

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

УДК 630*383.6:625.711.84(043.3)

НАУМЕНКО
Андрей Иванович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ НА ОСНОВЕ
КОМПОЗИЦИОННОГО МАЛОЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

Минск 2015

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре лесных дорог и организации вывозки древесины.

Научный руководитель

Лыщик Петр Алексеевич,

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины, учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

Официальные оппоненты:

Бусел Алексей Владимирович,

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительство и эксплуатация дорог», декан факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета;

Протас Павел Александрович,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок, учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация

РДУП «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»

Защита состоится «30» октября 2015 г. в 16.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4, тел.: (017) 327-83-41, факс: (017) 327-62-17, e-mail: lmitlz@belstu.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «30» сентября 2015 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
канд. техн. наук, доцент



С. П. Мохов

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при строительстве лесных автомобильных дорог и дорог общего пользования в Республике Беларусь используются конструкции дорожных одежд из укрепленных материалов, что позволяет повысить сроки их службы и обеспечить требуемые транспортно-эксплуатационные показатели.

Общепризнанным является тот факт, что ритмично и эффективно работают те предприятия лесного комплекса, которые имеют хорошо развитую сеть дорог, позволяющих проводить транспортные операции в течение всего года. Однако почти повсеместно дорожная сеть развита недостаточно и не в полной мере удовлетворяет требованиям лесного комплекса страны.

К 2030 году ежегодный объем лесопользования в Республики Беларусь увеличиться до 25 млн. м³. Перспективы увеличения лесосырьевых запасов и объемов заготовок древесины выдвигают необходимость существенно увеличить объемы строительства лесных дорог, причем только для освоения труднодоступных лесосек требуется в ближайший период построить 540 км путей. Строительство новых лесотранспортных путей в необходимых объемах позволит предприятиям лесного комплекса обеспечить устойчивую работу. Наращивание объемов дорожного строительства в лесу требует новых подходов к технологиям строительства дороги, а также к применяемым дорожным материалам.

В связи с этим, особенно актуальной является проблема использования в строительстве лесных дорог местных грунтов в качестве дорожно-строительных материалов. Для получения достаточно высоких физико-механических и эксплуатационных свойств материалов из таких грунтов всегда требуется повышенный расход вяжущего, высокая стоимость которого сдерживает область применения таких грунтов. Поэтому постоянно ведется поиск эффективных способов, позволяющих снизить расход вяжущего, обеспечивая при этом необходимые показатели укрепленных материалов.

Анализ работ по исследованию методов укрепления местных грунтов неорганическими вяжущими указывает на недостаточно полное раскрытие вопросов, связанных с использованием отходов промышленных производств, в частности золы-уноса из топок с псевдоожиженным слоем при сжигании фрезерного торфа, отходов асбестоцементных производств и гранитоидных отсеков. Основное внимание исследователей сводилось к комплексному укреплению грунтов портландцементом с различными активными добавками. При этом вопросы структурообразования и улучшения физико-механических свойств укрепленных грунтов не имеют достаточного теоретического обоснования и экспериментального подтверждения.

В связи с этим расширение областей строительства лесных дорог в сложных почвенно-грунтовых условиях обуславливает необходимость проведения исследований и разработки технических решений, направленных на обеспечение устойчивости основания дорожной конструкции; исключение недопустимых осадков основания конструкции после сооружения дорожной одежды; обеспечение динамической устойчивости конструкции под воздействием транспортной нагрузки.

Для решения данных задач разработаны новые составы композиционных малоцементных вяжущих на основе портландцемента и отходов промышленных производств для укрепления местных грунтов. Разработаны математическая модель структурообразования цементогрунта и методика проектирования цементогрунтовой смеси для устройства конструктивных слоев в дорожных конструкциях.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Тема диссертации включена в утвержденные научно-исследовательские планы работы Белорусского государственного технологического университета, соответствует научному направлению кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины, выполнялась в рамках задания ГНТП «Леса Беларуси – продуктивность, устойчивость, эффективное использование» (задание 5.2, БС 11-208/ИФЗ 11-308 «Разработать и внедрить нормативно-техническую документацию по проектированию и строительству лесных автомобильных дорог», № гос. регистрации 20120228, срок выполнения 2011–2013 гг.) и гранта ГБ 15-038 «Разработка дорожных одежд лесотранспортных путей на основе местных грунтов, укрепленных композиционным вяжущим», срок выполнения 2015 г.

Цель и задачи исследования. Анализ конструкций дорожных одежд лесных автомобильных дорог из местных грунтов, а также проведенный обзор исследований повышения качества цементогрунтов путем улучшения его структурных характеристик позволили определить цель и задачи исследований.

Целью исследований является разработка и обоснование дорожных конструкций лесотранспортных путей на основе местных грунтов, укрепленных композиционным малоцементным вяжущим, с учетом природно-производственных условий эксплуатации автотранспорта для интенсивного ведения лесного хозяйства и лесопользования.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

1. Изучить свойства грунтов, наиболее распространенных в лесном фонде Республики Беларусь, и определить рациональные методы их укрепления.
2. Провести физико-химические исследования золы-уноса из топки с псевдоожигенным слоем, образуемой при сжигании фрезерного торфа; отходов асбестоцементных производств и гранитоидных отсеков и определить механизм их взаимодействия с портландцементом и грунтом.
3. Разработать составы композиционных малоцементных вяжущих на основе портландцемента и изученных отходов промышленных производств.
4. Установить закономерности влияния состава и количества вводимых добавок и способов их введения на прочностные показатели цементогрунта, его водо- и морозостойкость, долговечность и эксплуатационную надежность.
5. Разработать методику проектирования цементогрунта на основе композиционного вяжущего для устройства конструктивных слоев дорожных одежд лесотранспортных путей.
6. Разработать дорожные конструкции с использованием цементогрунтов на основе композиционного малоцементного вяжущего и технологию их строительства для различных природно-производственных условий.
7. Дать рекомендации по снижению затрат по проектированию и устройству дорожных конструкций за счет использования отходов промышленности.
8. Осуществить строительство разработанных дорожных конструкций в условиях производства и провести опытно-промышленную проверку их работоспособности.

Объектом исследований являются дорожные конструкции лесотранспортных путей.

Предметом исследований являются грунты лесного фонда Республики Беларусь.

Положения, выносимые на защиту.

1. Математическая модель структурообразования цементогрунта, отличающаяся возможностью укрепления местных грунтов путем точного дозирования и равномерного распределения композиционного малоцементного вяжущего и позволяющая давать прогноз эксплуатационных свойств будущей дорожной конструкции.

2. Аналитические и графические зависимости физико-механических свойств укрепленных композиционным малоцементным вяжущим местных грунтов различного гранулометрического состава и исходной влажности.

3. Методика проектирования цементогрунтовой смеси для устройства конструктивного слоя в дорожной конструкции, позволяющая уменьшить дозировку вяжущих за счет применения золы-уноса из топки с псевдоожиженным слоем, образуемой при сжигании фрезерного торфа; гранитоидных отсеков и отходов асбестоцементных производств с обеспечением требуемого модуля упругости и прочности дорожной конструкции.

4. Разработанные дорожные конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт», которые обладают повышенной долговечностью, морозостойкостью и надежностью за счет обеспечения максимального использования прочности арматурного каркаса.

Личный вклад соискателя. Автором выполнен анализ и выявлены особенности структурообразования местных грунтов и отходов промышленных производств, в частности золы-уноса из топки с псевдоожиженным слоем при сжигании фрезерного торфа, гранитоидных отсеков и отходов асбестоцементных производств. Разработаны дорожные конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» с использованием запатентованных составов композиционных малоцементных вяжущих. При непосредственном участии автора выполнен анализ нормативных документов, используемых при проектировании и строительстве лесных автомобильных дорог. Автор лично участвовал в подготовке публикаций по теме диссертации. Соавторами опубликованных работ являются сотрудники кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Апробация результатов диссертации. Результаты работы обсуждались и получили положительную оценку на международных и республиканских научно-технических конференциях и симпозиумах: Республиканская научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Автомобильные дороги – дороги в будущее» (г. Минск, 10 марта 2011 г.); VIII Международная конференция «Современные технологии изысканий, проектирования, строительства и геоинформационного обеспечения» (РФ, г. Санкт-Петербург, 12–16 ноября 2012 г.); 63-я республиканская научно-технической конференция аспирантов, магистрантов и студентов (БГТУ, г. Минск, 2012 г.); Международная конференция «Современные направления теоретических исследований 2013» (Украина, г. Одесса, 19–30 марта 2013 г.), Международная научная конференция Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова «Развитие Северо-Арктического региона: проблемы и решения», посвященная 180-летию научного издания «Лесной журнал» (РФ, г. Архангельск, 26–28 марта 2013 г.); I дистанционная европейская конференция «Science progress in European countries: new concepts and modern solutions» (Германия, г. Штутгарт, 29 марта 2013 г.); Республиканская научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Инновации в технике и технологии дорожно-

транспортного комплекса» (БНТУ, г. Минск, 11–12 апреля 2013 г.); Международная научная конференция «Инновационные направления развития современных технических наук: проблемы и перспективы (США, штат Калифорния, г. Сан-Франциско, 15 апреля 2013 г.); Международная научно-техническая конференция «Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы развития» (БГТУ, г. Минск, 27–29 ноября 2013 г.); Международная научная конференция «Актуальные проблемы архитектуры, строительства и дизайна», посвященной 80-летию ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова» (РФ, г. Магнитогорск, 25–26 апреля 2014 г.); VIII Международная молодежная научная конференция по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых», (РФ, г. Йошкар-Ола, 2013 г.); I Европейский лесопромышленный форум молодежи «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика» (РФ, г. Воронеж, 15–17 мая 2014 г.); Международная научно-техническая конференция «Энерго- и ресурсосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (БГТУ, г. Минск, 26–28 ноября 2014 г.); 76–79-я Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по итогам научно-исследовательских работ (БГТУ, г. Минск, 2012-2015 гг.).

