

## ИЗМЕНЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГАЗОБЕТОННЫХ КРЕПЕЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ОБВОДНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

к.т.н. **Кавин В.А.** (УкрНИИМ)

Характер изменения несущей способности газобетонных крепежных конструкций при их эксплуатации в обводненных горных выработках исследовался путем анализа деформационно-нагрузочных характеристик образцов газобетона различной степени влажности с учетом существования масштабного и блочного эффектов.

В качестве исходного материала для всей партии образцов был взят стандартный стеновой блок из газобетона марки по плотности 700 и класса по прочности на сжатие В3,5 производства Докучаевского завода ЖБИ. Из этого блока на камнерезной машине были изготовлены образцы кубической формы с размерами ребер 50 мм. Для обеспечения одинаковых исходных условий по фактору влажности все образцы выдерживались в течение суток в лабораторном помещении с относительной влажностью воздуха не более 60 % при температуре 20...25 °С. После предварительного высушивания несколько контрольных образцов были оставлены в воздушно-сухом состоянии, а все остальные образцы предназначались для механических испытаний после их обработки шахтной водой различного химического состава и различной агрессивности по отношению к бетону.

Шахтная вода для этих испытаний была отобрана в водосборниках и стволах пяти шахт Донецко-Макеевского и Чистяково-Снежнянского районов Донбасса на глубине 500...900 м. Заключение относительно характера агрессивности этой воды по отношению к бетону, сделанные в тематической экспедиции ПО «Укруглегеология», представлены в табл. 1.

Анализируя табличные данные, можно сделать вывод, что химический состав и степень агрессивности отобранных для испытаний проб шахтной воды являются достаточно представительными, так как они характерны для наиболее распространенных типов шахтных вод, которые встречаются на основных площадях и современных глубинах разработки угольных пластов Донбасса.

Перед погружением в воду все подготовленные к механическим испытаниям образцы газобетона совершенно произвольно были разделены на три группы (серии) А, В и С.

Серия А была представлена шестью образцами газобетона. Один из них испытывался в воздушно-сухом состоянии, второй образец перед испытаниями был погружен в чистую водопроводную воду, а оставшиеся четыре образца находились в

Таблица 1

Шахта	Формула вещественного состава воды	Агрессивность воды по отношению к бетону
им. А.М. Горького	слабощелочная	не агрессивна
«Заперевальная»	слабощелочная	слабо агрессивна по содержанию сульфатов $SO_4^{2-}$
«Моспинская»	слабощелочная , почти нейтральная	сильно агрессивна по содержанию сульфатов $SO_4^{2-}$
«Тернопольская»	кислая	сильно агрессивна по водородному показателю pH и содержанию сульфатов $SO_4^{2-}$
«Московская»	кислая	сильно агрессивна по водородному показателю pH и содержанию сульфатов $SO_4^{2-}$

шахтной воде различного химического состава. Через определенные промежутки времени все намоченные образцы этой серии извлекались из воды, взвешивались, и по величине приращения массы каждый раз устанавливалось изменение их относительной влажности, что позволило отследить кинетику поглощения газобетоном воды различного химического состава.

Общая продолжительность пребывания в воде образцов газобетона серии А, после которого производились их механические испытания, составила 91 ч. Полученные за этот период времени промежуточные и конечные значения относительной влажности представлены в табл. 2.

Серия В была представлена четырьмя образцами газобетона. Один из них испытывался в воздушно-сухом состоянии, а три образца перед испытаниями погружались в воду на 91 ч без промежуточной оценки влажности. Результаты определения относительной влажности этих образцов весовым методом по истечении указанного срока представлены в табл. 3. В этой же таблице приведены и значения конечной влажности образцов

