

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА НА СВОЙСТВА ГРУНТОБЕТОНА**

*М.Д. Бутакова, К.С. Торопова, В.В. Пекшина*

В данной статье исследуются свойства, основные характеристики и области применения грунтобетона. Рассматривается возможность использования глин как матричной основы конструирования композита. Разработан и получен грунтобетон нормального твердения, в основе которого лежит применение глины в комплексе с медеплавильным шлаком. Применение грунтобетона в производстве строительных изделий и конструкций позволяет обеспечивать высокую технико-экономическую эффективность и экологическую рациональность технологии, что способствует расширению сырьевой базы строительства в целом.

Ключевые слова: грунтобетон, композиционный материал, добавки, физико-механические характеристики, рекультивация хвостохранилищ.

Грунтобетоны – материалы, формируемые на основе грунтов и минеральных вяжущих, представляющих собой соединения кальция – цементов, извести и гипса.

В отличие от строительных бетонов на портландцементе и кондиционных заполнителях грунтобетоны при насыщении водой теряют 40–60 % прочности, в связи с чем, не могут быть отнесены к водостойким. Также возможно изменение объема изделий в ходе попеременного увлажнения и насыщения их водой с дальнейшим разрушением структуры.

Над решением проблемы увеличения физико-механических и деформативных характеристик грунтобетона работали Комохов П.Г., Сватовская Л.Б., Комохов А.П., Аскалонов В.В., Токин А.Н., Безрук В.М., Виленкина Н.М., Попов Н.А. и другие.

В качестве минеральных вяжущих для укрепления (стабилизации) грунта используют главным образом, портландцементы, иногда известь, гипс, известково-шлаковые вяжущие, а также различные местные вяжущие, обладающие достаточной воздухоустойчивостью. Наиболее пригодны для укрепления грунты, имеющие показатель рН водной вытяжки выше 7, например, карбонатный лесс, карбонатные супеси и суглинки, вообще грунты с большим количеством кальция. Было доказано, что по гранулометрическому составу желательно иметь в грунте песчаных частиц от 30 до 75 %, глинистых – от 5 до 30 %. В жирные грунты для отощения необходимо вводить добавку песка. Также в грунтоматериалы вводились добавки – сечка соломы или костры, мылонафт, хлористый кальций.

Учеными было установлено, что для ускорения твердения основной активной составляющей структурной фазы данного вида бетона должно быть глинофторнефелиновое комплексное вяжущее, оно воздействует на гидратационную активность и на процессы структурообразования композиционного материала.

Однако возникает необходимость создания водостойких структур грунтобетона, а также исследование влияния различных добавок на физико-механические и деформативные характеристики грунтобетона. Эти исследования могут быть направлены не только на получение высокопрочных строительных материалов, но и для получения композитного материала, используемого в геоэкологии для повышения эффективности покрытия хвостохранилищ при их рекультивации [1–10].

Состав и параметры данного композита выявлены на основании лабораторных исследований. В качестве сырьевых материалов исследовались: цемент ЦЕМ II-32,5Н, медеплавильный отвальный шлак и глина.

Для создания высокопрочного материала были проведены лабораторные исследования совместно с методом планирования двухфакторного эксперимента (табл. 1).

Соотношение сырьевых компонентов внутри композиционных смесей было представлено, согласно табл. 2.

Таблица 1

Матрица планирования двухфакторного эксперимента

X1 (Ц:Г)		X2 (Щ:Ц+Г)	
Кодовое значение	Физическое значение	Кодовое значение	Физическое значение
-1	1	-1	2
0	2,5	0	4
1	4	1	6
-1	1	0	4
0	2,5	-1	2
1	4	-1	2
-1	1	1	6
0	2,5	1	6
1	4	0	4

Таблица 2

Соотношение сырьевых компонентов внутри композиционных смесей

№ п/п	Ц:Г	Ш:ЦГ	№ п/п	Ц:Г	Ш:ЦГ
1	1:2	1:6	5	1:1	1:3
2	1:1,33	1:3,5	6	1:1,5	1:4
3	1:1,67	1:2,67	7	1:3	1:5
4	1:4	1:2,5	8	2:1	1:2

Подвижность растворной смеси представлена в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения подвижности смесей  
при различных соотношениях сырьевых компонентов

№ п/п	Ц:Г	dcp	Ш:ЦГ	dcp
1	1:2	16,85	1:6	16,5
2	1:1,33	20,35	1:3,5	18,7
3	1:1,67	16,35	1:2,67	16,4
4	1:4	13,4	1:2,5	12,45
5	1:1	16,35	1:3	17,6
6	1:1,5	19,0	1:4	18,1
7	1:3	14,6	1:5	16,1
8	2:1	19,1	1:2	19,6

Как видно из табл. 3, для получения подвижных смесей на основе цемента и глины необходимо использовать соотношение этих компонентов до 1:1,5.