Опубликованность результатов диссертации. Результаты диссертационной работы представлены в 9 публикациях в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК по специальности, 2 публикациях в рецензируемых зарубежных журналах объемом 3,3 авторских листа, 8 материалах и 1 тезисе доклада научных конференций (17 страниц). Подана 1 заявка на изобретение, 2 заявки на полезную модель, получен патент на изобретение Республики Беларусь.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных библиографических источников и приложений. Объем диссертации составляет 153 страницы печатного текста. Работа включает 68 иллюстраций на 29 страницах, 48 таблиц на 23 страницах, 5 приложений. Библиографический список включает список использованных источников из 158 наименований и список публикаций соискателя из 23 наименований.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Первая глава посвящена аналитическому обзору литературных источников по теме диссертации. Проведенный анализ современного состояния дорожной лесотранспортной сети, конструктивных элементов лесных автомобильных дорог, существующих методов укрепления грунтов в лесном фонде позволил определить механизм структурообразования цементогрунта на микро- и макроуровнях. Установлено, что одним из перспективных методов получения прочного монолитного конструктивного слоя дорожной конструкции, способного воспринимать значительные нагрузки от лесотранспортных систем, является укрепление местных грунтов новым композиционным малоцементным вяжущим, произведенным из отходов промышленных производств и цемента [1–А, 4–А, 12–А, 13–А].

Проблеме укрепления грунтов различными вяжущими посвящены работы А. В. Бусла, Б. И. Врублевского, И. И. Леоновича, Е. И. Путилина, В. М. Могилевича, С. А. Матвеева, А. А. Фридмана, А. Herzog, I. T. Laguros, T. W. Lambe и др. Особо следует отметить большую теоретическую и практическую ценность для дорожного строительства исследовательских работ, выполненные профессором В. М. Безруком. Однако исследования по укреплению дорожных грунтов лесных

автомобильных дорог проводились в ограниченном количестве и не учитывали всей специфики и особенностей, которые имеются в лесном фонде. Поэтому разработка новых составов композиционных малоцементных вяжущих с учетом природно-производственных условий требуют проведения комплекса теоретических и экспериментальных исследований.

По результатам работы над первой главой сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе приведены характеристики исходных материалов, применяемых отходов промышленности, а также методы и приборы исследований. Даны результаты разработки композиционных малоцементных вяжущих, произведенных из отходов промышленных производств и цемента [3–А, 4–А, 10–А, 11–А].

В качестве микронаполнителей для композиционного вяжущего были использованы отходы асбестоцементного производства (АЦИ), образующиеся на предприятиях ОАО «Красносельскстройматериалы» и ОАО «Кричевцементошифер»; гранитоидные отсеивы (ГО), получаемые при дроблении щебня на Микашевичском месторождении; зола-унос (ЗУ) из топок с псевдооживленным 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 лесном фонде 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.

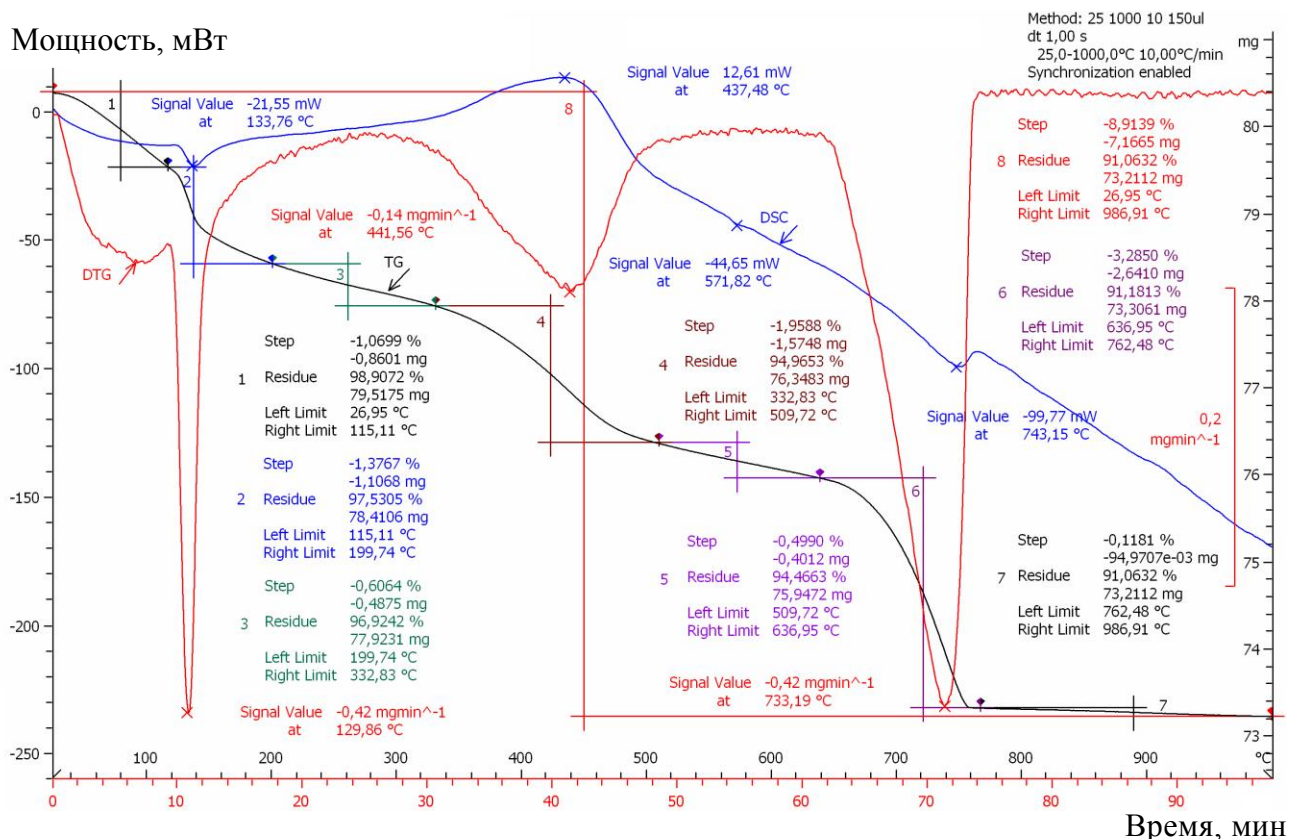


Рисунок 1 – Кривые ДТА и термогравиметрии DSC, TG и DTG золы-уноса

Присутствие последних может быть обусловлено низкой температурой в зоне горения (740 °С), когда отсутствуют условия образования силикатов. Образование карбонатов в золе-уносе объясняется карбонизацией оксидов магния и кальция диоксидом углерода из продуктов горения торфа. Исследования показали, что зола-уноса выполняет роль гранулометрической добавки, заполняющей пустоты грунта и в сочетании с портландцементом является активной гидравлической добавкой [9–А].

Анализ распределения компонентов в контактных зонах цементогрунта проводили 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 производства ЗАО «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 составов (состав № 1 [4–А, 20–А]: 70% – портландцемент, 10% – молотые отходы АЦИ, 20% – гранитоидные отсева и состав № 2 [21–А]: 70% – портландцемент, 30% – зола-уноса), произведенные из портландцемента и микронаполнителей, имеют марку 400 [16–А, 18–А]. 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 плотность 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 плотность цементного теста увеличивается на 1,5 и 1,3% соответственно без существенного изменения других свойств [3–А, 4–А]. Согласно СТБ 1521, разработанные композиционные малоцементные вяжущие полностью удовлетворяют требованиям к цементам, используемым для укрепления грунтов в дорожном строительстве.

Третья глава посвящена разработке математической модели структурообразования цементогрунта и обоснованию на ее основе состава дорожной цементогрунтовой смеси [5–А, 8–А].

Математическое моделирование цементогрунта (ЦГ) представлено на двух уровнях реальных процессов структурообразования ЦГ (макро- и микро-

уровнях) [5–А, 8–А], что позволило эффективно провести математическое моделирование и отразить объективные закономерности структурообразования и формирования свойств цементогрунта (рисунок 2).



Рисунок 2 – Модель образования цементогрунта

Микроуровень сформирован из сочетания математических методов описания структур связующего вещества и дисперсных наполнителей. В результате свойства микроструктуры ЦГ определены явлениями, протекающими в контакте жидкой и твердой фазе, и зависят от количества наполнителя, его дисперсности и физико-химической активности поверхности [8–А, 9–А].

Макроуровень образован из сочетания математических методов описания структур связующих и заполнителей средних и крупных фракций. В этом случае, свойства ЦГ определены свойствами связующих и заполнителей и их количественным соотношением.

