ОДМ 218.3.119-2019

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ НЕЖЁСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ОСНОВАНИЯМИ ИЗ УКРЕПЛЕННЫХ ИЛИ ОБРАБОТАННЫХ ВЯЖУЩИМИ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ГРУНТОВ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2019

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН АО «Институт «Стройпроект» при участии к.т.н. Беляева Н. Н. (научный руководитель), инж. Васильева А. Ю., инж. Вишневецкой А. Ю., к.т.н. Герчина Д. В., инж. Горохова М. Ю., к.т.н. Гунина С. О., инж. Ефименко О. В., к.т.н. Иванова П. В., к.э.н. Коростелева В. А., инж. Костина К. С., проф. Лазарева Ю. Г., д.т.н. Меренцовой Г. С., к.т.н. Паневина Н. И., инж. Шутрова А. В.

2 ВНЕСЕН Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от «08» июня 2020 г. № 1724-р

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения 4

2 Нормативные ссылки 5

3 Термины и определения 7

4 Введение 10

5 Общие сведения о нежестких дорожных одеждах с основаниями из укрепленных материалов 10

6 Методические рекомендации по проектированию нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов 17

7. Технические требования к материалам для нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов 20

8. Рекомендации по строительству нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов 23

9. Строительный контроль 33

10. Рекомендации по эксплуатации и ремонту нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов 39

Библиография.....48

Приложение А.....52

Приложение Б.....56

Приложение В.....58

Приложение Г.....60

Приложение Д 67

Приложение Е.....68

Приложение Ж.....89

Приложение З.....114

Методические рекомендации по применению нежёстких дорожных одежд с основаниями из укрепленных или обработанных вяжущими каменных материалов и грунтов

1 Область применения

1.1 Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее ОДМ) разработан в дополнение и развитие действующей нормативной базы дорожного хозяйства и содержит рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации нежестких дорожных одежд с монолитными слоями оснований из укрепленных или обработанных вяжущими каменных материалов и грунтов (далее по тексту - нежесткие дорожные одежды с основаниями из укрепленных материалов).

1.2 Положения раздела 6 «Методические рекомендации по проектированию нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов» настоящего ОДМ применяются при разработке новой проектной документации. На объектах, запроектированных или начатых строительством до введения в действие настоящего ОДМ, его положения могут применяться по согласованию между Заказчиком и Подрядчиком.

1.3 При сравнении вариантов нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов с другими нежесткими дорожными одеждами, положения настоящего ОДМ, в том числе положения раздела 6 «Методические рекомендации по проектированию нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов», применяются также и в отношении других нежестких дорожных одежд.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения

ГОСТ 83-79* Реактивы. Натрий углекислый. Технические условия

ГОСТ 450-77 Кальций хлористый технический. Технические условия

ГОСТ 2156-76. Натрий двууглекислый. Технические условия

ГОСТ 3769-78 Аммоний сернокислый. Технические условия

ГОСТ 4148-78 Реактивы. Железо (II) сернокислое 7-водное. Технические условия

ГОСТ 6318-77 Натрий сернокислый технический. Технические условия

ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости

ГОСТ 10564-75 Латекс синтетический СКС-65ГП. Технические условия

ГОСТ 10834-76 Жидкость гидрофобизирующая 136-41. Технические условия

ГОСТ 13078-81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия

ГОСТ 14613-83 Фибра. Технические условия

ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 22733-2016 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности

ГОСТ 23558-94 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия

ГОСТ 25607-2009 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия

ГОСТ 30491-2012 Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия

ГОСТ 32960-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения

ГОСТ 33100-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог

ГОСТ Р 55052-2012 Гранулят старого асфальтобетона. Технические условия

ГОСТ Р 55064-2012 Натр едкий технический. Технические условия

ГОСТ Р 58401.1-2019 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования

ГОСТ Р 58401.2-2019 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования

ПНСТ 265-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование нежестких дорожных одежд

ПНСТ 306-2018 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси органоминеральные холодные с использованием переработанного асфальтобетона (РАП). Технические условия

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе применены следующие термины и соответствующие определения и обозначения:

3.1 **Дисперсные материалы**: грунты и каменные материалы (песок, гравий, щебень и т. п.), состоящие из совокупности твердых частиц, зерен, обломков и т.д., между которыми отсутствуют структурные связи.

3.2 **Значительный дефект**: дефект дорожной одежды, который существенно влияет на эксплуатацию дорожной одежды и (или) её долговечность, но не является критическим (ГОСТ 15467-79).

3.3 **Капитальный ремонт дорожной одежды**: комплекс дорожных работ, включающий, с целью полного восстановления или повышения работоспособности дорожной одежды, смену или замену на более прочный не только всех слоев дорожного покрытия, но и, хотя бы, одного из слоев основания дорожной одежды (с учетом положений ГОСТ 33100-2014).

3.4 **Комплексное вяжущее**: композиция из последовательно вводимых в состав строительной смеси минерального (неорганического) и органического вяжущего.

3.5 **Коэффициент разрушения**: отношение площади (длины) участков с дефектами к общей площади (длине) дорожного покрытия; при вычислении коэффициента разрушения, наряду с не отремонтированными дефектами, учитываются и ранее отремонтированные дефекты; из двух вычисленных коэффициентов разрушения (по длине или площади участка дорожного покрытия) в расчет, для сравнения с предельным значением, принимается наибольший.

3.6 **Коэффициент теплостойкости ($К_{тс}$)**: отношение предела прочности материала при сжатии при температуре +50°С, к пределу прочности при сжатии при температуре +20°С.

3.7 **Коэффициент теплоустойчивости ($К_{ту}$)**: отношение общего модуля упругости дорожной одежды при рассматриваемой температуре

конструктивных слоев к общему модулю упругости дорожной одежды при расчетной температуре всех конструктивных слоев, равной +10°С.

3.8 **Критический дефект**: дефект дорожной одежды, при наличии которого эксплуатация дорожной одежды невозможна или недопустима (ГОСТ 15467-79). Образование критического дефекта соответствует наступлению отказа дорожной одежды.

3.9 **Малозначительный дефект**: дефект дорожной одежды, который существенно не влияет на эксплуатацию и долговечность дорожной одежды (ГОСТ 15467-79).

3.10 **Межремонтный срок дорожной одежды**: период между заменами дорожного покрытия, в том числе двухслойного.

3.11 **Обработанные вяжущим материалы**: строительные смеси из каменных материалов или грунтов с вяжущими материалами, полученные путем перемешивания в стационарных грунтосмесительных установках.

3.12 **Объемные деформации**: не силовые деформации, возникающие по всему объему материала вследствие внутренних физических или химических процессов (тепловое расширение, усушка при высыхании или набухание при увлажнении, усадка при твердении гидравлических вяжущих веществ и т. п.).

3.13 **Органоминеральная смесь (ОМС)**: рационально подобранная смесь, получаемая смешением на дороге или в смесительных установках без нагрева щебня (гравия), гранулята старого асфальтобетона и песка или их смесей, а также, при необходимости, минерального порошка (в том числе порошковых отходов производства) с органическими вяжущими или с органическими вяжущими совместно с минеральными (ПНСТ 306-2018, ГОСТ 30491-2012, ГОСТ 55052-2012).

3.14 **Периодичность дорожных работ по возобновлению слоя износа**: период между заменами слоя износа дорожного покрытия, в том числе верхнего слоя асфальтобетонного дорожного покрытия.

3.15 **Отказ**: событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта (ГОСТ 27.002-2015).

3.16 **Слой износа**: верхний замыкающий слой дорожной одежды, непосредственно воспринимающий воздействие колес автомобильного транспорта и погодно-климатических факторов. Подлежит периодическому восстановлению в процессе эксплуатации и не учитывается при прочностном расчете дорожной одежды. При отсутствии специального слоя износа, верхний слой покрытия выполняет функции слоя износа. В этом случае верхний слой покрытия (слой износа) учитывается при расчете конструктивных слоёв дорожных одежд, но его толщина при расчете должна быть уменьшена на величину максимально допустимой поперечной неровности (глубины колеи) по требованию действующих нормативных документов технического регулирования (с учетом положений ОДМ 218.3.082-2016 и ПНСТ 265-2018).

3.17 **Составленное вяжущее**: композиция из одного или нескольких минеральных вяжущих (одно из которых является основным) и активатора твердения.

3.18 **Срок службы дорожной одежды**: продолжительность периода между датой ввода дорожной одежды в эксплуатацию (после нового строительства, реконструкции или капитального ремонта автомобильной дороги) до даты начала очередного капитального ремонта дорожной одежды.

3.19 **Теплоустойчивость**: способность дорожной одежды, ее конструктивных слоев и материалов этих слоев сохранять достаточно высокий модуль упругости и прочность в летний период при нагреве до высоких положительных температур.

3.20 **Укрепленные вяжущим материалы**: строительные смеси из каменных материалов или грунтов с вяжущими материалами, полученные путем смешения на дороге с применением однопроходных или многопроходных грунтосмесительных машин.

4 Введение

Актуальной задачей дорожного хозяйства РФ является обеспечение для нежестких дорожных одежд межремонтного срока не менее 12 лет и срока службы между капитальными ремонтами не менее 24 лет. Для решения этой задачи необходимо обеспечить на вновь строящихся или капитально ремонтируемых дорожных конструкциях значительное повышение общего модуля упругости в расчетный период весеннего переувлажнения грунтов и не допускать значительного снижения, по сравнению с расчетным весенним периодом, общего модуля упругости дорожной одежды из-за разупрочнения пакета битумосодержащих слоев в жаркий летний период. А также, повысить прочность дорожных одежд по другим критериям и повысить устойчивость их к действию различных факторов колееобразования. При этом важно обеспечить достижение указанных целей без значительного повышения материалоемкости дорожных конструкций.

Одним из эффективных путей решения поставленной задачи является более широкое применение нежёстких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов. Такие дорожные одежды при меньшей материалоемкости имеют, как правило, более высокий общий модуль упругости и меньшую склонность к накоплению остаточных деформаций в слоях основания, по сравнению с нежесткими дорожными одеждами с основаниями из дисперсных материалов (щебень, ЩПС, песок).

5 Общие сведения о нежёстких дорожных одеждах с основаниями из укрепленных материалов

Отличительной особенностью таких нежёстких дорожных одежд является наличие монолитных слоев из грунтов или каменных материалов, обработанных или укрепленных различными вяжущими (далее по тексту – укрепленные материалы). Конструктивные слои из укрепленных материалов обладают более высокой жесткостью, чем слои из дисперсных каменных материалов (щебень, ЩПС, песок и т.д.). В результате, значительно

повышается общий модуль упругости дорожной одежды. Например, замена в основании дорожной одежды слоев из песка и щебня на укрепленный грунт и обработанный вяжущим щебень, при сохранении той же толщины слоев, приводит к повышению общего модуля упругости дорожной одежды в 1,5…2 раза. Что может обеспечить многократное увеличение ресурса (в виде суммарного числа приложений расчетной нагрузки до наступления состояния отказа) дорожной одежды по критерию упругого прогиба. Соответственно, нежесткая дорожная одежда с основанием из укрепленных материалов, равнопрочная нежесткой дорожной одежде со слоями основания из песка и щебня, может иметь толщину слоев несущего основания в 2,5…3 раза меньше толщины слоев несущего основания из дисперсных материалов (при сохранении той же толщины пакета асфальтобетонных слоев). Что обеспечивает экономический эффект за счет снижения использования привозных, и потому дорогостоящих, каменных материалов. Либо равная прочность сравниваемых дорожных одежд может быть обеспечена при уменьшении в нежесткой дорожной одежде с основанием из укрепленных материалов суммарной толщины асфальтобетонных слоев на 30…40% с одновременным уменьшением суммарной толщины слоев несущего основания на 30…40% и более. Что также обеспечивает значительное снижение сметной стоимости дорожной одежды. В целом, сметная стоимость нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов на 4,5…7,5% ниже, срок службы на 35…40% выше, а приведенные затраты на строительство и ремонт в течение нормативного срока службы на 40…50% ниже, чем у нежестких дорожных одежд с основаниями из щебня и песка.

Однако, наряду с очевидными преимуществами, такие дорожные одежды имеют ряд существенных особенностей, без учета которых невозможно в полной мере реализовать на практике весь их потенциал. Прежде всего, это возможность образования сетки хаотичных не сквозных микротрещин в слое укрепленного основания, обусловленных различными физико-химическими процессами на начальной стадии твердения

неорганических вяжущих. Как правило, в результате последующего набора прочности, такие микротрещины «залечиваются» и не оказывают в дальнейшем существенного влияния на работу дорожной конструкции. Кроме того, еще одной особенностью нежестких дорожных одежд с основанием из укрепленных материалов является значительное влияние естественных не силовых объемных деформаций материалов монолитных слоев основания (усадка при твердении неорганического вяжущего, набухание/усушка при изменении влажности, температурные деформации) на работу всей дорожной одежды. Это влияние выражается в повышении риска образования, под влиянием естественных и неизбежных объемных деформаций материалов (прежде всего, температурных), трещин с различным шагом во всех монолитных слоях дорожной одежды, включая асфальтобетонное покрытие. При этом, в асфальтобетонном покрытии, расположенном на блочно-трещиноватом основании, могут образовываться в процессе дальнейшей эксплуатации дополнительные сквозные отраженные трещины.

