



Паули Колисойя
Нуутти Вуоримиес

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

ПЕРЕВОД НА РУССКИЙ ЯЗЫК ДЛЯ
ПРОЕКТА KOLARCTIC ENPI CBC
«УПРАВЛЕНИЕ
ДОРОГАМИ С НИЗКОЙ
ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ В
БАРЕНЦ РЕГИОНЕ»



ROADEX II
NORTHERN PERIPHERY II



ДАННЫЙ ПРОЕКТ ЧАСТИЧНО ФИНАНСИРУЕТСЯ ЕС
Европейский Фонд Регионального Развития

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

ОТЧЕТ ПО ЗАДАЧЕ 2.2

ФЕВРАЛЬ 2005

Паули Колисойя
Нуутти Вуоримиес
Технологический Университет Тампере

Перевод на русский язык выполнен НП «Зеленая Волна» по заказу Лидирующего партнера Проекта Kolarctic ENPI CBC «Управление дорогами с низкой интенсивностью движения в Баренц регионе» - ООО «АвтоДорожный Консалтинг».

Контактные данные:

НП «Зеленая Волна»
г. Архангельск,
ул. Смольный Буян, 20

greenwave29@mail.ru

ООО АвтоДорожный Консалтинг»
г. Архангельск,
пр. Чумбарова-Лучинского, 23-5

adc.ltd@mail.ru
+7 (8182) 655-921

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный документ является заключительным отчетом по реализации Задачи 2_2 Фазы II проекта Roadex, проекта технического транснационального сотрудничества между Советом Хайланда, Лесного предприятия и Совета Западных островов (Шотландия), Северного региона (ранее округа Тромс) Норвежской дорожной администрации, Норвежской Ассоциация автоперевозчиков (Норвегия), Северного региона Шведской дорожной администрации (Швеция), Регионов Лаппи и Кески-Суоми Финской национальной дорожной администрации, а также местных лесозаготовительных предприятий - Metsähallitus из Восточной Лапландии, Lapin Metsäkeskus, Stora-Enso и Metsäliitto, района закупок Северной Финляндии.

Проект Roadex частично финансируется Программой Interreg IIIB Северная Периферия. Лидирующим Партнером проекта выступает Совет Хайланда, Шотландия, консультантом проекта является компания Roadscanners Oy, Финляндия. Председателем проекта Roadex II является г-н Рон Мунро, Совет Хайланда, менеджером проекта – г-н Тимо Сааренкето, компания Roadscanners, Финляндия.

Данный отчет – резюме проделанной в рамках выполнения Задачи 2_2 работы «Обработка материалов» в рамках проекта Roadex II, посвященного технологиям, которые могут применяться для улучшения технических свойств материалов дорог с низкой интенсивностью движения, особенно материалов основания дорожной одежды. Работа выполнялась в тесном сотрудничестве с Задачей 2_1 'Остаточные деформации', результаты которой представлены в отдельном отчете.

Экспериментальная работа, представленная в данном отчете, была выполнена Лабораторией оснований и земляных работ Технологического Университета Тампере (Финляндия). Кроме результатов работ, выполненных непосредственно по заказу проекта Roadex II, при подготовке отчета также использовались материалы параллельного национального исследовательского проекта, реализуемого в Технологическом Университете Тампере, с осени 2003г., а также менее масштабных исследовательских инициатив, уже завершенных к началу проекта Roadex II Project. Большая часть экспериментальных лабораторных исследований была выполнена инженером-исследователем Нуутти Вуоримиесом, которому помогали ассистенты НИС Тимо Райтанен и Мирко Харьюла и лаборант Марко Хаппо. Лидером проекта в рамках Задачи

2_2 в Технологическом Университете Тампере выступал профессор Паули Колисойя, который и написал данный отчет совместно с Нуутти Вуоримиесом.

Кроме выражения искренней благодарности вышеупомянутым лицам, авторы также признательны членам руководящего Комитета и команде диагностов состояния дорог за руководство и поддержку данной работы.

Copyright ©2005 Roadex II Project

Все права защищены

Лидирующий Партнер проекта Roadex II: Совет Хайланда, Отдел транспорта, окружающей среды и общественных работ, Главный офис, дорога Гленуркухарт, Ивернесс IV3 5NX, Шотландия.

Координатор проекта: г-н Ричард Эванс.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<u>ПРЕДИСЛОВИЕ</u>	<u>3</u>
<u>ОГЛАВЛЕНИЕ</u>	<u>5</u>
<u>РЕЗЮМЕ</u>	<u>6</u>
<u>1 ВВЕДЕНИЕ</u>	<u>8</u>
<u>2 ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ДОРОГ С НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ</u>	<u>11</u>
2.1 Основные положения	11
2.2 Традиционные методы стабилизации	12
2.3 Нетрадиционные стабилизирующие добавки	14
2.3.1 Общие положения	14
2.3.2 Принципы классификации нетрадиционных стабилизирующих добавок	15
2.3.3 Полимеры	17
2.3.4 Энзимы	17
2.3.5 Ионные добавки	18
2.3.6 Лигнины	18
2.3.7 Каучуки	18
2.3.8 Комбинированные добавки	19
2.3.9 Другие виды стабилизирующих добавок	19
<u>3 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ</u>	<u>20</u>
<u>4 МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ</u>	<u>22</u>
4.1 Испытания методом всасывающей трубки	22
4.1.1 Метод проведения испытаний	22
4.1.2 Результаты испытаний с применением битумной эмульсии	22
4.1.3 Стабилизация материала из Тромса с использованием коммерчески доступных стабилизирующих добавок	24
4.1.4 Результаты испытаний всасывающей трубкой для материала из Лиллбю	25
4.2 Масштабные 3D испытания	25
4.2.1 Применяемый метод испытаний	25
4.2.2 Результаты испытаний на упругие деформации образцов	27
4.2.3 Результаты испытаний на остаточные деформации	28
<u>5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ</u>	<u>31</u>

РЕЗЮМЕ

Задача 2_2 в рамках проекта Roadex «Обработка материалов» заключается в рассмотрении методов, применимых для улучшения характеристик структурных слоев (особенно верхнего слоя дорожной одежды) дорог с низкой интенсивностью движения в Северной Периферии. Основной акцент сделан на т.н. нетрадиционные методы и добавки для обработки материалов, которые, возможно, станут экономичной и эффективной альтернативой традиционным стабилизирующим добавкам – гидравлическим и битумным вяжущим. Поскольку основная проблема, с которой должны справляться новые методы обработки, - остаточные деформации, решение данной задачи осуществлялось в тесном сотрудничестве с задачей 2_1 «Остаточные деформации». Заключительный отчет в рамках выполнения Задачи 2_2 представляет собой резюме текущих знаний в области нетрадиционных стабилизирующих добавок и оценку их применимости для обработки материалов дорожного основания дорог с низкой интенсивностью движения в Северной Периферии.

В начале отчета приведено резюме типичных климатических условий и связанные с этим проблемы дорог с низкой интенсивностью движения. Далее следует обзор существующих в настоящее время методов стабилизации и обработки материалов. Особое внимание уделено нетрадиционным видам обработки и различным видам классификаций, имеющихся по ним в литературных источниках. В отчете представлена новая классификация материалов, обычно используемых в слоях оснований дорог с низкой интенсивностью движения в Северной Периферии. На основании данной классификации рассмотрены механизмы влияния разных видов стабилизирующих добавок. Также в отчете представлены результаты экспериментов, включая испытания всасывающей трубкой (Tube Suction test) и испытания трехмерной многократной нагрузкой (Repeated load triaxial test) для четырех финских, одного норвежского и одного шведского образца материалов. Испытания всасывающей трубкой – легкий в применении метод оценки всасывающих свойств различных типов материалов, используемых в дорожном основании, и влияния на эти материалы стабилизирующих добавок. Испытания трехмерной многократной нагрузкой проводились согласно специальной процедуре симуляции эффекта сезонных вариаций механического поведения материалов дорожного основания.

