИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ  
ПОДРАБОТАННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД  
ПРИ ВОДОНАСЫЩЕНИИ**

*Рассмотрено влияние водонасыщения на комплекс физико-механических свойств песчаников. Особое внимание уделено изменению угла внутреннего трения при водонасыщении. Показано, что его значение уменьшается, что приводит к увеличению мульды оседания поверхности и другим негативным последствиям при ликвидации шахт способом затопления.*

*Ключевые слова:* активизация процессов, свойства горных пород, водонасыщение.

---

**Р**еструктуризация угольной промышленности страны вызвала необходимость ликвидации ряда нерентабельных шахт. Многие из них ликвидируются способом их затопления. Происходящее при этом процессы, отрицательные в экологическом плане, до настоящего времени являются малоизученными, трудно прогнозируемыми и почти не управляемые. Водонасыщение массива горных пород и углей изменяет их прочностные и другие свойства, приводит к потере установившегося равновесия породной толщи, вызывая активизацию ее сдвижения.

Большинство исследователей связывают активизацию сдвижения горного массива (развитие мульды оседания, образование обвалов и трещин в подработанном массиве и другие) с уменьшением при водонасыщении пределов прочности горных пород при одноосном сжатии или коэффициентов крепости по проф. М.М. Протодяконову.

При подготовке «Правил охраны...» [4] в лаборатории сдвижения горных пород ВНИМИ для всех изученных угольных месторождений России и стран СНГ была получена зависимость угла сдвижения по простиранию, являющегося одним из основных параметров процесса сдвижения, от средневзвешенной крепости толщи, представленная в табличной форме. При этом в качестве углов сдвижения по простиранию принимались измеренные по каждому месторождению углы, т.е. углы принятые в бассейновых «Правилах охраны...». Средневзвешенная крепость толщи по каждому месторождению определялась по методике, изложенной в Приложении 8 ПБ 07-269-98 [4].

Для ряда месторождений при отклонении от расчетного геологического разреза введен дополнительный фактор — процентное содержание крепких пород (песчаников, известняков) в подрабатываемой толще.

Таблица 1

**Группы угольных месторождений**

Группа	Значения F		$\Delta F$ , %	$\delta$ , градус
	Среднее	Предел изменения		
I	0,1	< 0,3	–	45
II	0,5	0,3–0,7	–	55
III	1,0	0,8-1,2	30	60
IV	1,5	1,3-2,0	60	65
V	2,5	2,1-3,5	60	70
VI	4,0	3,6-4,5	60	75
VII	5,0	4,6-6,0	30	80
VIII	7,0	6,1-8,0	30	85
IX	9,0	8,1-12,0	30	85-90

Таблица 2

**Результаты водонасыщения**

№ образца	Размеры образцов, мм				Вес образцов, г		
	a	b	h	Объем, см <sup>3</sup>	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Увлажнение, %
Доломит							
1	39,7	40,0	40,5	64,31	135,3	149,25	10,3
2	39,5	38,6	39,6	60,38	126,2	139,3	10,4
3	39,0	39,0	39,5	60,08	128,4	141,9	10,5
Известняк							
1	40,0	39,0	39,4	61,46	124,63	138,0	10,7
2	38,9	38,6	39,6	59,46	132,40	143,8	8,61
3	39,4	40,5	39,6	63,19	127,20	140,8	10,7

Таким образом, угольные месторождения России и стран СНГ по средневзвешенным значениям крепости толщ каждого месторождения были разделены на IX групп (табл. 1), т.е. по существу получена экспериментальная зависимость углов сдвижения по простиранию от средневзвешенной крепости толщи. При этом коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову определялся как 1/10 прочности при одноосном сжатии.

Табл. 1 дополнена вспомогательным параметром  $\Delta F(\%)$ , показывающим насколько должна уменьшиться в результате водонасыщения средневзвешенная прочность пород толщ в каждой группе, чтобы из одной группы перейти в соседнюю нижнюю, т.е. угол сдвижения по простиранию должен быть уменьшен на 5°.

