

УДК 625.731.2

А. С. Федькин, аспирант (БГТУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ГРУНТА И МИНЕРАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Статья содержит результаты лабораторных исследований композиционного материала на основе грунта и минерального вяжущего. Указаны характеристики используемых материалов, таких как фракционный шлак, цемент, молотый шлак. Приведен порядок приготовления смеси, изготовления образцов и испытания их на сжатие. Указан характер разрушения образцов при испытаниях на сжатие. Проанализированы образцы следующих составов: 1) с изменяемым процентным содержанием цемента и постоянным процентным содержанием фракционного и молотого шлака; 2) постоянным процентным содержанием цемента и изменяемым процентным содержанием молотого и фракционного шлака; 3) постоянным процентным содержанием фракционного шлака при одновременном снижении процентного содержания цемента и увеличении процентного содержания молотого шлака в составе смеси (с градацией в 2%).

This article contains the results of laboratory tests of composite material based on soil and mineral binder. These characteristics of the materials used, such as fractional slag, cement, ground slag. The order of mixing, prototyping and testing of specimens in compression. Set the fracture behavior of specimens for testing in compression. Analyzed samples of the following compositions: 1) with a variable percentage of cement and a constant percentage of fractional and ground slag, and 2) with a constant percentage of cement and a variable percentage of milled slag and fraction 3) with a constant fractional percentage of the slag, while reducing the percentage of cement and increasing the percentage of ground slag in the mixture (with a step of 2%).

Введение. Решение задач по применению новых технологий и материалов в дорожном строительстве должно быть напрямую связано с экономией строительных ресурсов и широким применением местных материалов. Одним из путей решения существующих проблем является создание дорожно-строительных материалов на основе укрепленных грунтов, которые будут обладать улучшенными свойствами.

Вопросами использования укрепленных грунтов на лесных автомобильных дорогах занимались такие ученые, как П. А. Ребиндер, В. М. Безрук, В. Ф. Бабков, А. П. Платонов, М. Н. Першин, Э. О. Салминен, Б. И. Кувалдин, И. А. Золотарь, И. И. Леонович, Н. П. Вырко, Б. А. Ильин.

Практика строительства показывает, что одним из перспективных направлений в области укрепления лесных автомобильных дорог является применение композиционных минеральных вяжущих.

Основная часть. Создание композиционного материала на основе грунтов сводится к усилению существующих и созданию новых структурных связей в грунтах, которые будут обеспечивать требуемую устойчивость и прочность материала в сооружении [1]. В связи с разнообразием грунтов как по типу, так и по физико-химическим свойствам используют различные вяжущие, применяемые для получения композиционных материалов на основе грунтов.

Характеристика используемых материалов. Для приготовления композита на основе

грунта использовали цемент, фракционный шлак и молотый шлак (получали путем помола отхода металлургического производства Жлобинского БМЗ) в различных процентных соотношениях.

Обычно цемент применяют для упрочнения всех видов грунтов, но для получения наибольшей прочности грунта при наименьшем расходе цемента рекомендуется обрабатывать гравелистые и крупнообломочные грунты, а также супеси и грунтовые смеси оптимального состава. Для укрепления грунтов могут применяться различные цементы, но лучшие результаты дает применение портландцемента марки не ниже 400. В лабораторных условиях применялся цемент марки М500-Д20.

Фракционный шлак использовался в качестве заполнителя. Гранулометрический состав фракционного шлака представлен в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав фракционного шлака

Размер сит, мм	Масса шлакового материала, г/%, от общей массы
> 10	60/2,2
10...7	1510/54,3
7...5	1110/39,9
5...3	100/3,6

Наряду с фракционным шлаком для проведения лабораторных исследований использовался и

молотый шлак. Для измельчения шлакового материала применялась лабораторная мельница.

Барабанная лабораторная мельница типа МБЛ предназначена для размола шлакового материала, клинкера и кокса в лабораторных условиях с целью определения характеристик размалываемости, подбора оптимальных условий размола и для тонкого измельчения материалов для разных целей (как сухим, так и мокрым способом). Техническая характеристика мельницы приведена в табл. 2.