В тоже время, наличие блочно-трещиноватого основания и даже образование отдельных трещин в асфальтобетонном покрытии не приводят к немедленному отказу дорожной одежды. Общая прочность нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов и при наличии трещин длительное время остается достаточно высокой. Эти дефекты являются малозначительными, поскольку лишь несколько повышают затраты на содержание дорожной одежды (необходимость герметизации дополнительного числа трещин). И только при очень большой частоте (малом шаге) трещин этот дефект мог бы быть классифицирован как значительный, поскольку в этом случае может несколько снижать средний по участку дороги общий модуль упругости дорожной одежды. Что, в свою очередь, может приводить к некоторому сокращению межремонтного срока. Однако, даже в случае наличия достаточно большого числа трещин, санация которых производится своевременно, срок службы нежестких дорожных

одежд со слоями основания из укрепленных материалов потенциально значительно превышает сроки службы нежестких дорожных одежд со слоями основания из дисперсных материалов.

Поэтому трещины в монолитных слоях основания, а также отдельные, с достаточно большим шагом, трещины в асфальтобетонном покрытии должны рассматриваться как естественная особенность нежестких дорожных одежд со слоями основания из укрепленных материалов и не являются критическим или даже значительным дефектом таких дорожных одежд.

Тем не менее, одна из основных задач проектирования нежестких дорожных одежд с монолитными слоями оснований из укрепленных или обработанных вяжущими каменных материалов и грунтов заключается в обеспечении условий, при которых шаг трещин, обусловленных не силовыми объемными деформациями (далее по тексту - объемные трещины) будет не менее допустимой величины. А при строительстве и эксплуатации таких дорожных одежд необходимо учитывать их естественную склонность к растрескиванию.

6 Методические рекомендации по проектированию нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

6.1 Климатическое районирование территории РФ с целью применения нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов.

6.1.1 Наиболее эффективно, с точки зрения обеспечения теплоустойчивости нежестких дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями, применение оснований из укрепленных материалов в регионах, где глубина прогрева верхней части дорожной одежды до +50°С и выше в жаркий летний период превышает 0,1…0,15 м. В Приложении А приведены справочные данные о глубине проникновения изотермы +50°С в дорожную одежду для различных географических пунктов на территории РФ.

6.1.2 Справочные данные для различных географических пунктов на территории РФ по величине морозной нагрузки, воздействию которой в

зимний период подвергаются укрепленные вяжущими каменные материалы и грунты в основаниях дорожных одежд, представлены в Приложении Б. Эти данные могут использоваться для нормирования требований по морозостойкости к укрепленным грунтам и каменным материалам.

6.2 Общие рекомендации по конструированию нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов.

- Органоминеральные смеси (ОМС), применяемые для устройства верхнего слоя основания дорожной одежды должны иметь коэффициент теплостойкости не ниже 0,70. С этой целью в их состав целесообразно вводить неорганическое вяжущее.

- С учетом возможного возникновения блочно-трещиноватого основания с шагом менее указанного в п. 9.1 настоящего ОДМ и для компенсации возможного, в результате этого, снижения общего модуля упругости дорожной одежды, при проектировании нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов допускается вводить дополнительный коэффициент запаса прочности $К_{доп} = 0,03$. При этом, к требуемому по критерию упругого прогиба коэффициенту прочности $К_{пр}$ (см. ПНСТ 265-2018) прибавляется коэффициент запаса $К_{доп}$.

- Верхний слой асфальтобетонного покрытия рассматривается как слой износа (при отсутствии специального слоя износа) и из расчета на прочность исключается его верхняя часть толщиной, равной предельной допустимой глубине колеи.

- Для уменьшения объемного трещинообразования в асфальтобетонном покрытии, между пакетом асфальтобетонных (битумосодержащих) слоев и основанием, укрепленным с использованием неорганических вяжущих, допускается устраивать дисперсную трещинопрерывающую прослойку из прочного щебня крупностью не более 20 мм. Толщина прослойки должна быть кратной 7…8 размерам наиболее крупных щебенок. Прослойка из щебня укладывается на разделяющий слой геосинтетического материала, препятствующего попаданию щебенок в трещины нижерасположенного

монолитного основания, образующиеся в ходе строительства и эксплуатации дороги.

- В обоснованных случаях, для регулирования шага поперечных объемных трещин, допускается устраивать в монолитных слоях укрепленного основания искусственные деформационные швы.

- Для предотвращения копирования в асфальтобетонное покрытие трещин, в том числе объемных, из укрепленного с применением неорганических вяжущих основания, допускается укладывать в нижней части пакета асфальтобетонных слоев армирующую сетку из прочного материала. Рекомендуется для этой цели использовать стальные сетки с закреплением их на основании литой эмульсионно – минеральной смесью (ЛЭМС) в соответствии с ОДМ 218.3.041-2014 [12].

6.3 Проверочные расчеты нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов.

При проектировании нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов необходимо решать следующие расчетные задачи.

6.3.1 Проектирование дорожной одежды на основе стандартной методологии СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» [1] по трем условиям: по прочности, по морозоустойчивости и по осушению.

При этом, стандартные расчеты нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов по морозоустойчивости и по осушению выполняются в соответствии с положениями ПНСТ 265-2018.

Стандартные расчеты нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов по критериям прочности (допускаемому общему прогибу конструкции, по допустимым напряжениям при изгибе монолитных слоев дорожной одежды, и по допускаемым сдвигающим напряжениям в грунте и малосвязных дополнительных слоях основания) на действие кратковременных (динамических) и длительных (статических) нагрузок так же выполняются в соответствии с положениями ПНСТ 265-2018 (п.п. 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7).

Но при расчетах на прочность нежестких дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями и основаниями из укрепленных материалов следует внести ряд уточняющих изменений и дополнений в действующие методики расчетов:

- Допускается принимать расчетный срок службы дорожной одежды $T_{сл}$ в соответствии с указаниями таблицы 6.1 настоящего ОДМ. Расчетный срок службы отдельных слоев, заменяемых в ходе ремонта дорожной одежды, допускается принимать в соответствии с межремонтными сроками, указанными в таблице 6.1. Расчетный срок службы верхнего слоя асфальтобетонного покрытия, при отсутствии специального слоя износа, принимается равным периодичности восстановления слоя износа в соответствии с таблицей 6.1.

- Значения коэффициента k_2, учитывающего снижение прочности материалов во времени от воздействия погодно-климатических факторов в зависимости от срока службы, допускается принимать по Приложению В.

- Допускается, при наличии результатов экспериментального подтверждения, принимать расчетные характеристики укрепленных грунтов и материалов, отличающиеся от данных нормативной справочной базы (Приложение Б ПНСТ 265-2018, Таблица 1 ГОСТ 23558-94 и др.).

- Допускается учитывать вибрационный характер динамических нагрузок на дорожную одежду. Это, в свою очередь, приводит к снижению расчетных прочностных характеристик подстилающих грунтов в результате вибрационного воздействия (Приложение Г, Приложение Д).

- Допускается учитывать влияние на расчетный модуль упругости грунтов статического режима нагружения в соответствии с Приложением Д.

6.3.2 Кроме стандартных расчетов на прочность необходимо выполнить дополнительные расчеты нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов по следующим критериям [3]:

6.3.2.1 Прочность дорожной одежды в жаркий летний период по критерию упругого прогиба. Расчет выполняется в соответствии с п. 10.3

ПНСТ 265-2018 с учетом положений Приложения Е, Приложения Г и Приложения Д. При этом суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы дорожной одежды ΣN_p для вычисления требуемого модуля упругости принимается для летнего расчетного периода таким же, как и для весеннего расчетного периода (на основании методики ПНСТ 265-2018 с учетом числа расчетных дней в году $T_{рдг}$). В том случае, если по результатам расчета коэффициент прочности $К_{пр}$ будет менее 1,0, необходимо выполнить дополнительные проверочные расчеты по п. 6.3.2.2 и 6.3.2.3 настоящего ОДМ.

6.3.2.2 Прочность дорожной одежды в жаркий летний период по сдвигу. Рекомендуется, прежде всего, выполнить проверку для малосвязных (песчаных) слоев дорожной одежды. Расчет выполняется в соответствии с п. 10.4 и п 10.5 ПНСТ 265-2018 с учетом положений Приложения Е, Приложения Г и Приложения Д. При этом суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы дорожной одежды ΣN_p для вычисления расчетных характеристик грунтов принимается для летнего расчетного периода таким же, как и для весеннего расчетного периода (на основании методики ПНСТ 265-2018 с учетом числа расчетных дней в году $T_{рдг}$). В том случае, если по результатам расчета коэффициент прочности $К_{пр}$ будет менее требуемого по ПНСТ 265-2018, необходимо предусмотреть дополнительные мероприятия по повышению сдвигоустойчивости дорожной одежды в жаркий летний период.

6.3.2.3 Прочность монолитных оснований на изгиб в жаркий летний период. Расчет выполняется в соответствии с п. 10.7 ПНСТ 265-2018 с учетом положений Приложения Е, Приложения Г и Приложения Д. При этом приведенная на конец нормативного срока службы интенсивность расчетной нагрузки N_p для вычисления коэффициента усталости $К_у$ принимается для летнего расчетного периода такой же, как и для весеннего расчетного периода (на основании методики ПНСТ 265-2018). В том случае, если по результатам расчета коэффициент прочности $К_{пр}$ будет менее требуемого по

ПНСТ 265-2018, необходимо предусмотреть дополнительные мероприятия по повышению прочности монолитного основания на изгиб в жаркий летний период.

6.3.2.4 Колееобразование в результате накопления остаточных деформаций в слоях основания и подстилающих грунтах, пластических деформаций в битумосодержащих слоях и износа асфальтобетонного покрытия шинами автомобилей. Расчет на колееобразование может быть выполнен по методике ОДМ «Рекомендации по выявлению и устранению колей на нежестких дорожных одеждах» [4] или по другой обоснованной методике, а приведенное количество дней в году с температурой покрытия +50°С допускается принимать по Приложению А. При этом, ориентировочные межремонтные сроки для возобновления слоя износа дорожных покрытий допускается принимать по Таблице 6.1.

6.3.2.5 Трещиностойкость (шаг трещин) монолитных слоев дорожной одежды в результате действия не силовых объемных деформаций. Расчет выполняется в соответствии с Приложением Ж. При этом, ориентировочные межремонтные сроки для возобновления слоя износа и ремонта дорожных покрытий допускается принимать по Таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Сроки восстановления слоя износа, межремонтные сроки и сроки службы нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов на автомобильных дорогах общего пользования

Категория дороги	Интенсивность движения по дороге, авт./сут	Тип дорожной одежды	Дорожно-климатическая зона								
			I - II			III			IV - V		
			Периодичность восстановления а/б слоя износа, год	Межремонтный срок дорожной одежды, год	Срок службы дорожной одежды до капитального ремонта, год	Периодичность восстановления а/б слоя износа, год	Межремонтный срок дорожной одежды, год	Срок службы дорожной одежды до капитального ремонта, год	Периодичность восстановления а/б слоя износа, год	Межремонтный срок дорожной одежды, год	Срок службы дорожной одежды до капитального ремонта, год
I	Более 14000	Капитальный	2…4	12	24	2…4	12	24	2…3	12	24
II	Более 6000	Капитальный	3…5	12	24	3…5	12	24	3…4	12	24
III	2000 - 6000	Капитальный	5…6	12	24	5…6	12	24	4…5	12	24
		Облегченный	5…6	12	24	5…6	12	24	4…5	12	24
IV	200 - 2000	Капитальный	6…7	12	24	6…7	12	24	5…6	12	24
		Облегченный	6…7	12	24	6…7	12	24	5…6	12	24

П р и м е ч а н и я - 1. Данные, представленные в таблице и примечаниях, допускается применять для технико-экономического сравнения вариантов нежестких дорожных одежд. 2. Большее значение периодичности восстановления слоя износа из асфальтобетона принимать для ЩМА-15 и ЩМА-20, меньшее значение – для других типов асфальтобетонов. Периодичность восстановления защитных слоев в виде поверхностных обработок и т. п., а также периодичность восстановления слоев износа из любого типа асфальтобетона при интенсивности движения по дороге более 15000 авт./сут. принимать в соответствии с ОДМ 218.3.082-2016 «Методические рекомендации по назначению технологий и периодичности проведения работ по устройству слоев износа и защитных слоев дорожных покрытий» [5]. 3. Для нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов, все указанные в таблице сроки допускается увеличивать в 1,25 раза. 4. Допускается принимать в расчет иные сроки службы, межремонтные сроки и периодичность восстановления слоя износа при условии их обоснования.

7 Технические требования к материалам для нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

7.1 Общие требования к материалам

Все дорожно-строительные материалы должны удовлетворять требованиям действующих документов технического регулирования и дополнительным требованиям настоящего ОДМ.

