



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

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.

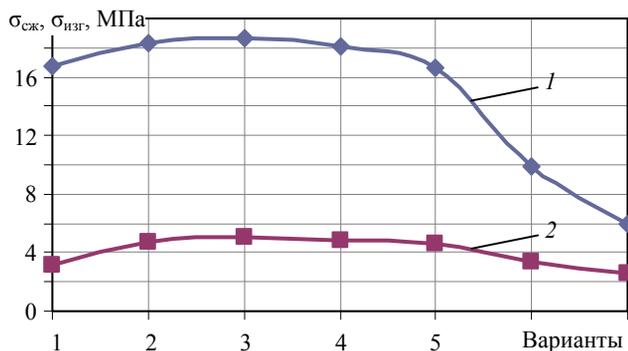


Рис. 2. Изменения прочностных показателей бетонных образцов в зависимости от увеличения в их составе доли содержания измельченной породы взамен песка: 1 и 2 – прочность на сжатие $\sigma_{сж}$ и на изгиб $\sigma_{изг}$

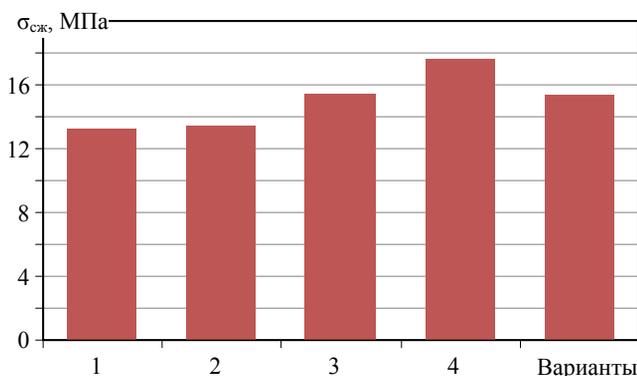


Рис. 3. Пределы прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ бетонных образцов, приготовленных на основе состава № 2 (цемент: песок: порода = 1 : 0,55 : 2,45) с использованием минеральных добавок.



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.

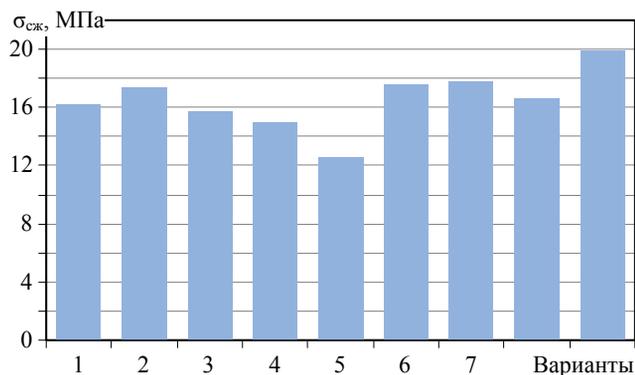


Рис. 5. Пределы прочности на одноосное сжатие бетонных образцов, приготовленных на основе состава № 1 (цемент : песок : порода = 1 : 1 : 2) с использованием минеральных добавок (варианты № 1–8) и грунтового покрытия (вариант № 9).

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).