Оба описанных испытания показывают, что даже небольшое количество битумного вяжущего, от 2 до 3%, а иногда даже и 1%, может значительно снизить влаговсасывающие свойства

проблемных материалов основания и, следовательно, улучшить их эксплуатационные качества под многократно повторяющейся нагрузкой, схожей с той, которая создается движением тяжелых грузовых автомобилей в период оттаивания. Результаты, полученные при применении нетрадиционных стабилизирующих добавок, неоднозначны. Некоторые добавки не оказали какого-либо положительного влияния на материалы, в то время как другие, похоже, обладают значительным потенциалом в качестве альтернативы традиционным методам стабилизации. Что касается отрицательных результатов, полученных при испытаниях, то необходимо отметить, что испытания проводились даже с теми добавками, которые согласно приложенной производителями инструкцией, могли использоваться эффективно только в материалах с более высоким содержанием мелких/пылеватых частиц, чем это типично для материалов основания в районах с сезонным промерзанием грунтов. На данной стадии главный вывод, который можно сделать в отношении применимости нетрадиционных видов обработки материалов, заключается в том, что по меньшей мере, некоторые из них действительно имеют потенциал стать реальной заменой традиционным стабилизирующим добавкам. На основании полученного опыта вполне вероятно, что испытания всасывающей трубкой – очень полезный инструмент предварительной оценки применимости различных видов стабилизирующих добавок. С другой стороны, еще необходимо провести много исследований в этой области, до того как нетрадиционные стабилизирующие добавки и методы обработки смогут применяться контролируемо. Важным аспектом данного дополнительного исследования должны стать строительство и мониторинг полномасштабного проекта тестовых площадок, по которым станет возможным накопить достаточную и достоверную информацию об эксплуатации обработанных слоев дорожной одежды в реальной окружающей среде и под реальными транспортными нагрузками.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Roadex, материал основания дорожной одежды, чувствительность материала к воздействию воды (гигроскопичность), нетрадиционные стабилизирующие добавки, битумная эмульсия, полимерные добавки

1 ВВЕДЕНИЕ

Европейская Северная Периферия – обширная, но сравнительно редконаселенная территория, что обуславливает низкую интенсивность движения по дорожной сети, за исключением участков вблизи ряда крупных населенных пунктов. Большая часть дорог Северной Периферии была построена недостаточно качественно, однако участки сети постепенно совершенствовались или ремонтировались, преобразаясь из старых проселочных дорог в новые, более соответствующие современным транспортным потребностям (Рисунок 1). Как правило, улучшения производились с минимальными затратами, а материалы привозились из местных карьеров, даже если они не всегда оптимально подходили в качестве строительных материалов.

С течением лет транспортные нагрузки на дорогах с низкой интенсивностью движения все возрастали, в основном в связи с развитием лесного, рыбного производства и сельского хозяйства. На дорожных покрытиях появлялось все больше остаточных деформаций, которые устранялись путем грейдерования верхнего слоя. Поскольку такой ремонт производился от времени к времени, тонкие структурные слои перемешивались между собой, а иногда и с грунтами земляного полотна.



Рисунок 1. Типичная дорога с низкой интенсивностью движения в центральной части Финляндии.

Климатические условия Северной Периферии неизбежно влекут за собой предъявление более высоких требований к качеству дорожных конструкций по сравнению с более теплыми

условиями Европы. Что касается транспортно-эксплуатационных характеристик дорожных конструкций, основная проблема Северных Периферийных районов связана с влиянием сезонных изменений, включая сменяющиеся циклы замерзания-оттаивания. Для предотвращения или, по меньшей мере, минимизации разрушений под воздействием морозного пучения толщина структурных слоев дорожной одежды должна быть увеличена, а материалы должны выбираться настолько тщательно, чтобы избежать формирования сегрегационных ледяных линз и связанного с этим повышенного влагосодержания в верхних слоях дорожной одежды. Однако, с экономической точки зрения, в соответствии с этими высокими стандартами целесообразно строить только самые важные дорожные связи.

В Норвегии и Шотландии береговая линия имеет большую протяженность, а ветры с Атлантики несут с собой значительные влажные воздушные массы, в результате чего в гористых прибрежных районах выпадает большое количество осадков. Как и в случае с сезонным периодом замерзания/оттаивания, избыточная вода в дорожных конструкциях приводит к тому, что последние становятся более подверженными возникновению остаточных деформаций даже в условиях ограниченных циклических нагрузок от тяжелого транспорта. Поскольку ресурсы на поддержание водоотвода в надлежащем состоянии на всей сети ограничены, время от времени возникают разрушения (Рисунок 2).



Рисунок 2. Дорога с низкой интенсивностью движения на острове Сенья в Северной Норвегии, подверженная возникновению остаточных деформаций по причине неадекватного водоотвода и тонкослойности конструкции дорожной одежды.

Одним из эффективных способов избежать проблем с остаточными деформациями, создаваемыми тяжелым транспортом на дорогах с низкой интенсивностью движения в период

весенней распутицы, является введение временного ограничения весовых нагрузок. Однако, поскольку требования в большей эффективности логистики в большинстве производств с каждым годом все возрастают, растут и потребности в неограниченном доступе к дорогам на протяжении всего года. Это обуславливает все более очевидную потребность в новых низкочастотных решениях по поддержанию круглогодичного проезда по дорогам с низкой интенсивностью движения.

Поскольку суммарная толщина слоев дорожной одежды дорог с низкой интенсивностью движения обычно мала, значительно возрастает роль дорожного основания. Это также является причиной того, почему данное исследование посвящено слоям основания дорожной одежды и материалам, которые используются при его строительстве на дорогах с низкой интенсивностью движения.

В данном отчете предполагается, что рассматриваемые материалы дорожного основания характеризуются содержанием мелких частиц менее 20%, что типично, по меньшей мере, для Северных стран, где применение материалов с большим содержанием мелких частиц является абсолютно неприемлемым из-за влияния морозного пучения. Цель данного отчета – оценка коммерчески доступных нетрадиционных стабилизирующих добавок, используемых для снижения гигроскопичности материалов основания дорожной одежды. Оценка основана на информации, собранной в рамках обзора имеющейся литературы, Интернет-источников производителей таких добавок, результатов лабораторных испытаний в рамках настоящего проекта, а также результатов национального исследовательского проекта, реализуемого в Технологическом Университете Тампере параллельно с ROADDEX.

2 ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ДОРОГ С НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ

2.1 Основные положения

Стабилизация слоев основания дорожной одежды с использованием цементного или битумного вяжущего является широко известным методом улучшения несущей способности дорог (Рисунок 3). В условиях, типичных для Северных европейских стран традиционные методы стабилизации признаны эффективными, если содержание мелких частиц в материалах не превышает 10%. Метод, однако, обычно слишком затратен для повсеместного использования его на дорогах с низкой интенсивностью движения.



Рисунок 3. Повышение несущей способности основания дорожной одежды на дороге с низкой интенсивностью движения посредством стабилизации

Недостаточная несущая способность дорог с низкой интенсивностью движения и остаточные деформации дорожной одежды и земляного полотна, возникающие под действием нагрузок от тяжелого транспорта, - основная проблема сети дорог с низкой интенсивностью движения в районах Северной Периферии. На дорогах со слоем износа на битумном вяжущем остаточные деформации проявляются в виде неровностей поверхности и преждевременного разрушения битумосодержащего слоя. На гравийных дорогах неровности устранить легче в рамках регулярного содержания, однако даже в этом случае в результате постоянного восстановления

поверхности грейдерованием структурные слои могут перемешиваться между собой, а иногда и с грунтами земляного полотна.

В связи с вышеизложенным любые виды новых экономически эффективных методов восстановления несущей способности дорог с низкой интенсивностью движения актуальны как никогда. Кроме традиционных методов стабилизации потенциальной альтернативой будущего может стать использование нетрадиционных технологий стабилизации, т.е. обработки слоя основания добавками, которые улучшают его эксплуатационные качества, например, за счет снижения его чувствительности к воздействию воды, что обычно является основной причиной возникновения остаточных деформаций. Некоторые новые виды добавок могут позволить использовать даже менее качественные, но местные материалы, а значит снизить потребность в более качественных и дорогих материалах, а также уменьшить связанные с их доставкой транспортные затраты.

2.2 Традиционные методы стабилизации

Основная цель применения традиционных стабилизирующих добавок – повысить прочность обрабатываемых слоев. Наиболее известными традиционными стабилизирующими добавками являются пуццолановые, как, например, цемент и известь. Их применение для стабилизации изучалось в течение долгого времени, и в большинстве стран имеются руководства по их применению. Например, в Финляндии в проектное руководство по стабилизации цементом представлен диапазон гранулометрического состава материалов дорожного основания, для которого применимо цементное вяжущее. Согласно документу кривая гранулометрического состава для применимости стабилизирующих добавок должна попадать в зону В на Рисунок 2.2, а содержание мелких частиц должно быть менее 9%. Материалы, попадающие в зону А Европейского стандарта (prEN 14227-1) не рекомендуются в Финляндии для стабилизации цементом. Следует отметить, что в результате стабилизации цементным вяжущим полученный слой основания дорожной одежды обретает большую жесткость, но вместе с тем и большую хрупкость. Поэтому эта технология обычно не подходит для улучшения дорог с низкой интенсивностью движения, построенных на морозочувствительных грунтах земляного полотна.

