

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ГАЗОБЕТОННЫХ КРЕПЕЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

к. т. н. **Канин В.А.** (УкрНИМИ)

Введение. По заданию Минуглепрома Украины в рамках отраслевой программы «Заменители леса» УкрНИМИ была разработана ресурсосберегающая технология охраны пластовых выемочных выработок крепежными конструкциями из ячеистобетонных блоков. В ходе выполнения комплексных исследований и внедрения новых крепежных конструкций на семнадцати объектах двенадцати шахт пяти производственных объединений были получены положительные решения трех ключевых вопросов, определяющих принципиальную возможность, экономическую целесообразность и перспективность их промышленного использования

Поскольку ячеистый бетон является хрупким материалом, а требуемая величина податливости специальной шахтной крепи может изменяться в пределах 10...40%, для оценки возможности использования ячеистобетонных блоков в качестве элементов крепежных конструкций необходимо было иметь данные о песущей способности этого материала в условиях запредельного деформирования. Эти данные, по нашему мнению, представляют интерес не только для горняков, но и для всех специалистов, занимающихся проблемой разрушения твердых тел.

Деформационно-нагрузочные характеристики кубических образцов газобетона, изготовленных из стандартных стеновых блоков производства Докучаевского завода ЖБИ и Луганского завода ячеистых бетонов, исследовались на гидравлическом прессе ГМС-50 с учетом методических рекомендаций проф. А.Д. Алексеева [1, 2] для случая ориентации сжимающей нагрузки параллельно слоистости. Перед началом испытаний все образцы газобетона предварительно осматривались на предмет отсутствия дефектов, а их линейные размеры измерялись металлической линейкой с точностью ± 1 мм, при этом каждый линейный размер определялся как среднее арифметическое замеров двух противоположных граней. Влажные образцы газобетона дополнительно к этому в течении суток выдерживались в лабораторном помещении с относительной влажностью воздуха не более 40...60 % при температуре 20...25°C.

Основные параметры диаграмм нагружения газобетона, полученные при испытаниях этих образцов, представлены в табл. 1. Качественный анализ диаграмм показал, что в процессе деформирования и разрушения газобетонных образцов можно выделить две принципиально различные по физическим признакам стадии – стадию упруго-пластического деформирования (хрупкого или вяз-

Таблица 1.

Размер ребра образца, см	Максимальная несущая способность на первой стадии деформирования, кН	Несущая способность в запрельном режиме (кН) при величине относительных деформаций (%):							
		5	10	20	30	40	50	60	
Газобетон Докучаевского ЗЖБИ (плотность 700 кг/м ³ , класс по прочности «В 3,5»)									
10	22,0	18,0	15,0	11,0	12,0	14,5	46,0	—	
5	14,0	6,8	6,3	5,0	5,8	7,5	8,0	10,0	
5	9,2	5,0	3,8	3,8	3,8	3,9	4,2	6,5	
5	11,0	5,5	3,9	4,5	5,6	6,5	8,0	11,2	
6	14,4	9,7	9,4	8,3	9,0	11,2	13,7	—	
Газобетон Луганского завода ячеистых бетонов (плотность 700 кг/м ³ , класс по прочности «В 3,5»)									
6	13,6	7,6	5,4	5,8	5,6	6,8	8,2	12,0	
6	16,7	7,6	5,2	6,2	7,2	10,0	16,4	—	
6	11,2	7,8	7,4	5,2	5,6	6,8	3,8	3,4	
6	15,2	9,4	6,4	7,4	8,0	6,4	7,6	12,0	

кого разрушения) и стадию запрельного деформирования (вторичного уплотнения). В пределах каждой стадии деформационно-нагрузочную кривую $p = f(\epsilon)$ по аналогии с [3] можно разделить на несколько специфических областей, условно разграничивающих по механическим особенностям последовательно протекающие процессы деформирования трещиноватых тел под влиянием внешних факторов.