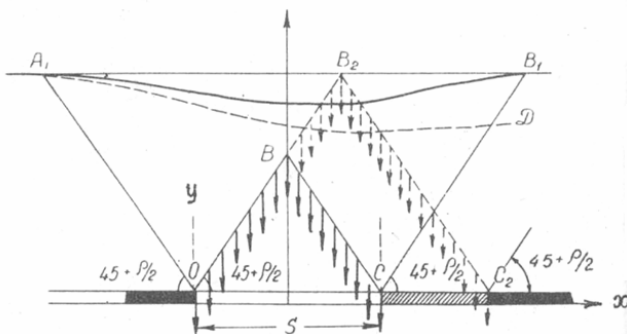
Аналогичная таблица по крепости приведена в Инструкции... [3].

В. Посыльный [5], изучивший влияние коэффициента крепости горного массива на граничные углы для условий Донбасса, отмечает:

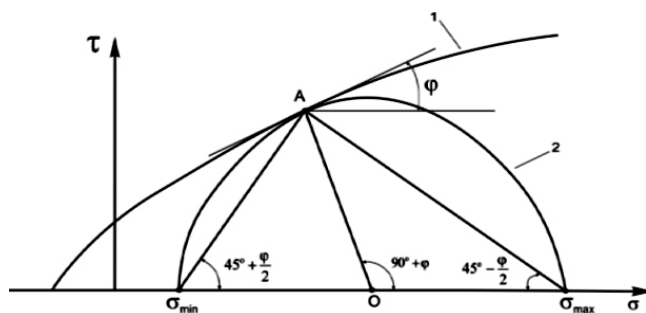
«Из всех связей наиболее сильной является связь между  $\delta_0$  и F. Поэтому за базисное уравнение принимается:  $\delta_0 = 1,6534F + 64,801$ ».

Здесь  $\delta_0$  – граничный угол сдвижения по простиранию угольного пласта. Например, при среднем значении крепости толщи пород около 9, величина граничного угла по простиранию составит около 80°, что близко, но несколько меньше табличного значения.

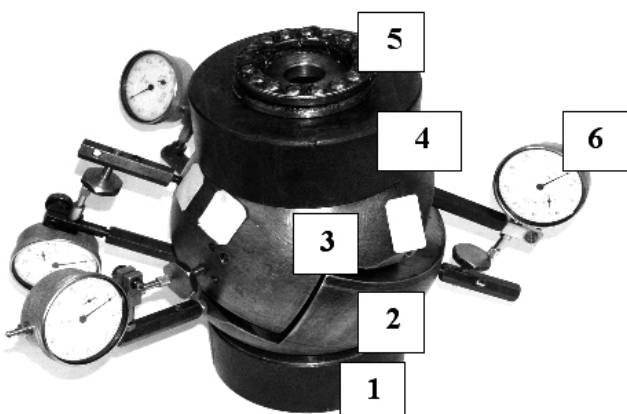
Приведенные материалы и отмеченные закономерности позволили ВНИМИ предложить методику оценки



**Рис. 1.** Развитие зоны полной подработки с увеличением ширины выработки



**Рис. 2.** Огибающая (1) предельных кругов напряжений Мора (2):  $\phi$  – угол внутреннего трения; угол А,  $\sigma_{\min}$ , О – угол разрушения



**Рис. 3.** Прибор для испытания образцов горных пород в условиях трехосного не равнокомпонентного напряженного состояния: 1 – нижняя опора; 2 – нижняя полусфера; 3 – верхняя полусфера; 4 – верхняя опора; 5 – упорный подшипник; 6 – индикаторы часового типа

изменения угловых параметров процесса сдвижения подработанных толщ горных пород в результате уменьшения их прочности на одноосное сжатие при водонасыщении [4].

Для горных пород другим прочностным показателем, кроме прочности при сжатии, растяжении и сдвиге, является угол внутреннего трения. Для пород, не имеющих сцепления, этот прочностной показатель является основным. Он определяется по результатам испытаний по ГОСТ 21153.8-88 [6] при разрушении образцов горных пород в условиях объемного сжатия или при срезе со сжатием. Исследований влияния водонасыщения горных пород на углы внутреннего трения мало и они противоречивы. Есть исследования, показывающие отсутствие влияния водонасыщения на величины углов внутреннего трения [2].