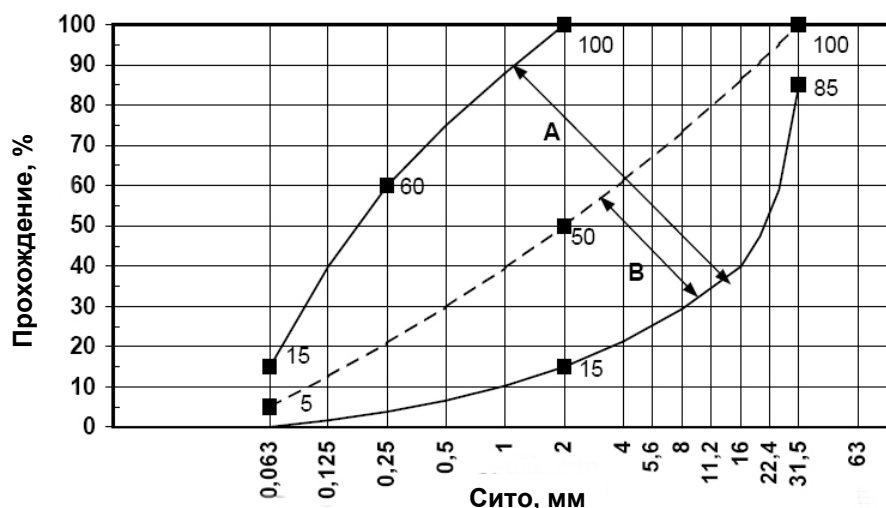


Рисунок 4. Диапазон гранулометрического состава материалов, пригодных для обработки цементным вяжущим (зона B) согласно Финскому Руководству по проектированию (Tiehallinto 2002).

В настоящее время битум также часто применяется в целях улучшения эксплуатационных свойств дорожного основания. При стабилизации битумным вяжущим 3-4% по массе либо вспененного битума, либо битумной эмульсии смешиваются с материалом основания. Согласно финскому руководству, которое используется здесь в качестве примера, битумная эмульсия может применяться в случае, если содержание мелких частиц в материале составляет 5-8%. Соответственно вспененный битум применяется при содержании мелких частиц менее 12% (Рисунок 5).

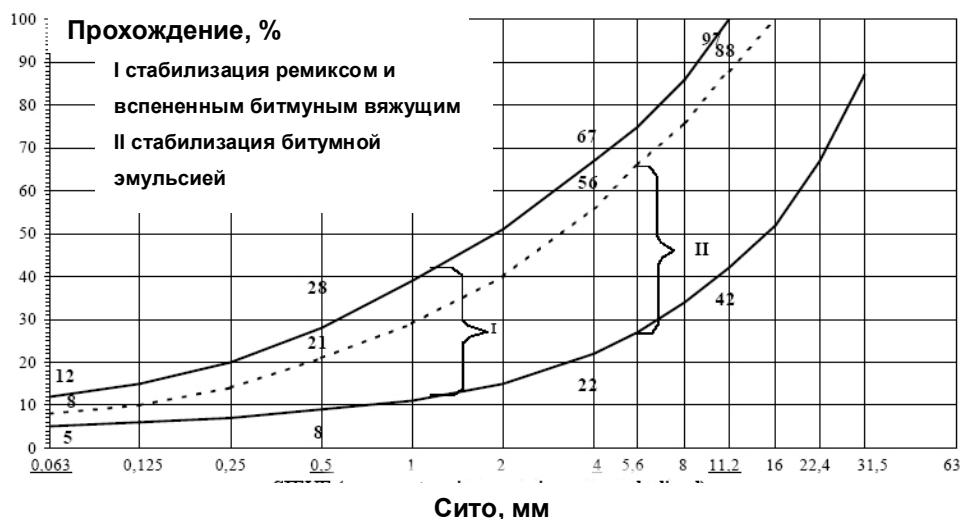


Рисунок 5. Диапазон гранулометрического состава материалов, пригодных для обработки битумной стабилизирующей добавкой согласно Финскому руководству по проектированию (Tiehallinto 2002).

Технологии стабилизации, применяемые в настоящее время на территории Северной Периферии, подробно описаны в рамках проекта ROADEX и доступны на CD-ROM (результаты первой фазы проектов Roadex, реализованных в 1998 - 2001 (Roadex project 2001)).

Уплотнение материалов всегда было одним из важнейших этапов земляных работ. Это же касается и применения стабилизирующих добавок. Одной из возможностей повлиять на свойства стабилизированного материала является изменение гранулометрического состава исходного материала либо путем добавления крупных фракций, либо мелких. Основное ограничение для широкого применения традиционных стабилизирующих добавок на дорогах с низкой интенсивностью движения – их высокая стоимость. Еще одно ограничение – слишком высокое содержание мелких частиц в материале.

2.3 Нетрадиционные стабилизирующие добавки

2.3.1 Общие положения

Применение нетрадиционных технологий стабилизации материалов расширяется год от года. Разные виды побочных продуктов производства тестируются для применения при обеспыливании или повышении несущей способности дороги. Цементное и битумное производства также разработали дополнительные добавки для повышения качества своей продукции. По мере улучшения знаний о механизмах влияния нетрадиционных добавок стал расширяться и их перечень, сокращаться затраты на их производство и применение, а в результате и количество производителей таких добавок.

Обычно новые типы добавок для обработки материалов применяются для определенных типов материалов, хотя длительность их влияния все еще остается неизвестной.

Зачастую существует «информационное отставание» между теми, кто строит дороги, и теми, кто производит нетрадиционные стабилизирующие добавки, в результате чего часто подрывается вера в применяемые материалы и их эффективность. Поскольку срок службы дороги достаточно долгий, а влияние традиционных методов строительства велико, согласование применения нетрадиционных стабилизирующих добавок требует хорошо документированного отчета по длительному мониторингу пилотных участков. Качественная отчетность повысила бы убежденность дорожников в правильности и эффективности применения новых продуктов, улучшила бы их знания в области стабилизаторов, ограничениях и выгодах их применения.

Значительный объем работы по развитию нетрадиционных стабилизирующих добавок был проделан в регионах с засушливым и теплым климатом. В основном работа была сконцентрирована на материалах с пластичными свойствами, достаточно высоким содержанием мелких частиц и особым минимальным содержанием глинистых частиц. Целью большинства

продуктов было снижение пластичности и облегчение уплотнения для достижения большей плотности, а значит несущей способности дорог, а также сокращения потерь материала. Согласно инструкции по применению, предоставленной производителями, применяемые технологии обработки материалов нетрадиционными стабилизирующими добавками не столь значительно отличаются от традиционных. Некоторые проще в использовании, некоторые - наоборот. В жидком состоянии часть нетрадиционных стабилизирующих добавок легче смешивается, а впоследствии легче очищаются с рабочих органов дорожно-строительных машин.

2.3.2 Принципы классификации нетрадиционных стабилизирующих добавок

В настоящее время существует множество видов нетрадиционных стабилизирующих добавок. В частности, Шолен (Scholen, 1991) классифицировал эти добавки по пяти группам:

- Электролиты
- Энзимы
- Минеральные каучуки
- Глинистые заполнители
- Акриловые полимеры

Шоленом было изучено влияние различных видов добавок на крупнозернистые грунты. Боландер (Bolander, 1999) оценил качества и характеристики разных видов добавок в полевых условиях при помощи ряда лабораторных испытаний, которые он провел на материалах с гранулометрическим составом, дающим плотную смесь. Методы испытаний представляли собой непрямые испытания на разрыв и на прочность в условиях циклов сушки/увлажнения и замерзания/оттаивания. Серия испытаний проводилась для образцов с различным сроком и разным объемом добавок. В результате были сделаны следующие ключевые выводы:

- Энзимы и сульфонаты увеличивают прочность на растяжение в теплых и сухих климатических условиях, а при увеличении влажности прочность на растяжение уменьшается
- После твердения синтетические полимеры и эмульсии талового масла повышают прочность на растяжение в теплом и сухом климате, однако под воздействием воды и мороза во влажном климате эта прочность снижается
- Температура твердения оказывает значительное влияние на прочность и долговечность талового масла
- Нетрадиционные добавки могут быть экономически эффективными в зависимости от целей проекта и наличия местных материалов.

На основании полученного опыта Боландер (Bolander, 1999) утверждает, что тщательная подготовка и достаточное время, уделяемое смешиванию и обработке, значительно влияют на эффективность, прочность и срок службы конструкций, обработанных нетрадиционными стабилизирующими добавками.