На первой стадии деформирования газобетонных образцов выделяются четыре таких области (рис. 1): **I** – область начального деформирования, которая имеет криволинейный характер, обусловленный уплотнением и закрытием исходных дефектов (трещин) материала; **II** – область упругих деформаций, характеризующаяся пропорциональностью изменения деформаций при изменении внешней нагрузки; **III** – область перехода от упругих деформаций с постоянной скоростью к деформациям с увеличенной скоростью, что связано с зарождением и развитием несмыкающихся микро-разрывов, переходящих в макротрещины.

На стадии запрельного деформирования газобетона на кривой $p = f(\epsilon)$ выделяются три области: **IV** – область неустойчивого деформирования, обусловленного развитием и слиянием необратимых макротрещин, которая заканчивается разделением материала на отдельные части; **V** – область постоянного сопротивления, в которой происходит закрытие многочисленных макродефектов, образовавшихся на первой стадии разрушения материала; при этом несущая способность последнего (остаточное сопротивление

стадии деформирования газобетона

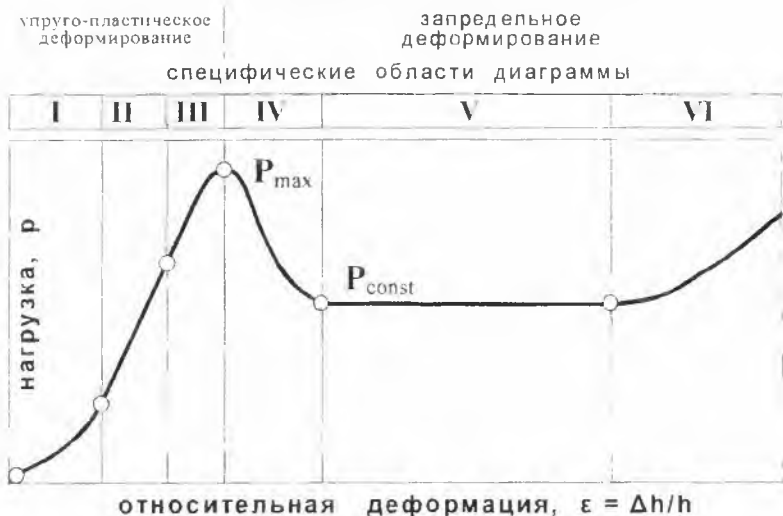


Рис. 1. Обобщенная диаграмма нагружения образцов газобетона

сжатию) в пределах всей области $P \approx const$. VI — область вторичного прессования материала, уплотнения и закрытия микродефектов, которая по своей природе аналогична области I. На кривой $p = f(\epsilon)$ имеются также две базовые точки: P_{max} — максимальное сопротивление сжатию (несущая способность) на стадии упруго-пластического деформирования и P_{const} — остаточное сопротивление сжатию (несущая способность) в области постоянного сопротивления.

Количественный анализ результатов испытаний кубических образцов газобетона (табл. 1) показал следующее:

- Протяженность всех без исключения областей деформирования и положение базовых точек на диаграммах нагружения газобетона зависят от его сырьевого состава и технологии производства. Особенно существенно эти различия проявляются на стадии упруго-пластического деформирования. Газобетон Луганского завода ячеистых бетонов является более пластичным. При его нагружении наблюдается увеличение протяженности областей I — III до 2,5...3,0%. У газобетона Докучаевского завода ЖБИ суммарная протяженность этих областей не превышает 1,0%.
- На всех диаграммах нагружения кубических образцов газобетона имеется обширная область постоянного сопротивления, в которой $P \approx const$ при деформировании образцов до 30...40%. Вели-

чина постоянного сопротивления в этой области изменяется в зависимости от качества газобетона и размеров образцов и в среднем составляет:

$$P_{const} = (0,41 \dots 0,62) P_{max} \text{ — для Докучаевского газобетона;}$$

$$P_{const} = (0,37 \dots 0,54) P_{max} \text{ — для Луганского газобетона.}$$

• Вторичное уплотнение образцов начинается после их деформирования на 30...40 %, независимо от качества газобетона. Сырьевой состав газобетона оказывает влияние на скорость возрастания несущей способности. У образцов газобетона Докучаевского завода ЖБИ вторичное повышение несущей способности достигает уровня P_{max} при их деформировании в пределах 45...56 %, у газобетона Луганского завода ячеистых бетонов несущая способность достигает уровня P_{max} при деформировании образцов свыше 60 %.

