



ROADEX III
NORTHERN PERIPHERY



Эндрю Доусон, Паули Колисойя

УПРАВЛЕНИЕ КОЛЕЙНОСТЬЮ НА ДОРОГАХ С НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ

Резюмирующий отчет

ПЕРЕВОД НА РУССКИЙ ЯЗЫК ДЛЯ ПРОЕКТА KOLARCTIC ENPI CBC

«УПРАВЛЕНИЕ ДОРОГАМИ С НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ В БАРЕНЦ РЕГИОНЕ»



11.01043440201 Barents Low Volume Road Management project

Управление колейностью на дорогах с низкой интенсивностью движения

РЕЗЮМИРУЮЩИЙ ОТЧЕТ

Июль 2006

Эндрю Доусон
Ноттингхемский Центр инжиниринга дорожных одежд

Паули Колисойя
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

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данный документ представляет собой резюме отчета проекта ROADEXII 2005 «Остаточные деформации» и может применяться в качестве справочного руководства, поясняющего причины возникновения колейности на покрытиях дорог с низкой интенсивностью движения. Таким образом, в отчете приводятся рекомендации для владельцев дорог и дорожных служб для предотвращения колейности на строящихся или реконструируемых участках дорог посредством проектирования, а также оценки риска возникновения колейности на существующих дорогах.

Данный отчет не заменяет какие-либо рекомендации, руководства или нормы, имеющиеся в данной области, и содержащаяся в нем информация приводится для того, чтобы читатель получил более детальное представление о проблемах колейности и способах ее решения, осознал о важность данной проблемы, которой часто не уделяется должного внимания.

Отчет подготовлен г-ном Эндрю Доусоном из Центра инжиниринга дорожных одежд при Университете г. Ноттингхэм (Великобритания) и г-ном Паули Колисойя из Технологического университета г.Тампере (Финляндия). Г-н Рон Мунро руководил процессом в качестве менеджера проекта ROADEX III. Г-н Мика Пюяхухта из Лаборатории Оулу отвечал за графический дизайн отчета.

Авторы отчета хотели бы выразить благодарность Руководящей Группе ROADEX III за поддержку и руководство.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1 ВВЕДЕНИЕ	5
2 КОЛЕЙНОСТЬ	6
2.1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ	6
2.2 СТЕПЕНЬ 0	7
2.3 СТЕПЕНЬ КОЛЕЙНОСТИ 1	8
2.4 СТЕПЕНЬ КОЛЕЙНОСТИ 2	10
2.5 СТЕПЕНЬ КОЛЕЙНОСТИ 3	11
2.6 СОЧЕТАНИЕ РАЗНЫХ ФОРМ КОЛЕЙНОСТИ	11
3 НЕСВЯЗНЫЕ СЛОИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	13
4 ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА	15
4.1 ОСАДКИ	15
4.2 ЦИКЛЫ ЗАМЕРЗАНИЯ/ОТТАИВАНИЯ	15
5 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ	17
5.1 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	17
5.2 МАТЕРИАЛЫ	18
5.3 МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ	18
5.4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ	19
5.5 АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	21
5.6 РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	21
6 УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД	23
7 МЕРЫ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД	26
8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	27

1 ВВЕДЕНИЕ

В районах изучения на территории Северной периферии очень распространены дороги с гравийным и, реже, тонкослойным чернощебеночным покрытием. Как правило, такие дорожные конструкции состоят из одного или более слоев щебня, уложенного на основание (Рисунок 1.1). В качестве верхнего слоя в таких конструкциях может применяться слой щебня или тонкий слой битумного вяжущего с заклинкой щебня одной фракции. В обоих случаях, слой щебня обеспечивает основу прочности дорожного покрытия.



Рисунок 1.1 Поперечный профиль дорожной одежды с тонкослойным чернощебеночным покрытием (границы слоев помечены краской-спреем) (правообладатель фото: С. Эрлингссон)

Уплотненный щебень – эластичный материал. Если прочность слоя недостаточна, под воздействием каждой колесной нагрузки в нем возникают пластические деформации. Постепенно напряжения в слое накапливаются и вызывают колейность на покрытии. Такое поведение материала свойственно для любого слоя. Чем выше нагрузка от транспортных средств, тем более выражены деформации.

Целью данного отчета является объяснение причин возникновения колейности, описание факторов, которые на нее влияют, а также рекомендации для владельцев дорог и дорожных служб по уменьшению остроты проблемы.

2 КОЛЕЙНОСТЬ

2.1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Колейность – крайне нежелательное по ряду причин явление (см. Рисунок 2.1). Колейность чревата издержками для дорожных пользователей в виде увеличения расхода топлива и риска заноса (при наличии воды или льда на покрытии) – пример на Рисунке 2.2. Также колейность является проблемой для владельцев дорог, поскольку вода задерживается в колеях и проникает в покрытие вместо того, чтобы стекать с поверхности дороги в боковые канавы, что приводит к быстрому разрушению покрытия. Вода, попавшая в покрытие таким путем, в дальнейшем может накапливаться и образовывать скрытую колею в теле земляного полотна (см. Рисунок 2.1) и/или снижать несущую способность зернистых слоев дорожной конструкции. Последнее явление будет рассмотрено ниже.

Более того, колейность щебеночных/слоев основания может привести к разрушению верхних асфальтобетонных слоев (Рисунок 2.3). Колейность, как правило, неравномерна по протяженности дороги, и создаваемые неровности вызывают дискомфорт у пользователей. В результате увеличивается трение о боковины шин, что приводит к повышенному расходу топлива и ускорению износа шин.



Рисунок 2.2. Застой воды в колее на покрытии из черного щебня

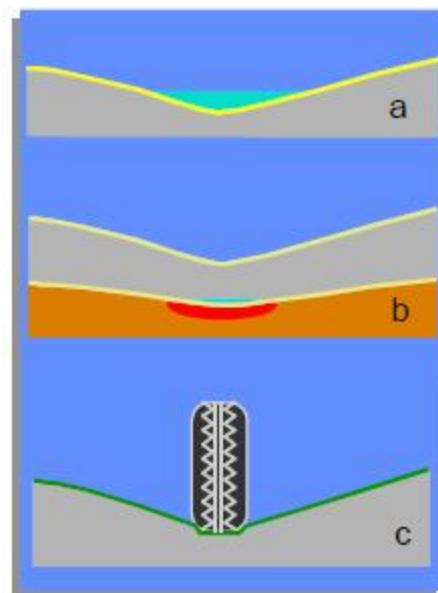


Рисунок 2.1. Причины нежелательности колейности: (a= вода в колее создает риск дорожной аварийности; b= вода, достигшая низших слоев покрытия, ослабляет их; c= повышенный износ шин)



Рисунок 2.3. Колейность нижних слоев дорожной одежды вызывает разрушение асфальтобетонных слоев

Колейность может возникнуть вследствие ряда причин. В основном, существует 4 механизма, провоцирующих развитие колеи, в результате чего колею можно классифицировать по Степени 0, 1, 2 и 3. На практике колею представляет собой комбинацию таких состояний. Далее рассмотрены все вышеперечисленные степени колеи.