Из рисунка 2 видно, что разработанная модель структурообразования цементогрунта состоит в следующем:

1-й этап. Определение входных воздействий. Для разработки рекомендаций по применению различных составов цементогрунтовой смеси в дорожной конструкции необходимо выявить существующие входные (возмущающие, управляющие) воздействия $\bar{X}(t)$, переменные состояния и выходные координаты [8–А], а также связи между ними. Управляемые переменные – это рецептурно-технологические параметры $\bar{R}(t)$, текущими значениями которых требуется управлять для получения состава ЦГ со строго заданными структурой и свойствами. Также в общем случае на ЦГ влияет окружающая среда и ошибки технологии строительства $V(t)$, которые делятся на $V_1(t)$ – контролируемые воздействия (могут быть измерены), и $V_2(t)$ – неконтролируемые воздействия (не поддаются измерению или их влияние несущественно).

2-й этап. Определение взаимосвязи выходных координат ЦГ (эксплуатационные свойства) $\bar{Y}(t)$, а также рецептурно-технологических условий ЦГ, т. е. управляющих воздействий $\bar{R}(t)$ с учетом возмущений $\bar{V}(t)$, поступающих со стороны окружающей среды и ошибок технологии строительства [8–А].

В результате объект можно представить в виде системы, определяемой множеством входных воздействий:

$$\bar{X}(t) = \{\bar{R}(t), \bar{V}(t)\} = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]^T,$$

среди которых есть контролируемые \bar{X}' и неконтролируемые \bar{X}'' , и множеством характеристик и ограничений \bar{M} , действующих в системе и накладываемых на \bar{X}' и \bar{X}'' :

$$A = \{\bar{X}', \bar{X}'', \bar{M}\}.$$

Математическая модель данной системы устанавливает отображение F заданных множеств на множество выходных координат цементогрунта

$$\bar{Y}(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_p(t)]^T, F := [\bar{X}', \bar{X}'', \bar{M}] \rightarrow \bar{Y},$$

т. е.

$$\bar{Y} = F\{\bar{X}', \bar{X}'', \bar{M}\}.$$

На основании разработанной модели проведены исследования по определению *рецептурно-технологических условий* $R(t)$ (состав и соотношение компонентов, последовательность совмещения компонентов и т. д.), *эксплуатационных свойств* $\bar{Y}(t)$ (прочность на сжатие, плотность, морозостойкость и т. д.), и получены эмпирические зависимости, которые представлены в виде графиков на рисунках 3–10.

Из графика на рисунке 3 следует, что предел прочности при сжатии соответствует II и III классу прочности для лесных автомобильных дорог. При укреплении песка пылеватого и песка средней крупности композиционным вяжущим № 1 предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов ниже, чем у контрольных, приготовленных на основе портландцемента марки ПЦ 500-Д0, на 22–62%. Отсутствие эффекта укрепления можно объяснить малым содержанием в данных типах грунтов глинистых частиц [6–А, 8–А, 17–А].

При укреплении композиционным вяжущим № 1 супеси легкой и суглинка легкого пылеватого наблюдается тенденция увеличения предела прочности при сжатии. При этом показатели прочности при внесении 10% композиционного вяжущего для супеси отличаются от контрольных образцов всего лишь на 0,8%, а при укреплении суглинка разработанной композицией в количестве 8% от массы грунта существенно увеличивается прочность при сжатии – до 35%.

Данное увеличение прочности цементогрунта способствует повышению морозостойкости материала, позволяет сократить расход портландцемента в зависимости от гранулометрического состава грунта на 25–40% по сравнению с укреплением грунта одним портландцементом [15–А, 16–А].

Из графика на рисунке 4 видно, что укрепленные грунты имеют показатель прочности II и III класса. Также прослеживается тенденция увеличения предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов с увеличением количества глинистых частиц в гранулометрическом составе грунта.

При введении добавки золы-уноса в количестве большем, чем 30% от массы портландцемента, снижается предел прочности при сжатии, что негативно сказывается на общей прочности цементогрунта.

При испытании грунтов, укрепленных композиционными вяжущими, на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов показатель прочности составил от 0,3 МПа для песчаных грунтов до 0,89 МПа для суглинистых грунтов, что соответствует I и II классу прочности [19–А].

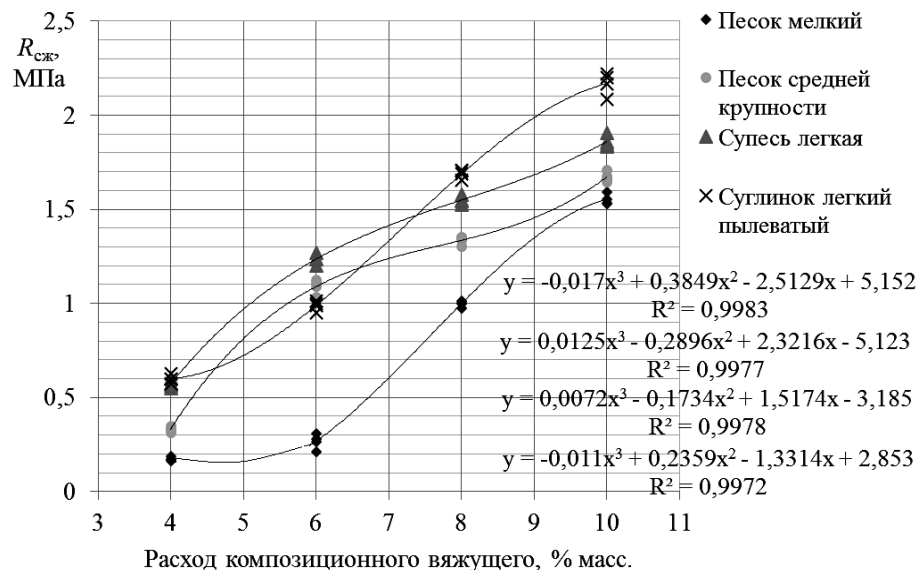


Рисунок 3 – Влияние расхода композиционного вяжущего № 1 на прочность укрепленного грунта при сжатии

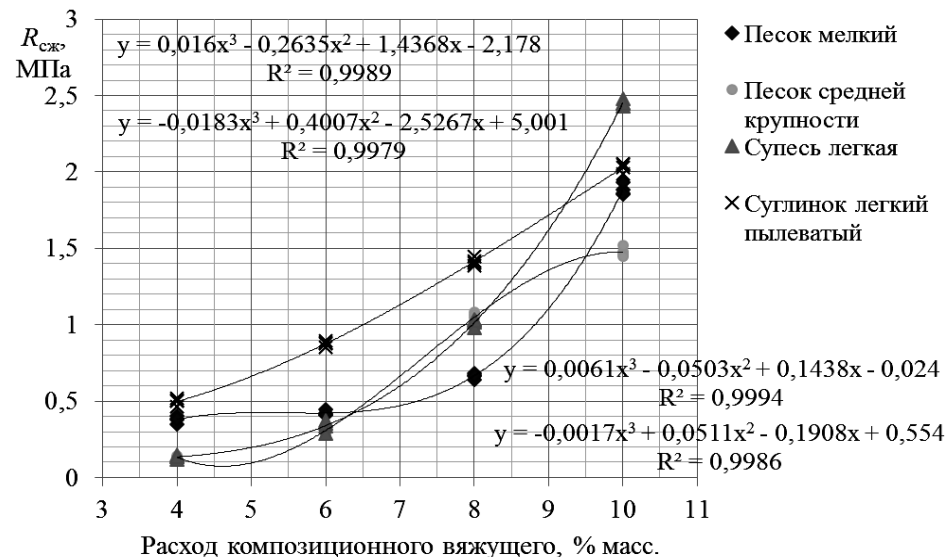
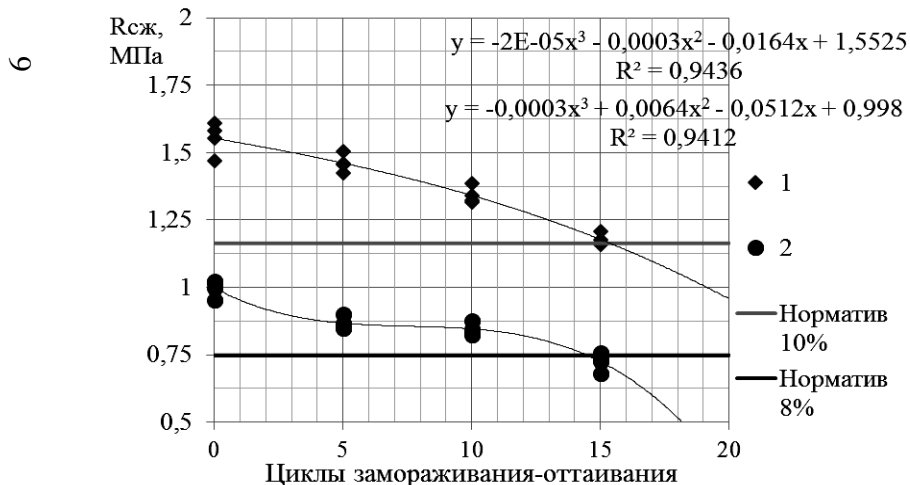
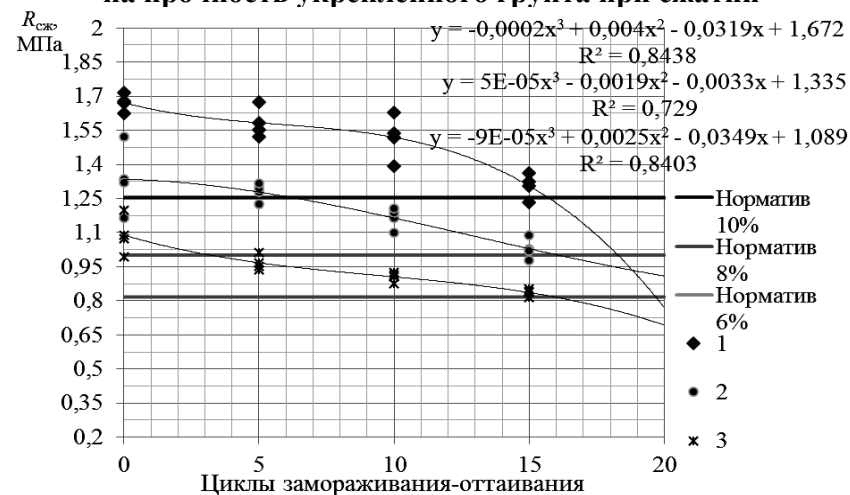