Несущая способность и соотношение размеров. При одноосном сжатии крепежных конструкций, а также отдельных их элементов из хрупких или вязких материалов их разрушение происходит путем сдвига по площадкам скольжения, ориентированным к направлению σ_1 под углом ω , равном [4]

$$\omega = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2},$$

где ρ – угол внутреннего трения материала. У свободной поверхности нагружаемой конструкции площадки скольжения формируют так называемую призму выпирания (треугольная зона **AOC** на рис. 2). На свободной поверхности этой призмы $\sigma_3 = 0$, а величина σ_1 в пределах всего объема призмы, также как и на поверхности конструкции, равна кубиковой прочности. Разрушение хрупких материалов в области **AOC** начинается при нагрузках, величины которых, как правило, значительно меньше предельных нагрузок P_{max} и к моменту, когда $P = P_{max}$, конструкция **САА₁С₁** в результате разрушения и осыпания частиц приобретает новые очертания **СДФС₁**, при которых

$$B' = B - 2H \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right).$$

Совершенно очевидно, что при таком характере разрушения должна существовать некоторая критическая высота $H_{кр}$

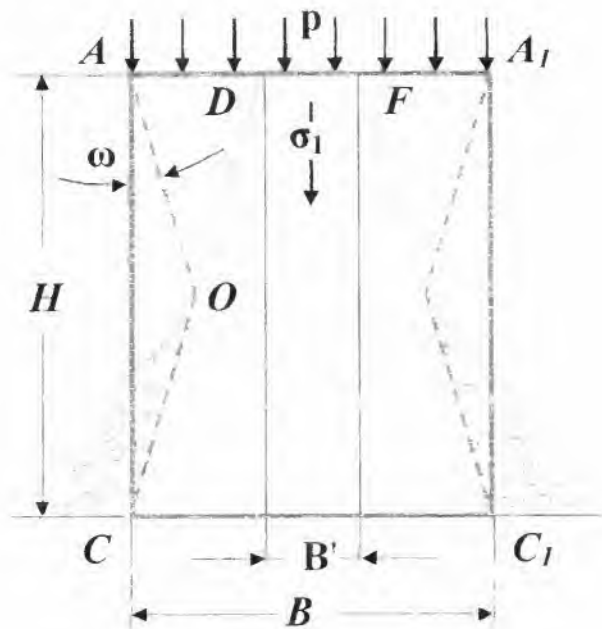


Рис. 2. Схема разрушения призмы из хрупкого материала

$$H_{кр} = 0,5 \cdot B \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right), \quad (1)$$

при которой $B' = 0$ и несущая способность конструкции после достижения $P = P_{max}$ также стремится к нулю и, следовательно, характер и параметры разрушения конструкции зависят от соотношения ее линейных размеров. Для крепежных конструкций из газобетонных элементов критическое соотношение линейных размеров ориентировочно можно определить по формуле (1) как

$$B/H \geq 2 \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right). \quad (2)$$

Поскольку у газобетона марки В3,5 производства Докучаевского завода ЖБИ $\rho = 50 \dots 60^\circ$, то на основании условия (2) критическое соотношение линейных размеров охранной газобетонной полосы $K_{В/Н}$ будет составлять