В работе [7] мы рассмотрели возможные причины таких выводов и, опираясь на собственные исследования, считаем, что водонасыщение горных пород уменьшает величину угла внутреннего трения. Тем более что, согласно «Правил безопасности ...» [1], углы сдвижения массива, измеренные на различных месторождениях, при его водо-

Таблица 3

**Прочность пород при одноосном сжатии и растяжении**

Порода	Состояние	При сжатии			При растяжении		
		n	$\sigma_{сж}$ , МПа	v, %	n	$\sigma_r$ , МПа	v, %
Известняк	Воздушно-сухое	7	23,8	14	10	3,38	11
	Водонасыщенное	7	17,9	15	8	2,38	20
Доломит	Воздушно-сухое	6	48,2	10	8	6,85	14
	Водонасыщенное	6	32,6	15	7	4,34	8

Примечания: n – количество испытанных образцов;  $\sigma_{сж}$ , МПа – прочность при одноосном сжатии;  $\sigma_r$ , МПа – прочность при растяжении; V, % – коэффициент вариации.

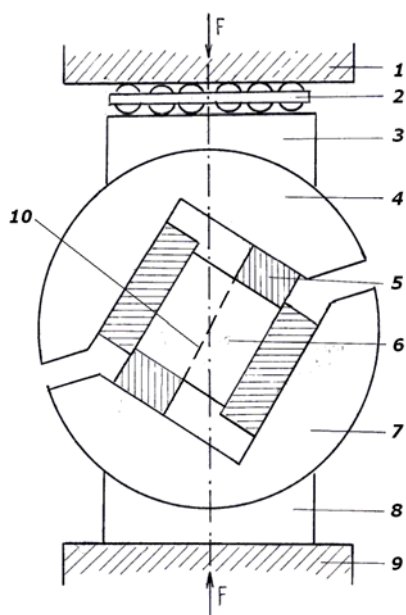
Таблица 4

**Результаты испытаний образцов**

Порода	Состояние	Наклон-плошадки среза	Разрушающая сила, F, кН	Коэффициент вариации, V, %	Напряжения среза, $\tau$ , МПа	Нормальное напряжение, $\sigma$ , МПа	tg( $\varphi$ )	$\varphi$ , °
Испытание по ГОСТ 21153.5-88								
Известняк	Воздушно-сухое	20 °	9,5	17	5,58	2,03	0,663	33° 36'
		45 °	28,3	6	12,5	12,5		
	Водонасыщенное	20 °	8,6	7	5,05	1,84	0,510	27° 00'
		45 °	19,0	7	8,4	8,4		
Доломит	Воздушно-сухое	20 °	20,20	17	11,9	4,32	0,685	34° 24'
		45 °	61,33	12	28,4	28,4		
	Водонасыщенное	20 °	18,6	7	10,9	3,98	0,447	24° 06'
		45 °	37,3	8	16,5	16,5		
Испытание с двухосным сжатием								
Известняк	Воздушно-сухое	12 °	8,4	8	5,13	1,13	0,759	37° 12'
		19 °	9,8	15	5,79	2,00		
	Водонасыщенное	12 °	7,4	7	4,52	0,993	0,473	25° 18'
		19 °	8,2	10	4,84	1,67		
Доломит	Воздушно-сухое	12 °	16,5	4	10,07	2,21	0,789	38° 17'
		19 °	19,4	4	11,46	3,45		
	Водонасыщенное	12 °	16,2	4	9,89	2,17	0,493	26° 12'
		19 °	18,0	5	10,63	3,67		

насыщении уменьшается для наносов на 5°-15°, а для коренных пород на 3°-5°. Это подтверждает наши выводы, что и углы внутреннего трения горных пород при водонасыщении уменьшаются. Тем не менее, ис-

следования влияния водонасыщения на величину внутреннего трения горных пород необходимо продолжать. При этом желательно чтобы в процессе испытаний образцов горных пород происходило трение од-



**Рис. 4. Схема испытания образцов в приборе на срез с двухосным сжатием:**  $F$  – сжимающее усилие; 1, 9 – плиты пресса; 2 – упорный подшипник; 3, 8 – верхняя и нижняя опоры; 4, 7 – верхняя и нижняя половинки шара; 5 – пластины, передающие срезающую нагрузку на образец; 6 – нагружаемый образец; 10 – след поверхности среза

ной части разрушаемого образца по другой.