2.2 СТЕПЕНЬ 0

Возникновению колеи может способствовать уплотнение неводонасыщенных материалов в покрытии (Рисунок 2.4). Как правило, уплотнение слоев покрытия перед открытием движения считается эффективным способом предотвращения дальнейшего уплотнения от движения транспортных средств.

Более того, это состояние саморегулирующее – например, уплотнение под воздействием от движения транспортных средств препятствует дальнейшему уплотнению (Рисунок 2.5). Кроме того, повышается прочность материала, и он лучше выдерживает нагрузку. Лучшее

распределение нагрузки подразумевает снижение нагрузки на земляное полотно, таким образом, снижается риск колеи на данном этапе. Колею данного типа представляет собой узкое углубление в поверхности покрытия (Рисунок 2.4). Наибольшему воздействию подвергается материал в месте контакта колеса с покрытием. Поэтому определенная степень колеи данного типа скорее преимущество, чем недостаток. Хорошее уплотнение минимизирует видимую колею.

В регионах с холодным климатом морозы в сочетании с повышенной влажностью приводят к возникновению морозного пучения. Последние исследования показали, что, несмотря на то, что пучение обычно имеет место в теле земляного полотна, оно также



Рисунок 2.4. Степень колеи 0 - уплотнение

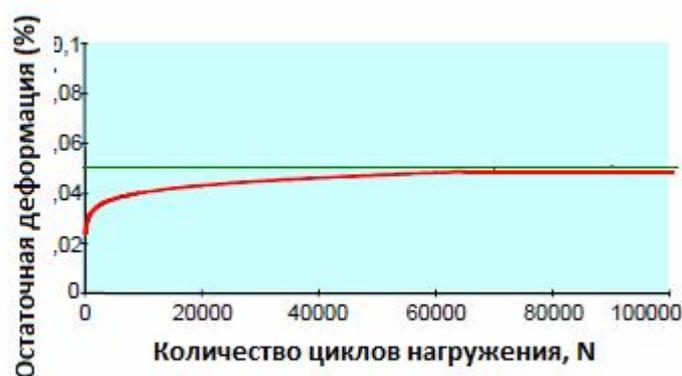


Рисунок 2.5. Развитие остаточных деформаций на примере дробленого гранодиорита

может наблюдаться и в несвязных/щебеночных слоях, особенно там, где вода ранее впиталась через несвязные слои покрытия. Такое морозное пучение приводит к разуплотнению щебеночных слоев. Поэтому весной в период оттаивания дорожной одежды и земляного полотна уплотнение слоев может привести к возникновению колеиности 0 степени. Естественная вариабельность материалов земляного полотна приводит к разным проявлениям морозного пучения по всей длине дорожного покрытия и, как следствие, к разным формам колеиности. Деформации сдвига (подробно описанные далее в разделе Степень колеиности 1) могут быть связаны с этим явлением весеннего оттаивания, поскольку несвязные слои будут значительно слабее в этот период по сравнению с периодом, когда они находятся в уплотненном состоянии. Это может привести к недопустимому уровню колеиности после нескольких периодов весеннего оттаивания.

2.3 СТЕПЕНЬ КОЛЕЙНОСТИ 1

В более слабых зернистых материалах в месте контакта колеса с покрытием может возникнуть локальное сопротивление сдвигу. Это приведет к быстрому развитию морозного пучения близко к колее движения автомобилей (Рисунок 2.6).

Этот вид колеиности, в основном, вызван недостаточной способностью сопротивляться сдвигу щебеночных материалов, которые располагаются в относительной близости к поверхности покрытия. Теория и практика устройства экспериментальных покрытий показывает, что максимальный поперечный сдвиг возникает на глубине приблизительно $1/3$ ширины колеса (или ширины пары колес в случае сдвоенных шин), т.е. на глубине примерно 15-20 см. На дорогах с возможностями для свободного



Рисунок 2.6. Стадия колеиности 1 – Деформации сдвига в гравийном покрытии, близко к поверхности.



Рисунок 2.7. Изучение лесной дороги в Шотландии. Степень колеиности 1. (фото: В. Тиррелл)

маневрирования автомобилей (широкие полосы движения, отсутствие дорожной разметки, дороги без сформировавшейся колеи) сдвиг может происходить на чуть большей глубине. На покрытиях с достаточно толстым слоем асфальтобетона критическая глубина развития деформаций сдвига вероятнее всего будет находиться на большем расстоянии от поверхности покрытия, чем треть ширины колеса, благодаря способности асфальтобетона перераспределять напряжения в покрытии.



Рисунок 2.8. Колейность на лесной дороге в Шотландии. (фото: В. Тиррелл)

На Рисунках 2.7 и 2.8 показано дорожное покрытие с колейностью 1 степени. Обратите внимание на характерные деформации обочины. Поперечный профиль дорожной конструкции со степенью колейности 1 представлен на Рисунке 2.9. Здесь четко прослеживается локальный сдвиг, вызывающий эффект «обочины». Никакой видимой деформации основания не выявлено (желтыми линиями обозначены границы слоев).

Как правило, для данной степени колейности не характерна деформация поверхности земляного полотна. Данный тип колейности часто встречается в Скандинавии, подверженной сезонным промерзаниям грунтов. В большинстве случаев основным фактором, содействующим накоплению колейности, является некачественный щебень, теряющий свою способность воспринимать нагрузку в течение короткого промежутка времени в период весеннего оттаивания и переувлажнения конструкций. В остальное время года этот же материал, хорошо уплотненный (см. Степень 0 и выше) и дренированный, скорее всего, будет обладать требуемыми эксплуатационными свойствами.



Рисунок 2.9. Покрытие дороги, показанной на Рис. 2.7 и 2.8, в поперечном сечении. (Границы слоев обозначены краской-спреем) (фото: В. Тиррелл)

Единственным решением для устранения данного вида колейности является повышение качества щебеночного материала или снижение осевых нагрузок. Улучшение земляного полотна не окажет влияния на развитие данного типа колейности. Зернистый материал может быть улучшен посредством уплотнения (до определенного предела), стабилизации, усиления геосинтетикой или улучшения условий, контролируемых свойствами зернистого материала – например, дренаж. Основной отчет, резюме которого является данный документ, содержит более подробную информацию по этой теме [см. Даусон и Колисоа, 2005]. В случае, если ни одна из вышеперечисленных мер не дала результата, необходимо заменить щебеночный слой. В качестве альтернативы может быть рекомендовано понижение давления воздуха в шинах.