Экспериментальная проверка изложенных положений выполнялась на образцах призматической формы из газобетона марки В3,5 Докучаевского завода ЖБИ на прессе ГМС-50. Диаграммы нагружения призм с линейными размерами $a \cdot b \cdot h = 60 \cdot 60 \cdot 80$ мм, $60 \cdot 60 \cdot 100$ мм и $0,3 \cdot 0,2 \cdot 0,6$ м, у которых отношения минимальной ширины основания к высоте (B/H) были равны соответственно 0,75; 0,6 и 0,33, показаны на рис. 3. Как видно из этого рисунка, диаграмма нагружения призмы с $B/H = 0,75$ (кривая 1) в качественном отношении мало отличается от диаграмм нагружения кубических образцов. На ней присутствуют все характерные для газобетона области деформирования, включая область постоянного сопротивления и вторичного прессования. Существенная разница заключается в значительно более низкой несущей способности призмы в предельном режиме деформирования: в области постоянного сопротивления $P_{const} = 0,4P_{max}$, а в области вторичного прессования остаточное сопротивление при $\varepsilon = 50\%$ достигает всего лишь уровня $0,6P_{max}$.

На диаграмме нагружения газобетонной призмы с $B/H = 0,6$ (кривая 2, рис. 3) область постоянного сопротивления выражена очень слабо в интервале $\varepsilon = 8 \dots 19\%$, а область вторичного прессования полностью отсутствует. При нагружении призмы с

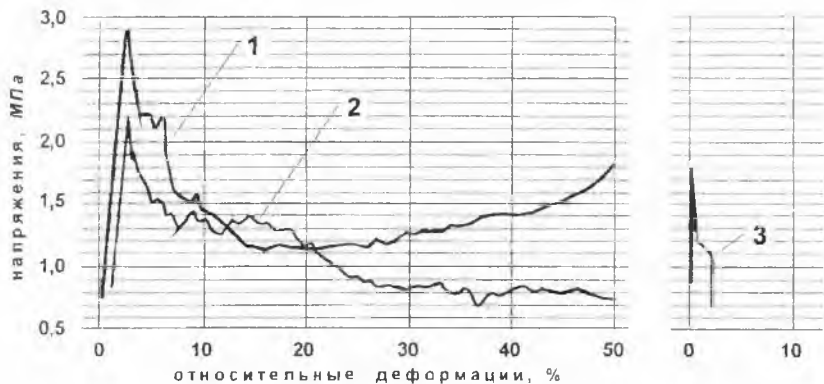


Рис. 3. Диаграммы нагружения образцов Докучаевского газобетона марки В3,5 с различным соотношением линейных размеров: 1 - $B/H = 0,75$; 2 - $B/H = 0,6$; 3 - $B/H = 0,33$

линейными размерами $0,3 \cdot 0,2 \cdot 0,6$ м и $B/H = 0,33$ (кривая 3, рис. 3) предельное напряжение достигло всего лишь $1,8$ МПа, а при уве-

личении относительной деформации до 2,0% призма была полностью разрушена.

Таким образом, экспериментально установленный характер деформирования газобетонных блоков с отношением минимальной ширины основания к высоте $V/H < 1$ однозначно согласуется с теоретическим критерием (3), согласно которому призмы с отношением $V/H < 0,73$ в запредельном режиме деформирования не обладают несущей способностью.

Наиболее типичные диаграммы нагружения газобетонных призм с отношением $V/H \geq 1$ представлены на рис. 4 и 5.

При анализе этих диаграмм следует обратить внимание на следующие **особенности**:

- во всех случаях, когда $V/H > 1$, на диаграммах нагружения газобетонных призм (кривые 1 на рис. 4 и 5) в интервале $\varepsilon = 10...30\%$ имеются устойчивые области постоянного сопротивления, в пределах которых $P_{const} > 0,8P_{max}$. Области вторичного прессования на этих диаграммах характеризуются высокой скоростью нарастания несущей способности и, уже начиная с $\varepsilon = 30...40\%$, остаточное сопротивление сжатию достигает величины P_{max} ;