Согласно Джонсу (Jones, 2002) **добавки**, используемые при обработке дорожно-строительных материалов в целях обеспыливания и стабилизации, **могут быть классифицированы следующим образом:**

- применяемые при обеспыливании:

- вода и смачивающие реагенты
- гидроскопические соли
- естественные полимеры (например, лигносульфонаты, таниновый экстракт)
- синтетические полимерные эмульсии (например, акрилат, поливинилацетат)
- модифицированные воски
- нефтяные смолы и пеки (гудрон)
- битумы и другие вещества

- применяемые для стабилизации:

- синтетические полимерные эмульсии (например, акрилат, поливинилацетат)
- сульфоновые масла
- энзимы и биологические добавки
- пеки и битумы.

До настоящего времени утвержденной классификации добавок не существует. Применяемые классификации весьма зависят от применяемой местной практики, а также от того, имеется ли опыт по применению добавок при обеспыливании или при стабилизации грунтов земляного полотна.

В настоящем отчете нетрадиционные добавки для обработки материалов оснований дорожной одежды классифицированы следующим образом:

- 1) полимеры
- 2) энзимы
- 3) ионные добавки
- 4) лигнины
- 5) каучуки и
- 6) другие виды стабилизирующих добавок

В дополнение к вышесказанному можно добавить группу комбинированных добавок, т.е. включающие более чем одну группу.

2.3.3 Полимеры

Полимеры производятся различных видов, и даже в виде эмульсии они в большинстве случаев просты в применении. Эмульсия обычно содержит 40-50% полимера, 1-2% эмульгатора и воду. Большинство полимерных продуктов, предназначенных для стабилизации материалов, представляют собой акриловые сополимеры (Newman & Tingle 2004).

Полимеров существует множество: например, акриловые полимеры набирают прочность при высыхании, в результате химической адгезии, когда частицы прилипают друг к другу. Однако, по меньшей мере один полимерный продукт согласно отчетам обладает ферментативным эффектом. Одним из полимеров, потенциально применимым для стабилизации крупнозернистых материалов является покрытая полимером зола уноса, производимая в виде порошка и иногда содержащая известь (Vuorimies и другие (Vuorimies et al. 2004)). Вероятно, в будущем ассортимент полимеров расширится, а области их применения диверсифицируются. Для этого потребуется разработка более специализированной группы полимерных продуктов.

2.3.4 Энзимы

Базовая структура энзимов – протеины, которые в биосистемах действуют как катализаторы. При стабилизации грунтов энзимами, в них должно быть большое количество суглинистых и глинистых частиц и органического материала. Энзимы, добавляемые в грунт, постоянно вступают в реакции. Они весьма специфичны с позиции синтеза определенных групп химических соединений, и их действие ограничивается специфическими связями в соединениях, с которыми они вступают в реакцию. Если энзимы, содержащиеся в добавке, перемешиваются с водой и распределяются в грунте, они могут действовать разными способами. Реакция может состоять в разрушении кристаллической решетки глины и соединении катионов и других веществ при помощи органических молекул. Разрыв кристаллической решетки уменьшает размер частиц глины и помогает им связаться с органическим материалом. При обработке энзимными добавками очень важно уплотнение для обеспечения тесной связи частиц грунта, а значит начала процесса цементирования (Шолен (Scholen 1995)).

Поскольку применение энзимов требует значительного количества мелких/пылеватых частиц в грунте, лучше их не применять для материалов с содержанием мелких частиц менее 20%. Согласно нескольким источникам, для энзимов требуется определенный период выдержки, что

иногда мешает широкому распространению энзимных добавок в районах Северной Периферии с повышенной влажностью воздуха (дожди, т.д.).

2.3.5 Ионные добавки

Электролиты, содержащиеся в ионных добавках, воздействуют на природу глинистых минералов. В грунтах с нормальным содержанием влаги электролиты переносятся осмосом. Они отдают адсорбированную воду и коагулируют как плотная безводная масса. По информации производителей ионные добавки эффективны, только если содержание мелких частиц составляет, по меньшей мере, 35%, при этом определенная доля мелких частиц должна быть представлена глинистыми минералами. После стабилизации и уплотнения циклы сушки/увлажнения и замерзания/оттаивания не должны оказывать влияния на обработанный материал. Обработка ионными стабилизирующими добавками должна производиться при оптимальном влагосодержании в грунте или близко к порогу полного насыщения. Если обработка производится методом рыхления, в результате может образоваться очень скользкая поверхность, требующая укладки шероховатого слоя. Согласно Scholen and Coghlan (1991) обработка может также осуществляться и глубинным методом, путем впрыскивания добавки внутрь слоя. Многие сульфонатные масла относятся к категории ионных продуктов, во многие добавки в качестве реагентов также входят кислоты.

2.3.6 Лигнины

Лигнины в основном представлены побочными продуктами лесной отрасли. Главным образом они применяются для обеспыливания. Однако, лигносульфонаты, например, по результатам ряда испытаний показали краткосрочное повышение несущей способности. При этом добавка была водорастворимой (Scholen & Coghlan 1991). В другом исследовательском проекте оптимальное количество - 5% лигносульфоната придало водозащитные свойства супеси (Santoni et al. 2002). Следовательно, лигнины в некоторых случаях могут применяться для стабилизации лесных дорог временного пользования.

2.3.7 Каучуки

Категория каучуков представлена широким рядом продуктов. Часть добавок составляют натуральные продукты, т.е. биоразлагаемые, что обуславливает краткосрочность их эффекта. С другой стороны, масляные каучуки этой группы связаны с минимальным риском загрязнения окружающей среды, если в процессе обработки попадут в воду, почву и т.д. Что касается механизма действия, отличительной чертой данной категории добавок является то, что они

«окутывают» и связывают частицы материала. Некоторые каучуки могут образовывать гидрофобную поверхность по мере покрытия частиц материала.

2.3.8 Комбинированные добавки

Группа комбинированных добавок включает те, в которых комбинируется не менее двух совершенно различных добавок, ни одна из которых не может считаться более важной, чем другие. Пример материала из данной группы – стабилизирующая добавка типа F (см. Главу 4), в которой жидкая часть нацелена на более глубокие слои материала, а порошкообразная, состоящая из извести и цемента, применяется для улучшения прочностных характеристик только верхней части стабилизируемого слоя.

2.3.9 Другие виды стабилизирующих добавок

Данная группа включает продукты, которые не могут быть отнесены ни к одной из вышеперечисленных групп. В основном это материалы, применяемые при обсыпывании или те, которые изредка применяются для снижения влаговсасывающих свойств грунтов.

3 МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Результаты испытаний, приведенные в данном отчете, включают опыт лабораторных испытаний четырех различных дробленых материалов из Финляндии (Лядесгло, Лепоо, Эмет и Лиллбю), одного гравийного материала из Норвегии (Тромс), и одного дробленого материала из Швеции (Ангесбю) (см. Рисунок 6).



Рисунок 6. Материал для проведения испытаний, Ангесбю, Швеция

Дробленый материал из Лядесгло представлял собой порфировидный гранит из Райппалуото вблизи города Вааса. Из Лепоо был привезен переходный вулканит с тонкими прослойками кислотного и щелочного вулканита внутри. Что касается прочностных свойств, качество материала из Лепоо было высоким, что позволяло успешно применять его в качестве слоев износа (Saarenketo et al. Tampere 2000).

Дробленый материал из Эмета представлял собой мелкозернистый правильной формы щелочной вулканит с преобладанием плагиоклаза, полевого шпата, роговой обманки и амфиболов. Данный материал часто содержит пириты. Удельная масса такого материала составляет 3,05 г/см³. Дробленный материал из Лиллбю – кислый, среднезернистый, с включениями слюды сравнительно слабый гранит-гранодиорит с преобладанием кварца, полевого шпата и биотита (Vuorimies et al. 2004)

Материал из Тромса был взят из карьера на острове Сенья, Северо-западной части Норвегии. Горная порода включала кварц, полевой шпат, гнейс, гранодиорит и амфиболит с преобладанием таких минералов как кварц, полевой шпат, биотит и роговая обманка.

Материал из Агнесби отличался от предыдущих образцов по двум критериям: он был взят из существующей дорожной одежды, а из-за того, что он ранее подвергался обработке битумом, в его составе было битумное вяжущее.

4 МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

4.1 Испытания методом всасывающей трубки

4.1.1 Метод проведения испытаний

Метод испытаний всасывающей трубкой (The Tube Suction test method, далее ИВТ), первоначально предложенный Сааренкетто (1995) и Скаллионом и Сааренкетто (1997), - простой в применении метод лабораторных испытаний для оценки влаговсасывающих свойств различных типов материалов. Испытание заключается в уплотнении образца толщиной 180-200 мм в пластиковой трубке с внутренним диаметром 150 мм. После сушки образца, его помещают в пластиковую трубку с водой на дне. Далее осуществляется мониторинг абсорбции воды образцом при помощи измерения диэлектрического показателя и электропроводимости на поверхности образца через равные небольшие промежутки времени (Рисунок 7). Более подробное описание метода испытаний приводится у Сааренкетто (Saarenketo 2000).



