



**В. В. КОВАЛЕНКО,**  
канд. техн. наук  
(Национальный горный  
университет)



**В. С. ГАРКУША,**  
аспирантка  
(Национальный горный  
университет)

На предприятиях угольной промышленности Украины особенно остро стоит проблема оставления породы в горных выработках, поскольку ее ежегодный объем, выдаваемый на поверхность только шахтами Донбасса, составлял 14,4 млн т на площади 700 га, занимаемой отвалами [1]. По разным причинам для производства строительных материалов (в частности, торкретбетона) ее пока не применяют. И если вопросу оставления породы в шахтах уделено значительное внимание [2–4], то проблема использования породы для крепления выработок недостаточно освещена в научной литературе (имеются отдельные публикации [5]).

**Цель** исследований, изложенных в статье, – изучение возможности применения измельчен-

УДК 622.281.423:691.3

## Особенности использования шахтной породы в качестве замены части заполнителя при приготовлении торкретбетона

Представлены результаты лабораторных испытаний бетонных образцов, приготовленных с использованием измельченной шахтной породы (аргиллитов и алевролитов) шахты им. Героев космоса ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» в качестве частичной или полной замены песка в бетонной смеси. Проанализированы изменения прочности бетонных образцов в зависимости от количества измельченной породы, добавляемой в состав смеси вместо части заполнителя. Выделены два состава с заменой 2 и 2,45 частей песка измельченной породой, с которыми проведены эксперименты по определению возможности улучшения их прочностных характеристик при использовании минеральных добавок и покрытий.

**Ключевые слова:** измельченные глинистые породы, минеральные добавки, бетонные образцы, предел прочности на сжатие.

**Контактная информация:** [kovalenko\\_vlad@mail.ru](mailto:kovalenko_vlad@mail.ru)

ных пустых пород для приготовления торкретбетонного раствора. Для этого определили:

оптимальное соотношение исходных компонентов песка и породы, при котором в бетонных образцах формируются наибольшие прочностные показатели и достигается экономия песка;

области рационального использования полифракционной смеси измельченных пород в качестве заполнителя при частичной или полной замене песка в процессе приготовления бетонной смеси. В случае необходимости выделяли фракции, непригодные в качестве заполнителя;

составы торкретбетона, содержащие активные минеральные добавки, и рекомендовали области их рационального использования на основе анализа результатов проведенных экспериментов.

Для исследований использовали: цемент марки ПЦ I-500-Н, природный кварцевый песок, измельченную породу шахты им. Героев космоса ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» – аргиллиты и алевролиты (переслаивающиеся слоистые породы). В ходе выполнения экспериментов установили, что пустая порода имела в своей структуре глинистый компонент, который при ее измельчении негативно влиял на приготовление смеси и последующую гидратацию бетона. Для минимизации неблагоприятного влияния глинистой составляющей измельченных пород процесс проведения экспериментов составили так, чтобы можно было определить оптимальные соотношения исходных компонентов (кварцевого песка и измельченной породы), используемых в качестве заполнителя.

Породу измельчали в щековой дробилке в три–четыре прохода, после чего дробленый материал из аргиллита и алевролита рассеи-

вали по фракциям 0–1,6, 1,6–5 и 5–10 мм, выход составил соответственно 38,42, 28,33 и 33,25 %.

Чтобы установить предел прочности на сжатие и изгиб, образцы испытывали в лаборатории строительных материалов кафедры строительства, геотехники и геомеханики НГУ. Управляли параметрами и контролировали испытания на прессе Tecnotest (рис. 1). Основные варианты составов смесей, направленные на определение оптимального соотношения исходных компонентов песка и измельченной породы, представлены в табл. 1.

Для приготовления бетонной смеси использовали суперпластификатор Виматол (аналог С-3) – 0,6 % количества цемента. Хорошо взаимодействующий с бетонными смесями на основе песка суперпластификатор «терял» свои свойства при замене песка на измельченные породы фракции 0–1,6 мм. В смесях с мелкой фракцией измельченных пород увеличивалась водопотребность как если бы в смесь не добавляли реагенты, которые должны повышать пластичность и снижать потребность в воде. Поэтому пришли к выводу, что глинистая составляющая в аргиллитах и алевролитах при их значительном измельчении и получении высокодисперсного порошка – причина ухудшения свойств заполнителя.