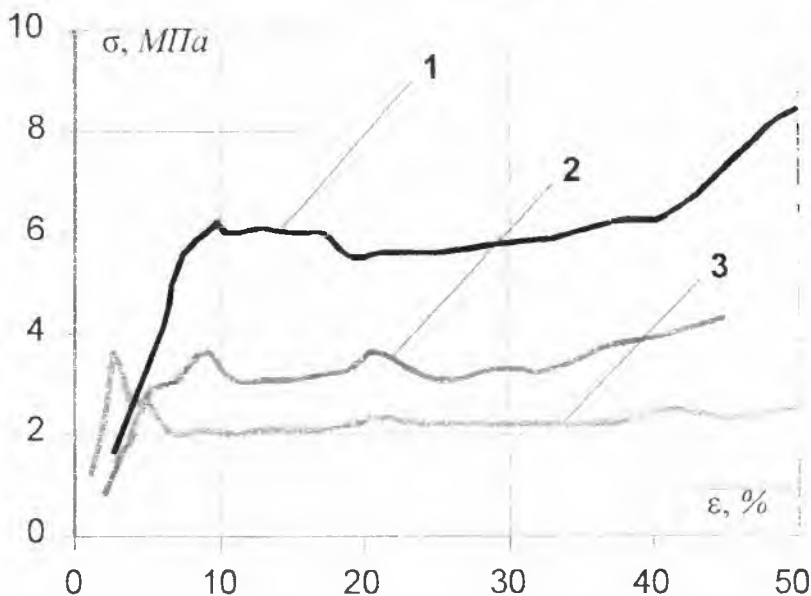


Рис. 4. Диаграммы нагружения образцов Докучаевского газобетона марки В3,5 с линейными размерами:

1 — 6 · 9 · 4; 2 — 6 · 18 · 6; 3 — 6 · 9 · 6 см

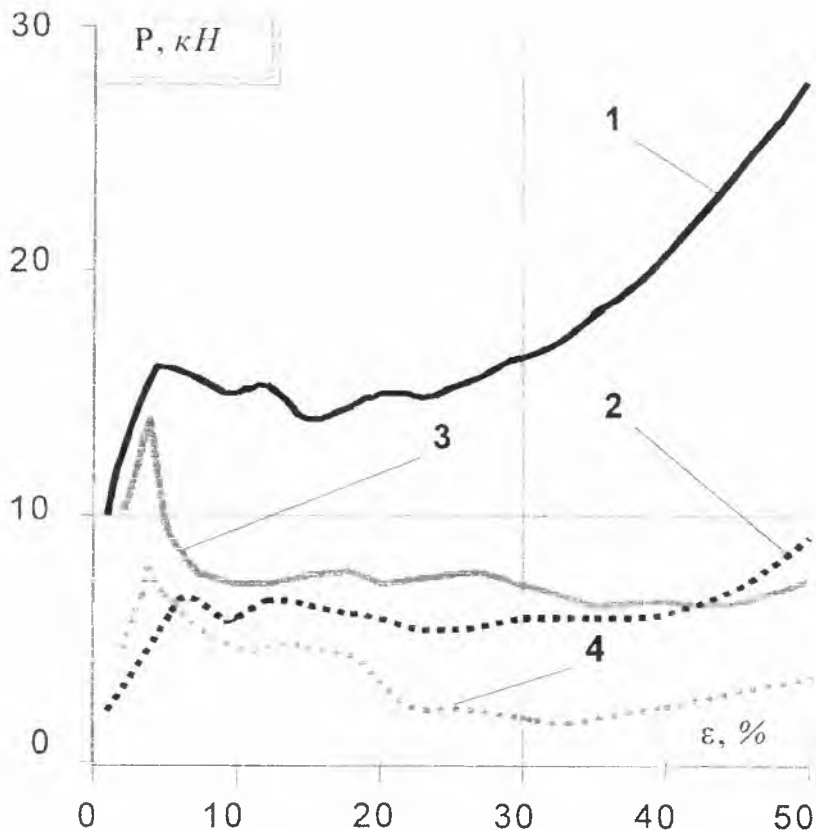


Рис. 5. Диаграммы нагружения образцов Луганского газо бетона различных марок с линейными размерами $a \cdot b \cdot h$:

- 1 – $a \cdot b \cdot h = 6 \cdot 6 \cdot 4$ см, марка В3,5;
- 2 – то же, марка В1,0;
- 3 – $a \cdot b \cdot h = 6 \cdot 6 \cdot 6$ см, марка В3,5;
- 4 – то же, марка В1,0

• при $V/H = 1$ параметры базовых точек и областей деформирования в запредельной части диаграмм нагружения газобетонных призм зависят также от соотношения их размеров в плане. С увеличением отношения a/b (кривые 2 и 3 на рис. 4) повышается несущая способность призмы в области постоянного сопротивления и возрастает остаточное сопротивление в области вторичного прессования, что связано с изменением условий деформирования материала в результате увеличения бокового отпора;

• при изменении прочности газобетона все качественные характеристики диаграмм нагружения призм, обусловленные соотношением их линейных размеров, полностью сохраняются. В этом случае на диаграммах нагружения призм изменяются только количественные значения параметров базовых точек и областей деформирования (кривые 1 и 2; 3 и 4 на рис. 5).

На основании результатов выполненных исследований получена зависимость остаточного сопротивления газобетонных призм от параметра B/H , которая представлена на рис. 6 в виде полинома третьей степени с корреляционным отношением $R^2 = 0,9058$

$$y = -0,417x^3 + 1,2857x^2 - 0,4822x + 0,2, \quad (4)$$

где $y = P_{30\%} / P_{max}$; $x = B/H$; $P_{30\%}$ - несущая способность призмы при величине относительной деформации $\varepsilon = 30\%$.

При рассмотрении рис. 6 видно также, что увеличение B/H свыше 1,5 приводит к незначительному росту $P_{30\%} / P_{max}$ и, следовательно, использование таких конструкций на практике будет связано с необоснованно высоким расходом материала.

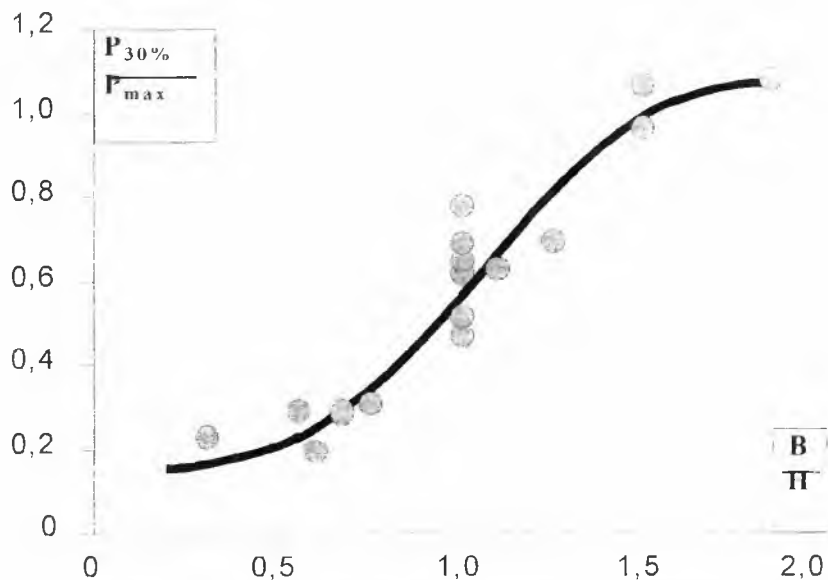


Рис. 6. Зависимость остаточного сопротивления призмы при $\varepsilon = 30\%$ от соотношения ее размеров (B/H)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В. Предельное состояние горных пород. – К.: Наукова Думка, 1982. – 200 с.
2. Алексеев А.Д., Журавлев В.И., Яровая Л.И., Молчаненко В.С. Влияние геометрии и условий разрушения образцов горных пород на их прочность. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1970. – № 3. – С. 47–52.
3. Кунтыш М.Ф. Особенности процесса деформирования и разрушения горных пород. / В кн. Исследования прочности и деформируемости горных пород. – М.: Наука. – 1973. – С. 16–39.
4. Фисенко Г.А. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. – М.: Недра. – 1976. – 272 с.