Таблица 2

Место отбора пробы шахтной воды	Содержание влаги (% по массе) при длительности увлажнения, ч:						
	0,5	1,0	2,0	3,0	19,0	25,0	91,0
Водопроводная	19,6	22,8	26,1	28,4	29,8	30,6	32,2
ш. им. А.М. Горького	17,7	21,1	24,2	25,7	27,3	28,4	29,7
ш. «Заперевальная»	16,8	19,6	22,1	24,0	26,4	27,4	32,7
ш. «Моспинская»	14,9	17,1	19,9	21,7	26,5	26,8	27,6
ш. «Тернопольская»	15,2	17,6	20,1	22,0	24,7	25,0	26,6

Таблица 3

Место отбора пробы шахтной воды	Влажность (% по массе) образцов газобетона серии В при длительности увлажнения 91 ч	Влажность (% по массе) образцов газобетона серии С при длительности увлажнения 45 сут
Водопродная	38,7	-
ш. им. Горького	42,0	50,9
ш. «Заперевальная»	31,3	-
ш. «Моспинская»	-	56,1
ш. «Тернопольская»	-	55,6
ш. «Московская»	-	56,7

серии С, которые перед механическими испытаниями непрерывно находились в шахтной воде в течение 45 сут.

Для качественной и количественной оценки этого влияния, а также для установления общих закономерностей деформирования увлажненных газобетонных образцов была выполнен статистический анализ значений двух базовых точек диаграмм нагружения ( $P_{max}$  и  $P_{const}$ ), одной точки в области вторичного прессования при  $\epsilon = 30\%$  ( $P_{30\%}$ ) и вычисленных значений кубиковой прочности ( $R_c$ ) газобетона [1]. Исходные данные для этого анализа были взяты непосредственно на диаграммах нагружения исследованных образцов газобетона и представлены в табл. 4 в порядке возрастания влажности образцов.

Влажность воздушно-сухих образцов рассчитывалась по влажности воздуха лабораторного помещения

На этапе качественного анализа экспериментальных данных значения параметра  $P_{max}$  были систематизированы как по степени влажности газобетонных образцов, так и по характеру агрессивности шахтной воды. При этом для каждого типа шахтной воды значения параметра  $P_{max}$  на диаграмме рис. 1, располагались в порядке возрастания влажности образцов. На диаграмме отчетливо видно, что максимальная несущая способность увлажненных образцов газобетона практически не зависит от типа шахтной воды. Так, после 91 ч увлажнения образцов чистой водопродной водой и слабо агрессивной по  $SO_4^{2-}$  шахтной водой (при степени влажности 32,2...39,2 %) средние значения  $P_{max}$  составляли соответственно 8,5 и 8,25 кН. При длительности водонасыщения 45 сут у образца, находившегося в не агрессивной слабощелочной воде  $P_{max} = 7,3$  кН, а у образцов, находившихся в сильно агрессивной по  $SO_4^{2-}$  и рН кислой воде,  $P_{max} = 7,5...7,7$  кН.

Таблица 4

№ п/п	Влажность образца (по массе), %	Кубиковая прочность, МПа	Параметры диаграммы нагружения, кН		
			$P_{max}$	$P_{const}$	$P_{30\%}$
1	5,0*	5,0	12,5	6,5	10,8
2	5,0	4,9	11,9	6,1	11,2
3	26,6	4,0	10,0	5,3	11,0
4	27,6	4,1	9,8	5,3	10,0
5	29,7	4,0	9,8	5,9	11,0
6	32,2	3,6	8,2	5,8	9,0
7	32,7	3,6	9,0	5,2	7,0
8	38,7	3,5	9,0	5,5	8,5
9	39,2	3,2	7,7	4,8	6,5
10	42,0	3,1	8,0	4,6	5,5
11	50,9	3,0	7,3	5,3	6,5
12	55,6	3,1	7,4	4,8	7,5
13	56,1	2,9	7,2	4,6	8,0
14	56,7	3,0	7,6	4,7	6,5