Содержащаяся в порошке глина активно поглощает воду и удерживает ее между частицами, что не происходит в случае использования в качестве мелкого заполнителя кварцевого песка, который, имея меньшую удельную поверхность, химически инертен, не взаимодействует с водой, проявляя нейтральные свойства в растворе бетонной смеси и не влияя на увеличение вязкости и снижение удобоукладываемости. В бетонах на кварцевом песке суперпластификатор имеет важное значение во взаимодействии компонентов бетонной смеси.

Механизм действия традиционных суперпластификаторов упрощенно можно представить следующим образом. Суперпластификаторы, относящиеся по своим свойствам к поверхностно активным веществам, имеют в структуре молекулы, которые адсорбируются на поверхности частиц цемента и формирующихся новообразований, образуя тончайший моно- или бимолекулярный слой. При этом уменьшается межфазовая энергия сцепления и облегчается дезагрегация частиц. Вместе с тем освобождается иммобилизованная вода, которая служит пластифицирующей смазкой.

Адсорбированный слой сглаживает микрошероховатость частиц, уменьшая коэффициент тре-



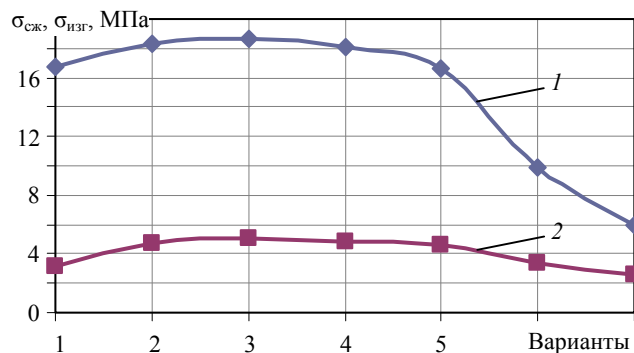
Рис. 1. Лабораторный пресс Tecnotest (компания Modena, Италия), на котором испытывали бетонные образцы с помощью электронного пульта управления, расположенного в правой верхней части прессы.

ния между ними. Кроме того, создание одноименного электрического заряда в результате адсорбции суперпластификатора на поверхности частиц твердой фазы исключает возможность их сцепления за счет электростатических сил и тем самым снижает вязкость суспензии. В процессе гидратации с ростом кристаллов новообразований постепенно прекращается отталкивающее действие од-

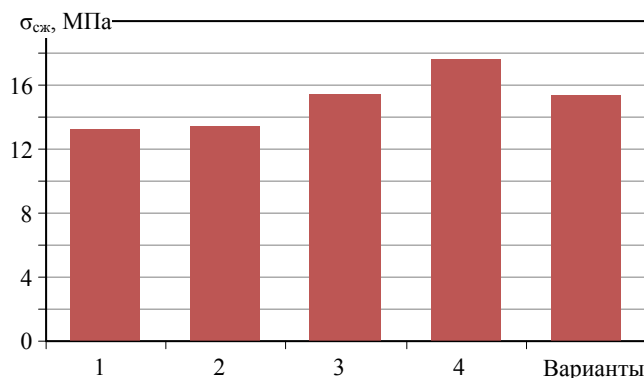
Таблица 1

№ варианта	Заполнитель по фракциям, мм			В/Ц (В/Т)
	0–1,6		1,6–10	
	Песок, мас. ч.	Измельченная порода, мас. ч.	Измельченная порода, мас. ч.	
1	3,00	–	–	0,4
2	1,11	–	1,89	0,5
3	1,00	–	2,00	0,5
4	0,75	–	2,25	0,45
5	0,55	–	2,45	0,5
6	–	1,11	1,89	0,8
7	–	3,00	–	1,7 (0,425)

Примечания: 1. В составе смеси 1 мас. ч. цемента. 2. В/Ц – водоцементное отношение – масса воды, отнесенная к массе цемента; В/Т – водотвердое отношение – коэффициент, характеризующий растворы; равен отношению массы воды к массе сухой смеси.