7.2 Грунты и каменные материалы для укрепления

7.2.1 Для укрепления или обработки вяжущими в слоях основания нежестких дорожных одежд, допускается применять грунты всех видов с числом пластичности Ip не более 12. Возможно использование грунтов с Ip < 17, если будет осуществлено обогащение зернового состава песком природным или песком из отсевов дробления с понижением Ip грунта до 12. Связные (глинистые) грунты рекомендуется укреплять известково-шлаковым вяжущим или известью.

7.2.2 Запрещается использовать грунты, содержащие в своём составе более 10% гипса, а также содержащие гумусовые вещества в количестве более 2 % по массе в I и II дорожно-климатических зонах (ДКЗ) или более 4% по массе в III-V ДКЗ.

7.2.3 У размельчённых глинистых грунтов, которые будут укрепляться вяжущими, наличие глиняных агрегатов диаметром больше 10 мм не должно быть более 10% (по массе), а больше 5 мм - более 25% (по массе).

7.2.4 В случае необходимости применения грунтов с показателями, не соответствующими приведенным выше требованиям, должно быть проведено их исследование в специализированных лабораториях для подтверждения возможности и технико-экономической целесообразности получения укреплённых грунтов с нормируемыми показателями качества.

7.2.5 В качестве каменных материалов для укрепления или обработки вяжущими могут применяться пески (природные и дробленые), щебень и гравий. А также готовые щебеночно-гравийно-песчаные смеси по ГОСТ

25607-2009.

Наибольшая крупность зерен каменных материалов должна быть не свыше 80 мм.

7.3 Неорганические вяжущие материалы

Для материалов, подвергающихся укреплению или обработке в слоях основания нежестких дорожных одежд, допускается использовать вяжущие следующих видов:

- шлакопортландцементы и портландцементы, цементы для строительных растворов не ниже марки 300, цементы сульфатостойкие;

- белитовые шламы;

- нефелиновые и бокситовые шламы с содержанием $2CaO \cdot SiO_2$ не менее 40% (по массе);

- фосфорные шлаки, активные и высокоактивные молотые шлаки цветной и чёрной металлургии;

- золы-уноса с потерями при прокаливании не более 5% (по массе) с удельной поверхностью более 150 $м^2/кг$, содержанием сернокислых и сернистых соединений не больше 6% и содержанием свободного CaO не более 20%;

- активные материалы с удельной поверхностью не меньше 150 $м^2/кг$ (полный остаток на сите с ячейкой 0,071 мм не меньше 20% по массе), имеющие марку по прочности в возрасте 180 суток не ниже 50;

- Составленные вяжущие с маркой по прочности (в возрасте 90 суток) - не меньше 100. В составе таких вяжущих допускается применять основные золы-уноса, молотые активные и слабоактивные шлаки фосфорные и шлаки черной металлургии, нефелиновые, белитовые и бокситовые шламы, а также строительную известь I и II сортов, шлакопортландцемент и портландцемент марки по прочности не выше 400, стекло жидкое с плотностью 1,15…1,25 г/см3 и кремнеземистым модулем 1,7…1,8, гипс строительный марки не ниже Г10.

7.4 Добавки

7.4.1 Золошлаковые материалы, известняк после помола или золы уноса, применяемые в качестве добавок к смеси грунтов и каменных материалов с вяжущими, должны содержать по массе частиц мельче 0,071 мм не меньше 60% и частиц крупнее 2 мм - не более 5%. Потери этих материалов при прокаливании не должны превышать 10% по массе.

7.4.2 С целью снижения расхода вяжущего в составе смеси, регулирования сроков набора прочности, а также для повышения прочности, морозостойкости, модуля упругости, стойкости к трещинообразованию укрепленных грунтов и обработанных материалов рекомендуется использовать модифицирующие добавки.

Химические добавки, предназначенные для модификации укрепляемых грунтов должны соответствовать следующим основным требованиям:

- обеспечивать возможность модификации различных типов грунтов: связные грунты (супеси, суглинки, глины), несвязные грунты (пески), техногенные грунты (асфальтогранулят, пески из отсевов дробления горных пород), засоленные грунты, отходы промышленного производства (шламы) и т.д;
- обеспечивать технологическую возможность равномерного распределения модифицирующей добавки в смеси укрепляемого грунта (или материала), с использованием стандартных машин и механизмов;
- оказывать положительное воздействие на такие физико-механические характеристики укрепленного грунта (или материала), как: плотность, прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе и расколе, модуль упругости (деформации), водопоглощение, морозостойкость, теплопроводность.

Перечень рекомендуемых химических добавок, наиболее изученных и апробированных при укреплении грунтов и обработке каменных материалов в дорожном строительстве, приведен в Приложении 3. Данный перечень не является исчерпывающим. Любая химическая добавка, в том числе и

содержащаяся в перечне, перед применением должна пройти опытно-экспериментальную проверку для подтверждения своей эффективности в сочетании с применяемыми на данном объекте грунтами, каменными материалами и вяжущими. С целью определения физико-механических характеристик материалов и назначения оптимального расхода вяжущих и модифицирующих добавок перед началом строительных работ необходимо выполнять подбор составов с использованием вяжущих, добавок, материалов и грунтов, которые планируется использовать на данном объекте.

7.5 Вода

Количество воды при подборах различных составов определяют, исходя из оптимальной влажности для достижения максимальной плотности смеси.

Вода для затворения вяжущего и доувлажнения строительной смеси при устройстве конструктивных слоев нежестких дорожных одежд не должна содержать растворимых солей более 10000 мг/л, в т.ч. ионов SO_4– более 2700 мг/л и ионов Cl - более 3500 мг/л.

7.6 Каменные материалы и грунты, обработанные вяжущими

Каменные материалы и грунты, обработанные или укрепленные вяжущими, должны соответствовать требованиям настоящего ОДМ, а также ГОСТ 23558-94 или ГОСТ 30491-2012 в зависимости от вида вяжущего.

7.7 Асфальтобетон и органические вяжущие

Асфальтобетонные смеси следует подбирать в зависимости от вида, типа и назначения асфальтобетона в соответствии с установленными общетехническими требованиями. В том числе могут применяться асфальтобетонные смеси по ГОСТ Р 58401.1-2019, ГОСТ Р 58401.2-2019 и др.

В качестве органических вяжущих для производства асфальтобетонов могут использоваться нефтяные дорожные битумы и модифицированные битумные вяжущие с улучшенными свойствами по нормативно-технической документации, согласованной и утвержденной в установленном порядке.

Свойства и марка органического вяжущего должны соответствовать эксплуатационным условиям асфальтобетонных покрытий.

Для укрепления грунтов и обработки каменных материалов, в том числе для получения органо-минеральных смесей, рекомендуется применять органические вяжущие в эмульгированном состоянии. Предпочтительно использовать битумные эмульсии классов ЭБК-3, ЭБА-3 и ЭБДК М. Возможность применения битумных эмульсий классов ЭБК-2, ЭБА-2 и ЭБДК С должна быть подтверждена испытанием на совместимость битумной эмульсии и обрабатываемых минеральных материалов. Допускается применение органических вяжущих также во вспененном состоянии по технологии «смешение на месте».

8 Рекомендации по строительству нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

Строительство нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов следует выполнять с учетом действующих строительных норм СП 78.13330.2012 [6], а также рекомендации настоящего ОДМ. При устройстве монолитных слоев оснований дорожных одежд из грунтов и каменных материалов, обработанных вяжущими, рекомендуется учитывать также имеющийся технический опыт, отраженный в СТО 26233397 МОСАВТОДОР.1.1.1.01-2013 «Правила по строительству оснований и покрытий дорожных одежд местных (сельских) автомобильных дорог Московской области с использованием укрепленных грунтов» [7], СТО ТУАД 09-2010 «Проектирование и строительство оснований дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна с применением стабилизаторов грунтов» [8] и др..

8.1 Рекомендации по назначению продолжительности технологических перерывов между работами по устройству конструктивных слоев нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

Укладку вышележащего конструктивного слоя дорожной одежды на слой из каменных материалов и грунтов, обработанных любым вяжущим (в том числе неорганическим), возможно осуществлять в любые сроки, в том числе сразу же после его уплотнения.

8.2 Особенности укрепления грунтов и каменных материалов неорганическими вяжущими

Перед началом строительства необходимо разрабатывать Технологический регламент на производство работ по устройству укрепленных монолитных оснований нежёстких дорожных одежд, включающий в себя следующие основные подразделы:

8.2.1 Определения основных понятий

Необходимо привести перечень ключевых терминов для однозначной их трактовки различными специалистами, которые будут принимать участие в строительстве полужёстких дорожных одежд.

8.2.2 Требования ко всем дорожно-строительным материалам, используемым при устройстве нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

8.2.3 Требования к технике и оборудованию, применяемым при устройстве нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

Необходимо обязательно учесть теоретическую и практическую производительность машин и механизмов, имеющихся в наличии, для более точного планирования производства работ.

При применении дорожно-строительных машин, предназначенных для смешения неорганического вяжущего с укрепляемым материалом (чаще всего, фрез), на начальном этапе необходимо выбрать модель с определённым направлением и скоростью вращения барабана, длиной, толщиной и частотой расположения режущих зубьев на нём.

Также должно быть уделено пристальное внимание механизмам по управлению подачей дополнительных каменных материалов, чтобы точно

контролировать поддержание заданного на стадии проектирования гранулометрического состава.

Должны быть выбраны параметры вместимости цистерны(-ен) для подвоза воды с таким расчётом, чтобы они были рационального объёма и в необходимом количестве для эффективного поддержания ритмичности производства работ и не допущения остановки укладки. Так как любые сбои в поставках и распределении воды приведут к созданию брака и неоднородности в укрепленном материале.

Необходимо проверить и уточнить работоспособность и требования к дозаторам, а также точность дозирования. Кроме того, должны быть проверены параметры распределителей сыпучих добавок (цемент, известь, добавки и т.п.).

Необходимо оценить парк имеющихся механизмов для процесса уплотнения (типы и количество катков).

8.2.4 Описание основных возможных методов производства работ по строительству нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

Перед производством работ должны быть проанализированы погодно-климатические условия района строительства (дорожно-климатическая зона, климатические характеристики, прогнозы погоды и т.д.) и возникающие вследствие этого ограничения при выборе определённой используемой технологии.

Должен быть составлен производственный план, включающий в себя размещение предприятий-поставщиков дорожно-строительных материалов, подобраны и согласованы оптимальные составы, определено эффективное время перемешивания компонентов, проработана транспортная схема доставки всех составляющих, предусмотрены резервные возможности при возникновении внештатной ситуации на каком-либо производстве.

Должны быть предусмотрены рациональные способы для оперативного определения влажности грунтов и дорожно-строительных материалов на

месте, а также уложенного в конструкцию слоя, чтобы можно было поддерживать значения оптимальной влажности смеси для достижения максимальной плотности слоя в конструкции.

Перед производством работ по устройству вышележащих слоев основания и асфальтобетонных слоев необходимо тщательно подготовить подстилающую поверхность с приданием ей необходимых продольных и поперечных уклонов.

Следует заранее экспериментально (например, в лабораторных условиях) определить максимально возможное, по условиям выполнения работ с надлежащим качеством, время между внесением добавок в смесь и окончанием процесса уплотнения.

Необходимо заблаговременно составить требования к составу, в том числе гранулометрическому, смеси для устройства слоев основания нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов.

На стадии подготовки к производству работу следует предусмотреть методы, которые будут использованы в случае необходимости исправления толщины слоя, укреплённого вяжущими, а также для устранения иных дефектов.

8.3 Укрепление грунтов и каменных материалов однопроходными грунтосмесительными машинами

8.3.1 При данной технологии работ предусматривается следующая последовательность операций:

- профилировка и начальная прикатка укрепляемого слоя;

- внесение каркасных материалов для создания необходимой гранулометрии (при необходимости);

- размельчение комков при наличии связных грунтов;

- дозировка и внесение вяжущих (одиночного или комплексного);

- добавление воды до оптимальной влажности смеси;

- смешивание исходного грунта с дополнительно вносимыми материалами, вяжущими и водой;

- профилировка и укатка смеси;

- уход за укреплённым слоем.

8.3.2 На дороге осуществляется профилировка исходного грунта или каменного материала, чаще всего автогрейдером, при которой учитывается толщина слоя по проекту. Далее осуществляется прикатка слоя уплотняющими механизмами. При использовании связных грунтов их размельчают до необходимых агрегатных размеров. В приготовленном к укреплению слое наличие глиняных агрегатов диаметром больше 10 мм не должно быть более 10% (по массе), а больше 5 мм - 25% (по массе). Для выполнения данного условия используются высокопроизводительные дорожные многопроходные фрезы. При необходимости создания проектной гранулометрии, внесение и распределение каркасных материалов осуществляется по всей ширине нижележащего слоя.

8.3.3 При производстве работ ведущей машиной являются высокопроизводительные грунтосмесители – ресайклеры (рис.1).