Рисунок 7. Измерения диэлектрического показателя и электропроводимости верхней части образца, помещенного во всасывающую трубку

4.1.2 Результаты испытаний с применением битумной эмульсии

В Таблице 1 представлены диэлектрические показатели материалов из Ангесбю, Лядесгло, Лиллбю и Эмета по результатам испытаний всасывающей трубкой. Поскольку материал основания дорожной одежды в Ангесбю уже был стабилизирован с использованием битума, образцы материалов для ИВТ уже включали битумное вяжущее. После испытаний образец был высушен, и результаты показали, что количество несвязных частиц составило 3,2 %.

Стабилизация слоя основания с использованием битумом в Ангесбю не была удачной, и испытания всасывающей трубкой показали, что несвязный материал, обработанный битумом был чувствителен к воздействию воды, а, следовательно, и к морозному пучению. Согласно более ранним изучениям оба материала из Лядесгло и Лепоо были признаны чувствительными к воздействию воды. В лабораторных испытаниях содержание мелких частиц в материале Лядесгло составило около 6%, в Лепоо - 5,5%. Влияние битума на эти материалы исследовалось при помощи испытаний всасывающей трубкой при содержании битума от 2,2 до 3,6%. При использовании битума диэлектрические показатели оставались низкими, и согласно испытаниям применение битумной эмульсии оказалось бы эффективным решением существующих проблем – повышенной чувствительности к воде, при содержании битума не менее 3,0% (Saarenketo et al. 2000). Содержание битума для обработки материалов из Лиллбю и Эмета было ниже – 2%, в результате чего наблюдалось снижение диэлектрических показателей в обоих материалах. В материале из Лиллбю, однако, это снижение не было достаточным. В материале из Эмета диэлектрический показатель опустился ниже предельной отметки 9, однако его применение в полевых условиях все еще возможно. Вероятно, оба материала будут вести себя адекватно, если следовать руководству по применению битумного вяжущего в количестве 2,2-3,6 % (Инструкция по стабилизации Финской Дорожной Администрации - Tiehallinto 2002).

Таблица 1 Результаты испытаний всасывающей трубкой материалов, обработанных битумом. Результаты испытаний материалов из Лядесгло и Лепоо уже были представлены Сааренкето (Saarenketo et al. 2000). Максимальный размер частиц при проведении испытаний 20мм.

Происхождение материала	Плотность в сухом состоянии, кН/м3	Максимальный диэлектрический показатель	Содержание влаги после испытаний, %	Содержание битума, %	Содержание мелких частиц, %
Ангесбю *)	21,4	34,4	4,9		3,2 **)
Лядесгло	20,9	5,2	2,3	2,2	
	21,5	4,2	1,1	3,0	
	21,6	4,8	0,6	3,6	
Лепоо	21,8	4,2	1,0	1,0	
	21,6	4,5	0,5	2,0	
	21,2	4,4	0,5	3,0	
Лиллбю	22,9	25,8	5,7	0,0	6,5
	22,1	16,4	4,2	2,0	
Эмет	23,2	22,1	4,4	0,0	7,6
	23,5	8,6	2,0	2,0	

*) Материал из Ангесби был стабилизирован в полевых условиях использованием битумной эмульсии. С момента стабилизации до испытаний прошло несколько лет.

***) Результаты влажного просеивания, которые показывают количество несвязных мелких частиц.

4.1.3 Стабилизация материала из Тромса с использованием коммерчески доступных стабилизирующих добавок

Все протестированные коммерчески доступные стабилизирующие добавки не были заявлены как эффективно работающие в материалах с низким содержанием мелких частиц. Несмотря на это они были испытаны по методу всасывающей трубки на материале из Тромса, содержание мелких частиц в котором составляло порядка 11%. Согласно Рисунку 4.2, полимерная добавка С значительно снижала диэлектрический показатель материала.

Другие добавки не оказали значимого влияния на материал. Ионная добавка D даже способствовала увеличению диэлектрического показателя, согласно испытаниям всасывающей трубкой. В 2002г. были подготовлены образцы, помеченные «без обработки в 2002», в соответствии с процедурой испытаний, в которой тестируемый образец не должен иметь покрытия, ограничивающего испарение влаги. В то же время образцы, помеченные ярлыком «без обработки», были подготовлены аналогичным образом, как и обработанные добавками, т.е. для проведения испытаний поддерживалась высокая относительная влажность воздуха путем хранения образцов в закрытых контейнерах. Удельный вес тестируемых образцов варьировался от 21,7 до 22,2 кН/м³, при этом образец, обработанный сухим порошкообразным полимерным веществом остался был более рыхлым, чем обработанные жидкими добавками.

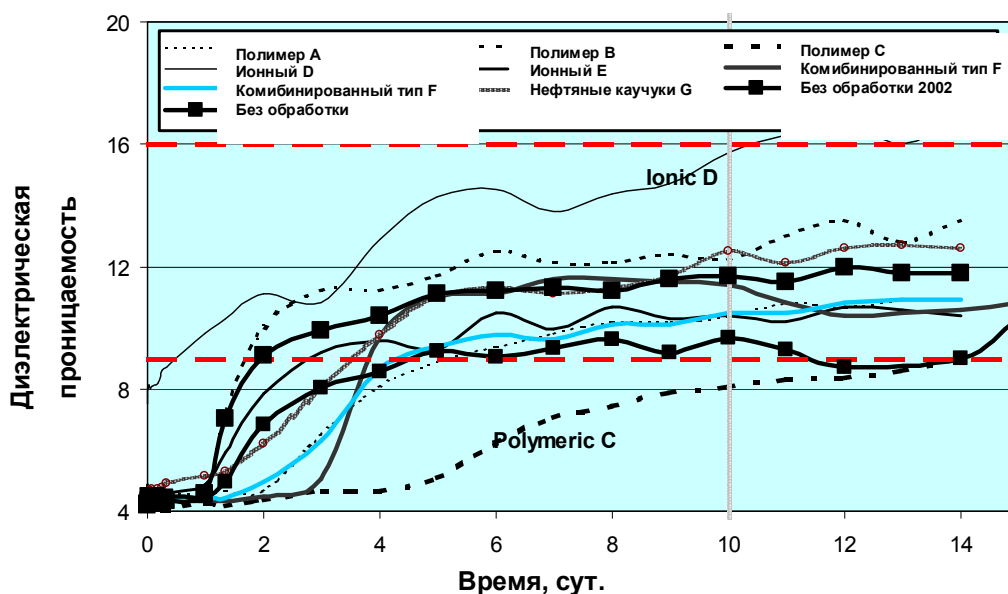


Рисунок 8. Результаты испытаний методом всасывающей трубки для материала из Тромса. Образец, помеченный ярлыком «Без обработки 2002» был подготовлен ранее и по несколько иной процедуре, чем остальные образцы.

4.1.4 Результаты испытаний всасывающей трубкой для материала из Лиллбю

На Рисунке 9 приведена диаграмма по результатам измерения диэлектрических показателей методом всасывающей трубки для дробленого материала из Лиллбю (Vuorimies et al 2004). Согласно результатам испытаний, только полимерная добавка С снизила диэлектрический показатель материала настолько, чтобы можно было поддерживать его на приемлемом уровне. Применение ионной добавки не выявило влияния на диэлектрический показатель. Этого, в целом, следовало ожидать, поскольку материал из Лиллбю не содержит глинистых минералов, а содержание мелких частиц в нем меньше 7%. Применение битумного вяжущего дало те же результаты, что и в Таблице 1.