**Рис. 2.** Изменения прочностных показателей бетонных образцов в зависимости от увеличения в их составе доли содержания измельченной породы взамен песка: 1 и 2 – прочность на сжатие  $\sigma_{сж}$  и на изгиб  $\sigma_{изг}$



**Рис. 3.** Пределы прочности на одноосное сжатие  $\sigma_{сж}$  бетонных образцов, приготовленных на основе состава № 2 (цемент: песок: порода = 1 : 0,55 : 2,45) с использованием минеральных добавок.



**Рис. 4.** Прибор для испытания на одноосное сжатие бетонного образца варианта № 5 (состав № 2) с добавкой гипса (0,05 части) и извести (0,15 части) взамен цемента (0,2 части).

ноименного электрического заряда между частями суперпластификатора и тогда строительный раствор теряет подвижность [6].

В первом эксперименте получены результаты, представленные в табл. 2 и на рис. 2, из которого следует, что замена песка измельченной породой в количестве 1,89–2,25 частей заполнителя (при соотношении цемент: заполнитель = 1 : 3) благоприятно влияет на прочность бетонных образцов. Наиболее прочны образцы, состоящие из двух частей породы (размер фракций свыше 1,6 мм) и одной части песка, дальнейшее увеличение доли измельченной породы и использование ее в качестве заполнителя негативно сказывается на прочности.

Для получения представления о негативном влиянии самой мелкой фракции измельченных пород были проведены испытания варианта № 7, которые показали, что в случае полной замены песка более дисперсным материалом из тонкоизмельченных глинистых пород наблюдается значительное снижение прочности образцов даже в сравнении с вариантом № 6, в котором замена трех частей песка осуществлялась посредством 1,11 части измельченных пород фракции 0–1,6 мм и 1,89 части пород более крупных фракций.

В результате замены в составе бетонной смеси двух частей кварцевого песка соответствующим количеством дробленых пород с частицами крупностью 1,6 мм и более (вариант № 3) и последующего сравнения полученных параметров прочности образцов данного состава с контрольными образцами (вариант № 1) прочность бетонных образцов увеличивается до 11,4 %. Среднее повышение прочностных параметров образцов при использовании в качестве комбинированного заполнителя 1,11–0,75 частей песка и 1,89–2,25 частей породы составило 9,4–8,3 % прочности на сжатие и 46,8–50,6 % прочности на изгиб в сравнении с показателями прочности контрольного образца. При последующем увеличении доли породы в качестве заполнителя до 2,45 части бетонные образцы достигают прочности, сравнимой с показателями контрольного образца.

В ходе проведения эксперимента было отмечено, что из рассмотренных составов более высокими прочностными показателями обладают торкретбетоны на двухкомпонентных заполнителях, в которых в качестве мелкой фракции используются кварцевый песок, а для крупной фракции – измельченные породы. Это дает возможность значительно снизить капитальные расходы, связан-

Таблица 2

№ варианта	Состав, мас. ч.		В/Ц	Прочность, МПа	
	Песок	Порода		на сжатие	на изгиб
1	3,00	–	0,4	16,74	3,20
2	1,11	1,89	0,5	18,32	4,70
3	1,00	2,00	0,5	18,65	5,02
4	0,75	2,25	0,5	18,13	4,82
5	0,55	2,45	0,5	16,67	4,65
6	–	3,00	0,8	9,86	3,41
7	–	3,00*	1,7	5,93	2,60

Примечания: 1. В составе 1 мас. ч. цемента и 0,006 мас. ч. суперпластификатора. 2. Звездочкой обозначена измельченная порода фракции 0–1,6 мм (только для варианта № 7).