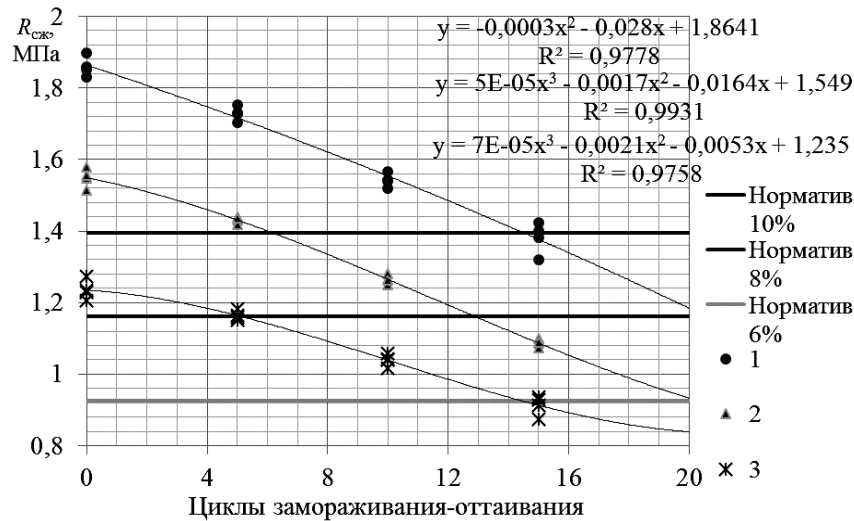
Рисунок 4 – Влияние расхода композиционного вяжущего № 2 на прочность укрепленного грунта при сжатии



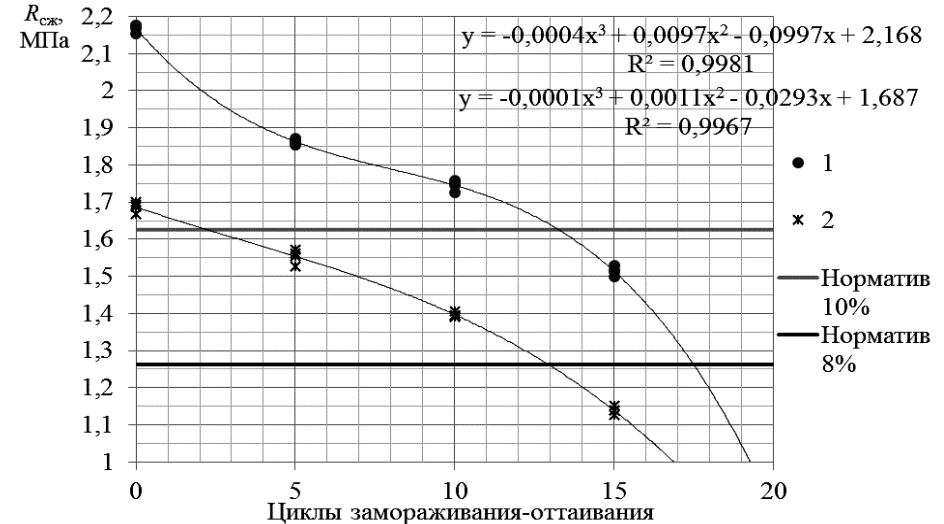
1 – песок пылеватый, укрепленный 10% вяжущего № 1; 2 – песок пылеватый, укрепленный 8% вяжущего № 1
Рисунок 5 – Изменение предела прочности при сжатии в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания для укрепленного песка пылеватого вяжущим № 1



1 – песок средней крупности, укрепленный 10% вяжущего № 1; 2 – то же, укрепленный 8% вяжущего № 1; 3 – то же, укрепленный 6% вяжущего № 1
Рисунок 6 – Изменение предела прочности при сжатии в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания для укрепленного песка средней крупности вяжущим № 1



1 – супесь легкая, укрепленная 10% вяжущего № 1; 2 – то же, укрепленная 8% вяжущего № 1; 3 – то же, укрепленная 6% вяжущего № 1
Рисунок 7 – Изменение предела прочности при сжатии в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания для укрепленной супеси легкой вяжущим № 1



1 – суглинок легкий пылеватый, укрепленный 10% вяжущего № 1; 2 – то же, укрепленный 8% вяжущего № 1
Рисунок 8 – Изменение предела прочности при сжатии в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания для укрепленного суглинка легкого пылеватого вяжущим № 1

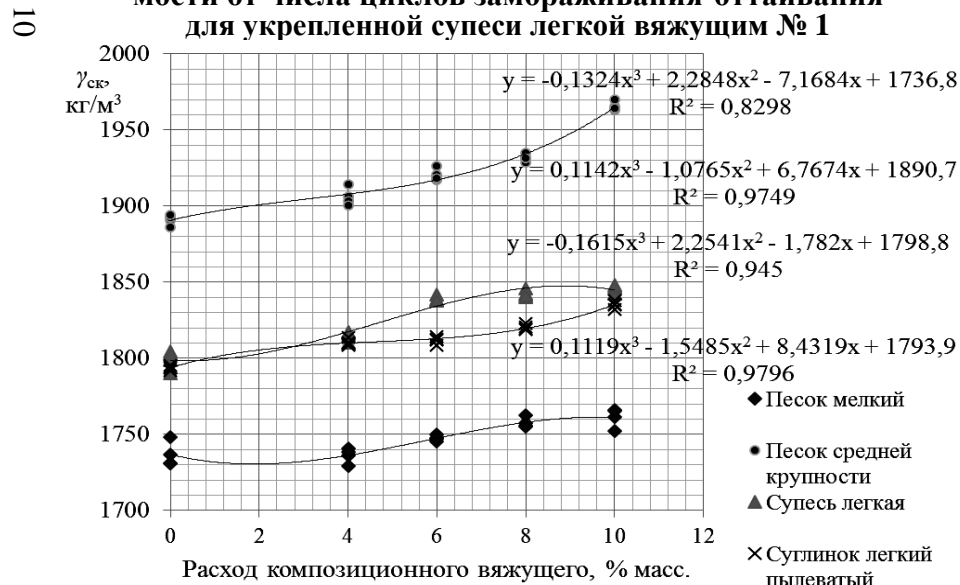


Рисунок 9 – Влияние расхода композиционного вяжущего № 1 на плотность скелета грунта

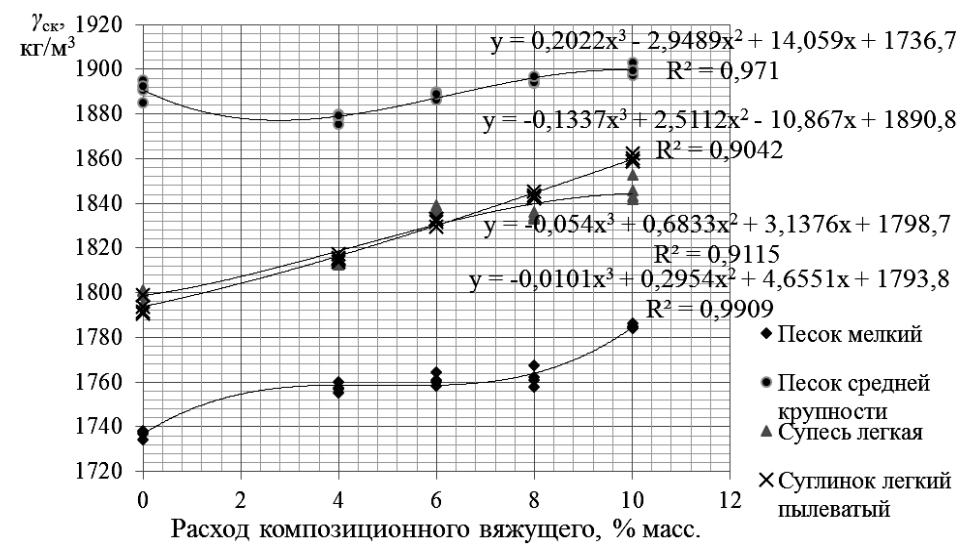


Рисунок 10 – Влияние расхода композиционного вяжущего № 2 на плотность скелета грунта

При укреплении грунтов композиционным вяжущим № 1, содержащим в своем составе отходы асбестоцементного производства, наблюдался эффект увеличения активности между грунтом и смесью отходов АЦИ и гранитоидного отсева. В данном случае портландцемент играет роль катализатора физико-химических процессов взаимодействия входящих компонентов, что проявляется в повышении активности практически нейтральных компонентов – отходов АЦИ и гранитоидного отсева. Данный эффект приводит к увеличению прочностных и эксплуатационных свойств укрепленного грунта на 15–27% [2–А, 19–А].