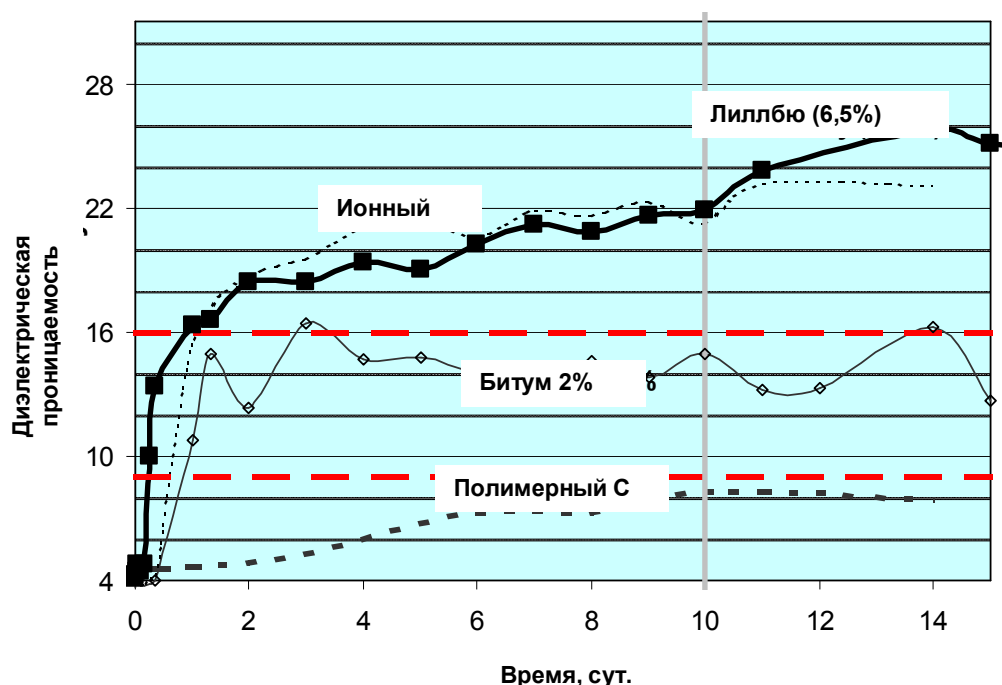


Рисунок 9. Диэлектрические показатели по результатам измерений методом всасывающей трубки для дробленого материала из Лиллбю.

4.2 Масштабные 3D испытания

4.2.1 Применяемый метод испытаний

Испытания на циклические нагрузки, упоминаемые в данном отчете, проводились с использованием специального устройства для масштабного трехмерного измерения под действием повторяющихся нагрузок (см. Рисунок 10), разработанного в лаборатории оснований и земляных сооружений Технологического университета Тампере (Kolisoja 1997). Диаметр тестируемого образца составлял 200мм, высота около 400 мм. Образец уплотнялся в четыре слоя при помощи вибрационного уплотнителя.

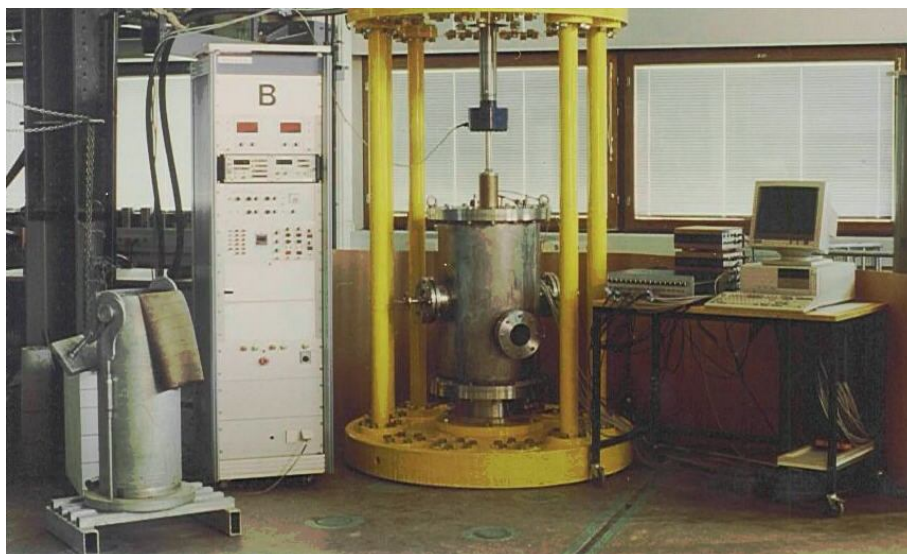


Рисунок 10. Устройство для масштабного трехмерного измерения под действием повторяющихся нагрузок, разработанное в Лаборатории оснований и земляных сооружений Технологического университета Тампере

Механическое поведение материалов определялось в несколько стадий. Между стадиями образцы подвергались обработке, симулирующей сезонные изменения, происходящие в реальных условиях в дорожных конструкциях. Процедура испытаний включала следующие стадии:

- Подготовка тестируемого образца с фиксированным гранулометрическим составом и содержанием мелких/пылеватых частиц и уплотнение при содержании влаги, близком к оптимальному
- Сушка образца в сушильном шкафу при температуре +45° С в течение двух недель
- Определение упругой деформации тестируемого образца
- Помещение образца в воду (менее чем на треть) для абсорбирования им воды в течение недели
- Повторное определение упругой деформации тестируемого образца
- Подвергание образца циклу заморзания/оттаивания
- Определение упругой деформации тестируемого образца в третий раз
- Испытание образца на остаточные деформации при 100 000-кратном приложении нагрузки
- В случае, если остаточные деформации образца на предшествующих стадиях испытаний не были значительными, образец подвергался испытаниям на монотонную трехмерную нагрузку.

При определении свойств упругой деформации применялся американский протокол American SHRP protocol P46 (AASHTO 1992), за исключением соблюдения условий в связи с определениями, которые следовали за циклами заморзания/оттаивания.

4.2.2 Результаты испытаний на упругие деформации образцов

На Рисунке 11 приведены показатели модуля упругости дробленых материалов из Лядесгло и Лепоо по результатам трехмерных испытаний, симулирующих влияние сезонных изменений. Вначале содержание мелких частиц в обоих материалах варьировалось, а после этого определялось влияние содержания битумного вяжущего на образцы с умеренным содержанием мелких частиц. На Рисунке 11 - F означает содержание мелких частиц в необработанном материале, а B – содержание битумного вяжущего в обработанном тестируемом материале. Диаграмма показывает, что содержание мелких частиц снижает модуль упругости, определенный после цикла заморзания/оттаивания. При проведении испытаний у образцов, обработанных битумным вяжущим, имели модуль упругости во влажном состоянии и после цикла заморзания/оттаивания выше, чем у аналогичного необработанного образца. На практике это означает, что обработка материала битумным вяжущим предотвращает абсорбирование образцом воды, а, следовательно, уменьшает возможное морозное пучение (Saarenketo et al. 2000).

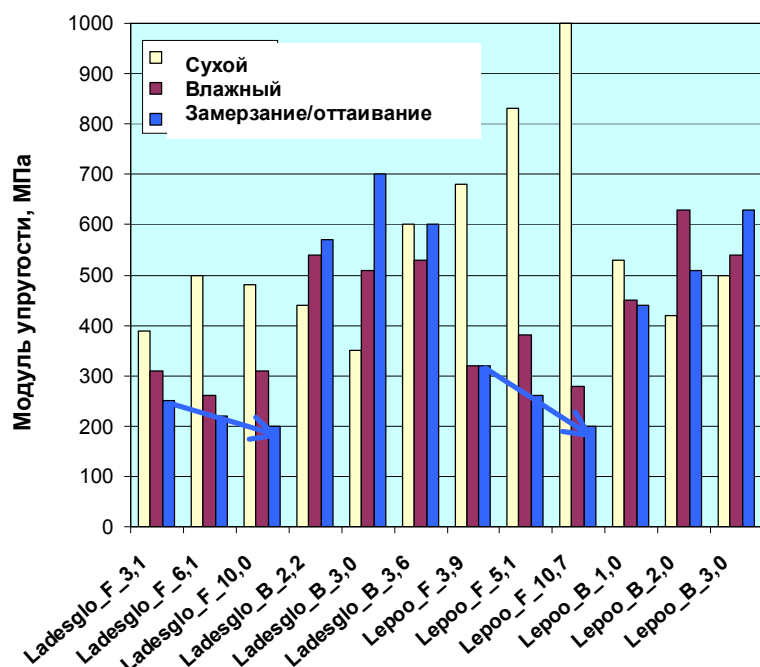


Рисунок 11. Модули упругости материалов из Лядесгло и Лепоо для образцов в сухом состоянии, влажном состоянии и после цикла заморзания/оттаивания. Модули упругости соответствуют сумме главных напряжений 200кПа. Условное обозначение F - содержание мелких частиц в необработанном тестируемом образце, B – содержание битума в обработанном тестируемом образце. В образце, обработанном битумным вяжущим, содержание мелких частиц составляло около 5 % для материала из Лядесгло и около 6% для материала из Лепоо.

4.2.3 Результаты испытаний на остаточные деформации

На Рисунке 12 приведены суммарные остаточные деформации, накопившиеся в тестируемом образце в течение ряда испытаний на упругие деформации, согласно процедуре воздействия нагрузок SHRP (AASHTO 1992), после цикла заморозания/оттаивания и на протяжении серии длительных последовательных испытаний на остаточные деформации. Во время испытаний на остаточные деформации значительные остаточные деформации были зафиксированы в образцах с высоким содержанием мелких частиц из Лепоо и Лядесгло. В серии испытаний на остаточные деформации, проведенных после испытаний на упругие деформации образцов, материалы из Лядесгло практически «потеряли» несущую способность. То же произошло и с образцами из Лепоо, характеризующимися высоким содержанием мелких частиц. Однако, в образце, обработанном битумным вяжущим, после испытаний на упругие деформации каких-либо остаточных деформаций выявлено не было. Внимания заслуживает тот факт, что в образцах, обработанных битумной эмульсией, накопленные в ходе испытаний остаточные деформации увеличивались по мере увеличения содержания битума.