ные с высокой стоимостью строительных материалов и их доставкой. Еще один путь снижения стоимости торкретбетонного состава – использование добавок, что позволит снизить расход цемента и даст дополнительную экономию средств. Для решения этой проблемы целесообразны поиск и использование добавок, обладающих вяжущими свойствами.

Дальнейшие исследования были направлены на улучшение рецептуры бетонных смесей, имеющих в своих составах песок и измельченную породу. Выделены два состава: цемент : песок : порода = 1 : 1 : 2 (вариант № 3) и цемент : песок : порода = 1 : 0,55 : 2,45 (вариант № 5). В дальнейшем варианты № 3 и № 5 будем называть составами № 1 и № 2 соответственно. Для данных составов предложили добавки, которые положительно влияют на стандартные бетоны на песчаном заполнителе и хорошо себя зарекомендовали.

Во второй части эксперимента выделили те минеральные добавки, которые будут работать в бетонах, где часть песка заменена породой, и определили их влияние на изменение прочностных показателей.

Принимая во внимание, что состав № 2 имел меньшую прочность в сравнении с составом № 1, было решено разделить исследования и вести их отдельно по каждому составу. Первые эксперименты с составом № 2 показали ограниченные возможности для увеличения его прочности и раскрытия потенциальных возможностей посредством применения минеральных добавок. Результаты испытаний приведены в табл. 3 и на рис. 3.

На рис. 4 представлен прибор для испытания на одноосное сжатие бетонного образца варианта № 5

Таблица 3

№ варианта	Минеральные добавки в составе № 2, мас. ч.	В/Ц	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа
1	Жидкое стекло (0,03) + стиральный порошок (0,006)	0,55	13,20
2	Известь взамен части цемента (0,17)	0,50	13,46
3	Известь взамен части цемента (0,17) + жидкое стекло (0,03)	0,55	15,43
4	Гипс + известь взамен части цемента (0,05 + 0,05) + жидкое стекло (0,03) + СП (0,006)	0,50	17,63
5	Гипс + известь взамен части цемента (0,05 + 0,15) + жидкое стекло (0,03) + СП (0,006)	0,50	15,35

Примечания: 1. В скобках – количество добавки в частях по отношению к цементу. 2. СП – суперпластификатор Виматол.

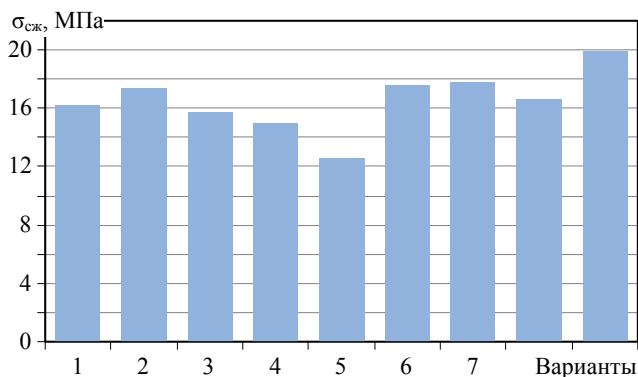
(см. табл. 3), изготовленного на основе состава № 2 (цемент : песок : порода = 1 : 1 : 2), в котором 0,2 части цемента заменены 0,05 части гипса и 0,15 части извести.

Из табл. 3 следует, что только такие минеральные добавки, как гипс и известь взамен части цемента, обеспечивают повышение вяжущих свойств,

Таблица 4

№ варианта	Минеральные добавки в составе № 1	В/Ц	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа
1	Эмульсия ПВА (0,05) + СП (0,006)	0,4	16,28
2	Эмульсия ПВА (0,1) + СП (0,006)	0,4	17,42
3	Эмульсия ПВА (0,15) + СП (0,006)	0,4	15,75
4	Эмульсия ПВА (0,2) + СП (0,006)	0,3	15,02
5	Эмульсия ПВА (0,3) + СП (0,006)	0,2	12,56
6	Гидрофобизатор Sika-1 (0,03)	0,5	17,63
7	Гидрофобизатор Sika-1 (0,03) + силикагель (0,03)	0,5	17,8
8	Силикагель (0,03) + СП (0,006)	0,5	16,66
9	Поверхностное грунтование составом ceresit СТ17 + СП (0,006)	0,5	19,87

Примечания: 1. В скобках – количество добавки в частях по отношению к цементу. 2. СП – суперпластификатор Виматол.