Актуальность таких исследований подтверждает работа С.Г. Авершина [8], обобщившего теоретические работы ВНИМИ и рассмотревшего сдвигение массива горных пород с точки зрения теории пластичности. Он приводит рис. 1, на котором показал, что граничные углы сдвига зависят от второго прочностного показателя свойств горных пород – угла внутреннего трения  $\rho$  ( $45^\circ + \rho/2$ ).

По-видимому, С.Г. Авершин при этом опирался на теорию прочности Кулона-Мора, согласно которой угол разрушения равен  $45^\circ + \rho/2$  (рис. 2), где  $\rho$  – угол внутреннего трения, ко-

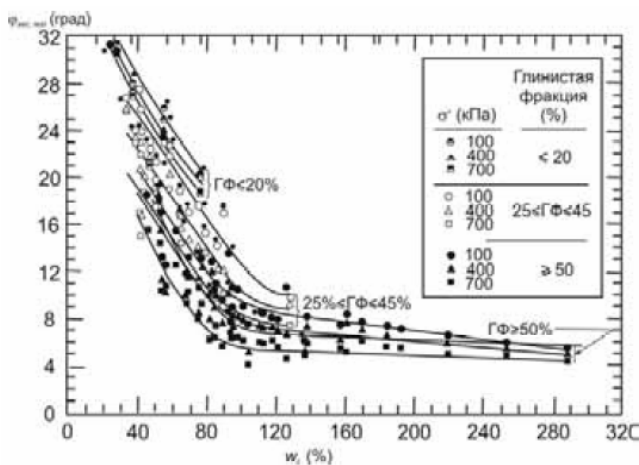
торый в ГОСТ 21153.8-88 обозначается знаком  $\phi$ .

Так как огибающая предельные круги напряжений постепенно выполаживается, то можно предвидеть изменение угла внутреннего трения с изменением объемного напряженного состояния.

Новые исследования влияния водонасыщения на угол внутреннего трения нами были выполнены на образцах известняка и доломита. Их результаты впервые приведены в настоящей статье. Использовались два способа испытаний: срез со сжатием по ГОСТ 21153.8-88 и срез с двухосным сжатием в новом шарообразном приборе трехосного сжатия (рис. 3, 4) [7,9]. При этом оба сжимающие напряжения были одинаковыми.

Испытания выполнялись на образцах кубической формы размером 40x40x40 мм. Одна половина образцов насыщалась водой полностью способом медленного водопоглощения. Суть его заключалась в следующем: образцы горных пород в воздушно-сухом состоянии помещались в сосуд и заливались водой на одну треть их высоты. Затем через 3-4 суток уровень воды в сосуде поднимался еще на 1/3 высоты образцов. Процедура повторялась и затем образцы горных пород покрывались полностью водой. Выдержав не менее 3 суток, образцы были готовы к испытаниям. Такой известный режим водонасыщения позволяет воде свободно вытеснять воздух из пор горной породы. Одновременно он, в какой-то степени, моделирует условия постепенного повышения уровня воды в затопляемых шахтах.

Результаты водонасыщения показаны в табл. 2.



**Рис. 5. Зависимость остаточного угла внутреннего трения от влажности на границе текучести, процентного содержания минералов глины и всестороннего давления**

Из табл. 2 видно, что насыщаемые водой образцы увеличили свою влажность на 8,6-10,7 %.

Прочность пород при одноосном сжатии и растяжении приведена в табл. 3. Прочность при сжатии определялась на кубических образцах, а при растяжении – по методу раскалывания кубических образцов соосновными клиньями и делением максимальной раскалывающей силы на площадь раскола.