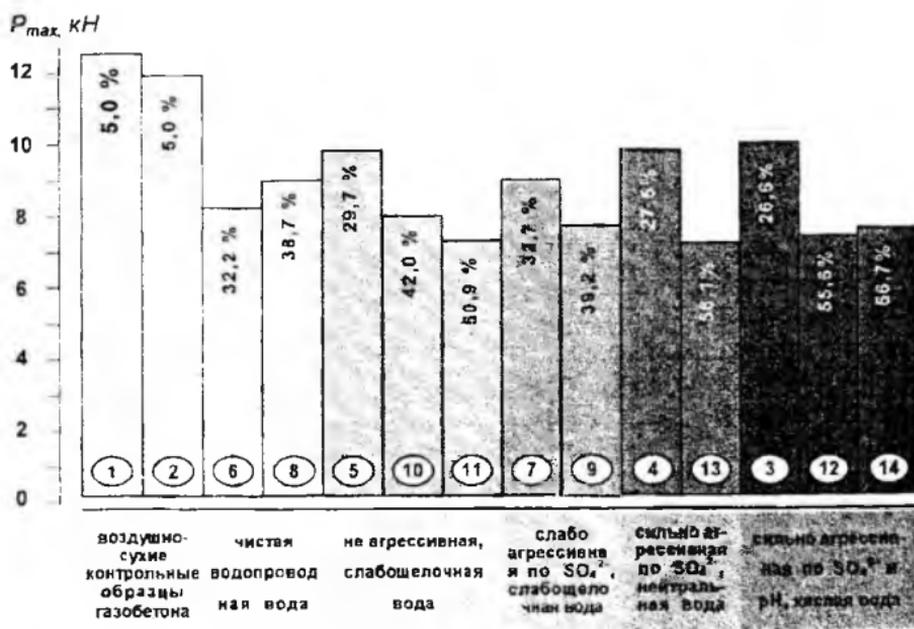


Рис. 1. Диаграмма распределения максимальной несущей способности ( $P_{max}$ ) воздушно-сухих образцов газобетона и образцов, увлажненных различными типами шахтной воды.

Однозначный вывод, вытекающий из качественного анализа полученных данных заключается в том, что у образцов, увлажненных одной и той же по химическому составу и агрессивности водой, значения  $R_{\max}$  существенно уменьшаются с увеличением степени их влажности.

При сравнении деформационно-нагрузочных характеристик контрольных образцов в воздушно-сухом состоянии и образцов, увлажненных шахтной водой, обращает на себя внимание и тот факт, что в процессе увлажнения газобетона параметр  $R_{\max}$  подвержен наибольшим изменениям. С увеличением влажности газобетона в диапазоне 26,6...56,7 % максимальная несущая способность образцов уменьшается на 16...40 %. Параметр  $R_{\text{const}}$  в этих же условиях уменьшается на 6...27 %, а параметр  $R_{30\%}$  – на 0...40 %.

Завершая качественный анализ полученных результатов, следует также отметить, что независимо от химического состава и степени агрессивности шахтной воды, независимо от степени водонасыщения, диаграммы нагружения увлажненных газобетонных образцов кубической формы в структурном плане ничем не отличаются от диаграмм нагружения воздушно-сухих образцов [1]. На этих диаграммах можно выделить все те же стадии и области деформирования, включая хорошо выраженные области постоянного сопротивления и вторичного прессования. Разница заключается только в численных значениях параметров этих диаграмм.

При количественном анализе экспериментальных данных зависимости рассмотренных выше параметров от влажности образцов  $P = f(w)$  без учета химического состава и агрессивности шахтной воды аппроксимировались несколькими простыми функциями, представленными в табл. 5.