Результаты испытаний предела прочности при сжатии исследуемых грунтов в зависимости от числа циклов замораживания-оттаивания для цементогрунта, полученного на основе вяжущего № 1, представлены на рисунках 5–8.

Из полученных зависимостей видно, что при укреплении грунтов композиционным малоцементным вяжущим № 1 морозостойкость полученных цементогрунтов соответствует нормативным данным ГОСТ 23558. Так, при укреплении песка пылеватого 10% вяжущего марка грантобетона по морозостойкости равна F 15, а при укреплении 8% – F 10. При укреплении песка средней крупности вяжущим в количестве от 6 до 10% марка по морозостойкости сохраняется на высоком уровне и равна F 15. При укреплении супеси легкой и суглинка легкого пылеватого вяжущим в количестве 6–10% марка по морозостойкости равна F 10 [10–А, 17–А].

Также проведены испытания на морозостойкость и для цементогрунтов, полученных путем укрепления грунтов различного гранулометрического состава вяжущим № 2 с различным его процентным содержанием.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что при укреплении песка пылеватого и песка средней крупности композиционным вяжущим № 2 в количестве 8 и 10%, грантобетон имеет марку F 10. При укреплении супеси легкой в том же количестве композиционного вяжущего марка по морозостойкости равна F 10. Однако при укреплении суглинка легкого пылеватого марка по морозостойкости равна F 15, причем показатели прочности выше по сравнению с нормативом более чем на 6%.

Так как марка по морозостойкости укрепленных грунтов находится в пределах до F 15, то данный тип цементогрунтов, полученных на основе укрепления местных грунтов композиционным вяжущим, может быть использован в дорожных конструкциях в районах со среднемесячной температурой воздуха наиболее холодного месяца до -15°C .

Стоит отметить, что высокая марка по морозостойкости не только позволяет повышать транспортно-эксплуатационную надежность дорожных одежд лесных дорог, а именно сохранять высокие прочностные показатели при длительной эксплуатации дороги, но и расширяет возможность использования укрепленных местных грунтов для строительства в более сложных дорожно-климатических зонах.

Механическая прочность цементогрунта и его морозостойкость в конструктивных слоях дорожной одежды зависит от степени его уплотнения [6–А]. 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.

Как видно из графиков на рисунках 9–10, 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, и снизить затраты на 5-8% при строительстве дорожных конструкций [11–А, 16–А].

Установлено, что при исследовании цементогрунтовых смесей на определение оптимальной влажности прослеживается тенденция увеличения водопотребления смеси (рисунок 11). Данный эффект можно объяснить присутствием в композиционных вяжущих высокодисперсных систем, таких как отходы АЦИ и зола-унос, способных к значительному насыщению водой (до 100–160%).

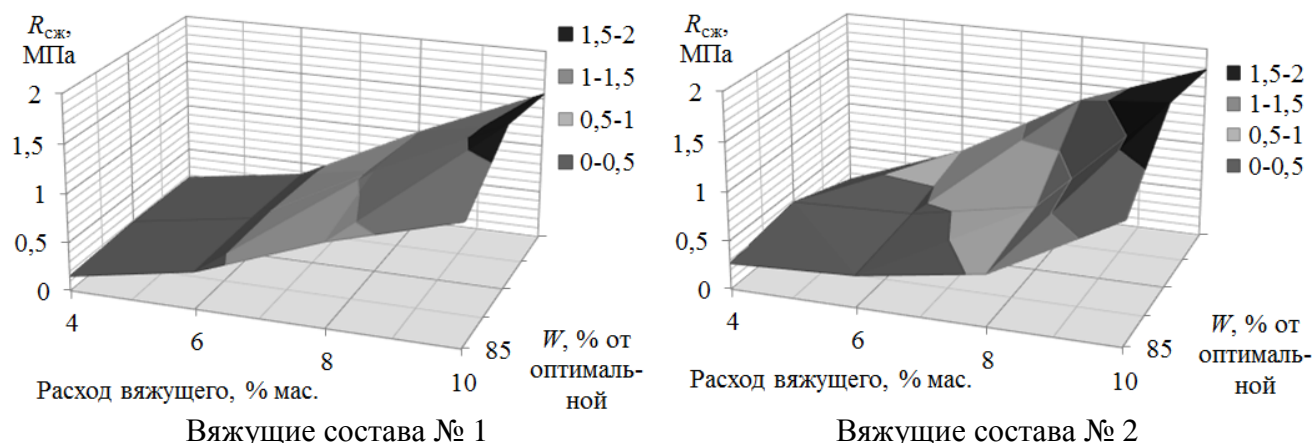


Рисунок 11 – График зависимости предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов укрепленного грунта в зависимости от количества вяжущего и влажности укрепляемого грунта

Из графика 11 видно, что оптимальное значение влажности образцов цементогрунта, полученного на основе песка пылеватого и композиционных вяжущих, при котором достигаются наибольшие показатели прочности, составляет 105–115% от оптимальной влажности. При этом уменьшение влажности смеси до 85% от оптимальной оказывает большее влияние на прочность, чем увеличение до 125% от оптимальной влажности. Это объясняется недостаточным количеством воды для гидратации всего объема вяжущего вещества.

Так, песок пылеватый, укрепленный 10% вяжущего № 1, при увлажнении 85% от оптимальной влажности имеет потерю прочности до 26%. А при увлажнении данного грунта с таким же содержанием вяжущего до 125% от оптимальной потеря прочности составляет 8% от прочности цементогрунта, увлажненного до оптимальной влажности.

При увлажнении цементогрунтовой смеси в течении 1–2 ч в ней преобладает коагуляционная структура, которая имеет способность к самовосстановлению после механического разрушения. В этот период цементогрунт наиболее пластичен, удобоукладываем и способен к наибольшему уплотнению. На следующем этапе происходит образование кристаллизационной структуры, которая сопровождается уменьшением пластичности и увеличением жесткости смеси. В таком состоянии смесь плохо уплотняется, а в некоторых случаях уплотнение в данный период оказывает на нее безвозвратное разрушающее воздействие.

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

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

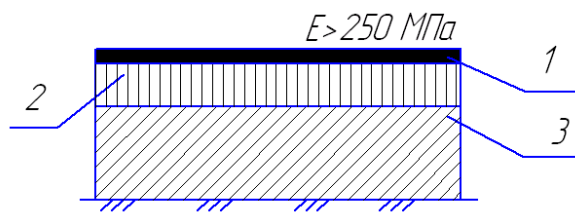
Четвертая глава посвящена разработке методики проектирования цементогрунта на основе композиционного малоцементного вяжущего для устройства конструктивных слоев дорожных одежд лесотранспортных путей [б–А].

Методика проектирования заключается в регулировании толщин и методов укрепления слоев земляного полотна, основания и покрытия дорожной одежды с соблюдением ограничений по требуемому модулю упругости, технологичности, минимальному возвышению, морозоустойчивости. При этом учитывают особенности, связанные с выбором разновидности георешетки, назначением толщин слоев дорожной одежды и подбором состава смеси из местных грунтов, укрепленных композиционным вяжущим, для заполнения ячеек.

Назначение конструктивных решений дорожных одежд с применением конструктивного слоя на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» [23–А] выполняют с учетом ТКП 500-2013 и ТКП 45-3.03-112. При этом указанные конструктивные композитные слои рассматриваются как сплошные квазиоднородные слои, имеющие повышенные прочность на растяжение при изгибе (за счет прочности и деформативности полос георешетки) и сопротивляемость сдвигу (за счет работы цементогрунта в замкнутой ячейке). В связи с этим расчет такого слоя на растяжение при изгибе и на сдвиг не производится, а в качестве его расчетной характеристики при расчете конструкции дорожной одежды используется только модуль упругости.

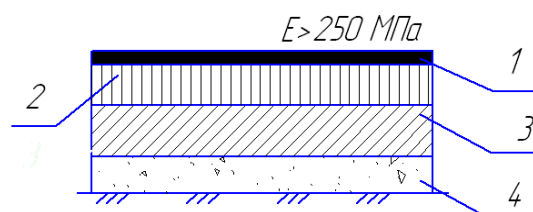
Расчет армированных нежестких дорожных одежд (рисунок 13) выполняют с учетом ТКП 500-2013 и ТКП 45-3.03-112 в следующей последовательности:

- 1) рассчитывается неармированная дорожная одежда (рисунок 12) [22–А];
- 2) производится ориентировочная оценка снижения толщины несущих слоев основания для дорожных одежд из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»: для капитальных усовершенствованных типов покрытий – 15-20 %; для облегченных типов – 30-40 %; для переходных и низших – 40-50 %;
- 3) при заданных пониженных толщинах дорожных одежд определяются значения расчетного модуля упругости композитного слоя (арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»);
- 4) определяются расчетные значения коэффициентов прочности армированной конструкции;
- 5) производится сравнение расчетных значений коэффициентов прочности армированной конструкции с требуемыми значениями коэффициентов прочности (по ТКП 500-2013 и ТКП 45-3.03-112). Конструкция принимается, если удовлетворяются условия по прочности по всем рассчитываемым критериям;
- 6) в случае, если условие по прочности не соблюдается по какому-либо критерию, производится повторный расчет конструкции, начиная с п. 3 и с измененными исходными данными (увеличение толщины слоев дорожной одежды, улучшение характеристик материалов слоев и т. п.).