8.3.4 При применении неорганических вяжущих заблаговременно, перед проходом ресайклера осуществляется распределение по поверхности извести, цемента, комплексных вяжущих с добавками или т.п. Механизм перемешивает все составляющие за один проход. Одновременно подавая в смесь определённое количество воды, необходимое для доведения смеси до оптимальной влажности.

8.3.5 При технической возможности современных механизмов процессы по внесению дополнительных каркасных материалов, вяжущих и добавок, могут осуществляться прямо в камере для смешивания, что облегчает и сокращается время на производство работ, сводя дело, лишь к одному проходу высокопроизводительной дорожно-строительной машины.

8.3.6 При смежных проходах перекрытие на всей длине захватки необходимо держать в интервале 0,1…0,2 м, задавая заранее его величину. При этом требуется осуществлять перекрытие некоторого количества форсунок для подачи воды ресайклера, чтобы избежать переувлажнения

слоя, который подлежит дальнейшему уплотнению. После прохода смешивающей машины осуществляется профилировка поверхности слоя автогрейдером, после чего всё завершается укаткой смеси комбинированными катками. Также допускается применение катков на пневмошинах. Длина захватки в зависимости от конкретных условий определяется при разработке проекта производства работ (ППР), но обычно может составлять 250…450 м.

Рис. 1 – Дорожные фрезы (ресайклеры)

8.3.7 При уплотнении комбинированным катком первоначальные 4…6 проходов (по одному следу) производятся вальцом вперёд на скорости 2…3 км/ч в режиме статики (без вибрации). Уплотнение слоя необходимо совершать к середине от краёв так, чтобы перекрывать каждый след от прохода при последующем движении на 0,3…0,4 м.

Дальнейшие 2…3 прохода комбинированного катка по одном следу осуществляют на скорости 4…6 км/ч с включённой вибрацией. На данном этапе необходимо следить за состоянием поверхности под вальцом: при появлении малейших значимых дефектов необходимо выключить вибрацию.

Технологическая стадия - уплотнение завершается 3…5 проходами (по одному следу) среднего (тяжёлого) гладковальцового катка на скорости 4…6 км/ч в режиме статики.

8.3.8 Пневмоколеса и вальцы не допускается орошать во время укатки водой. Необходимо, чтобы уплотняющая техника перемещалась параллельно дорожной оси и не осуществляла в процесс уплотнения остановок. Для интенсификации процесса укатки допускается включать виброрежимы, но только во время движения катка во избежание возникновения вальцовых следов.

8.3.9 При достижении максимальной требуемой плотности укреплённого грунта, необходимо производить чистовую профилировку с помощью прохода пневмокатка с гладким протектором или гладковальцовым катком.

8.3.10 В том случае, когда после устройства укрепленного с применением неорганического вяжущего слоя имеет место технологический перерыв перед устройством следующего слоя, необходимо осуществлять уход за свежеуложенным слоем в течение первых 5…10 суток (до достижения 70% от проектной прочности), либо до начала работ по устройству следующего слоя. Допускается уменьшать время ухода за слоем при использовании добавок, повышающих скорость набора прочности, при условии, что их действие экспериментально доказано.

Процесс ухода заключается в следующем: свежеустроенный слой укрывают влагонепроницаемым материалом (плёнка, полимеры и т.п.) либо покрывают плёнкообразующим материалом (жидкий битум, битумная эмульсия с расходом 0,8…1,5 л/м^2) или слоем периодически увлажняемого песка (толщина не менее 5 см).

8.4 Укрепление грунтов и каменных материалов многопроходными грунтосмесительными машинами

8.4.1 Длина захватки в зависимости от конкретных условий определяется при разработке проекта производства работ (ППР), но обычно может составлять 150…250 м. В начале производства работ исходный грунт или материал необходимо привезти на объект спрофилировать и уплотнить в соответствии с п. 8.3.2.

8.4.2 Не допускается наличие в исходном грунте включений свыше 70 мм. Для измельчения связных грунтов до необходимых агрегатных размеров, согласно 8.3.2 следует осуществить 1…3 прохода дорожной фрезой по одному следу. При необходимости по слою грунта с помощью цементораспределителя или автогрейдера распределяют гранулометрические добавки.

8.4.3 При применении неорганических вяжущих их распределяют по исходному грунту цементораспределителем, смешивают в течение 1…2 проходов дорожной фрезы с сухим грунтом, затем осуществляют введение воды в смесь через автоматически дозирующие форсунки фрезы и окончательно смешивают.

8.4.4 Уплотнение, а также уход за полученным слоем необходимо вести в соответствии с п. 8.3.7 - 8.3.10 настоящего ОДМ.

8.5 Обработка грунтов и каменных материалов в стационарных (карьерных) смесительных установках, укладка, профилирование, уплотнение и организация ухода

8.5.1 Данный тип производства работ с применением в качестве ведущей машины - грунтосмесительной установки (рис.2) необходимо

использовать при строительстве слоёв из каменных материалов, несвязных грунтов или супесей (с Ip < 3), укреплённых, как правило, неорганическими вяжущими.

8.5.2 При данной технологии работ предусматривается следующая последовательность операций:

- изготовление смеси грунта с неорганическим вяжущим и транспортировка на строительный объект;

- выгрузка на месте укладки и распределение по всей ширине основания;

- профилировка и укатка смеси;

- уход за укреплённым слоем.

В ходе изготовления смеси исходный грунт, дополнительные каменные материалы, неорганические вяжущие и вода одномоментно загружаются в смесительное отделение.

8.5.3 При приготовлении смесей из исходного грунта с добавлением каменных материалов, неорганических вяжущих и химических добавок все технологические процессы по строительству слоя необходимо завершить через 4 часа с момента ее приготовления. При необходимости увеличения продолжительности технологического разрыва в строительных процессах до 5…12 часов возможно внесение специальных добавок, действие которых направлено на замедление сроков схватывания.

При применении в качестве вяжущего зольных материалов, шламов, извести без активаторов время между изготовлением и окончанием уплотнения (с учётом необходимых технологических перерывов) составляет до 24 часов.

Возможно хранить и складировать материалы, укрепленные зольными вяжущими, шламами, известью до применения при производстве работ в течение 1...2 суток при температуре более 5 °С, 10…15 суток - при температуре менее 5 °С.

Рис. 2 – Грунтосмесительная установка

8.5.4 Автосамосвалами изготовленную смесь привозят на строительный объект, распределяют по готовому нижнему слою-основанию при помощи автогрейдера, планировщика или укладчика и производят уплотнение при оптимальной влажности до максимальной плотности за счёт укатки комбинированных, вибро- или пневмо- катков.

8.5.5 Уплотнение, а также уход за полученным слоем необходимо вести в соответствии с п. 8.3.7-8.3.10 настоящего ОДМ.

8.5.6 При применении укладчика уплотнение смеси в начале осуществляется за счёт установленных на нём систем уплотнения (трамбующий брус, виброплита и т.п.), а затем уплотнение завершается 3…5 проходами (по одному следу) среднего (тяжёлого) гладковальцового катка на скорости 4…6 км/ч в режиме статики.

9. Строительный контроль

9.1 Общие требования к нежестким дорожным одеждам с основаниями из укрепленных материалов

9.1.1 Нежесткие дорожные одежды с основаниями из укрепленных материалов должны соответствовать всем требованиям действующих нормативных документов по прочности и ровности, а также по иным параметрам, требования к которым установлены в проектной документации. Дополнительными требованиями, предъявляемыми к монолитным слоям нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов, является:

- Отсутствие, на момент устройства следующего конструктивного слоя, регулярных (повторяющихся) сквозных поперечных и продольных трещин с шагом менее 5 м в слоях основания, устроенных из укрепленных минеральными вяжущими каменных материалов и грунтов, в том числе в слоях из органоминеральных смесей с добавлением минеральных вяжущих. При этом, не является дефектом наличие сетки не сквозных хаотичных микротрещин с меньшим шагом, образующихся в результате протекания технологических процессов твердения минеральных вяжущих.

- Отсутствие, на момент устройства следующего конструктивного слоя, регулярных (повторяющихся) сквозных поперечных и продольных трещин с шагом менее 5 м в слоях асфальтобетонного покрытия.

- Отсутствие, на момент сдачи дороги в эксплуатацию, регулярных (повторяющихся) сквозных поперечных и продольных трещин с шагом менее 5 м в верхнем слое асфальтобетонного покрытия. Все обнаруженные трещины в верхнем слое асфальтобетонного покрытия, независимо от величины шага трещин, должны быть незамедлительно герметизированы, как только это позволят погодные условия.

9.1.2 В том случае, если шаг регулярных (повторяющихся) сквозных поперечных и продольных трещин хотя бы в одном из конструктивных слоев дорожной одежды будет менее 5 м, вопрос о пригодности этого слоя и всей дорожной одежды на данном участке к дальнейшей эксплуатации решается по результатам специальной научно-технической экспертизы, выполняемой с учетом методических рекомендаций, изложенных в разделе 6 настоящего

ОДМ. Критическим дефектом, не позволяющим дальнейшую эксплуатацию дорожной одежды, является шаг регулярных (повторяющихся) сквозных поперечных и продольных трещин менее 1 м хотя бы в одном из конструктивных слоев дорожной одежды.

9.2 Входной контроль при строительстве нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

9.2.1 Входной контроль грунтов, каменных материалов, вяжущих и добавок при устройстве нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов, выполняется в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, настоящего ОДМ и проекта.

9.2.2 Максимальную плотность укреплённых грунтов и обработанных каменных материалов при назначении оптимальных составов и изготовлении образцов определяют по ГОСТ 22733.

9.2.3 Для слоёв, укрепленных неорганическими вяжущими, следует осуществлять текущие и периодические проверки согласно карт операционного контроля ОДМ 218.4.031-2016 «Рекомендации по организации и проведению ведомственного контроля (мониторинга) качества при выполнении дорожных работ на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения» [9].

При текущих проверках, минимум раз в смену, следует осуществлять проверку:

- агрегатного состава (степени размельчения) связных грунтов посредством просеивания средних проб через сита 10 и 5 мм;

- гранулометрического состава несвязных грунтов и каменных материалов;

- влажности укрепляемых грунтов и получаемой смеси.

При периодических проверках, минимум раз в месяц или при изменении типа грунта, следует осуществлять проверку следующих параметров:

- засоление грунтов легкорастворимыми солями (если засоление

грунтов легкорастворимыми солями выявлено на стадии предпроектных изысканий);

- гранулометрический состав грунтов;

- число пластичности связных грунтов;

- марку укрепленного материала по прочности при изгибе (либо при раскалывании) и марку по морозостойкости.

9.2.4 Входной контроль при устройстве других конструктивных слоёв нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов, в том числе слоев из асфальтобетона, осуществляется в соответствии с требованиями ППР и СП 78.13330.2012 [6].

9.2.5 Удельную активность естественных радионуклидов в грунтах и дорожно-строительных материалах, укреплённых неорганическими вяжущими, определяют по величине максимальной удельной эффективной активности естественных радионуклидов, имеющихся в используемых грунтах, вяжущих и других составляющих. Эти данные указываются предприятием-поставщиком в предоставляемых документах о качестве.

9.3 Операционный контроль при строительстве нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

9.3.1 Операционный контроль осуществляется в соответствии с требованиями ППР и СП 78.13330.2012 [6]. При проведении операционного контроля качества производства работ по устройству нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов необходимо проверять через 100 м по каждому укладываемому слою:

- ширину слоя;

- толщину слоя по его оси (в том числе глубину обработки вяжущим);

- поперечный уклон;

- осевые высотные отметки дороги;

- ровность.

не реже раза в смену:

- степень уплотнения слоя укрепленного грунта;

- точность дозировки вяжущего и равномерность его распределения по поверхности и объёму грунта;

- однородность смеси;

-соответствие фактической марки смеси по прочности на сжатие требованиям проекта;

- соблюдение рекомендаций по уходу за укрепленным слоем.

9.3.2 Правильность дозировки неорганического вяжущего и однородность его распределения определяют путем отбора проб готовой смеси из партии. Приготавливают образцы для их последующего испытания на прочность в соответствии с «Пособием по строительству покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов из грунтов, укрепленных вяжущими материалами, к СНиП 3.06.03-85 и СНиП 3.06.06-88» [10]. Партией является количество укрепленного материала, приготовленного в течение одной смены на одной установке и одной и той же марки по прочности, но не более 1000 $м^3$.

Допускается, если иное не оговорено действующими нормативными документами, изготавливать образцы из укрепленных грунтов и обработанных строительных материалов на прессе, применяя для смеси с максимальной фракцией до 5 мм балочки размером 4х4х16 см и образцы цилиндры с диаметром и высотой 5,05 см, для смеси с максимальной фракцией до 20 мм балочки размером 10х10х40 см и образцы цилиндры диаметром и высотой 7,14 см, для смеси с максимальной фракцией до 40 мм балочки размером 10х10х40 см и образцы цилиндры диаметром и высотой 10,0 см. Давление пресса для изготовления образцов устанавливается исходя из условия получения максимальной плотности образцов (определенной по методике ГОСТ 22733) при оптимальной влажности. Время выдержки образцов под нагрузкой – 180 с.