**Рис. 5.** Пределы прочности на одноосное сжатие бетонных образцов, приготовленных на основе состава № 1 (цемент : песок : порода = 1 : 1 : 2) с использованием минеральных добавок (варианты № 1–8) и грунтового покрытия (вариант № 9).

а также прочностных свойств на 5,75 % по отношению к составу № 2 без добавок. Преимущество рецептуры также в том, что использование добавок позволяет сэкономить 10 % цемента.

Для состава № 1 установили влияние таких активных минеральных добавок, как эмульсия ПВА, гидрофобизатор, силикагель, а учитывая, что водостойкость – «слабое место» у бетонов на породном заполнителе, определили влияние грунтования составом, повышающим водонепроницаемость. Результаты эксперимента приведены в табл. 4 и на рис. 5.

Анализируя результаты эксперимента (см. табл. 4 и рис. 3), можно отметить некоторое положительное влияние при использовании гидрофобизатора. Наибольший эффект достигнут, когда поверхности образцов грунтовали раствором, повышающим водонепроницаемость.

**Выводы.** На основании анализа экспериментов можно констатировать специфический характер такого сырья, как измельченные глинистые породы (аргиллиты и алевролиты) в случае их использования для замены части песка при производстве торкретбетона. Кроме того, установлено:

для условий шахты им. Героев космоса ПАО ДТЭК «Павлоградуголь» предложены два состава торкретбетона, в которых соотношение цемент : песок : порода составляет 1 : 1 : 2 и 1 : 0,55 : 2,45. Дан-

ные составы имеют наибольшую из рассмотренных вариантов прочность на одноосное сжатие (18,65 и 16,67 МПа соответственно) и изгиб (5,02 и 4,65 МПа соответственно);

использование гипса и извести в качестве минеральной добавки позволяет экономить 10–20 % цемента. Рациональной является замена 10 %, в результате чего торкретбетон имеет прочность 17,63 МПа;

мероприятия по снижению водонепроницаемости в виде грунтования составом Ceresit СТ17 оказались более эффективными в сравнении с просто применением активных минеральных добавок. Образцы торкретбетона, покрытые грунтовкой, имели максимальную прочность из всех образцов (19,87 МПа);

использование минеральных добавок может быть более эффективным при снижении таких неблагоприятных свойств пород, как склонность к размоканию под воздействием влаги, разбухаемость и высокая адсорбция. Реализация данного положения – главная задача последующих исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Ю. М. Технические решения по оставлению породы в шахте / Ю. М. Иванов // Уголь Украины. – 1986. – № 12. – С. 14–17.
2. Самохвалов Ю. И. Опыт оставления породы в шахте при проведении выработок / Ю. И. Самохвалов // Уголь Украины. – 1988. – № 1. – С. 36.
3. Тарасенко В. В. Основные направления решения проблемы оставления породы в шахтах Донбасса / В. В. Тарасенко // Уголь Украины. – 1984. – № 4. – С. 5–7.
4. Солдатов В. И. Оставление породы в шахте (опыт проектирования) / В. И. Солдатов, В. Г. Кравец // Уголь. – 1992. – № 2. – С. 23–27.
5. Безазьян А. В. Об использовании горных пород Западного Донбасса для производства строительных материалов / А. В. Безазьян, Т. А. Павличенко, Т. И. Чередниченко // Уголь Украины. – 1981. – № 8. – С. 20.
6. Современные суперпластификаторы для сухих строительных смесей [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М.]: Все для производства тротуарной плитки. – Режим доступа: <http://www.trotuar.ru/forms/articles/superpl.shtml> (дата обращения: 06.09.2014).