Таблица 2

Техническая характеристика мельницы

Показатели	Значение
Производительность (по клинкеру), кг/ч	5
Число камер	2
Частота вращения барабана, мин ⁻¹	48±1
Подводимая мощность, кВт	1,1
Внутренние размеры камеры, мм:	
диаметр	500
длина	280

Исходный гранулометрический состав шлакового материала общим весом 16 820 г представлен в табл. 3.

Таблица 3

Гранулометрический состав исходного шлакового материала

Размер сит, мм	Масса шлакового материала, г/%, от общей массы
> 40	7765 г/46,16
40...20	3640 г/21,64
20...10	2490 г/14,80
10...5	1620 г/9,63
5...2,5	610 г/3,62
2,50...1,25	145 г/0,86
< 1,25	550 г/3,29

Время размола шлакового материала составило 90 мин. Общая шаровая загрузка равна 42 190 г, в т. ч. по камерам: камера № 1 – 19 680 г, камера № 2 – 22 510 г. Конечный гранулометрический состав размолотого шлакового материала представлен в табл. 4.

Приготовление смеси и изготовление опытных образцов. Замес производился в следующем порядке. Изначально отвешивали на весах требуемое количество грунта, добавляли к нему цемент в соответствии с заданным процентным соотношением и тщательно перемешивали. Далее в полученную смесь добавляли либо молотый шлак (МШ), либо фракционный шлак (ФШ) и равномерно распределяли его по всей смеси. В сухую смесь в несколько приемов добавляли около 10% воды и перемешивали до получения однородной массы.

Таблица 4

Гранулометрический состав шлакового материала после помола

Размер сит, мм	Масса шлакового материала, г/%, от общей массы
> 40	2580 г/15,34
40...20	2560 г/15,22
20...10	600 г/3,57
10...5	280 г/1,66
5...2,5	190 г/1,13
2,50...1,25	140 г/0,83
1,25...0,63	340 г/2,02
< 0,63	10130 г/60,23

Изготавливали и хранили контрольные образцы согласно ГОСТ 10180–90 [2]. Для определения прочности бетона на сжатие изготавливали образцы-кубы. Размеры образцов выбирались в зависимости от наибольшей номинальной крупности заполнителя в пробе смеси в соответствии с указанными в табл. 5 [2].

Таблица 5

Размеры образцов в зависимости от наибольшей номинальной крупности заполнителя

Наибольший номинальный размер заполнителя, мм	Наименьший размер (ребра куба, стороны поперечного сечения призмы или восьмерки, диаметра и высоты цилиндра), мм
20 и менее	100
40	150
70	200
100	300

Прочность на сжатие изготовленных образцов-кубов испытывали в возрасте 7 сут. Перед испытанием образцы осматривали, при обнаружении на опорных гранях дефектов в виде наплывов производили их удаление. Замеряли линейные размеры образцов линейкой по двум взаимно перпендикулярным плоскостям. Определяли рабочее положение образца при испытании. Укладывали его на нижнюю опорную плиту пресса так, чтобы сжимающая сила была направлена параллельно слоям укладки приготовленной смеси в форму. Затем производили центрирование образца по геометрической оси. Нагрузку на образец при испытании увеличивали непрерывно и равномерно со скоростью 0,4–0,8 МПа/с до разрушения образца [3].

Прочность на сжатие бетона вычисляли как среднее арифметическое результатов испытания трех образцов-близнецов при условии, что наименьший результат испытания одного из трех образцов отличается от следующего показателя

не более чем на 15%. В случае, если наименьший результат испытания отличается больше чем на 15% от следующего большего показателя, то предел прочности вычисляются как среднее арифметическое из двух наибольших результатов

При проведении лабораторных испытаний отслеживался характер разрушений образцов. В справочном приложении № 7 ГОСТ 10180–90 [3] приведена схема характера разрушения образцов. Характер разрушений образцов при испытаниях в лабораторных условиях соответствует нормальному разрушению.

Анализ данных. Для анализа полученных результатов отбирались образцы следующих составов: 1) с изменяемым процентным содержанием цемента и постоянным процентным содержанием фракционного и молотого шлака; 2) постоянным процентным содержанием цемента и изменяемым процентным содержанием молотого и фракционного шлака; 3) постоянным процентным содержанием фракционного шлака при одновременном снижении процентного содержания цемента и увеличении процентного содержания молотого шлака в составе смеси (с градацией в 2%).

Графики зависимости прочности от процентного содержания цемента в 28-суточных образцах представлены на рис. 1.