Допускается проводить испытание образцов – балочек на изгиб только при подборе состава строительной смеси.

9.3.3 При производстве работ по устройству слоев из материалов,

укреплённых неорганическими вяжущими, для операционного контроля плотности укрепленного материала (грунта) в слое допускается использовать приборы для определения модуля деформации основания по типу ZFG 3.0. Для этого, по аналогии с проведением пробного уплотнения, перед началом укатки производится замер величины модуля деформации и фиксируется в таблице записей (по произвольной форме). Затем, после каждого прохода уплотняющей техники необходимо производить новое измерение, записывая данные в таблицу. Прекращение роста измеряемой величины модуля деформации основания будет свидетельствовать о прекращении дальнейшего уплотнения и достижении значения плотности, близкой к максимальной при данном режиме уплотнения.

9.3.4 В состав операционного контроля нижележащего конструктивного слоя, перед устройством следующего слоя, входит визуальная проверка наличия трещин в соответствии с требованиями п. 9.1 настоящего ОДМ с инструментальным замером шага трещин при необходимости.

9.3.5. Операционный контроль при устройстве других конструктивных слоёв нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов, в том числе слоев из асфальтобетона, осуществляется в соответствии с требованиями ППР и действующих строительных норм [6].

9.4 Приемочный контроль

9.4.1 Приёмочный контроль при устройстве нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов и их конструктивных слоёв осуществляется в соответствии с требованиями действующих строительных норм [6], ППР и настоящего ОДМ.

9.4.2 В состав приемочного контроля входит визуальная проверка наличия сквозных трещин на асфальтобетонном покрытии и в монолитных конструктивных слоях в соответствии с требованиями п. 9.1 настоящего ОДМ с инструментальным замером шага трещин при необходимости. Выявленные трещины в верхнем слое асфальтобетонного покрытия подлежат

герметизации в соответствии с рекомендациями раздела 10.2. настоящего ОДМ. В том случае, если шаг трещин менее указанного в п. 9.1, вопрос о пригодности дорожной одежды к эксплуатации решается по результатам специальной научно-технической экспертизы.

9.5 Перечень Актов на скрытые работы

Приемка скрытых работ осуществляется по мере выполнения определённых видов работ или окончания устройства конструктивных элементов, которые будут полностью или частично скрыты при проведении следующих по технологии работ. Приемка скрытых работ осуществляется с составлением Акта на скрытые работы.

Примерный перечень Актов на скрытые работы при строительстве нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов:

- устройство теплоизолирующих, морозозащитных, дренирующих и других слоев;
- устройство конструктивных слоев оснований и покрытий (исключая верхний слой);
- устройство слоёв с использованием прослоек из геосинтетических и армирующих материалов;
- устройство подгрунтовки.

Перечень Актов на скрытые работы, обязательный для применения на объекте, указывается в проектной документации.

10. Рекомендации по эксплуатации и ремонту нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

10.1 Рекомендации по назначению межремонтных сроков для нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов

10.1.1 Срок очередного капитального ремонта нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов определяется проектным сроком службы дорожной одежды после нового строительства,

реконструкции или предыдущего капитального ремонта, либо величиной коэффициента прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, определяемого или прогнозируемого на перспективу до 1 года по результатам периодической диагностики в соответствии с действующими нормативными документами (наступление отказа дорожной одежды при достижении недопустимо низкого значения коэффициента прочности).

10.1.2 Сроки и виды ремонтов и дорожных работ на асфальтобетонных покрытиях нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов назначаются по результатам их периодической диагностики и определяются фактическим состоянием и прогнозируемой динамикой таких показателей транспортно-эксплуатационных свойств (ТЭС), как продольная и поперечная ровность дорожного покрытия, наличие просадок, ям и выбоин, а также шаг трещин. В необходимых случаях учитываются также сцепные свойства дорожного покрытия. Необходимость ремонта или дорожных работ возникает в том случае, если хотя бы один из перечисленных показателей ТЭС перестает удовлетворять действующим нормативным требованиям (отказ дорожного покрытия), либо по результатам диагностики отказ дорожного покрытия по одному из этих показателей прогнозируется в перспективе до 6 месяцев.

10.2 Технологии санации и герметизации трещин

Трещины с регулярным шагом являются характерной особенностью нежестких дорожных одежд с основаниями из материалов, укрепленных с применением нероганических вяжущих материалов. Поэтому, при достаточно большом шаге таких трещин, они не рассматриваются как значительные или критические дефекты. Однако, не загерметизированные (на момент освидетельствования) трещины в верхнем асфальтобетонном слое являются малозначительным дефектом и подлежат как можно скорейшей заливке битумными материалами при наступлении соответствующих погодных условий с учетом рекомендаций ОДМ 218.3.036-2013 «Рекомендации по технологии санации трещин и швов в эксплуатируемых

дорожных покрытиях» [11] и настоящего ОДМ.

10.2.1. При определении эффективной технологии ремонта трещин следует учитывать:

- количество трещин и среднее расстояние между ними;

- средний общий модуль упругости дорожной одежды на участке с трещинами;

- вид и состав материала покрытия;

- форму и разветвленность трещин (в плане);

- степень разрушения кромок и состояние покрытия в зонах трещин;

- длину и ширину трещин.

10.2.2 Основное внимание при заливке (санации) необходимо уделять температурным и отраженным трещинам, размер которых изменяется под действием температуры и воздействием окружающей среды. При наличии частой сетки трещин на асфальтобетонном покрытии, проводить их заливку - не эффективно.

10.2.3 Работы необходимо проводить в сухую погоду при влажности не выше 80% и при температуре воздуха выше +5 °С. Основные работы по заливке трещин эффективнее всего выполнять в период их максимального раскрытия. Самый оптимальный период для выполнения этих работ - весна, когда наступает теплая и сухая погода, или осень, когда днем еще достаточно тепло (выше +5 °С), а ночью при заморозках происходит сжатие покрытия.

В зависимости от ширины раскрытия трещин, процесс санации трещин включает в себя различные технологические операции.

Трещины с шириной раскрытия до 5 мм:

- продувка сжатым воздухом;

- разогрев трещины;

- заливка мастикой или битумной эмульсией с составом, обеспечивающим высокую проникающую способность.

Трещины с шириной раскрытия до 20 мм:

- разделка трещины с получением камеры (для трещин со

значительными разрушениями кромок);

- очистка трещин;

- просушка и продувка;

- разогрев боковых стенок трещины и камеры;

- заливка трещины;

- присыпка залитой трещины и камеры песком.

Трещины с шириной раскрытия более 20 мм:

- очистка трещины механическим способом;

- продувка сжатым воздухом;

- разогрев боковых стенок трещины (при необходимости – подгрунтовка);

- заделка трещины минерально-мастичной или органоминеральной ремонтной смесью специально подобранного состава (например, литой эмульсионно-минеральной смесью, щебёночно-мастичной смесью);

- уплотнение (при необходимости).

10.2.4 При осуществлении работ по заливке трещин требуется выдерживать непрерывность технологического процесса. Возможные временные перерывы между выполненными и последующими технологическими операциями не должны превышать указанных значений:

- после разделки - до 3 часов;

- после очистки - до 1 часа;

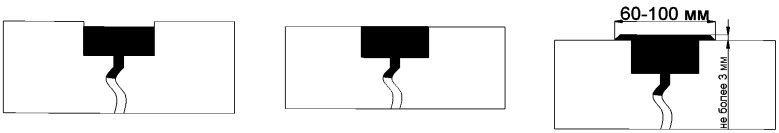
- после прогрева боковых стенок - до 0,5 мин;

- после герметизации - до 10 мин.

10.2.5 Трещины шириной 5…20 мм, имеющие 30…50% разрушения кромок, необходимо разделать с образованием камеры в верхней её части. При близком размещении имеющихся трещин (менее 0,5 м друг от друга), зачастую, разделывается только одна (основная) трещина, другая трещина только очищается и герметизируется.

Перед проведением заливки трещин, следует определиться с необходимым видом герметика и выбрать соответствующую форму

специальной насадки заливочной пики. В зависимости от свойств герметика (устойчивости, липкости и т.п.) и рекомендаций производителя заливку трещин необходимо осуществлять с недоливом, заподлицо или с переливом (пластырь на поверхности покрытия) (рис. 10.3).



С недоливом | Вровень с верхом (заподлицо) | С переливом

Рис. 10.3 – Варианты заливки трещин

10.2.6 В подготовительные работы включаются следующие процессы:

- проведение освидетельствования участка, предназначенного для ремонта, с составлением ведомости и карты дефектов, а также классифицирование выявленных трещин и повреждений с указанием предполагаемых причин их возникновения и назначением технологии ремонта;

- подбор и проверка в аккредитованной лаборатории рациональных составов ремонтных материалов;

- ремонтируемые участки должны быть ограждены для предотвращения движения автомобилей и пешеходов в соответствии с действующими нормативами.

10.2.5 Подготовка трещин к ремонтным работам

Сколы, выбоины, трещины ремонтируемого слоя очищают от грязи и пыли, продувая их с помощью компрессора сжатым воздухом. После этого верхнюю часть трещины (при необходимости) расширяют на определенную ширину и глубину для обеспечения наиболее эффективной герметизации. В необходимых случаях проводится повторная очистка расширенных трещин.

Осушку сколов, выбоин и трещин ремонтируемого слоя осуществляют техническими средствами, обеспечивающими разогрев рабочей поверхности до температур не выше 80°С.

Далее трещины промазывают жидким битумом с помощью кисти.

10.2.6 Герметизация трещин производится с помощью передвижной плавильно-заливочной установки, которая предназначена для разогрева до рабочей температуры и поддержания необходимой температуры мастики (битумных материалов) в ходе производства работ по герметизации. Установка состоит из системы разогрева и перемешивания.

10.2.7 Мастика (битумный материал) через люк загружается в котёл, где происходит её нагрев до рабочей температуры при постоянном перемешивании, после чего при помощи насоса по термостойким шлангам подаётся в заготовленную трещину.

10.2.8 Заливка трещин производится через сопло, которое, в том числе, может иметь приспособление для устройства над трещиной пластыря шириной 50...70 мм. Для исключения появления в подающих шлангах заторов ремонтного материала, система циркуляции горячей мастики должна быть замкнутой с подачей от заливочного сопла в бак, а также должен быть обеспечен электропрогрев шлангов.

10.2.9 Если трещины заливают с небольшим переливом, то они посыпаются сухой каменной мелочью (фр. 0…5 мм) или песком. Для подсыпки на заполненные ремонтным составом трещины заливщик дополнительно оснащается специальным устройством для подачи песка - бункер (объёмом не менее 30 литров), установленным на три колеса. Переднее колесо помогает передвигаться ровно по задаваемому направлению, а на оси задних колёс внутри бункера установлен валик для дозировки. Это специальное устройство перемещается вручную сразу после заливщика вдоль заполненной мастикой трещины. При этом колеса вращают валик, который дозирует нужное количество присыпочного материала на поверхность ремонтного состава.

10.3 Восстановление асфальтобетонных дорожных покрытий

10.3.1 Проведение дорожных работ по восстановлению слоя износа в виде различных поверхностных обработок и т. п. проводится в соответствии с действующими нормативными документами [5].

10.3.2 Верхний слой асфальтобетонного покрытия, при отсутствии специально запроектированного слоя износа, рассматривается как самостоятельный слой износа. При износе верхнего слоя покрытия, выражающемся в виде хотя бы одного из перечисленных показателей:

- достижении коэффициентом разрушения предельных значений 0,05...0,15, в зависимости от типа дорожной одежды и категории дороги по [2] (при этом разрушения в виде ям и выбоин не затрагивают нижележащий слой);

- утрате продольной ровности (без дефектов, затрагивающих нижележащий слой);

- утрате поперечной ровности (при этом глубина колеи менее проектной толщины верхнего слоя покрытия);

- образовании трещин с шагом менее 1 м на всю толщину верхнего слоя покрытия

рекомендуется провести дорожные работы по возобновлению верхнего асфальто-бетонного слоя износа дорожного покрытия. Для чего необходимо отфрезеровать верхний слой на полную глубину и на всю ширину покрытия и уложить новый верхний слой покрытия.

Допускается возобновление верхнего слоя а/б покрытия выполнять по технологии "горячего ресайклинга". В этом случае, при технико-экономическом сравнении вариантов технологий дорожных работ, следует уменьшать в 2 раза межремонтные сроки, приведенные в Таблице 6.1 настоящего ОДМ.

10.3.3 При выявлении на дорожном покрытии хотя бы одного из перечисленных дефектов:

- достижение коэффициентом разрушения предельных значений 0,05...0,15, в зависимости от типа дорожной одежды и категории дороги по [2] (при этом разрушения в виде ям и выбоин затрагивают верхний слой дорожного покрытия и нижележащий слой);

- утрата продольной ровности (с дефектами, затрагивающими верхний слой дорожного покрытия и нижележащий слой);

- утрата поперечной ровности (при этом глубина колеи более проектной толщины верхнего слоя покрытия);

- образование трещин с шагом менее 1 м на всю толщину двух верхних слоев покрытия

рекомендуется провести ремонт двух верхних а/б слоев дорожного покрытия. Для чего необходимо отфрезеровать верхний и нижний слои покрытия на полную глубину и на всю ширину покрытия и уложить новые верхний и нижний слои покрытия.