Таблица 4

Матрица двухфакторного эксперимента

X1 (Ц:Г)		X2 (Щ:Ц+Г)		Отклики (У)
Кодовое значение	Физическое значение	Кодовое значение	Физическое значение	dcp
-1	1	-1	2	19,6
0	2,5	0	4	17,6
1	4	1	6	16,1
-1	1	0	4	18,1
0	2,5	-1	2	16,4
1	4	-1	2	12,5
-1	1	1	6	16,7
0	2,5	1	6	16,5
1	4	0	4	18,7

В составе смесей отношение воды и суммарного количества цемента и глины оставалось неизменным, следовательно, оценивалось пластифицирование смесей в зависимости от количества глины.

Как видно из рис. 1, при увеличении количества глины происходит изменение расплыва конуса в большую сторону, однако это происходит до определенного оптимума, после которого диаметр расплыва начинает плавно уменьшаться, это объясняется мелкодисперсным слоистым строением глины, которая обладает высокой водоудерживающей способностью. То есть происходит увеличение структурной вязкости смеси.

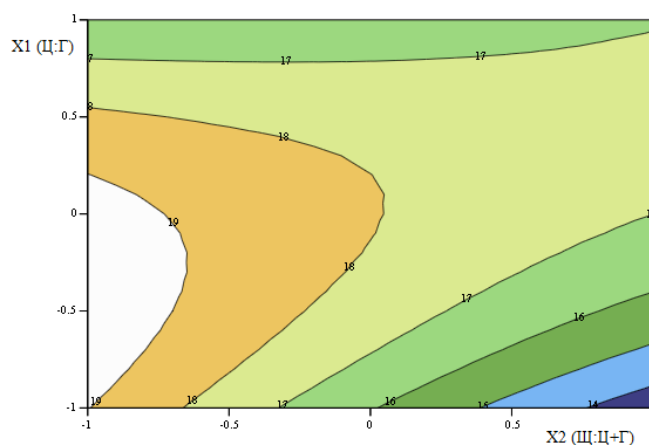


Рис. 1. Зависимость подвижности смесей от соотношения сырьевых компонентов

Для того чтобы получить пластичную смесь, необходимо использовать составы с соотношением (Щ:Ц+Г) до 1:3, при этом соотношение глины и цемента в этой смеси должно быть 1:1.

Таблица 5

Предел прочности при сжатии композитов в различные сроки твердения  
при различных соотношениях компонентов

Ц:Г	R 3 суток	R 7 суток	R 21 сутки	R 28 суток	Ш:ЦГ	R 3 суток	R 7 суток	R 21 сутки	R 28 суток
1:2	5,6	8,3	11,5	10,15	1:6	4,6	7,02	10,9	11,4
1:1,33	8,2	11,1	13,45	14,6	1:3,5	6,9	9,7	13,75	14,9
1:1,67	6,45	9,7	12,1	12	1:2,67	5,4	9,0	11,13	12
1:4	2,95	4,4	5,2	6,08	1:2,5	1,9	3,4	5,63	5,8
1:1	8,65	14,95	17,6	19,5	1:3	7,3	12,9	19,3	19,6
1:1,5	5,95	9,45	11,15	12,1	1:4	5,6	8,25	12,8	14,8
1:3	3,95	6,05	7,9	8,1	1:5	3,1	4	6,5	7,4
2:1	13,05	19,45	22,05	26,0	1:2	8,2	16,5	22,1	25,1

Как видно из табл. 5, наибольшей прочностью в различные сроки твердения обладают образцы композитов, в которых соотношение цемента и глины 2:1. Это объясняется гидравлической активностью цемента, который в данном составе содержится в большем объеме, следовательно, структура данного композита сложена гидросиликатами кальция и уплотнена глиной. Поэтому, для получения прочного основания можно рекомендовать именно это соотношение сырьевых компонентов.