Как видно из этой таблицы, интересующая нас зависимость  $R_{\max} = f(w)$  в диапазоне значений влажности 5,0...56,7 % с

Таблица 5

Вид аппроксимации зависимости $P = f(w)$		Величина достоверности ( $r^2$ ) аппроксимации зависимости $P = f(w)$		
		$R_{\max}$	$R_{\text{const}}$	$R_{30\%}$
Полиномиальная второй степени,	$P = Aw^2 + Bw + C$	0,9328	0,7182	0,5730
Экспоненциальная,	$P = Ae^{-Bw}$	0,9110	0,7015	0,5228
Степенная,	$P = Aw^{-C}$	0,8416	0,6420	0,4549
Линейная,	$P = -Bw + C$	0,9070	0,7115	0,5670

наибольшей достоверностью аппроксимируется полиномом второй степени. Для параметров  $R_{const}$  и  $R_{30\%}$  эти зависимости практически с одинаковой достоверностью можно аппроксимировать полиномом второй степени и линейной функцией. Поэтому на рис. 2-4 все графики  $P = f(w)$  представлены полиномами второй степени.

Из графиков на рис. 2-4 следует, что наиболее тесная связь с достоверностью  $r^2 = 0,93$  существует между значениями  $R_{max}$  и  $w$  (рис. 2), а наименьшая с  $r^2 = 0,57$  – между значениями  $R_{30\%}$  и  $w$  (рис. 4).

Таким образом, наиболее информативным показателем изменения несущей способности газобетона в процессе его увлажнения является максимальная несущая способность на стадии упруго-пластического деформирования ( $R_{max}$ ). Остаточная несущая способность газобетона в области постоянного сопротивления ( $R_{const}$ ) подвержена незначительным изменениям, а  $R_{30\%}$  существенно уменьшается только при высокой степени водонасыщения.

С параметром  $R_{max}$  неразрывно связана кубиковая прочность материала  $R_c = R_{max} / S$ , которая является основой расчетов газобетонных конструкций, в том числе и крепежных. Полученная нами зависимость кубиковой прочности газобетона от его влажности представлена на рис. 5.

Наилучшей аппроксимацией этой зависимости является полином второй степени с величиной достоверности  $r^2 = 0,9557$

$$R_w = R_c (6 \cdot 10^{-5} w^2 - 0,012 w + 1,0569).$$

С несколько меньшей достоверностью ( $r^2 = 0,9394$ ) эту зависимость можно аппроксимировать и экспоненциальной функцией

$$R_w = 1,037 R_c e^{-0,0103 w},$$

где  $R_c$  – кубиковая прочность образца газобетона в воздушно-сухом состоянии, МПа;

$R_w$  – кубиковая прочность образца газобетона влажностью  $w$ .

Основные итоги, вытекающие из рассмотренных результатов исследований гидрогеологических условий эксплуатации газобетонных крепежных конструкций, можно представить в виде следующих аналитических выводов и практических рекомендаций:

при контакте газобетонных блоков с шахтной водой в течение 45 сут химические процессы, обусловленные вещественным составом воды, не успевают вызвать коррозию газобетона, и все изменения его деформационно-нагрузочных характеристик