Допускается возобновление нижнего слоя а/б покрытия выполнять по технологии «горячего ресайклинга». В этом случае (при условии устройства верхнего слоя покрытия из новой асфальтобетонной смеси заводского приготовления), при технико-экономическом сравнении вариантов технологий дорожных работ, следует уменьшать в 1,7 раза межремонтные сроки, приведенные в Таблице 6.1 настоящего ОДМ.10.3.4

10.3.4 При наличии хотя бы одного из дефектов, отмеченных в п. 10.3.3, и при наличии сквозных трещин с шагом менее 5 м в нижележащих монолитных слоях основания дорожной одежды (что создает опасность образования частых отраженных трещин во вновь уложенных при ремонте двух слоях а/б покрытия) рекомендуется, после полного фрезерования двух

возобновляемых слоев дорожного покрытия, укладывать по верхнему слою трещиновато-блочного основания металлическую сетку с закреплением ее литой эмульсионно-минеральной смесью (ЛЭМС) в соответствии с ОДМ 218.3.041-2014 «Методические рекомендации по армированию асфальтобетонных слоев дорожных одежд стальными сетками» [12] и укладывать сверху 2 слоя нового а/б покрытия.

Библиография

[1]	СП 34.13330.2012	Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (с Изменением N 1)
[2]	ОДН 218.046-01	Проектирование нежестких дорожных одежд.
[3]		Отчет о НИР: Разработка проекта отраслевого методического документа ОДМ «Методические рекомендации по применению нежестких дорожных одежд с монолитными несущими основаниями из укрепленных материалов и грунтов» - СПб.: АО «Институт «Стройпроект», 2017, 183 с.
[4]		ОДМ Рекомендации по выявлению и устранению колей на нежестких дорожных одеждах – М.: Росавтодор, 2002, 179 с
[5]	ОДМ 218.3.082-2016	Методические рекомендации по назначению технологий и периодичности проведения работ по устройству слоев износа и защитных слоев дорожных покрытий
[6]	СП 78.13330.2012	Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 (с Изменением N 1)
[7]	СТО 26233397 МОСАВТОДОР.1.1.1.01-	Правила по строительству оснований и покрытий дорожных одежд местных

	2013	(сельских) автомобильных дорог Московской области с использованием укрепленных грунтов
[8]	СТО ТУАД 09-2010	Проектирование и строительство оснований дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна с применением стабилизаторов грунтов
[9]	ОДМ 218.4.031-2016	Рекомендации по организации и проведению ведомственного контроля (мониторинга) качества при выполнении дорожных работ на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения
[10]		Пособие по строительству покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов из грунтов, укрепленных вяжущими материалами, к СНиП 3.06.03-85 и СНиП 3.06.06-88
[11]	ОДМ 218.3.036-2013	Рекомендации по технологии санации трещин и швов в эксплуатируемых дорожных покрытиях
[12]	ОДМ 218.3.041-2014	Методические рекомендации по армированию асфальтобетонных слоев дорожных одежд стальными сетками.
[13]	ОДН 218.2.068-2016	Рекомендации по учету динамического воздействия от современных транспортных средств при расчетах прочности, устойчивости и деформативности земляного полотна

[14]		Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах (к СНиП 2.05.02-85)
[15]	СП 131.13330.2012	Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*
[16]	ТУ 13-0281036-05-89	Лингосульфонаты технические. Технические условия
[17]	ТУ 13-390000.1-22-8	Лигносульфонаты технические, модифицированные (ЛСТМ-2)
[18]	ТУ 38-3016-78	Гудрон нейтрализованный ГНД
[19]	ТУ 38-401-221-78	Водный раствор нейтрализованного гудрона ВНГ
[20]	ТУ 18-780-78	Подмыльный щёлок (ПЩ)
[21]	ОСТ 38-01182-80	Кубовый остаток производства синтетических жирных кислот (КОСЖК)
[22]	ТУ 38-101253-77	Синтетическая поверхностно-активная добавка (СПД)
[23]	ТУ 18/2-49-83	Глицериновый гудрон (ГП)
[24]	ТУ 38-17-55-80	Алкилсульфатная паста (АСП)
[25]	ТУ 5711-074-01393679-2010	NovoCrete
[26]	ТУ 5743-003-13881083-2006	Добавка укрепляющая для вяжущих растворов и сухих смесей NICOFLOK
[27]	ТУ 2294-002-68197468-2011	Полимерные латексы «Ла Тракт»
[28]	СТО Росдорнии 5.0-2012	Полимерная эмульсия «Эколюкс пакер»
[29]	ТУ 2499-001-30130102-2010	Модификатор «ДорЦем ДС-1»

[30]	ТУ 2241-001-49756235-2012	Стабилизатор грунтов «Дорстаб»
[31]	ТУ 6-02-696-76	Жидкости ГКЖ-10, ГКЖ-11. Технические условия
[32]	ОСТ 18-114-73	Смола госсиполовая
[33]	ТУ 38-403139-81	Пипериленстирольный латекс (СКПС-50) марки Б
[34]	ТУ 6-14-625-80	Суперпластификатор С-3
[35]	ТУ 6-01-24-63-82	Суперпластификатор СД-2А
[36]	ТУ 6-14-625-88	Суперпластификатор Н-1

Приложение А

Расчетные характеристики жаркого летнего периода

№ п/п	Географический пункт	Продолжительность жаркого летнего периода с температурой покрытия +50°С и выше, дни	Глубина проникновения изотермы +50°С в дорожную одежду, м
1	Майкоп	9	0,3
2	Барнаул	4,5	0,15
3	Благовещенск	6,5	0,25
4	Архангельск	2	0,05
5	Астрахань	13	0,45
6	Уфа	4,5	0,15
7	Белгород	8	0,20
8	Брянск	4	0,15
9	Улан-Уде	9,5	0,25
10	Владимир	3,5	0,10
11	Волгоград	14	0,50
12	Вологда	2,5	0,10
13	Воронеж	8	0,20
14	Махачкала	24,5	0,45
15	Иваново	2,5	0,10
16	Иркутск	5,5	0,10
17	Нальчик	12,5	0,30
18	Калининград	3,5	0,10
19	Элиста	16,5	0,50
20	Калуга	3,5	0,10
21	Петропавловск-Камчатский	1,0	0,05
22	Черкесск	7,5	0,20
23	Петрозаводск	3	0,05
24	Кемерово	2,5	0,10
25	Вятка	3	0,10
26	Ухта	2	0,05

27	Кострома	2,5	0,10
28	Краснодар	11,5	0,45
29	Сочи	11	0,30
30	Красноярск	9	0,15
31	Курган	4	0,20
32	Курск	5,5	0,15
33	Липецк	7,5	0,20
34	С-Петербург	2	0,10
35	Магадан	0,5	0,05
36	Йошкар-Ола	3	0,10
37	Саранск	5	0,20
38	Москва	3	0,10
39	Мурманск	1	0,05
40	Нижний Новгород	3,5	0,10
41	Новосибирск	3	0,15
42	Омск	3,5	0,20
43	Оренбург	12,5	0,40
44	Орел	4,5	0,15
45	Пенза	6	0,20
46	Пермь	3,5	0,10
47	Владивосток	2,5	0,10
48	Псков	2,5	0,10
49	Ростов-на-Дону	22	0,45
50	Рязань	4,5	0,15
51	Самара	8,5	0,20
52	Саратов	12,5	0,35
53	Южно-Сахалинск	2,5	0,10
54	Екатеринбург	2,5	0,10
55	Владикавказ	9	0,20
56	Смоленск	2	0,10
57	Ставрополь	16,5	0,40
58	Тамбов	7,5	0,20
59	Казань	4,5	0,15
60	Тверь	2,5	0,10

61	Томск	6,5	0,10
62	Кызыл	4	0,15
63	Тула	4,5	0,15
64	Тюмень	2	0,10
65	Ижевск	3	0,10
66	Ульяновск	5	0,20
67	Хабаровск	7,5	0,25
68	Челябинск	3,5	0,15
69	Грозный	8	0,35
70	Чита	6,5	0,20
71	Якутск	6,5	0,20
72	Ярославль	2,5	0,10
73	Симферополь	6,5	0,20
74	Ялта	12	0,30
75	Феодосия	12	0,35
76	Клепенино	7,5	0,30
77	Тихорецк	10	0,40
78	Миллерово	16	0,40
79	Братск	4,5	0,05
80	Ачинск	6	0,20
81	Сыктывкар	3,5	0,10
82	Ханты-Мансийск	3,5	0,10
83	Сургут	3	0,10
84	Абакан	3,5	0,10
85	В. Новгород	2	0,05
86	Тура	2	0,10
87	Дальнереченск	8,5	0,20
88	Оха	1	0,05
89	Ноглики	1	0,05
90	Поронайск	2	0,10
91	Александровск-Сахалинский	2	0,05
92	Советская Гавань	1,5	0,10
93	Комсомольск на Амуре	7,5	0,10
94	Николаевск на Амуре	2	0,10

95	Свободный	3,5	0,20
96	Сковородино	5,5	0,10
97	Ерофей Павлович	6	0,15
98	Тында	3,5	0,10
99	Алдан	3	0,10
100	Нера	2	0,05
101	Салехард	1	0,05
102	Игарка	1,5	0,05
103	Верхоянск	1,5	0,05
104	Бийск	3,5	0,15
105	Змеиногорск	4	0,20
106	Кош-Агачь	1,5	0,05

Приложение Б

Требования к морозостойкости каменных материалов и грунтов, укрепленных вяжущими, при использовании их в основаниях дорожных одежд при сроке службы дорожной одежды 24 года

(требования разработаны с учетом рекомендаций [3])

№ п/п	Географический пункт	Количество лабораторных циклов замораживания - оттаивания при -22 °С, которое должны выдерживать образцы материала при испытании по ГОСТ 30491-2012	Количество лабораторных циклов замораживания - оттаивания при -18 °С, которое должны выдерживать образцы материала при испытании по ГОСТ 10060-2012
1	Архангельск	40	50
2	Астрахань	20	25
3	Барнаул	30	35
4	Благовещенск	40	45
5	Сковородино	45	50
6	Уфа	30	35
7	Вологда	30	35
8	Махачкала	10	10
9	Братск	30	35
10	Иркутск	40	45
11	Калининград	20	20
12	Петрозаводск	30	35
13	Кемерово	35	40
14	Ухта	35	40
15	Краснодар	10	15
16	Курган	35	40
17	С-Петербург	25	30
18	Магадан	35	40

19	Москва	30	35
20	Мурманск	30	35
21	Новосибирск	35	40
22	Оренбург	30	35
23	Орел	25	30
24	Пермь	35	40
25	Владивосток	30	35
26	Ростов-на-Дону	20	20
27	Саратов	25	30
28	Южно-Сахалинск	30	35
29	Ханты-Мансийск	35	40
30	Комсомольск-на-Амуре	40	45
31	Хабаровск	35	40
32	Чита	40	45
33	Якутск	55	65
34	Темрюк	15	15
35	Новороссийск	5	5
36	Туапсе	5	5
37	Сочи	5	5
38	Симферополь	15	15
39	Джанкой	15	15
40	Феодосия	10	10
41	Ялта	5	5

П р и м е ч а н и е - Перед испытанием на морозостойкость образцы укрепленных каменных материалов и грунтов подвергаются капиллярному водонасыщению по ГОСТ 23558-94 либо по ГОСТ 30491-2012.

Приложение В

Учет влияния срока службы и погодно-климатических воздействий на расчетные характеристики асфальтобетонного слоя при проверочном расчете на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе

Остаточный, на момент проверки в конце срока службы, ресурс прочности асфальтобетонных слоев дорожных одежд определяется по формуле (18) ПНСТ 265-2018:

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (1 - \nu_R \cdot t), \qquad (В.1)$$

Где R_N – предельное напряжение на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений и погодно-климатических факторов, МПа;

R_0 - нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе (принимается по данным ПНСТ 265-2018 или иным справочным данным);

k_1 – коэффициент, учитывающий снижение прочности материала вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки (вычисляется по формуле 19 ПНСТ 265-2018);

t – коэффициент нормированного отклонения (принимается по ПНСТ 265-2018);

ν_R – коэффициент вариации прочности на растяжение при изгибе (принимается по ПНСТ 265-2018);

k_2 - коэффициент, учитывающий снижение прочности материала во времени от воздействия природно-климатических факторов в течение срока службы (принимается по данным ПНСТ 265-2018 или иным справочным данным).