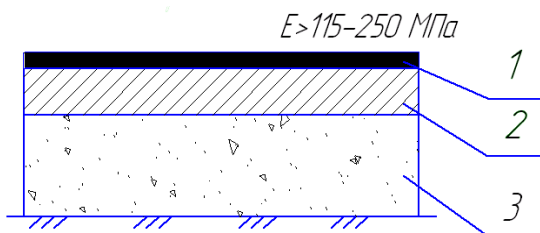
I тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальтобетона; 3 – основание из цементогрунта



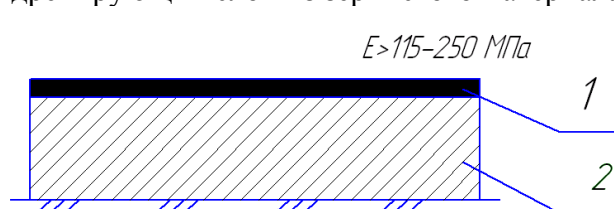
II тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальтобетона; 3 – основание из цементогрунта; 4 – дренирующий слой из зернистого материала



III тип:

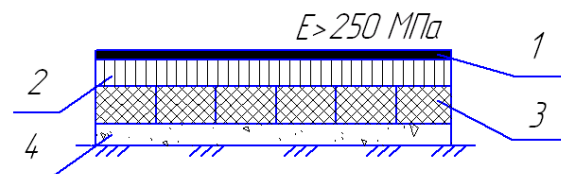
1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 3 – дренирующий слой из зернистого материала



VI тип:

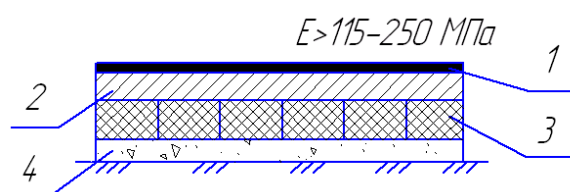
1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта

Рисунок 12 – Дорожные конструкции из цементогрунта



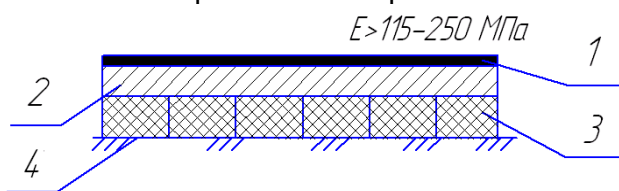
I^{AK} тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальтобетона; 3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»; 4 – дренирующий слой из зернистого материала



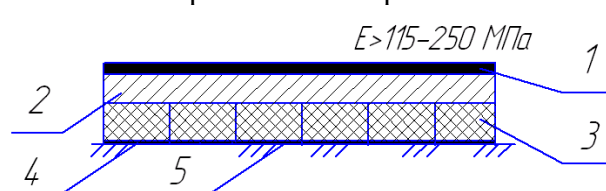
II^{AK} тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»; 4 – дренирующий слой из зернистого материала



III^{AK} тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальтобетона; 3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»; 4 – грунт земляного полотна



VI^{AK} тип:

1 – слой поверхностной обработки на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальтобетона; 3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»; 4 – дренирующий слой из зернистого материала; 5 – геосинтетическая прослойка

Рисунок 13 – Дорожные конструкции из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»

Повторный расчет также выполняется, если по решающему критерию расчета получаемые значения коэффициента прочности армированной дорожной одежды превышают требуемые значения более чем на 5 % – в этом случае выполняется перерасчет с уменьшением толщин слоев.

В общем виде эта математическая модель выглядит следующим образом:

целевая функция

$$C_{\text{ДК}} = f(h_{\text{ПОК}}, h_{\text{ОСН}}, h_{\text{АК}}, C_{\text{ПОК}}, C_{\text{ОСН}}, C_{\text{АК}}, C_{\text{ГМ}}, B, c) \rightarrow \min,$$

где $C_{\text{ДК}}$ – общие затраты на устройство дорожной конструкции, млн. руб.; $h_{\text{ПОК}}$ – расчетная толщина покрытия дорожной конструкции, м; $h_{\text{ОСН}}$ – расчетная толщина основания дорожной конструкции, м; $h_{\text{АК}}$ – расчетная толщина арматурного каркаса дорожной конструкции, м; $C_{\text{ПОК}}$ – стоимость покрытия дорожной конструкции, млн. руб.; $C_{\text{ОСН}}$ – стоимость основания дорожной конструкции, млн. руб.; $C_{\text{АК}}$ – стоимость арматурного каркаса дорожной конструкции, млн. руб.; $C_{\text{ГМ}}$ – стоимость арматурного каркаса дорожной конструкции, млн. руб.; B – ширина проезжей части, м; c – ширина обочины, м.

при следующих ограничениях

– обеспечение требуемой прочности и надежности по величине упругого прогиба

$$E_{\text{общ}}(h_{\text{ПОК}}, E_{\text{ПОК}}, h_{\text{ОСН}}, E_{\text{ОСН}}, E_{\text{ГР}}) \geq E_{\text{мин}} \cdot K_{\text{пр}}^{\text{ТР}},$$

$$E_{\text{общ}}^{\text{АК}}(h_{\text{ПОК}}, E_{\text{ПОК}}, h_{\text{АК}}, E_{\text{АК}}, h_{\text{ОСН}}, E_{\text{ОСН}}, E_{\text{ГР}}) \geq E_{\text{мин}}^{\text{АК}} \cdot K_{\text{пр}}^{\text{ТР}},$$

где $E_{\text{общ}}$, $E_{\text{общ}}^{\text{АК}}$ – общий модуль упругости соответственно неармированной и армированной дорожной конструкции, МПа; $E_{\text{ПОК}}$ – модуль упругости покрытия дорожной конструкции, МПа; $E_{\text{ОСН}}$ – модуль упругости основания дорожной конструкции, МПа; $E_{\text{ГР}}$ – модуль упругости земляного полотна, МПа; $E_{\text{АК}}$ – модуль упругости арматурного каркаса дорожной конструкции, МПа; $E_{\text{мин}}$, $E_{\text{мин}}^{\text{АК}}$ – минимальный требуемый модуль упругости соответственно неармированной и армированной дорожной конструкции, МПа; $K_{\text{пр}}^{\text{ТР}}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной конструкции по критерию упругого прогиба.

– обеспечение минимальной толщины конструктивных слоев

$$h_{\text{ПОК}}, h_{\text{ОСН}} \geq 0,05 \text{ м},$$

$$h_{\text{АК}} \geq 0,10 \text{ м},$$

$$C_{\text{ПОК}}, C_{\text{ОСН}}, C_{\text{АК}}, C_{\text{ГМ}}, B, c \geq 0.$$

Управляемыми параметрами являются $h_{\text{ПОК}}$, $h_{\text{ОСН}}$, $h_{\text{АК}}$, $C_{\text{ПОК}}$, $C_{\text{АК}}$, $C_{\text{ГМ}}$, B , c .

В результате получаемый эффект зависит от состава цементогрунта, марки георешетки (ее деформативных свойств), толщин слоев дорожной одежды, механических свойств материалов дорожных одежд и грунтов рабочего слоя земляного полотна. Численно эффект выражается в снижении толщин дорожной одежды или увеличении срока службы в соответствии с расчетами.

В пятой главе приведены результаты сравнительных стендовых и производственных испытаний разработанных дорожных конструкций, а также обоснована эффективность их практического применения [7–А, 6–А].

Для определения модуля упругости дорожных конструкций из цементогрунта (IV тип) и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» (III^{АК} тип) на грунтовом канале было заложено три модельных участка длиной 1,5 м, шириной 1,0 м, при этом третий участок – контрольный, грунтовое покрытие. Испытания показали, что на первом участке с дорожной конструкцией IV типа модуль упругости (108 МПа) выше модуля упругости грунтового покрытия (65 МПа) на 39,8%. На участке с дорожной конструкцией III^{АК} типа модуль упругости (214 МПа) выше модуля упругости грунтового покрытия в 3,29 раза.

В ходе испытаний после определенного числа проходов тележки измеря-

лась глубина колеи, фиксировался характер образования остаточных деформаций. На участке с дорожными конструкциями IV и III^{AK} типа глубина колеи составила доли миллиметра, т. е. при 40 проходах тележки образование колеи практически не происходило. На участке с грунтовым покрытием наиболее интенсивно колея образовалась при первых 17 проходах, стабилизировалась после 23 проходов, в конечном итоге ее глубина составила 3,7 см.

Таким образом, результаты стендовых испытаний показали хорошую согласованность с результатами теоретических исследований и подтвердили влияние конструктивного слоя из цементогрунта и арматурного каркаса на прочность и эксплуатационное состояние лесотранспортных путей.