2.4 СТЕПЕНЬ КОЛЕЙНОСТИ 2



Рисунок 2.10. Стадия колейности 2 – деформации сдвига в основании и зернистый материал, повторяющий форму основания



Рисунок 2.11. Ярко выраженная колейность 2 степени, показанная в поперечном сечении покрытия на очень слабом основании (фото: В. Тиррелл)

При лучшем качестве заполнителя, колейности может подвергаться покрытие в целом. Рисунок 2.10 иллюстрирует идеализированный вид деформации основания, в то время как зернистый слой/слои полностью повторяет его очертания (без утоньшения). Очертания прогиба покрытия представляют собой широкую колею с небольшими пучинами на некотором расстоянии от колеса (поскольку именно смещение грунта вызывает эту проблему). Ярковыраженная колейность 2 степени проиллюстрирована Рисунком 2.11. В данном случае поверхностную колею засыпали новым материалом, однако колейность на границе с земляным полотном возобновлялась и щебеночные слои следовали за основанием, повторяя форму его поверхности. Материал основания начал «выжиматься» вверх и вбок между колеями от колес и по кромке – ярковыраженный

случай вращательного сдвига в земляном полотне, проиллюстрированный на Рисунке 2.10 и обозначенный стрелками.

В регионах, подверженных сезонным промерзаниям грунтов, проблема весеннего оттаивания, описанная выше, может привести к возникновению колейности 2 степени. В этом случае колейность 2 степени может наблюдаться только в весенний период, когда земляное полотно в течение нескольких недель находится в ослабленном состоянии из-за переувлажнения грунтов.

Решением упомянутой проблемы является повышение качества или увеличение толщины слоя щебня для лучшего распределения нагрузок. В этом случае нагрузка на земляное полотно уменьшится. Также возможно ограничить весовые нагрузки (не колесные, а весовые), что оказывает непосредственное влияние на величину напряжения по глубине.

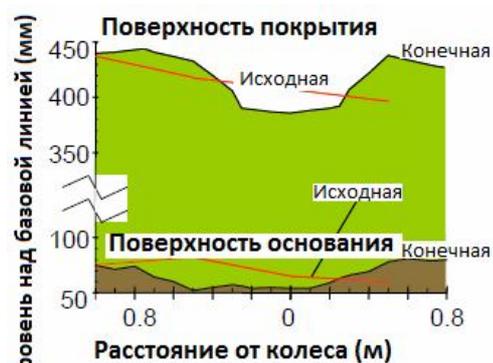


Рисунок 2.12. Колейность в поперечном разрезе

2.5 СТЕПЕНЬ КОЛЕЙНОСТИ 3

Повреждение частиц материала покрытия (например, в результате истирания, например, шипованными шинами) может содействовать возникновению колейности, проявления которой схожи с проявлениями колейности 0 степени (Рисунок 2.4), однако, механизм ее образования совершенно иной. В случае избытка мелких/пылеватых частиц, последние могут заполнить поры и повысить чувствительность материала к воздействию воды.

2.6 СОЧЕТАНИЕ РАЗНЫХ ФОРМ КОЛЕЙНОСТИ

На практике колейность, как правило, представляет собой комбинацию перечисленных выше видов. Данные, полученные в результате ряда экспериментов по устройству покрытий в Шотландии, показали истончение зернистого слоя (Степень колейности 1), и прогиб на границе земляного полотна (Степень колейности 2) – см. Рисунок 2.12. Локализованные пучины (возвышения), образующиеся рядом со следом от колеса, видны достаточно четко, в то время как деформация в земляном полотне менее очевидна по сравнению с прогибом покрытия.

Предположительно (что и подтверждено наблюдениями) степень колейности 1 будет более очевидна в случае канализированного движения (например, как в случае с большинством лесных дорог), когда след колеса не может быть изменен, в то время как щебеночный слой, как правило, уплотнен (Степени колейности 0). Наоборот, степень колейности 2 будет более заметна в случае маневрирующего транспорта (когда движение не осуществляется строго по колее), а наличие колейности 0 степени будет способствовать ее развитию, поскольку «блуждание» колеса содействует уплотнению.

3 НЕСВЯЗНЫЕ СЛОИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Структурные слои дорожной одежды, рассматриваемые в данном отчете, практически всегда представлены уплотненным гранулированным материалом. Он может быть получен из песка или гравия аллювиального или ледникового происхождения или из карьеров каменных материалов (Рисунки 3.1-3.4), полностью или частично дробленых. В любом случае, дальние расстояния до центров переработки каменных материалов, как правило, вынуждают искать ближайшие места добычи каменных материалов в целях сокращения затрат. При этом, материал может быть не лучшего качества.



Рисунок 3.1. Гравий ледникового происхождения из эскерного месторождения, Швеция



Рисунок 3.2. Щебеночный карьер (граувакка-глинистый сланец) в Балунтоне, Шотландия. фото: В. Тиррелл).



Рисунок 3.3. Гравий аллювиального происхождения после частичного дробления.



Рисунок 3.4. Частично раздробленный щебень аллювиального происхождения на гравийной дороге.

Поскольку щебень – геотехнический материал, он, как и все остальные грунты, имеет свой предел прочности – в частности, он ослабляется избыточной водой, проникающей в поры между частицами. Под транспортными нагрузкам в воде, содержащейся в пустотах между фракциями щебня, создается повышенное давление, которое противодействует усилиям, удерживающим частицы щебня вместе (Рисунок 3.5). Поэтому напряжение связи

между фракциями щебня не столь велико, как могло бы быть. В свою очередь, это означает, что величина трения между частицами меньше желаемых значений, а сопротивление трению и устойчивость к деформациям снижены до определенного уровня. Таким образом, наличие воды в порах материала превращает качественный материал в слабый. Важной характеристикой, определяющей качество материала, является размер частиц. Большой размер частиц определяет и наличие больших пор. Вода быстро дренируется через такой материал, поэтому устойчивость к колебанию даже при умеренной влажности будет достаточной. С другой стороны, мелкие частицы удерживают воду (всасывая воду через поры под действием капиллярного эффекта), поэтому эксплуатационные качества таких материалов во влажную погоду ухудшаются, что особенно очевидно в период весеннего оттаивания.