Нормативный срок службы дорожной одежды (межремонтный срок проведения работ по капитальному ремонту) принят в ПНСТ 265-2018 равным 24 года, поэтому рекомендованные в ПНСТ 265-2018 значения коэффициента k_2 должны соответствовать этому сроку службы. В том случае, когда срок службы проверяемого слоя T' отличается от 24 лет (например, равен межремонтному сроку $t_{мр}$ по данным таблицы 6.1), значение соответствующего коэффициента k_2' принимается на основании зависимости:

$$k_2' = 1 - T'/24 + k_2 \cdot T'/24 , \qquad (В.2)$$

где k_2' - безразмерный коэффициент, учитывающий снижение прочности материала во времени от воздействия природно-климатических факторов за фактический срок службы;

T' - фактический срок службы, год;

k_2 – табличное значение коэффициента, учитывающего снижение прочности материала во времени от воздействия природно-климатических факторов за срок службы 24 года (принимается по данным ПНСТ 265-2018 или иным справочным данным).

С учетом фактического срока службы проверяемого асфальтобетонного слоя T', зависимость (В.1) принимает вид:

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2' \cdot (1 - \nu_R \cdot t), \qquad (В.3)$$

Где буквенные обозначения соответствуют буквенным обозначениям в формулах (В.1) и (В.2).

Приложение Г

Учет влияния вибрации на расчетные характеристики подстилающих дорожную одежду грунтов

Данные методические рекомендации основываются на применении, для решения задач проектирования дорожных одежд, основных положений ОДН 218.2.068-2016 «Рекомендации по учету динамического воздействия от современных транспортных средств при расчетах прочности, устойчивости и деформативности земляного полотна» [13].

При проектировании конструкций дорожных одежд необходимо в максимальной степени обеспечить высокий уровень их надежности по прочности под действием всех возможных внешних и внутренних нагрузок и воздействий. Одним из воздействий, которое необходимо учитывать, является вибрация (колебания с частотой, измеряемой тысячами Гц), обусловленная динамическим характером подвижной транспортной нагрузки. Вибрация, в той или иной мере, проявляет себя во всех конструктивных слоях дорожной одежды и в слоях земляного полотна. При этом ее негативное влияние на дорожную конструкцию выражается, в частности, в том, что вибрационное воздействие может приводить к значительному снижению расчетных прочностных и деформативных характеристик, прежде всего, подстилающих грунтов.

Влияния вибрации на дорожную конструкцию постепенно затухает по глубине, но, тем не менее, может распространяться на глубину до 3 м от поверхности дорожной одежды [14]. Т. е. вибрационное воздействие, как правило, захватывает подстилающие дорожную одежду грунты земляного полотна в пределах рабочего слоя и глубже. В общем случае, распространение колебаний в дорожной одежде и в теле земляного полотна (а также за его пределами) происходит одновременно в вертикальном и горизонтальном направлениях. Однако, для случая проектирования дорожной одежды, можно ограничиться учетом только расчетных амплитуд вертикальных колебаний в пределах ширины дорожной одежды.

Для грунтов земляного полотна под дорожной одеждой вибрационное воздействие можно оценивать расчетной амплитудой A_0 результирующих колебаний, возникающих при движении транспортных средств с высокой скоростью. Расчетную амплитуду колебаний A_0 на поверхности грунта рабочего слоя земляного полотна допускается определять по зависимости:

$$A_0 = 5{,}73 \cdot (E_{гр})^{-0{,}7} \cdot Q/\Sigma h_{i пр}, \qquad (Г.1)$$

где A_0 - расчетная амплитуда колебаний грунтов земляного полотна в пределах ширины дорожной одежды, мкм;

$E_{гр}$ – нормативное значение модуля упругости грунта при расчетной влажности $W_р$ ($E_{гр}$ и $W_р$ принимаются по ПНСТ 265-2018 или на основании иных источников информации), МПа;

Q – нормативная статическая нагрузка на ось, кН; $\Sigma h_{iпр}$ – сумма приведенных толщин слоев дорожной одежды, м.

Приведенная толщина слоя дорожной одежды вычисляется по зависимости [14]:

$$h_{iпр} = h_i \cdot (E_{iпр}/E_i)^{0,5}, \quad (Г.2)$$

где h_i - проектная толщина слоя, м;

E_i – нормативное значение кратковременного модуля упругости материала слоя, принимаемое по ПНСТ 265-2018 или на основании иных источников информации для условий расчета дорожной одежды по критерию упругого прогиба (при температуре +10°С), МПа;

$E_{iпр}$ - нормативное значение кратковременного модуля упругости материала слоя, принимаемое по ПНСТ 265-2018 или на основании иных источников информации для расчета дорожной одежды в условиях приведения, МПа. Условиями приведения являются: расчетные температуры для асфальтобетонных слоев, отличающиеся от +10°С (например, +50°С), влажность грунта, отличающаяся от расчетной, а также действие других факторов, приводящее к увеличению модуля упругости слоя (например, армирование).

Расчетные параметры, характеризующие сопротивление сдвигу, а также деформативные свойства грунтов при вибрационном воздействии, в зависимости от расчетной амплитуды колебаний, определяются соотношениями:

$$C_{дн} = C_{ст}\left[(1 - K_C) + K_C \cdot e^{-K \cdot (A0)}\right] \quad (Г.3)$$

$$\varphi_{дн} = \varphi_{ст}\left[\left(1 - K_\varphi\right) + K_\varphi \cdot e^{-K \cdot (A0)}\right] \quad (Г.4)$$

$$E_{дн} = E_{ст}\left[\left(1 - K_{Eу}\right) + K_{Eу} \cdot e^{-K' \cdot (A0)}\right] \quad (Г.5)$$

где

K_C – максимальное относительное снижение удельного сцепления грунта при вибрационном воздействии;

K_φ – максимальное относительное снижение угла внутреннего трения грунта при вибрационном воздействии;

$K_{Eу}$ – максимальное относительное снижение модуля упругости грунта при вибрационном воздействии;

$C_{ст}$, $\varphi_{ст}$, $E_{ст}$ – нормативные (расчетные) значения удельного сцепления, угла внутреннего трения и модуля упругости материала с учетом числа приложения расчетных нагрузок (принимаются по справочной базе данных ПНСТ 265-2018);

$C_{дн}$, $\varphi_{дн}$, $E_{дн}$ – расчетные значения удельного сцепления, угла внутреннего трения и модуля упругости материала с учетом вибрационного воздействия;

A_0 – амплитуда колебаний (мкм), определяемая по формуле (Г.1);

K, K'– соответственно, коэффициенты виброразрушения и вибродеформирования материалов, при отсутствии экспериментально определенных значений могут приниматься в соответствии с таблицами Г.1 и Г.2.

Таблица Г.1 – Коэффициенты виброразрушения и вибродеформирования глинистых грунтов

Показатели	Наименование и относительная влажность грунта							
	Супеси		Суглинки			Глины		
	$< 0{,}6W_T$	$> 0{,}6W_T$	$< 0{,}6W_T$	$(0{,}6\text{-}0{,}8)W_T$	$>0{,}8W_T$	$< 0{,}6W_T$	$(0{,}6\text{-}0{,}8)W_T$	$>0{,}8W_T$
K	0,006	0,025	0,006	0,011	0,02	0,005	0,010	0,015
K'	0,007	0,02	0,008	0,012	0,015	0,010	0,012	0,018

Таблица Г.2 – Коэффициенты виброразрушения и вибродеформирования песчаных грунтов

Показатели	Наименование материала		
	Пески гравелистые, крупные, средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
K	0,006	0,012	0,019
K'	0,005	0,013	0,022

Основными показателями, определяющими чувствительность механических свойств материалов дорожных одежд и грунтов земляного полотна к вибрационному воздействию, являются:

- максимальное относительное снижение удельного сцепления материала при действии транспортной динамической нагрузки, K_C;

- максимальное относительное снижение угла внутреннего трения материала при действии транспортной динамической нагрузки, K_φ;

- максимальное относительное снижение модуля упругости материала при действии транспортной динамической нагрузки, $K_{Eу}$.

Эти показатели следует, как правило, определять по результатам непосредственных испытаний материалов в лабораторных условиях. Допускается для предварительных расчетов, а также при отсутствии или недостаточности опытных данных, использовать показатели K_C, K_φ, K_E и $K_{Eу}$, приведенные в таблицах Г.3 и Г.4.

Таблица Г.3 – Показатели чувствительности механических свойств связных (глинистых) грунтов к вибрационному воздействию

Показатели	Наименование и относительная влажность грунта							
	Супеси		Суглинки			Глины		
	< 0,6W_T	> 0,6W_T	< 0,6W_T	(0,6-0,8)W_T	>0,8W_T	< 0,6W_T	(0,6-0,8)W_T	>0,8W_T
K_C	0,10	0,60	0,20	0,50	0,15	0,15	0,55	0,13
K_φ	0,07	0,40	0,10	0,40	0,08	0,09	0,45	0,10
$K_{Eу}$	0,15	0,35	0,15	0,25	0,20	0,12	0,24	0,18

Таблица Г.4 – Показатели чувствительности механических свойств не связных (песчаных) грунтов к вибрационному воздействию

Показатели	Наименование материала		
	Пески гравелистые, крупные, средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
K_C	0,10	0,20	0,30
K_φ	0,15	0,18	0,20
$K_{Eу}$	0,10	0,18	0,25

Применение данной методики учета вибрационного воздействия на грунты земляного полотна позволяет получить более точную оценку прочности дорожных одежд

автомобильных дорог. С этой целью, вместо предусмотренных справочной базой ПНСТ 265-2018 стандартных расчетных характеристик грунтов $C_{ст}$, $\varphi_{ст}$, $E_{ст}$, рекомендуется использовать при всех видах прочностных расчетов дорожных одежд, в условиях динамического нагружения, откорректированные с учетом вибрационного воздействия значения $C_{дн}$, $\varphi_{дн}$, $E_{дн}$. Примеры применения методики представлены ниже

Пример 1. Определить уточненные, с учетом вибрационного воздействия, расчетные характеристики грунта для проверочного расчета на упругий прогиб следующей дорожной одежды:

1. Плотный м/з а/б тип А (БНД 60/90) – h_1 = 5 см

2. Пористый к/з а/б (БНД 60/90) – h_2 = 10 см

3. Пористый к/з а/б (БНД 60/90) – h_3 = 12 см

4. ЩПС С-5 – h_4 = 46 см

5. Песок средней крупности – h_5 = 50 см

Грунт з/п – суглинок легкий (Wp = 0,805 Wт).

Суммарное расчетное число приложений нагрузки на ось 115 кН – 7000000.

Нормативные и расчетные значения характеристик материалов при стандартном расчете на упругий прогиб (расчетная температура +10°С) [2]:

1. Плотный м/з а/б тип А (БНД 60/90) – E_1 = 3200 МПа

2. Пористый к/з а/б (БНД 60/90) – E_2 = 2000 МПа

3. Пористый к/з а/б (БНД 60/90) – E_3 = 2000 МПа

4. ЩПС С-5 – E_4 = 260 МПа

5. Песок средней крупности – E_5 = 120 МПа

Грунт з/п – суглинок легкий - $E_{гр} = E_{ст}$ = 29 МПа, $C_{ст}$ = 0,002 МПа, $\varphi_{ст}$ = 2,5 градус.

Условия приведения при заданной проверке совпадают со стандартными: расчетная температура асфальтобетона +10°С. Расчетная влажность грунта не меняется по сравнению с расчетной влажностью при проверке дорожной одежды по критерию упругого прогиба. Приведенная толщина дорожной одежды:

$$\Sigma h_{iпр} = [0,05 \cdot (3200/3200)^{0,5} + 0,1 \cdot (2000/2000)^{0,5} + 0,12 \cdot (2000/2000)^{0,5} + 0,46 \cdot (260/260)^{0,5} + 0,5 \cdot (120/120)^{0,5}] = 1,23 \text{ м}$$

Результирующая амплитуда колебаний A_0 на поверхности грунта рабочего слоя земляного полотна:

$$A_0 = 5,73 \cdot (E_{гр})^{-0,7} \cdot Q/\Sigma h_{iпр} = 5,73 \cdot 29^{-0,7} \cdot 115/1,23 = 50,7 \text{ мкм}$$

К = 0,02

$K' = 0{,}015$

$K_C = 0{,}15$

$K_\varphi = 0{,}08$

$K_{Eу} = 0{,}2$

$C_{дн} = C_{ст}\left[(1 - K_C) + K_C \cdot e^{-K\cdot(A0)}\right]$ = 0,002·[(1-0,15) + 0,15·exp(-0,02·50,7)] = 0,0018 МПа

$\varphi_{дн} = \varphi_{ст}\left[\left(1 - K_\varphi\right) + K_\varphi \cdot e^{-K\cdot(A0)}\right]$ = 2,5·[(1-0,08) + 0,08·exp(-0,02· 50,7)] = 2,37 градуса

$E_{дн} = E_{ст}\left[\left(1 - K_{Eу}\right) + K_{Eу} \cdot e^{-K'\cdot(A0)}\right]$ = 29·[(1-0,2) + 0,2·exp(-0,015·50,7)] = 25,9 МПа

Вывод: Для выполнения прочностного расчета дорожной одежды по критерию упругого прогиба, с учетом вибрационного воздействия от движущихся транспортных средств, следует принять уточненный с учетом вибрационного воздействия расчетный модуль упругости грунта: E = 25,9 МПа (вместо E = 29,0 МПа).

