

**ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОЦЕМЕНТНЫХ СМЕСЕЙ В КОНСТРУКЦИЯХ
ЛЕСНЫХ ДОРОГ**

Науменко А. И., ассист., к.т.н.

Белорусский государственный технологический университет
(Минск, Республика Беларусь), e-mail: Andrei_Naymenko_bsty@mail.ru

**APPLICATION OF LOW CEMENT MIXTURES IN THE CONSTRUCTION
OF FOREST ROADS**

Naumenko A. I., Ass., PhD

Belarusian State Technological University
(Minsk, Republic of Belarus)

The article provides prescription-technological parameters of the formation seminterrato obtained on the basis of strengthening the local soil composite binders, providing an evenly distributed solid strengthening structure of soil with a minimum flow of binder.

Применение укрепленных грунтов для строительства лесных автомобильных дорог является одним из перспективных направлений решения проблемы дорожного строительства.

Местный грунт, укрепленный различными вяжущими реагентами, приобретает водостойчивость, механическую прочность и может быть использован как полноценный заменитель традиционных каменных дорожно-строительных материалов в лесных районах, где испытывается их острый недостаток.

Разработка практических рекомендаций по укреплению грунтов связана с большим объемом лабораторных исследований для установления оптимальных дозировок вяжущих реагентов, выбора технологических режимов и т. п. Эта работа также связана с изготовлением огромного количества образцов, их испытанием, обработкой и анализом полученных данных.

В этих условиях наиболее приемлемым является применение многофакторного метода планирования эксперимента, при котором все факторы изменяются одновременно. В результате проведения эксперимента по определенному плану получают описание изучаемого процесса в виде уравнения (математической модели), которое дает исследователю широкую и достаточно надежную информацию.

При этом значительно сокращается необходимое количество проводимых опытов, достоверность полученных результатов увеличивается, сроки исследований сокращаются.

Композиционный цемент – это гидравлический цемент, состоящий из портландцемента и одного или более неорганических материалов, которые принимают участие в реакциях гидратации и тем самым способствуют образованию продукта гидратации.

Композиционные вяжущие используются для различных целей. Необходимость утилизации отходов и снижение энергозатрат становится все более очевидной. Зола уноса и шлак являются отходами, получаемыми в больших количествах. Бетоны на их основе или совместно с природными пуццоланами могут иметь одинаковые свойства с бетонами, изготовленными из чистых портландцементов, при более низкой стоимости на единицу объема изделий.

Выпуск композиционных цементов стандартизирован введением в действие ГОСТ 31108, причем стандартом разрешается одновременный ввод до трех минеральных добавок различного генезиса. Теоретические предпосылки использования активных минеральных добавок рассматривались во многих работах, причем, эти исследования начались введением только одной добавки. Как показали результаты исследования физико-механических показателей композиционных цементов, одновременное введение оптимального количества (до

трех) минеральных добавок, различающихся химической активностью и степенью кристалличности, повышает прочность исходного цемента в 1,2–1,5 раза.

Известно, что прочность цементного камня определяется многими факторами, в том числе вещественным составом, гранулометрией исходного цемента, а также микроструктурой цементного камня, которая в свою очередь, определяется концентрацией гидратных фаз, морфологией кристаллогидратов, формой контактов кристаллов различного генезиса.

В качестве микронаполнителей для композиционного вяжущего были использованы отходы асбестоцементного производства (АЦИ), образующиеся на предприятиях «Красносельскстройматериалы» и «Кричевцементошифер»; гранитоидные отсеvy (ГО), получаемые при дроблении щебня на Микашевичском месторождении; зола-унос (ЗУ) из топок с псевдоожиженным слоем при сжигании торфа с Ошмянской ТЭЦ. В качестве минерального вяжущего в работе использовался портландцемент марки ПЦ 500-Д0 ОАО «Красносельскстройматериалы».

Испытания укрепленных грунтов проводились для наиболее распространенных в лесной зоне Республики Беларусь (песок мелкий и средней крупности, супесь легкая и суглинок легкий пылеватый) по действующим методикам и нормативным документам. Исследование структуры золы-уноса (рисунок 1) и других компонентов осуществлялось рентгенофазовым и дифференциальным термическим анализом (ДТА). Как видно по результатам анализа, в золе-уносе содержится около 3% воды с различной формой связи, остатки несгоревших углеродных частиц (до 2%), что согласуется с данными рентгенофазового анализа, и карбонаты магния и кальция.