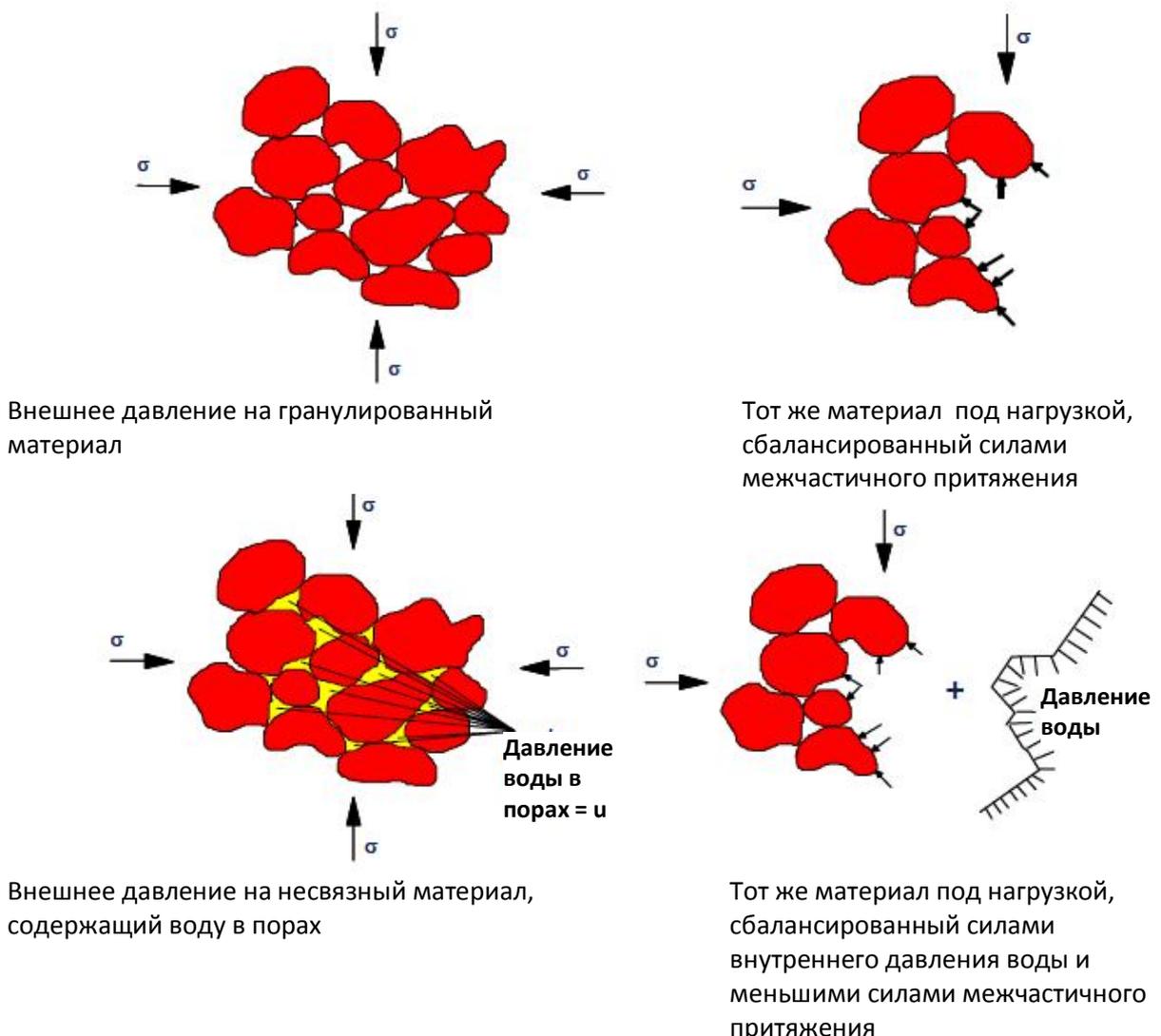


Рисунок 3.5 Влияние низкого порового давления воды в обеспечении высокого притяжения между частицами, а, следовательно, хороших фрикционных характеристик.

4 ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА

Климат Северной Периферии оказывает значительное влияние на строительство автомобильных дорог, и устройство дорожной одежды не является исключением. Рассмотрению подлежат два основных аспекта:

4.1 ОСАДКИ

Дождевая вода стремится проникнуть в дорожную конструкцию. В мелкозернистых материалах силы капиллярного всасывания содействуют проникновению воды внутрь конструкции. Эффект будет меньшим, если поверхность обработана битумосодержащим материалом, однако такой герметик легко разрушается, позволяя воде проникнуть в образовавшиеся трещины. Полностью предотвратить возникновение этой проблемы невозможно, однако использование крупнозернистого материала, обеспечение достаточного поперечного уклона (>4%) и битумная обработка покрытия (или заклиновка меньшей фракцией с хорошим уплотнением) также будут ограничивать проникновение атмосферных осадков в конструкцию. Функционирующие дренажи также важны. Большинство дорожных конструкций обеспечены каким-либо дренажом, как минимум – боковыми канавами. Однако, в условиях ограниченных дорожных бюджетов возможно, что работы по содержанию водоотводной системы могут быть отложены. Несомненно, это подход недалековиден. Более детально вопросы обеспечения водоотвода рассматриваются в Отчете Проекта Roadex II [Berntsen et al, 2005], а также в резюмирующем отчете [Aho & Saarenketo, 2006].

4.2 ЦИКЛЫ ЗАМЕРЗАНИЯ/ОТТАИВАНИЯ

Под воздействием низких температур вода в дорожной конструкции замерзает. По мере проникания фронта промерзания вглубь дорожной конструкции в период длительных холодов вода стремится к точке промерзания. Так избыточная вода накапливается в дорожной конструкции в форме льда. В период весеннего оттаивания эта вода удерживается в порах материала, не в состоянии покинуть дорожную конструкцию, поскольку система водоотвода находится в промерзшем состоянии. Возможным решением такой проблемы может стать использование крупнозернистого материала, мало подверженный всасыванию избыточной воды. В частности, слой крупнозернистого материала станет капиллярным прерывателем,

препятствующем притяжению воды к фронту промерзания, расположенному чуть выше в гранулированных слоях.

В большинстве случаев проблемой является избыточная вода, способствующая снижению фрикционных сил (Рисунок 3.5), а, следовательно, ускорению образования колеи.

На Рисунке 4.1 проиллюстрирована зависимость температуры, величины осадков и влажности дорожной конструкции. Влияние промерзания и высокой влажности сразу после оттаивания очевидно. Влияние сильных ливней также прослеживается в краткосрочном увеличении влажности дорожной конструкции. Повышенное содержание мелких/пылеватых частиц в нижнем слое основания также может привести к повышению влажности и ухудшению функциональности водоотвода.