Для подтверждения теоретических и стендовых испытаний в грунтовом канале в производственных условиях ГЛХУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» и ГЛХУ «Лидский лесхоз» осуществлено строительство дорожных конструкций лесотранспортных путей. Опытно-промышленная проверка работоспособности дорожных конструкций [22–А] проводилась в ГЛХУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз», где в 2014 году был построен участок лесной дороги, включающий дорожную одежду из грунта толщиной 0,2 м, укрепленного новым композиционным вяжущим [6–А, 21–А].

В процессе производственных испытаний проводили сравнительные исследования эксплуатационного состояния опытного участка и контрольного участка без укрепления. Испытания проводились в течении двух лет эксплуатации лесной дороги, в ходе которых было установлено влияние слоя из цементогрунта на прочность и долговечность всей дорожной конструкции. Глубина колеи на опытном участке составила 2,3 см, на контрольном участке – 5,9 см, что на 61% больше.

Опытно-промышленная проверка работоспособности дорожных конструкций [23–А] проводилась в ГЛХУ «Лидский лесхоз», где в 2015 году был построен участок лесной дороги, включающий дорожную одежду из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» и покрытие толщиной 0,15 м из грунта, укрепленного новым композиционным вяжущим [20–А].

Испытания также подтвердили положительное влияние слоя из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» на эксплуатационное состояние дорожных конструкций. При этом модуль упругости дорожных конструкций на участках из цементогрунта № 1 и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» № 2 составил соответственно 277 МПа и 322 МПа.

Оценка экономической эффективности свидетельствует о целесообразности использования в дорожных конструкциях конструктивного слоя из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт», при этом потенциальный эффект составляет до 92,72 млн. руб./км. Экономический эффект от применения годового выпуска композиционного цемента составляет до 227,29 млн. руб./км, обеспечивая снятие с предприятия экологического налога до 168,85 млн. руб. ежегодно за счет использования их отходов при получении композиционного малоцементного вяжущего.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Результат совершенствования дорожных конструкций лесотранспортных путей на основе композиционного малоцементного вяжущего и проведенных

теоретических и экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Разработанная математическая модель структурообразования цементогрунта позволяет осуществлять прогноз эксплуатационных свойств будущей дорожной конструкции, что обеспечивает повышение качества конструктивных слоев лесотранспортных путей за счет равномерного распределения композиционного малоцементного вяжущего в грунте [5–А].

2. Разработаны составы композиционных вяжущих на основе портландцемента и микронаполнителей, в качестве которых используются отходы промышленных производств: зола-унос, гранитоидные отсеивы и отходы асбестоцементного производства, что позволит снять экологический налог с предприятий за счет использования их отходов при получении композиционного вяжущего [5–А, 22–А, 23–А].

3. Определены свойства системы «грунт – вяжущее» при различной концентрации компонентов, что позволило оптимизировать составы цементогрунтов в соответствии с предъявляемыми требованиями [3–А]. 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. [8–А].

4. 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 [9–А].

5. Установлено, что использование в дорожной конструкции слоя из цементогрунта, ведет к увеличению морозостойкости конструкции на 6–12% и прочности на 7–15% [7–А]. 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.

6. Разработанные дорожные конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» обладают повышенной долговечностью и надежностью за счет обеспечения максимального использования прочности арматурного каркаса, что позволит получить потенциальный эффект до 92,72 млн.руб./км при строительстве лесных автомобильных дорог из местных грунтов, укрепленных композиционным вяжущим [7–А, 8–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанную методику проектирования цементогрунта на основе композиционного вяжущего для устройства конструктивных слоев дорожных одежд лесотранспортных путей целесообразно использовать в проектных организациях для принятия решений по выбору видов дорожных конструкций [22–А, 23–А] с обоснованием их рациональных параметров на этапе планирования работ.

2. Разработанную математическую модель структурообразования цементогрунта на основе укрепления местных грунтов композиционным вяжущим рекомендуется применять [7–А, 8–А]:

- на стадии производства малоцементного композиционного вяжущего;
- на стадии проектирования, строительства, ремонта и реконструкции лесных автомобильных дорог.

3. Разработанные дорожные конструкции прошли практическую апробацию и внедрены в РУП «Белгипролес», НУОЛХ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» и ГЛХУ «Лидский лесхоз», технологии строительства которых отражены в техническом кодексе установившейся практики ТКП 500-2013 «Лесные автомобильные дороги. Нормы проектирования и правила устройства», и в учебный процесс на кафедре лесных дорог и организации вывозки древесины УО БГТУ по дисциплинам «Проектирование лесных дорог», «Строительство и эксплуатация лесных дорог».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК

1–А. Лыщик, П. А. Требования к укрепленным дорожным грунтам / П. А. Лыщик, А. И. Наumenко // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 36–38.

2–А. Лыщик, П. А. Использование комплексного вяжущего для укрепления грунтов земляного полотна лесных автомобильных дорог / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, А. И. Наumenко // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 39–42.

3–А. Лыщик, П. А. Композиционное вяжущее для укрепления дорожных грунтов / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, А. И. Наumenко // Архитектура и строительные науки. – 2013. – № 1/2 – С. 32–33.

4–А. Лыщик, П. А. Состав минерального вяжущего для укрепления дорожных грунтов / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Наumenко // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 33–36.

5–А. Лыщик, П. А. Механизмы структурообразования дорожных грунтов, укрепленных минеральными вяжущими / П. А. Лыщик, А. И. Наumenко // Труды БГТУ. – 2014. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 42–44.

6–А. Лыщик, П. А. Применение цементогрунта на лесных автомобильных дорогах / П. А. Лыщик, А. И. Наumenко // Автомобильные дороги и мосты. – 2014. – № 2. – С. 81–83.

7–А. Лыщик, П. А. Совершенствование конструкций дорожных одежд лесных автомобильных дорог / П. А. Лыщик, А. И. Наumenко // Труды БГТУ. – 2015. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 44–49.

8–А. Лыщик, П. А. Обоснование структуры и состава дорожной цементогрунтовой смеси на основе математической модели / П. А. Лыщик, В. В. Игнатенко, Е. И. Бавбель, А. И. Наumenко // Труды БГТУ. – 2015. – № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. – С. 39–43.

9–А. Плышевский, С. В. Физико-химические исследования золы-уноса из топки с псевдоожиженным слоем при сжигании фрезерного торфа / С. В. Плышевский, П. А. Лыщик, А. И. Наumenко, Л. М. Виноградов, С. М. Добкин // Тепло- и массоперенос – 2014: сб.тр. – Минск: Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2015. – С. 30–35.

Статьи в рецензируемых зарубежных журналах

10–А. Lyshchik, P. A. Laboratory tests of the structure of the soil, strengthened composite binder / P.A. Lyshchik, A. I. Naumenko // Science progress in European

countries: new concepts and modern solutions, proceedings of the 1st International scientific conference. ORT Publishing. Stuttgart. – 2013. P. 98–102.

11–А. Lyshchik, P. A. Investigation of the process of hardening mixture of cement to strengthen the soil road bed of forest roads / P.A. Lyshchik, A. I. Naumenko // "Innovative development trends in modern technical sciences: problems and prospects". FL, USA, L and L Publishing, – 2013. P. 88–90.

Материалы научных конференций и тезисы докладов

12–А. Науменко, А. И. Применение отходов промышленных производств в конструкциях лесных дорог / А. И. Науменко, П. А. Лыщик // Материала 63-й республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, – Мн., 2012. – С. 255–257.

13–А. Науменко, А. И. Применение шлака в дорожном строительстве / А. И. Науменко // Технология и техника лесной промышленности: тезисы 76-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 13–20 фев. 2012 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. М. Жарский; УО «БГТУ». – Минск: БГТУ, 2012. – С. 11. Деп. в ГУ «БелИСА» 25.04.2012 № Д201224.

14–А. Науменко, А. И. Применение отходов промышленности в строительстве лесных дорог / А. И. Науменко // Научному прогрессу – творчество молодых: Междунар. молодежная науч. конф. по естественонауч. и техн. дисциплинам, 19–20 апр. 2013 г. / Поволжск. гос. технолог. ун-т.: РФ, Йошкар-Ола, Ч.1, 2013, С. 186–187.

15–А. Науменко, А. И. Композиционное вяжущее для укрепления дорожных грунтов / А. И. Науменко // Научному прогрессу – творчество молодых: Междунар. молодежная науч. конф. по естественнауч. и техн. дисциплинам, 19–20 апр. 2013 г. / Поволжск. гос. технолог. ун-т. : РФ, Йошкар-Ола, Ч.1, 2013, С. 188–189.

16–А. Лыщик, П. А. Лабораторные исследования комплексного вяжущего для укрепления грунтов земляного полотна лесных дорог / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013: Сборник научных трудов SWorld. Выпуск 1. Том 10. – Одесса: Куприенко, 2013. – С. 80–84.

17–А. Науменко, А. И. Лабораторные исследования по определению свойств грунтов земляного полотна, укрепленных композиционным вяжущим при строительстве лесных дорог // Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса: материалы Респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 11–12 апр. 2013 г. / БНТУ. – Минск, 2013. – С. 48.