Таблица 6

Матрица результатов определения предела прочности смесей  
при сжатии в различные сроки твердения

X1 (Ц:Г)		X2 (Ш:Ц+Г)		Отклики (У)			
Кодовое значение	Физ. значение	Кодовое значение	Физ. значение	R 3 суток	R 7 суток	R 21 суток	R 28 суток
-1	1	-1	2	8,2	16,5	22,1	25,1
0	2,5	0	4	7,3	12,9	19,3	19,6
1	4	1	6	3,1	4	6,5	7,4
-1	1	0	4	5,6	8,25	12,8	14,8
0	2,5	-1	2	5,4	9	11,13	12
1	4	-1	2	1,9	3,4	5,63	5,8
-1	1	1	6	5,1	8,5	11,2	11,8
0	2,5	1	6	4,6	7,02	10,9	11,4
1	4	0	4	6,9	9,7	13,75	14,9

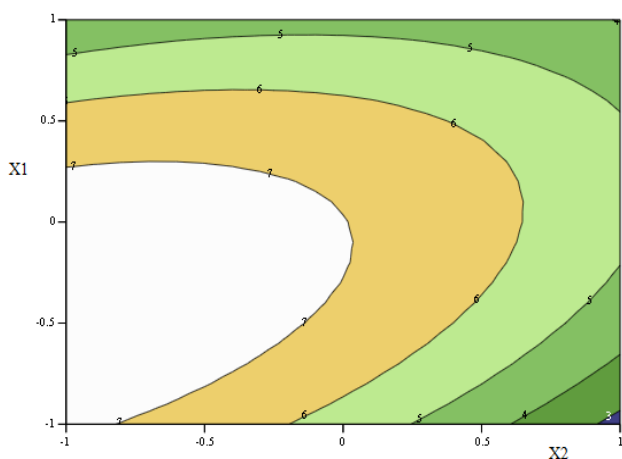


Рис. 2. Зависимость прочности композитов в возрасте 3 суток

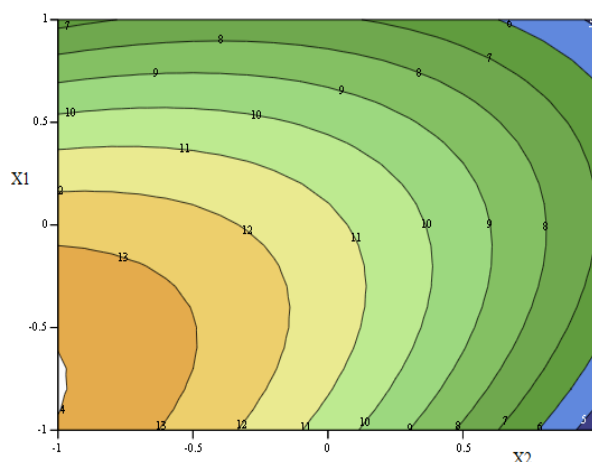


Рис. 3. Зависимость прочности композитов в возрасте 7 суток

Как видно из графиков изолиний (рис. 2–5) пределов прочности при сжатии в разные сроки твердения композитов с уменьшением количества глины в составах композитов (соотношение Щ:Ц+Г до 1:3), относительно массы вяжущего пределы прочности при сжатии увеличиваются. Это объясняется тем, что основной активной составляющей структурной фазы данного вида композита является цемент, и он проявляет свою гидратационную активность и влияние на процессы структурообразования композиционного материала.

Глинистая порода, следовательно, играет второстепенную роль в оценке качества формируемой структуры данной твердеющей системы исходных материалов. И лишь уплотняет структуру композита, что должно снизить водопроницаемость составов.