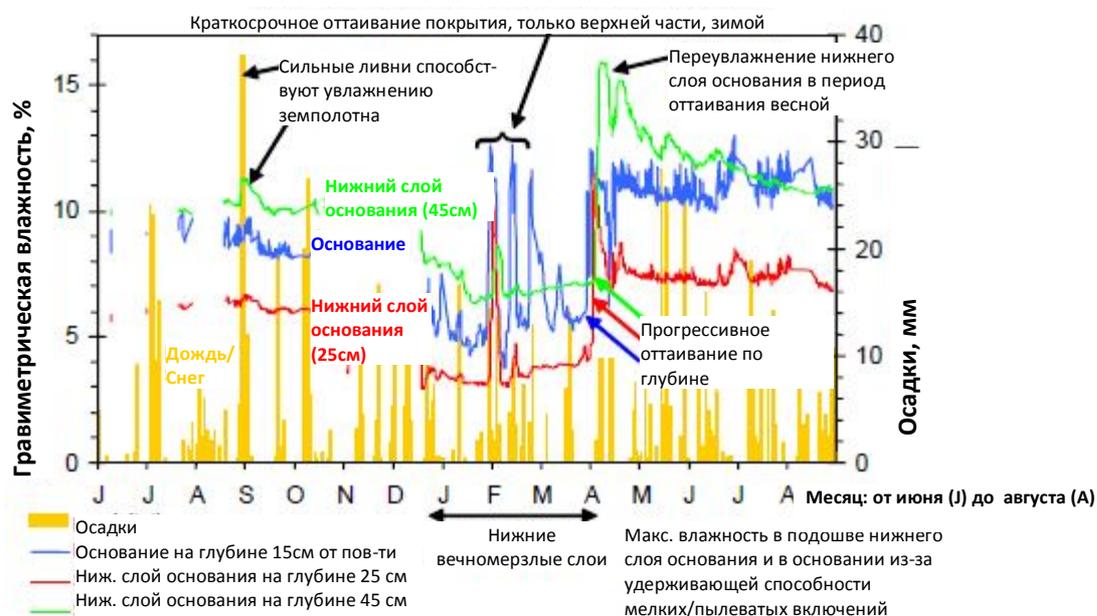


Рисунок 4.1. Природно-климатические данные для участка автомобильной дороги за период 14 месяцев: свободная весовая влажность по данным датчиков TDR, на трех глубинах, с учетом осадков [COURAGE, 1999]

Рисунок 4.1 показывает, что даже в зимний период в дорожной конструкции имеется примерно 5% незамерзшей воды. Данная диаграмма, скорее всего, некорректна, что является следствием ограничений инструментария и технологии интерпретации полученных данных. В действительности незамерзшая поровая вода составляет менее 0.5% грунта по объему.

5 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ

Цель исследований – дать владельцам дорог и эксплуатирующим организациям рекомендации по практикам содержания и выбору материалов с целью улучшения транспортно-эксплуатационных качеств дорожных конструкций. Простые способы оценки риска возникновения остаточных деформаций необходимы владельцам дорог для оценки существующих конструкций, проектирования мер по усилению, определения толщин дорожных одежд дорог общего пользования с низкой интенсивностью движения и частных/ведомственных лесных дорог, а также для установления разумных весовых ограничений в неблагоприятные периоды года.

Для этого было решено воспользоваться имеющимися данными по всему многообразию материалов и ранее реализованных проектов и подкрепить специальными экспериментальными исследованиями двух материалов с разным гранулометрическим составом, эксплуатирующихся в разных влажностных режимах. Полученные в результате данные были использованы в расчетах напряжений в дорожной конструкции под воздействием типичного тяжелого грузового движения, что позволило выполнить оценку риска колейности на рассматриваемых покрытиях.

5.1 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной метод исследований заключается в:

- исследовании материалов для определения их устойчивости к повторным/многократным нагрузкам,
- использовании полученных результатов в расчетах напряжений в дорожной конструкции, устроенной с применением этих материалов
- определении тех слоев дорожной конструкции, в которых под нагрузкой могут возникать пластические деформации,
- расчете толщины дорожной конструкции, которая будет деформироваться под воздействием этих нагрузок, приводя к колеобразованию,
- соотнесении результатов применения метода простейшей оценки с данными исследований качества материалов. Этот способ позволяет определить риск колейности для того или иного типа материала дорожной одежды или земляного полотна без каких-либо сложных лабораторных испытаний,
- выработке общих заключений и рекомендаций, исходя из полученных результатов, в частности, в отношении проектирования и оценки.

Этот резюмирующий отчет не может вместить в себя все подробности выполненной работы. Более того, включение подробностей приведет к размыванию основной преследуемой данным отчетом цели – представить краткий и четкий обзор, поэтому здесь приводятся лишь некоторые аспекты, в то время как с деталями можно ознакомиться в основном отчете [Dawson & Kolisoja, 2005], краткой версией которого и является настоящий документ.

5.2 МАТЕРИАЛЫ

Для целей данного проекта специально были протестированы два различных материала. Один – среднего качества метаморфический материал из Шотландии, второй – более высокого качества дробленый гравий из Норвегии. Дополнительно авторами данного отчета приводятся данные по ряду материалов, применяемых в других странах, включая те, что использовались на станции экологической оценки состояния дорожной одежды ('Percostation') в Северной Финляндии. Вместе эти данные позволяют представить себе широкий спектр материалов разного геологического происхождения, гранулометрического состава, качества, формы, т.д. Большинство материалов, на основании результатов изучения которых в этом отчете построены заключения, являются разновидностями дробленых горных пород, однако также рассматриваются и такие материалы, как песок и гравий. Материалы были протестированы при различных уровнях влажности и степени измельчения, а некоторые подверглись воздействию циклов замерзания/оттаивания.

5.3 МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Наиболее часто используемым методом исследования является метод трехосного сжатия под многократным приложением нагрузки, который позволяет определить развитие остаточных деформаций. Это лабораторное устройство позволяет симулировать воздействие на образец нагрузки от тысячи проходящих транспортных средств, причем для достижения необходимого эффекта достаточно нескольких часов. Напряжения и влажность образца могут поддерживаться на уровне, близком к реальным дорожным условиям.

Эксперименты проводились с разными материалами при разной влажности, причем некоторые подвергались замораживанию/оттаиванию, при различных уровнях усилий – при многократном приложении нагрузки. Также проводились другие испытания образцов, включая испытания на прочность, упругость (жесткость), анализ гранулометрического состава, тест на уплотнение, оценку диэлектрических свойств (тест всасывающей трубкой).