Результаты испытаний показаны в таблице 4. Видно, что водонасыщение осадочных горных пород известняка и

доломита привело к уменьшению угла внутреннего трения на 6-12°.

Испытания с двухосным сжатием выполнялись при меньших нормальных к площадке среза напряжениях. Поэтому углы внутреннего трения увеличились (см. рис. 2).

В работе Г.Г. Болдырева [10], приводится рис. 5, заимствованный из работы [11], показывающий уменьшение угла внутреннего трения при увлажнении горных пород с различным содержанием глинистых фракций и величиной объемного сжа-

тия. Видно, что с увеличением влажности углы внутреннего трения уменьшаются на 10 и более градусов.

Изложенное позволяет сделать выводы о том, что активизация процессов сдвижения горного массива при затоплении угольных шахт (изменение граничных углов, параметров мульд оседания, развитие провалов, необходимость их повторной засыпки и др.) объясняется уменьшением не только показателей прочности (крепости), и угла внутреннего трения при водонасыщении горного и закладочного массивов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маньковский Г.И. Горная геомеханика и теория состояния горных пород. — Вестник АН СССР, 1963. — № 5. — С. 47—49.
2. Карманский А.Т. «Экспериментальное обоснование прочности и разрушения насыщенных осадочных горных пород», Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д.т.н., ВНИМИ, Санкт-Петербург, 2010.
3. Чирков С.Е., Мельников А.Н. Комплексные исследования физико-механических

4. РД 07-166-97. Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений. База нормативной информации www.Complexdoc.ru.

5. *Посыльный Ю.В.* Геометрия мульды сдвижения земной поверхности над горными выработками угольных шахт. Докторская диссертация. Новочеркасск, 2001 г.

6. ГОСТ 21153.8-88. Породы горные. Метод определения предела прочности при объемном сжатии

7. *Чирков С.Е., Лиманский А.В., Луняков В.А.* Изменение угла внутреннего трения горных пород при их водонасыщении // Техника и технология открытой и подземной разработки месторождений: Науч. сообщ./ ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского. – М., 2012. – Вып. 337. – С. 261-269.

8. *Авершин С.Г.* Расчет деформаций массива горных пород под влиянием подзем-

ных выработок (Обобщение теоретических исследований ВНИМИ по сдвигению горных пород). Издание ВНИМИ, Ленинград, 1960 г.

9. *Чирков С.Е.* Способ и прибор для испытаний свойств горных пород при трехосном сжатии. //Физ. мезомех. – 2005. – Т. 8. – №2. – С. 89-92.

10. *Болдырев Г.Г.* Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. Пенза 2008.

11. *Wright S.G.* Evaluation of Soil Shear Strengths for Slope and Retaining Wall Stability. Analyses with Emphasis on High Plasticity Clays. Report No. FHWA/TX-06/5-1874-01-1, 2005. – P. 100. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

---

*Чирков Сергей Ефимович* – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Chirkov@igds.ru,

*Лиманский Александр Васильевич* – кандидат технических наук, директор центра по экологии горного производства, av.limanskiy@gmail.com,

*Луняков Виталий Андреевич* – аспирант, vlunyakov@mail.ru,

ОАО «ННЦ ГП — Институт горного дела им. А.А. Скочинского».



## ГОРНАЯ КНИГА

---



### Маркетинг в горной промышленности

В.А. Бурчаков

2013 г.

272 с.

ISBN: 978-5-98672-339-6

UDK: 622.013:65.012.2

Приведены базовые положения современного маркетинга и методы его использования на современных предприятиях горной промышленности. Рассмотрены теоретические и методологические вопросы по организации маркетинговых исследований, проведению сегментации рынка, позиционированию производимой продукции, ценообразованию и т.д. Изложен круг проблем, определяющих маркетинг горно-добывающих предприятий, методы его реализации на рынке горной промышленности, конкурентоспособность горных предприятий, дан анализ тенденций и перспектив развития мирового рынка угля и углекислоты.

*Бурчаков В.А.* — профессор кафедры «Экономика и планирование горного производства» Московского государственного горного университета.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 080100 «Экономика» (профиль «Экономика и планирование горного производства»).