Мощность, мВт

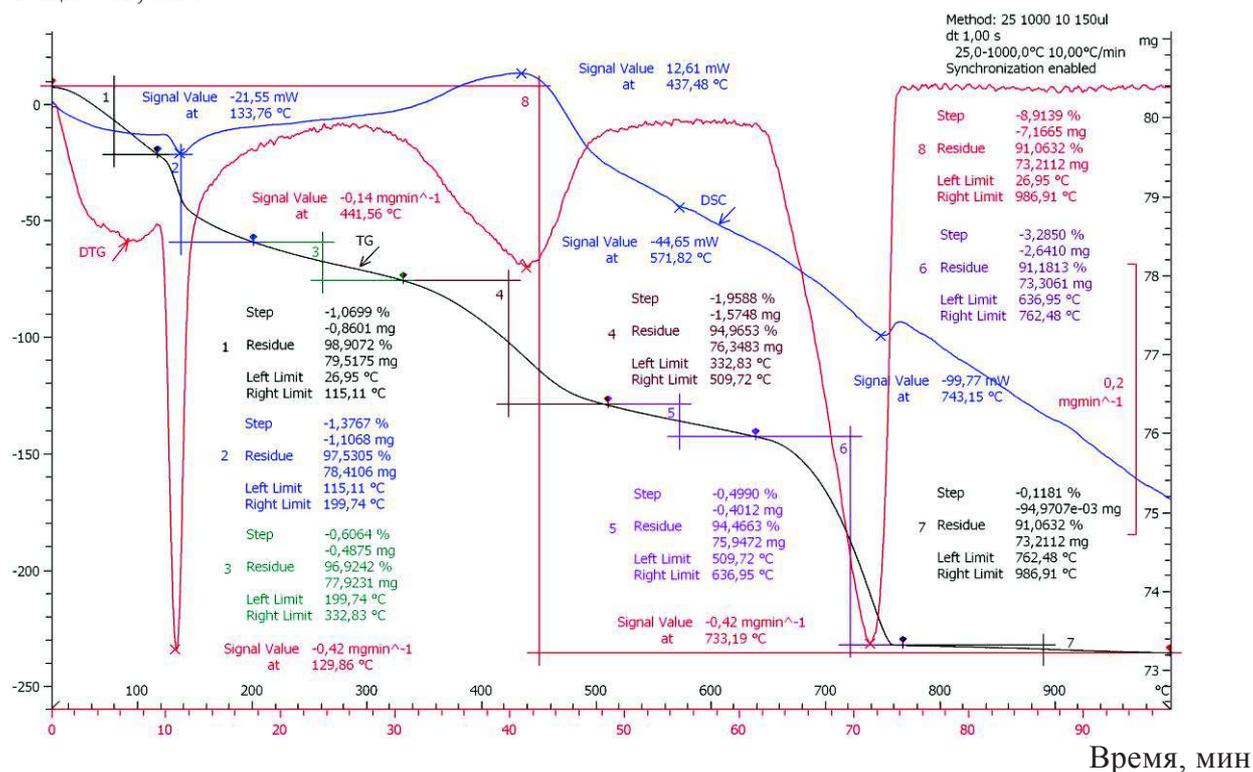


Рисунок 1 – Кривые ДТА и термогравиметрии DSC, TG и DTG золы-уноса

Присутствие последних может быть обусловлено низкой температурой в зоне горения (740 °C), когда отсутствуют условия образования силикатов. Образование карбонатов в золе-уносе объясняется карбонизацией оксидов магния и кальция диоксидом углерода из продуктов горения торфа.

Анализ распределения компонентов в контактных зонах цементогрунта определяли методом оптической микроскопии в отраженном свете при увеличении до $\times 1000$. Для испытаний на сжатие и на изгиб использовался пресс МИИ-100. При испытании на морозостойкость морозильная камера модели «Атлант».

При разработке составов композиционного малоцементного вяжущего определялась дозировка каждого из компонентов – основного вяжущего и микронаполнителей (АЦИ, гранитоидный отсев и зола-унос). На основе результатов испытаний на прочность 29 комбинаций можно сделать вывод, что композиционные малоцементные вяжущие 2-х составов (состав №1 - 70% портландцемент, 10% молотые отходы АЦИ, 20% гранитоидные отсева [2] и состав № 2 – 70% портландцемент, 30% зола-уноса [1]), произведенные из портландцемента и микронаполнителей, имеют марку 400. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики портландцемента и разработанных композиционных малоцементных вяжущих.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика портландцемента и композиционных вяжущих

Наименование свойств	Портландцемент	Состав №1, (70% ПЦ, 10% АЦИ, 20% ГО)	Состав №2, (70% ПЦ, 30% ЗУ)
Предел прочности при сжатии, МПа	48,7	38,4	37,7
Предел прочности при изгибе, МПа	7,6	6,1	6,23
Тонкость помола, %	8	11	9
Нормальная густота цементного теста, %	25	26,5	26,3
Равномерность изменения объема	Показывает	Показывает	Показывает
Сроки схватывания, мин начало конец	85 не регламентируется	195 не регламентируется	205 не регламентируется
Консистенция цементного раствора (расплывание конуса), мм	106	108	109