5.4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Результаты испытаний показывают, что диэлектрический показатель материала служит косвенным показателем его механических свойств. Предполагается, что по величине диэлектрического показателя (Saarenketo, et al. 1998) возможно отбраковать материалы, непригодные для дорожного строительства. Значения показателя >9 характерны для материалов, неустойчивых к остаточным деформациям. В регионах со сменой циклов замерзания/оттаивания такой диэлектрический показатель - гарантия низкой сопротивляемости остаточным деформациям. Показатель >16 свидетельствует о том, что материал при любых климатических условиях будет неустойчив в развитии остаточных деформаций.

Жесткость материала

Испытания показали, что увеличение доли мелких/пылеватых частиц и повышение влажности оказывают значительное влияние на механическое поведение материала. Было выявлено, что материал с высокой долей мелких/пылеватых частиц обладал большей влажностью, поскольку поры между частицами могли вобрать в себя больше воды, чем это было бы в случае крупнозернистых материалов. По мере увеличения влажности жесткость материала снижается. На практике это означает, что мелкозернистые материалы способны поглотить больше воды, поэтому слои дорожной одежды, при устройстве которых использованы вышеупомянутые материалы, будут хуже распределять нагрузку, а, следовательно, нагрузка на земляное полотно возрастет, а вместе с ростом напряжений увеличится и риск колейности на поверхности земляного полотна (Степень колейности 2, рассмотренная в главе 2).

Пластические свойства материала

Под воздействием многократно повторяющихся нагрузок, как это происходит в условиях движения транспорта по дороге, постепенно происходит накопление пластических деформаций. Рисунок 5.1 иллюстрирует реакцию материала на нагрузки. Желаемым поведением материала является Диапазон А, поскольку деформации (колейность на покрытии) возникают вначале, но потом конструкция восстанавливается. Величина деформации (колеи), при которой поведение материала в диапазоне А стабилизируется, во многом зависит от его влажности.

Анализ и опыт эксплуатации гранулированных материалов показывает, что лишь немногие материалы могут эксплуатироваться под транспортной нагрузкой, не выходя из диапазона А. В то

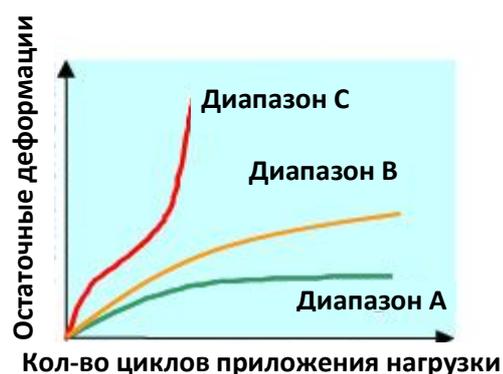


Рисунок 5.1 Индикативные остаточные деформации

же время, эксплуатация большинства гравийных покрытий или тонкослойных битумосодержащих покрытий осуществляется в рамках диапазона В. Диапазон А возможен в случае толстого слоя асфальтобетонного покрытия (> 80мм). Цель каждого инженера, работающего с тонкослойными битумосодержащими или гравийными покрытиями, - обеспечить поведение материала в диапазоне В, а не С, когда происходит разрушение дорожной конструкции. Кроме того, кривая поведения в диапазоне В должна быть как можно более сглаженной, результатом чего является увеличение срока службы дорожной одежды. Важным фактором при определении развития пластических деформаций является погрешность. При многократном приложении к образцу определенной нагрузки в нем возникают пластические деформации. При приложении к образцу большей многократно повторяющейся нагрузки наблюдалось также и увеличение уровня пластических деформаций. Было обнаружено, что уровень, при котором накапливается пластическое напряжение, тесно связан с соотношением напряженного состояния и условий приложения нагрузки, необходимых, чтобы вызвать разрушение с помощью приложения единичной нагрузки.

Таким образом, исходя из результатов исследований упомянутых материалов и с учетом данных из других источников, величина пластических деформаций в материале возрастает при:

- увеличении влажности материала,
- замерзании и последующем оттаивании материала,
- усилиях, близких к условиям при разрушениях при статической нагрузке

Для целей проектирования, учитывая все вышесказанное, необходимо обеспечить гарантию того, что усилия в любой из зон дорожной конструкции не должны превышать допустимых величин. Ранее исследователи предполагали, что девиаторное (или сдвиговое) напряжение ограничено 70% того, что вызывает разрушения при статической нагрузке при тех же условиях. Данные, полученные в рамках настоящих исследований, свидетельствуют о том, что это предположение имеет право на существование. Однако, исследования, проведенные в рамках этого проекта, показывают, что это ограничение, при необходимости удержания колейности на минимальном уровне, составляет только 50-55% при высокой влажности материала и наличии пылеватых частиц, препятствующих быстрому отводу воды, или в период весеннего оттаивания. Результаты испытаний методом всасывающей трубки позволяют установить, является ли материал «влажным/содержащим пылеватые частицы» или «нормальным» (т.е. применять ли к нему ограничение по нагрузке 50-55% или 70%?). Границу между этими двумя видами материалов определяет диэлектрический показатель <9 (коэффициент пустотности >0.33).

5.5 АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Модули упругости слоев дорожной одежды, определяемые при лабораторных испытаниях, применялись в компьютерной модели для прогнозирования уровней напряжений в дорожных одеждах разного типа и толщины. Анализ проводился для асфальтобетона толщиной от 1мм до 200мм, однако для целей данного проекта актуальны результаты только по тонкослойным асфальтобетонным покрытиям.

5.6 РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Применяя компьютерный анализ прочности дорожной одежды, можно определить напряжения в слоях. Расчет не столь прост, поскольку материал обладает модулем упругости (жесткостью), который зависит от усилий, а те в свою очередь – от модуля упругости, что требует итеративного (многошагового) анализа. По нахождению баланса усилий и модулей можно оценить вероятностную скорость развития пластических деформаций в любой точке дорожной одежды методом испытаний на трехосное сжатие под многократно повторяющейся нагрузкой.