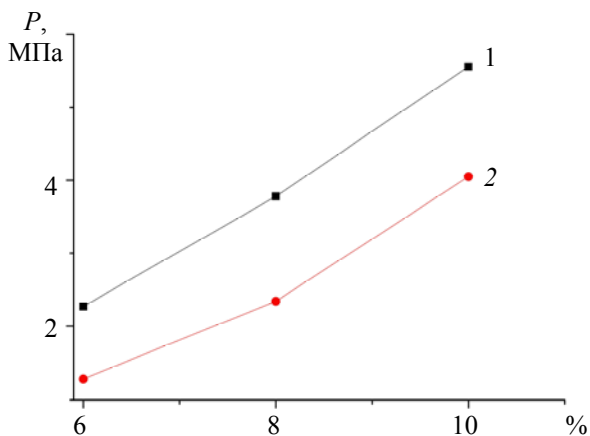


Рис. 1. Графики зависимости прочности 28-суточных образцов от процентного содержания цемента в составе:
1 – Ц+25ФШ+Г; 2 – Ц+25МШ+Г

На графике показано, что образцы, в состав которых входит фракционный шлак, прочнее тех, в состав которых находится молотый шлак. Прочность образцов с фракционным шлаком при одинаковом процентном содержании цемента выше на 56–137%, чем прочность образцов с молотым шлаком. Прочность образцов с увеличением содержания цемента (в рассматриваемых пределах от 6 до 10%) на 2% повышается в среднем в 1,6 раза.

Графики зависимости прочности от процентного содержания шлака в 28-суточных образцах представлены на рис. 2.

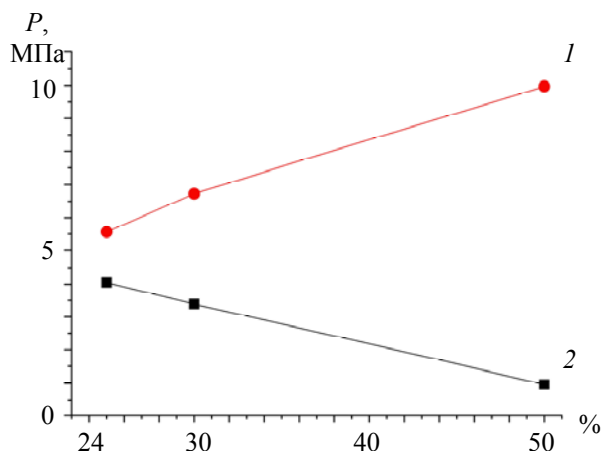


Рис. 2. Графики зависимости прочности 28-суточных образцов от процентного содержания шлака в составе:
1 – 10Ц+ФШ+Г; 2 – 10Ц+МШ+Г

Одним из путей снижения стоимости дорожной конструкции является замена портландцемента бесклинкерными вяжущими, такими как металлургические шлаки, золы уноса, нефелиновые шламы, золошлаковые смеси и т. д. Все эти материалы обладают гидравлической активностью и при активации небольшими добавками цемента или других химических реагентов придают материалу на основе грунтов более высокие физико-механические свойства. Грунты, обработанные доменным шлаком, имеют меньшую усадку при твердении и меньший коэффициент линейного температурного расширения по сравнению с грунтами на основе портландцемента. Поэтому у таких материалов более высокая трещиностойкость. Доменным шлаком можно обрабатывать грунты естественного зернового состава и тонкоизмельченные [1].

Наряду с уменьшением стоимости конструкции дороги решается проблема использования отходов. Например, в Японии добавляют 5% золы уноса в смешанный шлак сталеплавильного производства, который используется для дорожного строительства. В Венгрии есть опыт по возведению насыпей из золошлаковых смесей. В Италии зола от сжигания угля применяется не только как естественный заполнитель, но и как вяжущее в конструкциях дорожных одежд [4].

Кроме всего вышеперечисленного, был проанализирован характер изменения прочности 28-суточных образцов на сжатие при одновременном снижении процентного содержания цемента и увеличении процентного содержания

молотого шлака в составе смеси (с градацией в 2%) (рис. 3). При начальном составе смеси 10Ц+2МШ+25ФШ+Г значение прочности образцов на сжатие составило 4,58 МПа. После изменения состава смеси, который впоследствии имел вид 2Ц+10МШ+25ФШ+Г, прочность образцов на сжатие составила 0,53 МПа. В целом прочность снизилась в 8,6 раза; при каждом последующем снижении содержания цемента на 2% и увеличении содержания молотого шлака на 2% значение прочности снижалось в среднем в 1,5 раза.