Из таблицы 1 видно, что содержание в составе №1 и №2 отходов промышленных производств в количестве до 30 % снижает марку цемента до 400, увеличивает начало сроков схватывания с 1 ч 25 мин до 3 ч 15 мин и 3 ч 25 мин соответственно, нормальная густота цементного теста увеличивается на 1,5 % и 1,3% соответственно, без существенного изменения других свойств. Согласно СТБ 1521 разработанные композиционные малоцементные вяжущие полностью удовлетворяет требованиям к цементам, используемым для укрепления грунтов в дорожном строительстве.

Моделирование процесса укрепления грунтов различными минеральными вяжущими осложняется происходящими сложными и разнообразными физико-механическими, физико-химическими и химическими процессами, в результате которых все компоненты смеси могут утрачивать свою дисперсность, что приводит к преобразованию грунтовой смеси в прочный камневидный монолит. По этой причине модель формирования укрепленного грунта должна быть разбита на отдельные этапы, основывающиеся на изучении физико-механических и физико-химических свойств материалов цементогрунта [1]. Сопровождается при этом выявление отдельных процессов взаимодействия отдельных компонентов позволяет аргументировано создавать новые материалы с заранее заданными механическими и эксплуатационными свойствами, создаёт реальную возможность для укрепления грунтов комплексными добавками, направленно изменяющими их характеристики.

Климатические, грунтово-гидрологические и другие условия оказывают существенное влияние на эксплуатационное состояние укрепленных местных грунтов в составе дорожной конструкции.

Выбор и назначение составов цементогрунтовой дорожной смеси заключается в определении рационального соотношения между составляющими материалами, при котором смесь по физико-механическим свойствам отвечает заданным требованиям нормативных документов.

При подборе составов цементогрунтовой дорожной смеси требовалось установить рациональное количество вводимого композиционного малоцементного вяжущего и вырабо-

тать оптимальные способы его введения в грунт в зависимости от вида грунта, его физических свойств и необходимых результатов.

Подбор составов цементогрунтовой дорожной смеси включает следующие этапы:

- отбор материалов, определение оптимальной влажности смеси и расчет максимальной плотности образцов;
- подбор необходимого количества композиционного вяжущего путем приготовления опытных образцов;
- испытание приготовленных образцов и определение физико-механических показателей укрепленных грунтов при хранении во влажностных условиях;
- сравнение полученных прочностных показателей с требованиями, предъявляемыми нормативной документацией и выбор оптимальной рецептуры смеси [1, 2].

Механическая прочность цементогрунта и его морозостойкость в конструктивных слоях дорожной одежды зависит от степени его уплотнения [3]. С увеличением плотности цементогрунта возрастает число контактов твердых частиц, образующиеся при твердении вяжущих, кристаллы создают более разветвленный каркас в порах и на поверхности частиц и агрегатов, что определяет прочное их закрепление.

Исследования показали, что с увеличением количества вносимого композиционного малоцементного вяжущего как № 1, так и № 2, возрастает плотность скелета грунта на 8-16%, что позволяет структурировать цементогрунт в однородную дисперсную смесь и освобождает сорбционную воду с поверхности грунта. Благодаря этому эффекту, при одной и той же нагрузке уплотнения можно получить более высокую плотность и прочность материала.

Установлено, что при исследовании цементогрунтовых смесей на определение оптимальной влажности прослеживается тенденция увеличения водопотребления смеси. Данный эффект можно объяснить присутствием в композиционных вяжущих высокодисперсных систем, таких как отходы АЦИ и зола-унос, способные к значительному насыщению водой (до 100–160%).