Наблюдения за колеобразованием в щебеночном слое (Степень колейности 1)

Расчеты показали, что необходимо увеличение толщины асфальтобетонного слоя более порогового значения (возможно, >4см), если необходимо эффективно распределить нагрузку и значительно снизить напряжения в нижних слоях основания. В противном случае, слой будет выполнять лишь функцию защитного слоя, не перераспределяя нагрузки от тяжелого транспорта. Согласно пункту 5.4, близость к разрушениям при статических нагрузках тесно связана с величиной, при достижении которой начинает формироваться колейность. Анализ показал, что материал наиболее близок к разрушению под статической нагрузкой на глубине 10-15см от поверхности (примерно 9-14см вглубь слоя). Именно на этой глубине проектировщик должен минимизировать уровень напряжений, чтобы уменьшить колеобразование в щебеночном слое. Этого можно достичь, «сдвигая» кривую отказов, например, в результате повышения качества зернистого материала за счет лучшего водоотвода или применения стабилизирующих добавок или путем устройства тонкого асфальтобетонного слоя. Для примера этот подход был применен к шотландскому образцу материала. В сухом состоянии при умеренной доле мелких/пылеватых частиц максимальные напряжения возникали по достижении примерно 65% (2см асфальтобетонный слой) и 80% (1см слой асфальтобетона) от величины, при которой происходит разрушение при статической нагрузке. Полевые наблюдения за поведением этого материала свидетельствуют, что он подвержен колеобразованию под воздействием транспортной нагрузки,

особенно во влажную погоду. С учетом полевого опыта для предотвращения колееобразования при использовании шотландского материала девиаторное напряжение должно составлять 75-80% прочности на разрушение при статической нагрузке. Эта величина согласуется с опубликованными ранее показателями из других источников.

Наблюдения за колееобразованием в земляном полотне (Степень колейности 2)

С увеличением толщины щебеночного слоя уменьшается нагрузка на земляное полотно. В лаборатории проводились испытания разных материалов с выполнением анализа влияния разной толщины слоев и напряжений в верхней части земляного полотна. Полученные результаты четко свидетельствовали о том, что уменьшение влажности или доли пылеватых частиц способствует лучшему перераспределению транспортной нагрузки от транспорта, снижая нагрузку на земляное полотно. Расчеты также показывают, что толщину щебеночного слоя необходимо увеличить на 14-73% от толщины слоя сухого крупнозернистого материала. Увеличение толщины на 85-92% потребуется для материала, подвергшегося замерзанию/оттаиванию. Материалы с большей долей мелких/пылеватых частиц в составе требуют тех же подходов, что и материалы с повышенной влажностью. Таким образом, толщина слоев сухих материалов без примесей может быть меньше для достижения эксплуатационных характеристик, позволяющих избежать возникновения колейности 2 степени (земляное полотно). В ряде случаев толщину слоя можно сократить наполовину, при этом колейность останется на прежнем уровне.

6 УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД

На основе результатов лабораторных испытаний, компьютерного анализа, опубликованных данных из других источников, а также с учетом практического опыта членов исследовательской команды проектом была разработана процедура для применения полученных данных. В действительности, была создана упрощенная процедура совмещения фундаментальных знаний о свойствах материалов, механизмов колееобразования и анализа усилий в формате, удобном для применения инженерами



Рисунок 6.1 Испытания методом всасывающей трубки

Северной Периферии. Маловероятно, что у этих инженеров-дорожников имеется достаточно времени, средств дорожных бюджетов, компетенции и инструментария, чтобы провести исследования, аналогичные проведенным в рамках данного проекта. Поэтому предлагаемая процедура основана на подходе, примененном в Разделе 5 (упрощенные технологии).

Чувствительность материалов к воде следует определять при помощи испытания всасывающей трубкой (Tube Suction Test, см. Рисунок 6.1) (для первой оценки дренирующей способности можно определить коэффициент пустотности).

Образец материала уплотняют, увлажняют и оставляют для дренирования. Если диэлектрический показатель материала, определенный методом испытаний всасывающей трубкой, высокий, то эксплуатационные качества материала – неудовлетворительны. Оценка качества может проводиться следующим образом. Для определения напряжений в зернистых слоях дорожной одежды вблизи следа колеса анализ методом конечных элементов может быть заменен диаграммами напряжений (Рисунок 6.2).

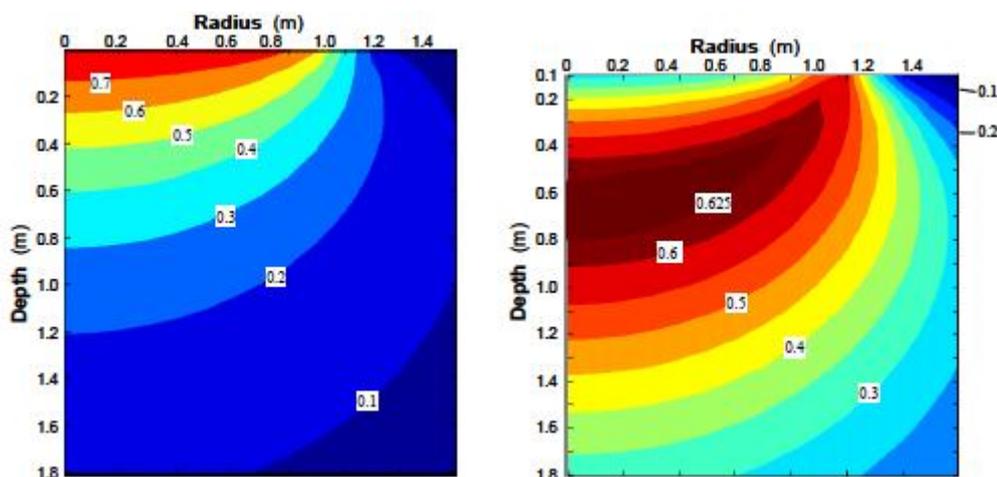


Рисунок 6.2 Напряжения (доли давления воздуха в шинах) в месте приложения нагрузки радиусом 1м. Слева: средние напряжения. Справа: девиаторные напряжения.

Применение этих диаграмм подробно описано в основном отчете, резюме которого является данный документ [Dawson & Kolisoja, 2005] . Диаграммы основаны на анализе напряжений



Рисунок 6.3 Динамический конусный пенетrometer (DCP)

Буссинеска, поскольку для его проведения не требуются значения модулей упругости материалов. Этот метод неприменим при наличии в дорожной конструкции асфальтобетонного слоя, поскольку подход Буссинеска предполагает только один слой покрытия, но при этом позволяет аппроксимировать напряжения в несвязных слоях, что является критическим вопросом. Для оценки прочности материала рекомендуется проведение испытаний динамическим конусным пенетрометром (см. Рисунок 6.3), как простого полевого метода быстрого получения данных (хотя и не всегда точных). Полученные величины напряжений затем можно сравнить с данными по прочности, чтобы определить адекватность несвязного материала для применения в дорожной одежде. Такой подход позволяет оценить качество материала и, при необходимости, предложить меры по его улучшению или по снижению усилий в слоях (например, за счет устройства асфальтобетонного

слоя). Для определения напряжений в земляном полотне можно воспользоваться простой общедоступной программой анализа напряжений. Несущую способность земляного полотна можно определить, например, по результатам испытаний грунта на сдвиг крыльчаткой. Результатов сравнения двух показателей может стать увеличение толщины несвязного слоя до величины, при которой напряжения в земляном полотне сокращаются до допустимого уровня. Процедура в целом, включающая вышеупомянутые методы, представлена на Рисунке 6.4.