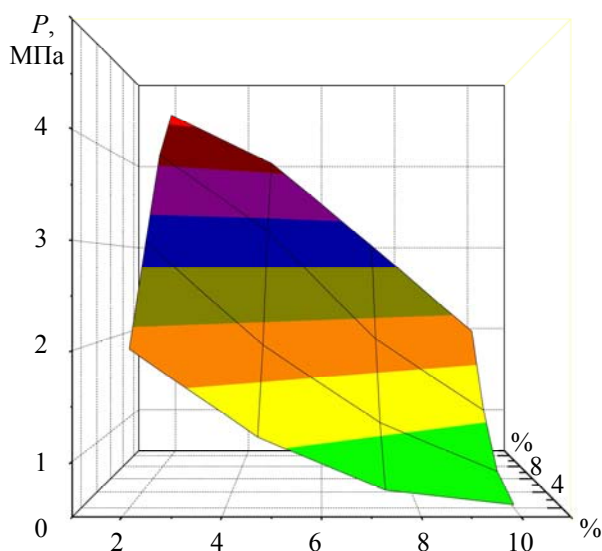


Рис. 3. Характер изменения прочности 28-суточных образцов на сжатие при одновременном снижении процентного содержания цемента и увеличении процентного содержания молотого шлака в составе смеси (с градацией в 2%)

Рассмотрим два различных состава: 1) 8Ц+25ФШ+Г и 2) 8Ц+4МШ+25ФШ+Г. Прочность на сжатие первого в возрасте 28 сут составила 3,78 МПа, второго – 3,69 МПа. Такие материалы, как молотый металлургический шлак, при активации небольшими добавками извести и цемента обеспечивают необходимые физико-механические свойства материалов на основе грунта. Однако проведенные лабораторные исследования показали, что прочность такого материала в возрасте 28 сут значительно ниже. Это объясняется тем, что структура материала с добавлением молотого шлака формируется медленно и в начальный период образцы обладают невысокой прочностью. По истечении длительного срока (до 1 года) такие материалы

по своим свойствам не уступают материалам на основе цемента и грунта [1].

Заключение. Использование местных грунтов вместо каменных материалов в конструктивных слоях дорожных одежд возможно лишь при полном изменении физико-механических свойств, характерных для естественных грунтов [5]. В результате проведения лабораторных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Из испытанных 15 различных образцов наиболее прочным оказался образец следующего состава: 10Ц+50ФШ+Г (9,97 МПа), наименее прочным – образец состава 2Ц+10МШ+25ФШ+Г (0,53 МПа).

2. Образцы, в состав которых входил фракционный шлак, значительно прочнее образцов с таким же содержанием молотого шлака. Соответственно, в практике дорожного строительства в качестве заполнителя смеси целесообразнее и дешевле применять фракционный шлак.

3. При исследовании вопроса замещения некоторого количества цемента в составе на молотый шлак необходимо учитывать медленно формирующуюся структуру материала. Поэтому данный вопрос требует более детальной проработки и дополнительных лабораторных испытаний.

Литература

1. Платонов, А. П. Композиционные материалы на основе грунтов / А. П. Платонов, М. Н. Першин. – М.: Химия, 1987. – 144 с.
2. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180–90 // ГОСТы, СНИПы [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.gostedu.ru/3770.html>. – Дата доступа: 10.02.2012.
3. Контроль качества бетона // Материалы, технологии [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://bibliotekar.ru/spravochnik-70-2/46.htm>. – Дата доступа: 06.02.2012.
4. Зарубежный опыт применения зол и золошлаковых смесей в дорожном строительстве // Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог. [Электронный ресурс]. – 2003. – Режим доступа: <http://www.zolprod.irkutskenergo.ru/qa/2281.html>. – Дата доступа: 10.02.2012.
5. Дорожные основания и покрытия из укрепленных грунтов / В. М. Безрук [и др.]. – М.: Транспорт, 1966. – 128 с.

Поступила 14.03.2012