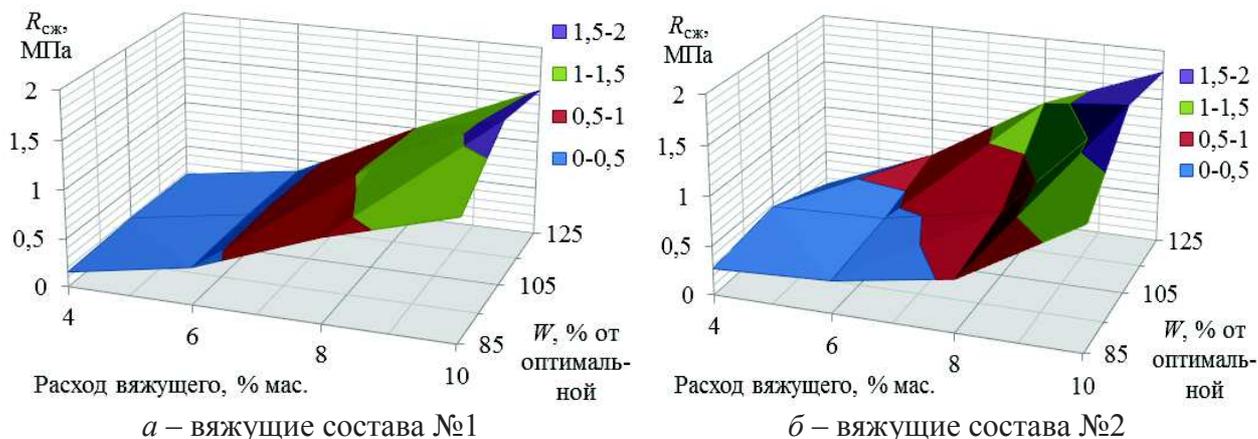


Рисунок 2 – График зависимости предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов укрепленного грунта в зависимости от количества вяжущего и влажности укрепляемого грунта

Как показывают полученные зависимости (рисунок 2), оптимальное значение влажности образцов цементогрунта, полученного на основе песка пылеватого и композиционных вяжущих, при котором достигаются наибольшие показатели прочности, составляет в пределах 105–115% от оптимальной влажности. При этом уменьшение влажности смеси до 85% от оптимальной оказывает большое влияние на прочность, чем увеличение до 125% от оптимальной влажности. Это объясняется недостаточным количеством воды для гидратации всего объема вяжущего вещества.

Полученные результаты испытаний грунтов различного гранулометрического состава с изменяющимся содержанием композиционных малоцементных вяжущих позволили осу-

ществу дальнейшую оптимизацию составов цементогрунтов и более четко отработать их рецептурные параметры, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Рекомендуемые составы цементогрунтов на основе композиционных малоцементных вяжущих

№ п/п	Тип грунта	Количество вяжущего, % (от массы грунта)	
		для состава № 1	для состава № 2
1	Песок пылеватый	8–12	9–11
2	Песок средней крупности	6–10	8–10
3	Супесь легкая	5–11	7–12
4	Суглинок легкий пылеватый	6–12	6–11

Таким образом, проведенные исследования и полученные результаты испытаний позволили дать рецептурные рекомендации по получению цементогрунта из местных грунтов, укрепленных композиционными вяжущими на основе портландцемента и микронаполнителей.

Заключение. Разработаны составы композиционных вяжущих на основе портландцемента и микронаполнителей, в качестве которых используются отходы промышленных производств: зола-унос, гранитоидные отсеvy и отходы асбестоцементного производства, что позволит снять экологический налог с предприятий за счет использования их отходов при получении композиционного вяжущего.

Определены свойства системы «грунт–вяжущее» при различной концентрации компонентов, что позволило оптимизировать составы цементогрунтов в соответствии с предъявляемыми требованиями. Разработаны рецептурно-технологические параметры формирования цементогрунтов, полученных на основе укрепления местных грунтов композиционными вяжущими, обеспечивающими равномерно распределенную прочную структуру укрепляемого грунта при минимальном расходе вяжущего в пределах от 4% до 11% мас.

Разработанная методика проектирования цементогрунтовой смеси для устройства конструктивного слоя в дорожной конструкции, позволяет уменьшить дозировку вяжущих на 10-15% за счет применения отходов промышленных производств с обеспечением требуемого модуля упругости и прочности дорожной конструкции.

Установлено, что использование в дорожной конструкции слоя из цементогрунта [3, 4], ведет к увеличению морозостойкости на 6-12% и прочности 7-15% конструкции. Рост экономической эффективности обусловлен повышением долговечности конструкций на 8-16%, а, следовательно, увеличением межремонтных сроков и срока службы лесной автомобильной дороги. При этом сокращаются сроки ввода дорог в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Композиционный цемент: пат. Респ. Беларусь, МПК С 04 В 7/04, С 04 В 28/5204, С 04 В 18/12, С 04 В 718/16, С 04 В 7/52 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. - №а 20121705; заявл. 06.12.12; опуб. 2015.0.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. - № 4. – С. 82.

2. Сырьевая смесь для получения портландцемента с минеральным наполнителем, МПК С 04 В28/00 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, Е. И. Бав-бель, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. - №а20131542; заявл. 19.12.13.

3. Дорожная конструкция из арматурного каркаса: № 11183 патент на полезную модель, МПК С 01 С 7/36, 7/32 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, С. В. Красковский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № и 20150145; заявл. 29.04.15., опубл. 2016.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 4. – С. 82.

4. Дорожная конструкция из цементогрунта: № 11182 патент на полезную модель, МПК С 01 С 7/36, 7/32 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № и 20150145; заявл. 29.04.15., опубл. 2016.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 4. – С. 82.