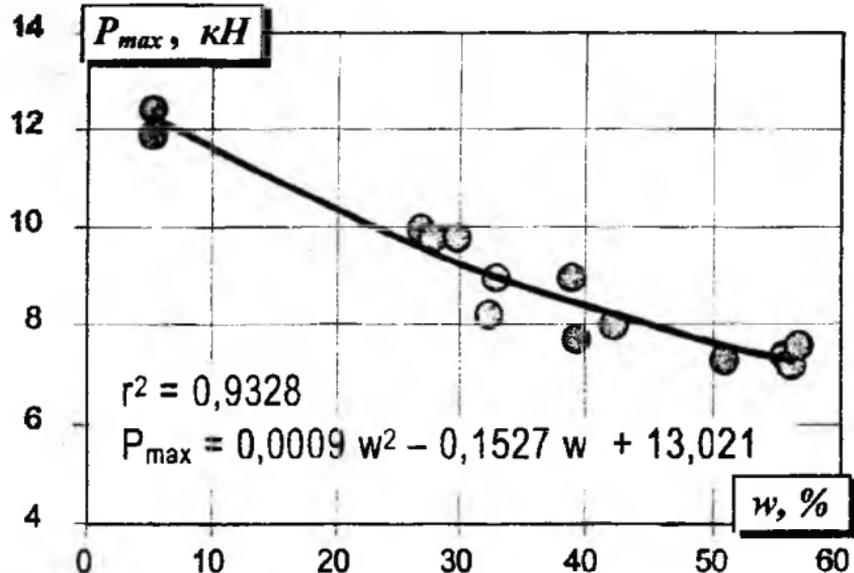


Рис. 2. Зависимость максимальной несущей способности газобетонных кубических образцов на стадии упруго-пластического деформирования ( $P_{max}$ ) от степени их влажности ( $w$ ).

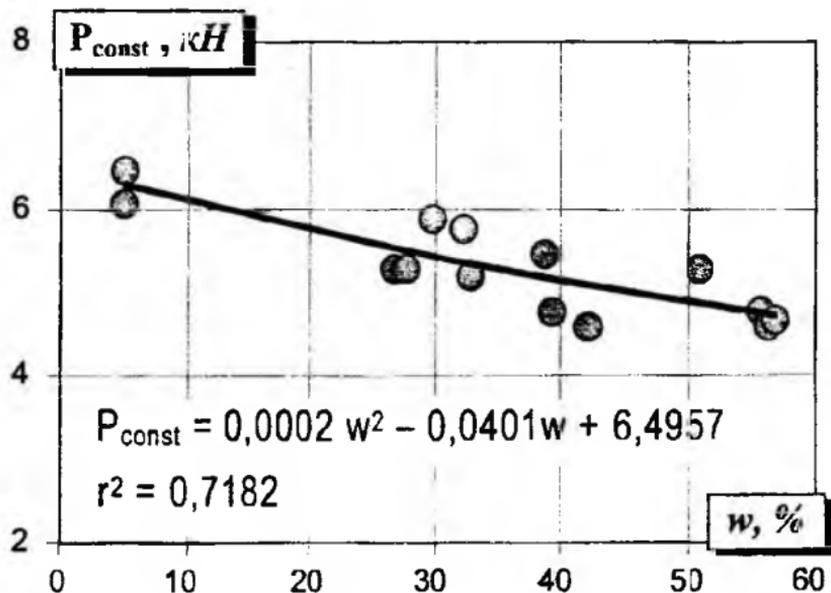


Рис. 3. Зависимость остаточной несущей способности газобетонных кубических образцов в области постоянного сопротивления ( $P_{const}$ ) от степени их влажности ( $w$ ).

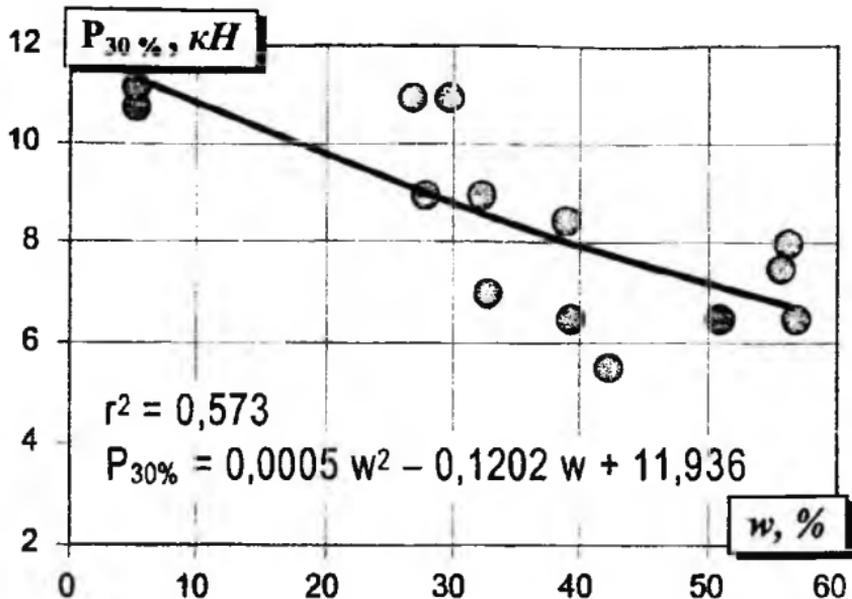


Рис. 4. Зависимость несущей способности газобетонных кубических образцов в области вторичного прессования при  $\epsilon = 30\%$  ( $P_{30\%}$ ) от степени их влажности ( $w$ ).