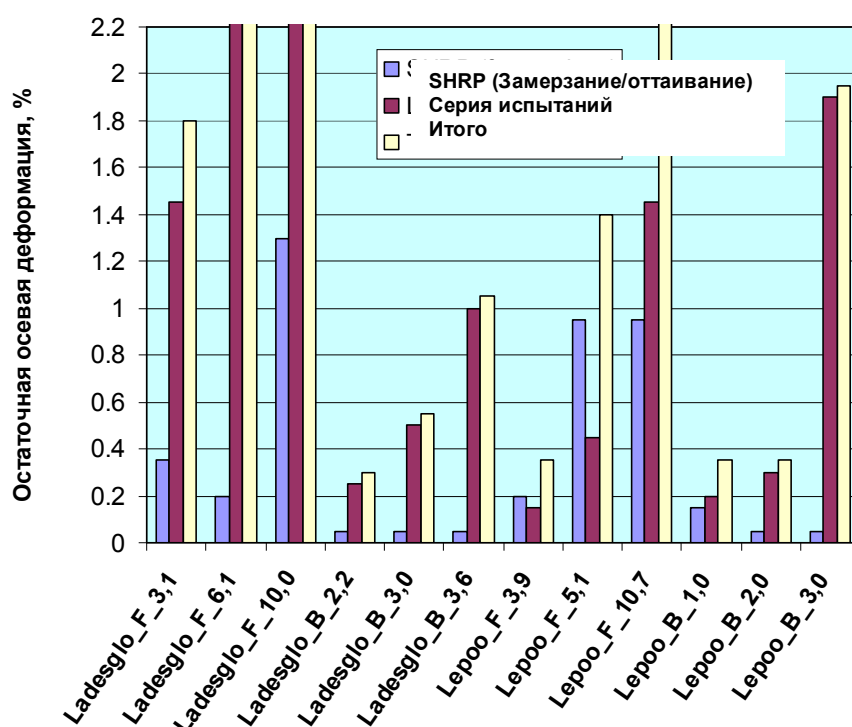


Рисунок 12. Остаточные деформации в образцах из Лядесгло и Лепоо, накопленные в результате испытаний на упругие деформации после цикла заморозания/оттаивания, а также после серии циклов воздействия 100 000-кратного приложения нагрузки с девиаторным напряжением 300 кПа и постоянным всесторонним давлением 50кПа. Показатель остаточной деформации выше 2% свидетельствует о преждевременном разрушении образца. Во время уплотнения образца из Лепоо Lepoo_B_3,0 битумная эмульсия начала преждевременно разрушаться, что привело к меньшей плотности данного образца.

Для материала из Лиллбю осуществлялись три трехмерных испытания на циклические нагрузки, симулирующие влияние сезонных изменений. В образце 'Лиллбю 0-20 мм' максимальный размер частиц был тот же, что и при испытаниях методом всасывающей трубки. Однако, образец 'Лиллбю 0-32мм' был ближе к гранулометрическому составу материала в полевых условиях, и поэтому тоже демонстрировал более крупнозернистую структуру материала. Для третьего образца была опробована идея определения влияния стабилизирующей добавки, которая согласно результатам испытаний методом всасывающей трубки, была наиболее многообещающей с позиции снижения влаговсасывающих свойств некачественных крупнозернистых материалов (Лиллбю 0-20мм + полимерный С).

На Рисунке 13 приведены результаты измерений остаточных деформаций в образцах, подвергнутых трем трехмерным испытаниям на упругие деформации. В образце Лиллбю 0-20 мм остаточные деформации составили около 1,2%, в то время как в более крупнозернистом образце – только половину от этого показателя. Рисунок показывает, что в обработанном образце остаточных деформаций после проведения испытаний на упругие деформации практически не наблюдалось.

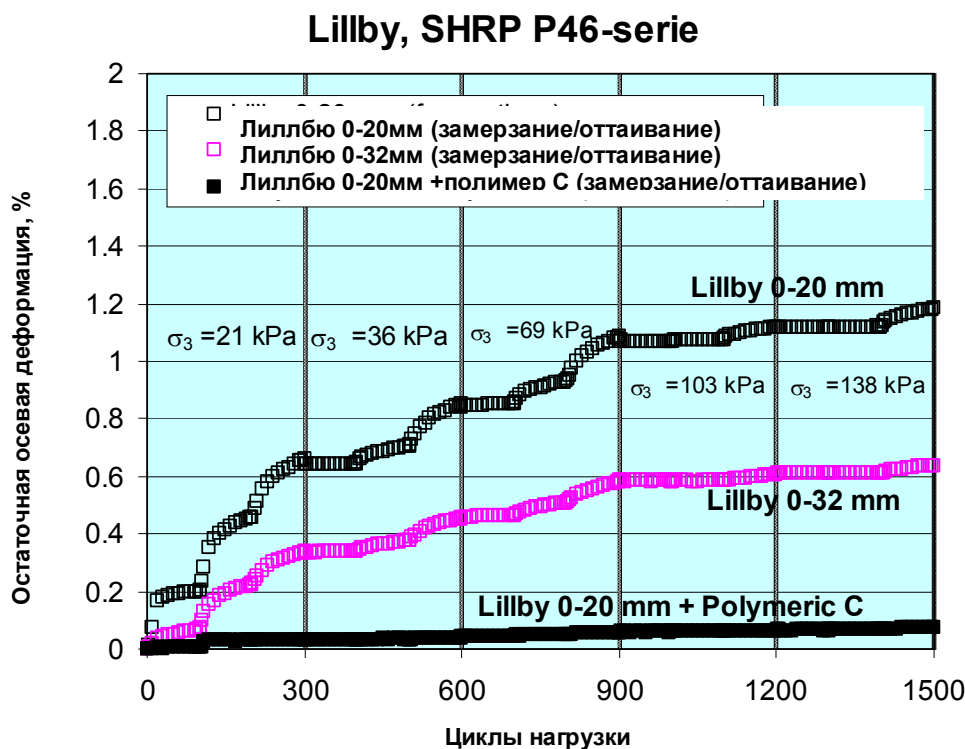


Рисунок 13 Остаточные деформации, измеренные после испытаний на упругие деформации, проведенные после цикла замерзания/оттаивания для образца из Лиллбю.

После испытаний на упругие деформации была проведена серия испытаний на остаточные деформации, состоящая из 100 000 импульсов нагрузки с девиаторным напряжением 300 кПа и под постоянным всесторонним давлением 50 кПа. Рисунок 14 показывает, что достичь требуемого девиаторного напряжения так и не удалось. Тем не менее, очевидно, что образец из Лиллбю 0-20 мм, подвергнутый влиянию значительных остаточных деформаций во время испытаний на упругие деформации, разрушался быстро, в результате чего испытания приходилось прерывать. В то же время более крупнозернистый образец материала Лиллбю 0-32мм противостоял остаточным деформациям, но все же их величина возросла. Главный вывод, следующий из Рисунка 14, заключается в том, что образец материала, обработанный полимерной добавкой С достаточно стойко противостоял остаточным деформациям. Причиной тому послужило то, что добавка предотвратила морозное пучение и последующее ослабление структуры и увлажнение материала. Кроме этого, в результате обработки несколько увеличилась прочность образца. Согласно результатам, представленным на Рисунках 9, 10, 13 и 14 полимерная добавка С является многообещающей с позиции улучшения эксплуатационных качеств гидрофильных материалов (Vuorimies et al. 2004).