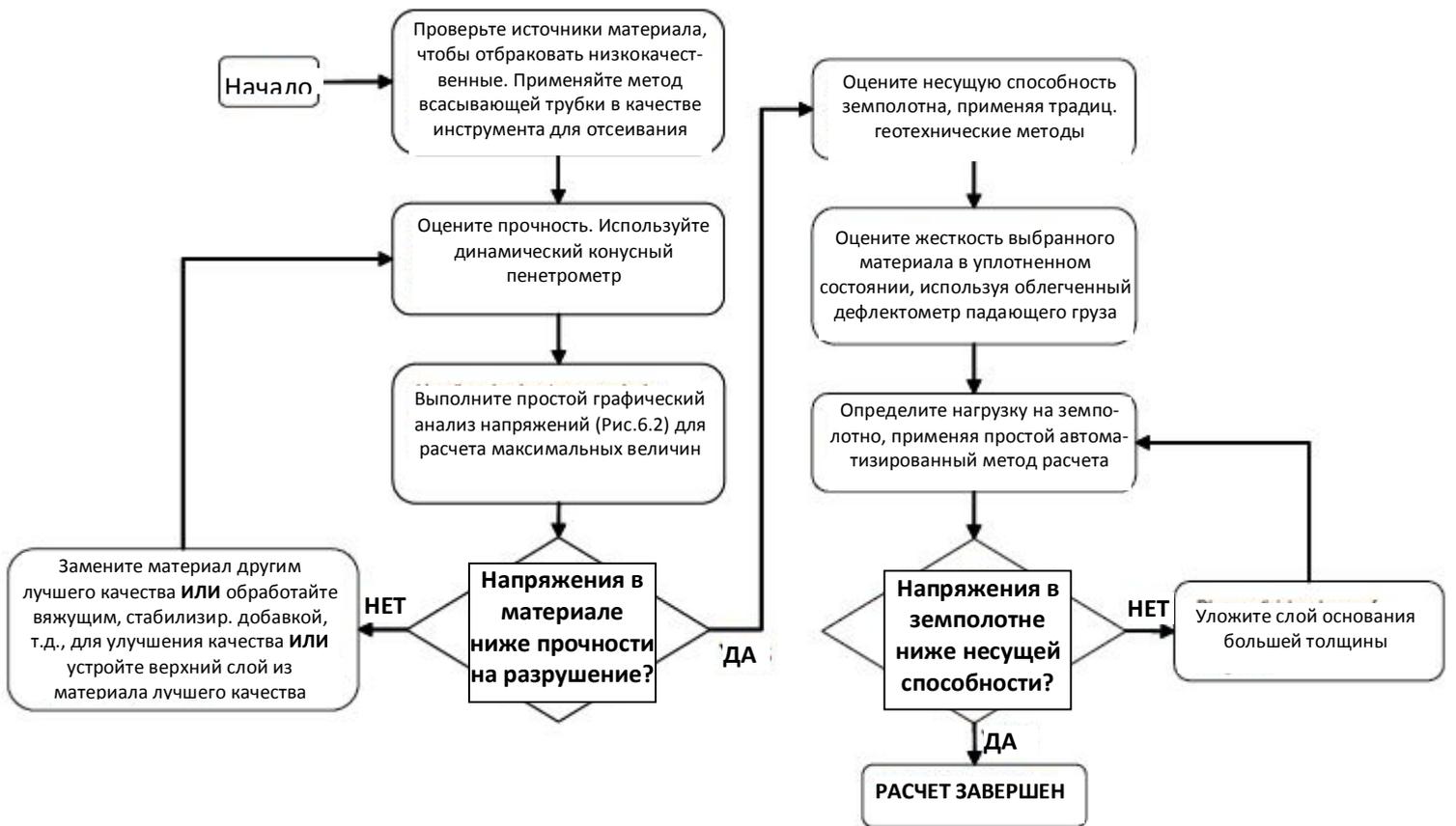


Рисунок 6.4 Резюмирующая схема-алгоритм процедуры проектирования/оценки

7 МЕРЫ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Большинство инженеров скорее сосредоточатся на содержании и ремонте дорожной одежды, чем на проектировании и устройстве новой. В принципе, этот же подход может быть применен и к оценке в полевых условиях при помощи динамического конусного пенетрометра (несвязные материалы) и крыльчатки (глина и суглинки), и при прогнозировании соответствующих показателей. Если расчетная толщина занижена и на дороге образовалась колейность, то потребуется устройство нового верхнего слоя. Если качество несвязного материала низкое, то потребуется укладка дополнительного слоя, и предложенный метод может быть применен для проверки допустимости напряжений в старом слое.

Также, для оценки водочувствительности материалов можно провести испытания методом всасывающей трубки. В целом, инженер должен позаботиться об отборе репрезентативного образца дорожной конструкции. Эта задача не всегда так проста, поскольку сегрегация покрытия из несвязного (гравийного) материала под действием движения транспорта и в результате грейдерования может дать типичный гранулометрический состав покрытия, в то время как результатом влияния морозов, капиллярного поднятия воды и колейности может стать неравномерное распределение пылеватых частиц в дорожной одежде.

8 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в данном документе исследования, лабораторные испытания, компьютерный анализ и интерпретация полученных данных преследуют цель создания упрощенного метода проектирования дорожных одежд для дорог с низкой интенсивностью движения в Северной Периферии, основанного на глубоком понимании теории. Эмпирические подходы ценны, но не позволяют сформировать понимание ключевых концепций, влияний и ответных действий. Таким образом, сочетая последние теоретические знания с эмпирическими заключениями, данный подход служит практическим инструментом для инженеров, отвечающих за состояние дорог с низкой интенсивностью движения Северной Европы. Представленные здесь и в основном отчете значения параметров требуют проверки в реальных условиях, однако авторы надеются, что наличие этих данных мотивирует инженеров провести оценку материалов с применением способов, описанных выше и сравнить прогнозируемые показатели с фактическими. В случае, если маргинальные материалы будут применяться при строительстве дорог с большей уверенностью в том, что они под нагрузкой и при определенных условиях смогут противостоять колееобразованию, в долгосрочном измерении это может принести выгоды. Аналогичным образом, долгосрочного эффекта можно достичь, если эти материалы можно будет использовать для предотвращения колейности в земляном полотне.