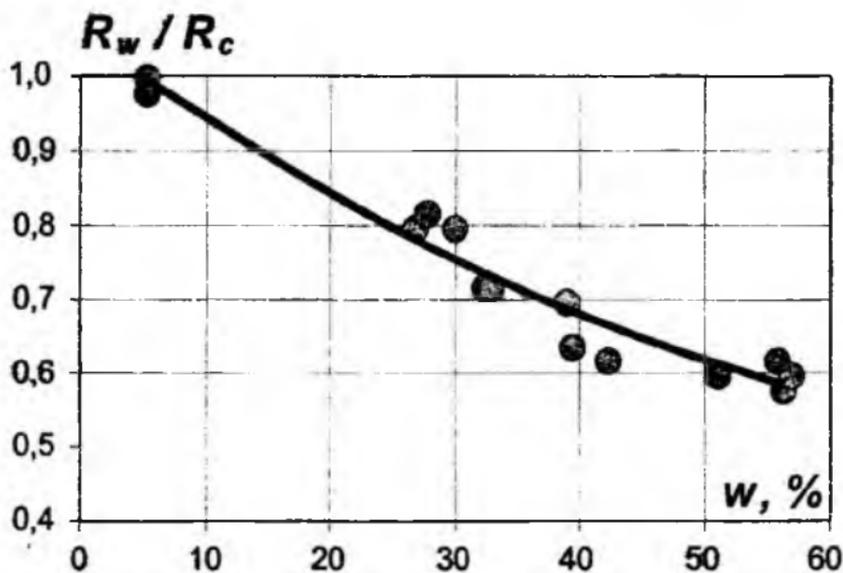


Рис. 5. Зависимость относительного изменения кубиковой прочности ( $R_w / R_c$ ) образцов газобетона марки В3,5 от степени их влажности ( $w$ ).

связаны с известным эффектом адсорбционного понижения прочности твердых тел [2-4];

- крепежные конструкции, используемые для охраны горных выработок, по техническим условиям эксплуатации не подвергаются затоплению. Поэтому в нормальных эксплуатационных условиях основным источником увлажнения газобетонных блоков является шахтная атмосфера;

- максимальный уровень влаги, который может быть адсорбирован газобетоном из окружающей шахтной атмосферы при относительной влажности воздуха 100 %, составляет не более 18 %. В этом случае максимальное снижение кубиковой прочности газобетона, исходя из полученных зависимостей, не превысит  $R_w = 0,86R_c$ ;

- при аварийном кратковременном (до 20 сут) затоплении охраняемой выработки любым типом шахтной воды корректировка прочностных характеристик газобетона не требуется;

- в случае длительного (более 20 сут) подтопления крепежных конструкций не агрессивной шахтной водой кубиковую прочность газобетона для расчета охранных крепежных конструкций следует принимать равной  $R_w = 0,62R_c$ .

- при возможности затопления выработки агрессивной шахтной водой на 20 и более суток, использование для ее охраны газобетонных крепежных конструкций является нецелесообразным.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канин В.А. Механические испытания газобетонных крепежных конструкций // Физико-технические проблемы горного производства, 2001.-3.- С. 75-84.
2. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. - М.: Мир, 1970. - 407 с.
3. Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела.- М.: Мир, 1980.- 488 с.
4. Алексеев А.Д., Чехова Г.Г. Влияние поверхностно-активных веществ на энергию разрушения горных пород // Разработка месторождений полезных ископаемых, 1973.- вып. 34.- С. 72-77.