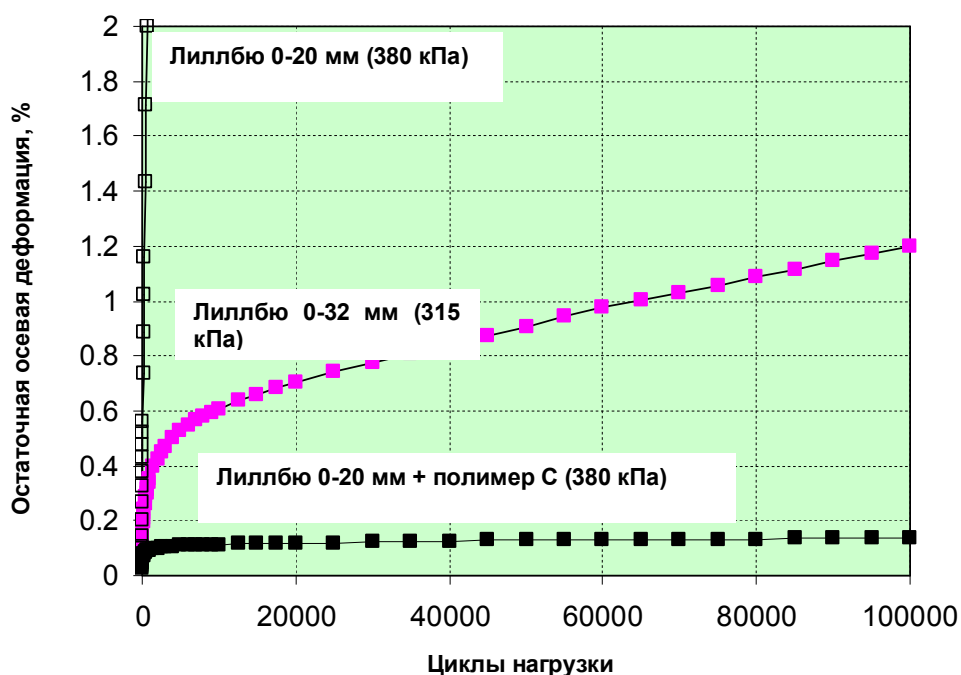


Рисунок 14 Остаточные деформации в образце материала из Лиллбю во время серии испытаний на остаточные деформации, проведенных после цикла заморозания/оттаивания. Постоянное всестороннее давление во время приложения нагрузки составляло 50 кПа при девиаторном напряжении 300 кПа. Величины напряжений, указанные в скобках, - величины девиаторных напряжений в период проведения каждого испытания.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большая часть информации, представленной в данном отчете, основана на результатах литературного обзора, а также результатах испытаний методом всасывающей трубки и серии повторных испытаний на приложение трехмерной нагрузки для симуляции влияния сезонных изменений. К сожалению, очень сложно найти хорошо документированные результаты многолетних испытаний в полевых условиях нетрадиционных стабилизирующих добавок. Недостаток опыта долгосрочного применения различных видов добавок также касается и результатов лабораторных испытаний, приведенных в данном отчете.

Очевидно, что для разных типов грунтов и дорожно-строительных материалов подходят разные стабилизирующие добавки. В дополнение к классификации стабилизирующих добавок необходимо также классифицировать грунты и дорожно-строительные материалы, как минимум, по четырем категориям. Непластичные крупнозернистые материалы можно подразделить на два класса в зависимости от содержания мелких частиц 5-12% и 12-25%. Пластичные мелкозернистые материалы также можно сгруппировать в два класса:

1. с содержанием мелких/пылеватых частиц 15-30% и показателем пластичности менее 10(12)
2. с содержанием мелких/пылеватых частиц более 25% и показателем пластичности более 10(12).

Ключевые выводы в отношении применения нетрадиционных стабилизирующих добавок для улучшения эксплуатационных характеристик дорог с низкой интенсивностью движения в районах Северной Периферии заключаются в следующем:

- Большинство коммерчески доступных стабилизирующих добавок эффективно применяются с материалами с высоким содержанием мелких/пылеватых частиц, и вероятно неприменимы для материалов основания дорожной одежды в районах с сезонным промерзанием грунтов.
- Большинство стабилизирующих добавок имеют длительное время отверждения, что ограничивает их потенциальное использование во влажном климате.
- Полимеры – самая большая группа коммерчески доступных стабилизирующих добавок. На основании опыта, полученного в рамках данного исследования, наиболее многообещающие добавки для снижения влияния влажности и циклов замерзания/оттаивания на функциональность материалов относятся именно к этой группе. По меньшей мере, таковым является полимерная стабилизирующая добавка, протестированная на материалах из Лиллбю и Тромса. Полимеры также зарекомендовали себя как дружелюбные по отношению к окружающей среде.

- Определенно можно сказать, что нетрадиционные стабилизирующие добавки обладают потенциалом стать технически и экономически конкурентоспособными альтернативами для восстановления дорог с низкой интенсивностью движения в районах Северной Периферии. Тем не менее, в этой области предстоит провести еще много исследований, поскольку применяемый в настоящее время метод проб и ошибок не учитывает фундаментальные реакции в обрабатываемых материалах и может привести к ложным выводам и заключениям. Таким образом, многие потенциально эффективные стабилизирующие добавки могут оказаться непригодными.

6 ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

AASHTO T 294-92 I (1992). Interim method of test for resilient modulus of unbound granular base/subbase materials and subgrade soils – SHRP protocol P46. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Bolander, P. (1999). Laboratory testing of nontraditional additives for stabilization of roads and trail surfaces. Transportation Research Record 1652, pp. 24-31.

Jones, D. (2002). The Development of a research protocol and fit-for-purpose certification for road additives. 21th ARRB Conference, CD-rom. S17 Stabilization I. 11 p. + 6 app.p.

Kolisoja, P. (1997) Resilient deformation characteristics of granular materials. Doctoral thesis, Tampere University of Technology, publication number 223, 216 p.

Newman, K. & Tingle, J. S..2004. Stabilization of silty sand using polymer emulsions. Transportation Research Record 2004 Annual Meeting CD-ROM paper no 04-3108, 11p. + 13 app.p.

prEN 14227-1 (2001) Unbound and hydraulically bound mixtures -Specifications- Part 1-Cement bound mixtures for road bases and subbases

Roadex project (2001). Roadex project 1998 – 2001. Creating effective technical exchange & co-operation between road districts in the NP region. CD-ROM, ISBN 951-98609-3-2.

Saarenketo, T. (1995). Using electrical methods to classify the strength properties of Texas and Finnish base course aggregates. Center for Aggregates research, 3rd Annual Symposium Proceedings, Austin, Texas, 19 p.

Saarenketo T. (2000). Tube Suction test – results of round robin tests on unbound aggregates. Finnish National Road Administration, Lapland Region, report number 19/2000. 42 p.

Saarenketo T., Kolisoja P., Vuorimies N., Yliheikkilä T. & Ylitapio T. (2000). Kantavan keroksen murskeen imupaineominaisuudet: Osat I ja II. Tampere University of Technology, Laboratory of Geotechnical Engineering, Publication 51, 71 p. + 37 app.p. and 42 p. + 20 app.p. In Finnish

Santoni, R. L., Tingle, J. S. & Webster, S. L.. 2002. Stabilization of silty sand with nontraditional additives. Transportation Research Record 1787, pp. 61 – 70.

Scholen, D. & Coghlan, S. (1991). Nonstandard stabilization of aggregate road surfaces. Transportation Research Records 1291, pp. 285-293.

Scholen, D. (1995). Stabilizer mechanisms in nonstandard stabilizers. 6th International Conference on Low-Volume roads. Vol 2. Minneapolis, Minnesota, June 25-29, 1995. Conference proceedings 6, National Academy Press, Washington, D.C. 1995. pp. 252-260.

Scullion, T. & Saarenketo, T. (1997). Using suction and dielectric measurements as performance indicators for aggregate base materials. In Transportation Research Record 1577, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 37- 44.

Tiehallinto (2002). Stabilointiohje koekäyttöön. 48 pages + 1 app.p.. In Finnish.

Vuorimies N., Kolisoja P., Saarenketo T. & Peltoniemi H. (2004). Väylämateriaalien vuodenaikaiskäyttötymistutkimusten 2001-2003 koetulokset. Tampere University of Technology, Laboratory of Foundations and Earth Structures, Publication 56, 63 p. + 10 app.p. In Finnish.

Публикации Roadex:

ROADEX II

ROADEX II - Focusing on Low Volume Roads in the Northern Periphery DVD
User Perspective to ROADEX II Test Areas' Road Network Service Level
Permanent deformation
New material treatment techniques
Managing spring thaw weakening on low volume roads
Socio-economic impacts of road conditions on low volume roads
Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat
Drainage on low traffic volume roads
Environmental guidelines
Environmental guidelines, pocket book
Road management policies for low volume roads – some proposals
Structural Innovations
Monitoring, communication and information systems & tools for focusing actions

ROADEX I

Roadex Multi-media CD-ROM
Road Condition Management of Low Traffic Volume Roads in the Northern Periphery
Winter Maintenance Practice in the Northern Periphery,
Generation of 'Snow Smoke' behind Heavy Vehicles



Copyright © 2005 Roadex II Northern Periphery. Все права защищены.

Roadex II Lead Partner: The Highland Council, Transport, Environmental & Community Service, HQ, Glenurquhart Road,
Inverness IV3 5NX Scotland.