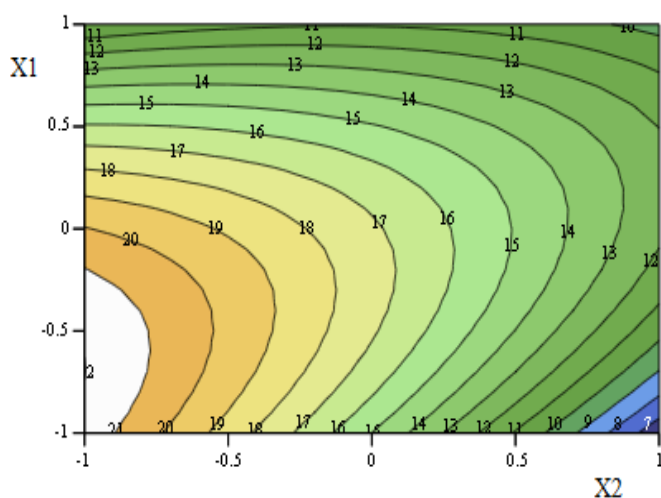


Рис. 4. Зависимость прочности композитов в возрасте 21 суток

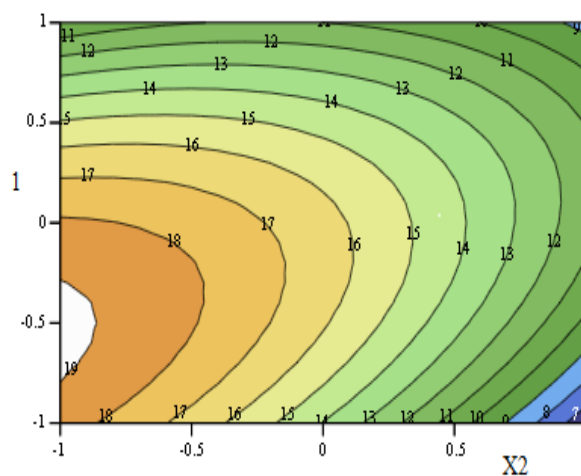


Рис. 5. Зависимость прочности композитов в возрасте 28 суток

Анализ полученных результатов включал в себя математическую обработку результатов исследования с целью получения значений коэффициентов полинома второй степени.

Результатами математической обработки является зависимость предела прочности композитов от соотношения Г:Ц и соотношения Ц:Ц+Г в виде уравнения регрессионной зависимости:

$$M(x, y) = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_{11} \cdot x^2 + b_{12} \cdot x \cdot y + b_{22} \cdot y^2, \quad (1)$$

где  $b_0 \dots b_{22}$  – расчетные коэффициенты модели;  $x, y$  – значения варьируемых факторов.

В результате обработки получились следующие зависимости:

$$M(x, y) = 7,022 - 1,167 \cdot x - 0,45 \cdot y - 0,633 \cdot x^2 + 1,075x \cdot y - 1,883 \cdot y^2, \quad (2)$$

– предел прочности композитов на основе шлака, цемента и глины в возрасте 3 суток;

$$M(x, y) = 11,22 - 2,842 \cdot x - 1,713 \cdot y - 1,398 \cdot x^2 + 1,925x \cdot y - 2,363 \cdot y^2, \quad (3)$$

– предел прочности композитов на основе шлака, цемента и глины в возрасте 7 суток;

$$M(x, y) = 16,33 - 3,395 \cdot x - 1,488 \cdot y - 1,595 \cdot x^2 + 2,667x \cdot y - 3,845 \cdot y^2, \quad (4)$$

– предел прочности композитов на основе шлака, цемента и глины в возрасте 21 суток;

$$M(x, y) = 17,16 - 3,925 \cdot x - 2,05 \cdot y - 1,042 \cdot x^2 + 3,725x \cdot y - 4,22 \cdot y^2, \quad (5)$$

– предел прочности композитов на основе шлака, цемента и глины в возрасте 28 суток.

Полученные уравнения регрессионной зависимости позволяют сделать прогноз о прочности на сжатие композитов в различные сроки твердения на различных расходах сырьевых компонентов в исследуемом диапазоне. Коэффициент Фишера составил 3,65–3,95 и не превышает 4,3, что говорит о значимости полученных зависимостей.

#### Библиографический список

1. Комохов, А.П. Особенности структурообразования и свойства грунтобетона / А.П. Комохов // Труды III научно-практической конференции по ресурсосберегающим технологиям. – Самара, 2002. – С. 112–120.
2. Комохов, А.П. Высокоэффективная технология грунтобетона как современного композиционного материала / А.П. Комохов // Строительство и реконструкция. – 2002. – № 2. – С. 25–28.
3. Безрук, В.М. Теоретические основы укрепления грунтов цементами / В.М. Безрук. – М., 1956.

4. Виленкина, Н.М. Цементно-грунтовые камни / Н.М. Виленкина. – М., 1961.
5. Попов, Н.А. Грунтотериалы в строительстве зданий / Н.А. Попов. – М., 1944.
6. Ульрих, Д.В. Современное состояние хвостохранилища в г. Карабаш и его влияние на техногенез прилегающей территории / Д.В. Ульрих, С.С. Тимофеева // Экология и промышленность России. – 2015. – Т. 19. – С. 56–59.
7. Ульрих, Д.В. Assessment of ecological impact of mineral mining and processing industry in the Chelyabinsk Region / Д.В. Ульрих, С.С. Тимофеева // Горный журнал. – 2015. – Т. 5. – С. 94–99.
8. Строкова, Л.А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов / Л.А. Строкова // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313. – № 1. – С. 69–74.
9. Чудинов, С.А. Производственные испытания грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектролита. Известия высших учебных заведений / С.А. Чудинов // Лесной журнал. – 2011. – № 6. – С. 58–61.
10. Дмитренко, Е.Н. Параметрическая модель прочности цементогрунта / Е.Н. Дмитренко, В.С. Прокопец // Вестник МГСУ. – 2010. – Т. 5. – № 4. – С. 80–84.

[К содержанию](#)