18–А. Лыщик, П. А. Новые композиционные материалы для укрепления дорожных грунтов / П. А. Лыщик, А. И. Науменко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. материалов науч.-техн. конф. «I Европейский лесопромышленный форум молодежи» при финансовой поддержке РФФИ, ФГБОУ ВПО ВГЛТА, Воронеж, РФ. – 2014. Т. 2, № 3-3 (8-3). – С. 200–202.

19–А. Науменко, А. И. Результаты лабораторных исследований по изучению свойств грунтов, укрепленных композиционным вяжущим / А. И. Науменко // Актуальные проблемы архитектуры, строительства и дизайн»: материалы международной научной конференции / Магнитогорск. гос.

техн. ун-та им. Г. И. Носова: под общ. ред. Пермякова М.Б.: Магнитогорск, 2014. – С. 210–212.

Патент на изобретение

20–А. 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; опубл. 2015.0.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. – № 4. – С. 82.

Заявка на изобретение

21–А. Сырьевая смесь для получения портландцемента с минеральным наполнителем, МПК С 04 В28/00 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № а 20131542; заявл. 19.12.13.

Заявка на полезную модель

22–А. Дорожная конструкция из цементогрунта, 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.

23–А. Дорожная конструкция из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт», МПК С 01 С 7/32, 7/36 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, С.В. Красковский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № и 20150100; заявл. 19.03.15.

РЭЗІЮМЭ

Навуменка Андрэй Іванавіч

Удасканаленне дарожных канструкцый лесатранспартных шляхоў на аснове кампазіцыйнага малацэментнага вяжучага

Ключавыя словы: цэментагрунт, дарожныя канструкцыі, структураўтварэнне, умацаванне грунтоў.

Мэта работы: распрацоўка і абгрунтаванне дарожных канструкцый леса-транспартных шляхоў на аснове мясцовых грунтоў, умацаваных кампазіцыйным малацэментным вяжучым, з улікам прыродна-вытворчых умоў эксплуатацыі аўтатранспарту для інтэнсіўнага вядзення лясной гаспадаркі і лесакарыстання.

Метады даследавання і апаратура: у працы выкарыстоўваліся сучасныя фізіка-хімічныя метады даследавання такія як лазерны дысперсійны аналіз, метады кропкавага мікрарэнтгенаспектральнага аналізу на сканіруючым электронным мікраскопе JSM-5610 LV з сістэмай хімічнага аналізу EDX JED-2001 JEOL, тэрмагравіметрычны і рэнтгенафазавы аналізы, метады фізічнага мадэлявання, планавання эксперыменту. Для правядзення эксперыментаў, рэгістрацыі і апрацоўкі іх вынікаў выкарыстоўваліся прылады сумешчанага тэрмагравіметрычнага аналізу і дыферэнцыяльнай сканавальнай каларыметрыі TGA/DSC1 METTLER TOLEDO, вымяральныя ўзмацняльнікі Spider-8, тэнзомер T2020 DC10SH, эксперыментальны стэнд.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў: распрацавана параметрычнае і агульнае сістэмнае апісанне структураўтварэння цэментагрунту. Устаноўлены асноўныя рэцэптурна-тэхналагічныя параметры, якія ўключаюць: аналітычныя і графічныя залежнасці фізіка-механічных уласцівасцяў умацаваных кампазіцыйным малацэментным вяжучым мясцовых грунтоў рознага грануламетрычнага складу і зыходнай вільготнасці; метадыку праектавання цэментагрунтавай сумесі для будовы канструктыўнага пласта ў дарожнай канструкцыі, якая дазваляе паменшыць дазіроўку вяжучага за кошт прымянення попелу-вынасу з топки з псеўдаажыжжаным пластом, які ўтвараецца пры спальванні фрэзернага торфу, гранітоідных адсева і адходаў азбестацэментавых вытворчасцяў. Распрацаваны дарожныя канструкцыі з цэментагрунту і арматурнага каркаса «геарашотка-цэментагрунт», якія валодаюць павышанай трываласцю, марозаўстойлівасцю і надзейнасцю і ўкаранены ў РУП «Белгіпралес», НВВЛХ «Негарэльскі вучэбна-вопытны лягас» і ДЛГУ «Лідскі лягас». Тэхналогіі дадзенных дарожны канструкцый адлюстраваны ў тэхнічным кодэксе ўсталяванай практыкі ТКП 500-2013 «Лясныя аўтамабільныя дарогі. Нормы праектавання і правілы будаўніцтва».

Ступень выкарыстання: вынікі даследаванняў мэтазгодна выкарыстоўваць у праектных арганізацыях для прыняцця рашэнняў па выбары відаў дарожных канструкцый з абгрунтаваннем іх рацыянальных параметраў на этапе планавання работ.

Вобласць прымянення: на стадыі вытворчасці малацаментнага кампазіцыйнага вяжучага; на стадыі праектавання, будаўніцтва, рамонту і рэканструкцыі лясных аўтамабільных дарог.

РЕЗЮМЕ

Науменко Андрей Иванович

Совершенствование дорожных конструкций лесотранспортных путей на основе композиционного малоцементного вяжущего

Ключевые слова: цементогрунт, дорожные конструкции, структурообразование, укрепление грунтов.

Цель работы: разработка и обоснование дорожных конструкций лесотранспортных путей на основе местных грунтов, укрепленных композиционным малоцементным вяжущим, с учетом природно-производственных условий эксплуатации автотранспорта для интенсивного ведения лесного хозяйства и лесопользования.

Методы исследования и аппаратура: в работе использовались современные физико-химические методы исследования, такие как лазерный дисперсионный анализ, методы точечного микрорентгеноспектрального анализа на сканирующем электронном микроскопе JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2001 JEOL, термогравиметрический и рентгенофазовый анализы, методы физического моделирования, планирования эксперимента. Для проведения экспериментов, регистрации и обработки их результатов использовались устройства совмещенного термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии TGA/DSC1 METTLER TOLEDO, измерительные усилители Spider-8, тензометр T2020 DC10SH, экспериментальный стенд.

Научная новизна полученных результатов: разработано параметрическое и общее системное описание структурообразования цементогрунта. Установлены основные рецептурно-технологические параметры, включающие: аналитические и графические зависимости физико-механических свойств укрепленных композиционным малоцементным вяжущим местных грунтов различного гранулометрического состава и исходной влажности; методику проектирования цементогрунтовой смеси для устройства конструктивного слоя в дорожной конструкции, позволяющую уменьшить дозировку вяжущих за счет применения золы-уноса из топки с псевдоожиженным слоем, образуемой при сжигании фрезерного торфа, гранитоидных отсеков и отходов асбестоцементных производств. Разработаны дорожные конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт», которые обладают повышенной долговечностью, морозостойкостью и надежностью и внедрены в РУП «Белгипролес», НУОЛХ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» и ГЛХУ «Лидский лесхоз». Технологии строительства данных дорожных конструкций которых отражены в техническом кодексе установившейся практики ТКП 500-2013 «Лесные автомобильные дороги. Нормы проектирования и правила устройства».

Степень использования: результаты исследований целесообразно использовать в проектных организациях для принятия решений по выбору видов дорожных конструкций с обоснованием их рациональных параметров на этапе планирования работ.

Область применения: на стадии производства малоцементного композиционного вяжущего; на стадии проектирования, строительства, ремонта и реконструкции лесных автомобильных дорог.

SUMMARY

Naumenko Andrey Ivanovich

Improvement of road structures timber transport routes on the basis of composite low-cement binder

Key words: cement-soil, road construction, structure, strengthening the soil.

The purpose of work: development and validation of road structures timber transport routes based on local soil, fortified composition low-cement, based on natural and production conditions of operation of vehicles for intensive forestry and forest management.

Methods of research and the equipment: the study used modern physico-chemical methods such as laser analysis of variance, methods of point microprobe analysis by scanning electron microscope JSM-5610 LV with a system of chemical analysis EDX JED-2001 JEOL, thermogravimetric and x-ray phase analyses, methods of physical modeling, planning of the experiment. For the experiments, reception and processing of the results was used the device for a combined thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry TGA/DSC1 METTLER TOLEDO, measuring amplifiers Spider-8, a strain gauge T DC10SH, experimental stand.

Scientific novelty of the received results: The parametric and general system description of structure formation of cement-soil is developed. The main prescription-technological parameters, include: analytical and graphical dependence of physical-mechanical properties of reinforced composite low-cement astringent local soils of different granulometric composition and initial moisture content; the design procedure cementogenesis mixtures of the device structural layer in the road structure, which allows to reduce the dosage binders through the use of fly ash from the furnace of a fluidized bed formed by the combustion of milled peat; granitoid screenings and asbestos waste industries. The road construction made of cement-soil and the reinforcement cage «Geocell-cement-soil» is developed, which have a high property, frost resistance and reliability, and embedded in GI Belgiproles, NFI Negorelski forestry and SFI «Lida forestry». Their of the construction is reflected in the technical code of common practice TKP 500-2013 «Forest roads. Design norms and rules of construction».

Degree of use: to use to design organizations for making decisions on choosing types of road structures with their justification of rational parameters at the planning stage of works.

Scope: at production stage low-cement composite binder; at the stage of design, construction, repair and reconstruction of forest roads.

Научное издание

Науменко Андрей Иванович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ НА ОСНОВЕ
КОМПОЗИЦИОННОГО МАЛОЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

Ответственный за выпуск А. И. Науменко

Подписано в печать 28.09.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,4.
Тираж 60 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.