Справочно, при данных условиях приведения грунт имеет следующие сдвиговые характеристики: C = 0,0018 МПа (вместо C = 0,002 МПа); φ = 2,37 ° (вместо φ = 2,5 °).

Пример 2. Определить уточненные, с учетом вибрационного воздействия, расчетные характеристики грунта для дополнительного проверочного расчета на сдвиг в подстилающем грунте дорожной одежды из примера 1 в условиях, приведенных к жаркому летнему периоду (температура а/б слоев +50°С, расчетная влажность грунта 0,6 Wт). Расчетная нагрузка на ось и число приложений расчетной нагрузки принимается аналогично примеру 1. Нормативные и расчетные значения характеристик материалов слоев дорожной одежды (за исключением грунта) при стандартном расчете на упругий прогиб также принимаются по примеру 1.

Нормативные и расчетные значения характеристик материалов для условий приведения (расчетная температура +50°С, влажность грунта 0,6 Wт) [2]:

1. Плотный м/з а/б тип А (БНД 60/90) – E_1 = 460 МПа
2. Пористый к/з а/б (БНД 60/90) – E2 = 360 МПа
3. Пористый к/з а/б (БНД 60/90) – E3 = 360 МПа
4. ЩПС С-5 – E4 = 260 МПа
5. Песок средней крупности – E5 = 120 МПа

Грунт з/п – суглинок легкий - Егр = Ест = 72 МПа, Сст = 0,012 МПа, φст = 9,0 градусов.

Приведенная толщина дорожной одежды:

$\Sigma h_{ипр} = [0,05 \cdot (460/3200)^{0,5} + 0,1 \cdot (360/2000)^{0,5} + 0,12 \cdot (360/2000)^{0,5} + 0,46 \cdot (260/260)^{0,5} + 0,5 \cdot (120/120)^{0,5}] = 1,13$ м

Результирующая амплитуда колебаний A_0 на поверхности грунта рабочего слоя земляного полотна:

$A_0 = 5,73 \cdot (E_{гр})^{-0,7} \cdot Q/\Sigma h_{ипр} = 5,73 \cdot 72^{-0,7} \cdot 115/1,13 = 29,72$ мкм

К = 0,011

К′ = 0,012

$К_С = 0,50$

Кφ = 0,40

КЕу = 0,25

$C_{дн} = C_{ст}[(1 - K_C) + K_C \cdot e^{-K \cdot (A0)}] = 0,012 \cdot [(1-0,5) + 0,5 \cdot \exp(-0,011 \cdot 29,2)] = 0,0103$ МПа

$\varphi_{дн} = \varphi_{ст}[(1 - K_\varphi) + K_\varphi \cdot e^{-K \cdot (A0)}] = 9 \cdot [(1-0,4) + 0,4 \cdot \exp(-0,011 \cdot 29,2)] = 8$ градусов

$E_{дн} = E_{ст}[(1 - K_{Eу}) + K_{Eу} \cdot e^{-K' \cdot (A0)}] = 72 \cdot [(1-0,25) + 0,25 \cdot \exp(-0,012 \cdot 29,2)] = 66,6$ МПа

Вывод: Для выполнения дополнительного прочностного расчета дорожной одежды по критерию сдвига в подстилающих грунтах в условиях жаркого летнего периода, с учетом вибрационного воздействия от движущихся транспортных средств, следует принять уточненные с учетом вибрационного воздействия расчетные значения грунта:

С = 0,0103 МПа (вместо С = 0,012 МПа);

φ = 8,0 ° (вместо φ = 9,0 °);

Е = 66,6 МПа (вместо Е = 72 МПа).

Приложение Д

Рекомендации по уточнению расчетных характеристик грунтов

Для учета режима нагружения дорожной одежды, рекомендуется:

- При расчетах на воздействие динамической (движущейся) нагрузки, расчетные модули упругости песка и грунта допускается принимать с учетом вибрационного воздействия от движущихся транспортных средств (см. Приложение Г).

- При расчете конструкции на статическое действие нагрузок, расчетные модули упругости грунтов следует уменьшать на 5% для несвязных (песчаных) и на 15% для связных (глинистых) грунтов по сравнению со справочной базой ПНСТ 265-2018.

Приложение Е

Учет работы дорожной одежды в жаркий летний период

Практически для всей территории РФ характерно наличие летом особо жаркого периода, когда температура асфальтобетонного покрытия достигает +50°С и выше (это обусловлено не только высокой температурой наружного воздуха, но и дополнительным нагревом дорожного полотна в результате инсоляции). Региональные различия заключаются, главным образом, в том, как долго продолжается такой жаркий период. Например, в южных регионах этот период летней жары может продолжаться несколько недель, тогда как в северных регионах – несколько дней. Следствием продолжительности жаркого периода является глубина прогрева дорожной одежды. Чем дольше стоит жара, тем глубже, при прочих равных условиях, изотерма +50 °С проникает в толщу дорожной одежды. В северных регионах эта глубина составляет около 5 см (т. е. прогрет только верхний слой дорожного покрытия), в южных – до 30 см и более (т. е. прогрет весь пакет асфальтобетонных слоев и верхний слой основания дорожной одежды). Справочная информация о продолжительности и глубине прогрева дорожной одежды для различных географических пунктов представлена в Приложении А.

Особенностью асфальтобетонов и других битумосодержащих материалов является ярко выраженная зависимость их прочностных и деформативных свойств от температуры. Так, расчетный модуль упругости асфальтобетона при температуре +50°С в 6-8 раз ниже, чем расчетный модуль упругости того же асфальтобетона при температуре +10°С, при которой производится стандартный расчет дорожной одежды по критерию упругого прогиба. Такое резкое снижение расчетного модуля упругости асфальтобетона при +50°С неизбежно приводит к снижению общего модуля упругости дорожной одежды в жаркий летний период до величины, которая может быть на 30…50% ниже расчетного общего модуля упругости дорожной одежды, полученного при стандартном расчете (коэффициент теплоустойчивости дорожной одежды 0,7 … 0,5). При этом, снижение общего модуля упругости дорожной одежды из-за разупрочнения пакета асфальтобетонных слоев не компенсируется, в полной мере, повышением расчетных характеристик подстилающих грунтов при их высыхании летом. В результате снижения общего модуля упругости дорожной одежды $E_{об}$ возрастает, по сравнению с расчетными условиями весеннего периода, уровень активных напряжений сдвига в подстилающем дорожную одежду грунте и в малосвязных (песчаных) конструктивных слоях. При этом, увеличение активных напряжений сдвига в связных грунтах, как правило, не представляет опасности т. к. прочностные характеристики таких грунтов летом выше, чем весной.

Иначе обстоит дело с песчаными слоями. Их сдвиговые характеристики, практически, не зависят от влажности и сохраняются летом на том же уровне, что и весной. Поэтому, летнее повышение активных напряжений сдвига в песчаных слоях может вызывать недопустимое снижение их коэффициента прочности по данному критерию. Что, в свою очередь, может приводить к более интенсивному, нежели в другие периоды года, накоплению деформаций формоизменения и образованию дополнительных дефектов дорожной одежды (в том числе, нарушению ровности дорожного покрытия). Особенно значительно это может проявляться на дорожных одеждах с толстыми пакетами асфальтобетонных слоев, а также в более южных регионах.

Дополнительный проверочный расчет дорожной одежды на сдвиг в жаркий летний период выполняется по стандартным методикам ПНСТ 265-2018 с учетом положений настоящего ОДМ и на основании расчетных характеристик материалов и грунтов, соответствующих жаркому летнему периоду.

Наряду с повышением активных напряжений сдвига, в дорожной одежде с асфальтобетоным покрытием, в жаркий летний период могут увеличиваться также и деформации растяжения в нижних монолитных слоях. Для материалов, укрепленных неорганическими или комплексными вяжущими и сохраняющих высокий модуль упругости при высокой летней температуре, увеличение деформаций растяжения влечет за собой увеличение растягивающих напряжений, по сравнению с расчетным весенним периодом. Что, в свою очередь, может приводить в этих условиях к значительному снижению коэффициента прочности укрепленных промежуточных слоев основания по критерию прочности на изгиб. Поэтому, для нежестких дорожных одежд с основаниями из укрепленных материалов, необходимо проводить дополнительную проверку монолитных промежуточных слоев основания, укрепленных неорганическим или комплексным вяжущим, в соответствии с положениями п. 6.3. настоящего ОДМ и на основе расчетных характеристик материалов и грунтов, соответствующих жаркому летнему периоду.

Расчетные характеристики материалов для жаркого летнего периода:

А) В расчетной модели принято, что в течение летнего периода подстилающие грунты, после весеннего переувлажнения до относительной расчетной влажности W_p, постепенно высыхают до минимального в годовом цикле значения влажности $0{,}5W_T$ (что соответствует, приблизительно, максимальной молекулярной влагоемкости грунта), которого они достигают в начале осени, т. е. после того как жаркий летний период уже

закончится. Поэтому расчетную влажность грунта в жаркий летний расчетный период предлагается определять ориентировочно по формуле:

$$W_{р\ летн} = 0,5 \cdot W_р + 0,25 \qquad (Е.1)$$

Где $W_{р\ летн}$ - относительная расчетная влажность грунта в жаркий летний период (в долях от влажности грунта на пределе текучести $W_т$);

$W_р$ - относительная расчетная влажность грунта, принимаемая по формуле А.1 ПНСТ 265-2018 (в долях от влажности грунта на пределе текучести $W_т$).

На основании расчетной влажности $W_{р\ летн}$, по Приложению А ПНСТ 265-2018, определяются расчетные характеристики грунта в жаркий летний период.

Б) По Приложению А настоящего ОДМ принимается глубина прогрева дорожной одежды до температуры +50°С и выше. В этой зоне расчетная температура асфальтобетона принимается равной +50 °С. Если в пределах этой зоны целиком располагается один или несколько слоев асфальтобетона (или любого битумосодержащего материала), то во всех этих слоях температура асфальтобетона или битумосодержащего материала принимается равной +50 °С. Если слой попадает в эту разогретую зону частично, более чем на половину своей толщины – он целиком включается в эту зону. Если он попадает в разогретую зону менее, чем на половину своей толщины – он исключается из этой зоны. Если ниже разогретой до +50°С зоны имеются еще слои асфальтобетона или битумосодержащего материала, то их расчетная температура назначается следующим образом. В первом после разогретой зоны слое расчетная температура понижается от +50°С из расчета 1°С на 1 см толщины слоя (*например: при толщине слоя 10 см его расчетная температура будет равна 50°С – 1°С/см·10 см = 40 °С*). В следующих слоях расчетная температура понижается от температуры вышележащего слоя из расчета 0,5°С на 1 см толщины слоя (*например: при толщине следующего нижележащего слоя 10 см его расчетная температура будет равна 40°С – 0,5°С/см·10 см = 35 °С. Расчетная температура следующего за ним слоя толщиной 16 см составит 35°С – 0,5°С/см·16 см = 27 °С*). Для упрощения расчета, рекомендуется округлять полученные значения расчетной температуры в слоях ниже разогретой зоны с точностью до 5 °С. На основании полученных значений расчетной температуры в слоях, по справочной базе ПНСТ 265-2018 или по другим источникам информации, принимаются расчетные характеристики асфальтобетонов и битумосодержащих материалов.

В) Расчетные характеристики иных дорожно-строительных материалов для жаркого летнего периода принимаются по справочной базе ПНСТ 265-2018.

На основании полученных расчетных характеристик материалов, по стандартным методикам ПНСТ 265-2018 с учетом положений п.6.3 настоящего ОДМ, выполняется проверочный расчет дорожной одежды по критерию упругого прогиба, по критерию сдвигоустойчивости подстилающих грунтов и малосвязных (песчаных) конструктивных слоев, а также и по критерию прочности на изгиб монолитных промежуточных слоев основания в условиях жаркого летнего периода. В том случае, если сдвигоустойчивость или прочность на изгиб не обеспечены, необходимо предусмотреть дополнительные конструктивные решения, направленные на обеспечение сдвигоустойчивости грунтов и малосвязных слоев или на обеспечение прочности на изгиб монолитных промежуточных слоев основания в жаркий летний период.

Пример расчета: Выполнить проверку на прочность, включая дополнительную проверку в жаркий летний период, для дорожной одежды, представленной в таблице Е.1.

Таблица Е.1 – Конструкция дорожной одежды

Материал слоя	Толщина, см	Плотность, кг/см^3
Асфальтобетон плотный тип А, на вязком битуме 60/90	4	2400
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	8	2300
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	10	2300
Щебеночно-песчаная смесь оптимального состава, обработанная цементом (ЩЦПС) М60	43	2100
Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	45	1950
Грунт суглинок легкий	-	-

Общая толщина дорожной одежды 110 см.

Область проектирования – г. Хабаровск, Хабаровский край;

Категория проектируемой дороги - II;

Дорожно-климатическая зона – II; Подзона – 2; Тип местности по увлажнению – 3;

Грунт рабочего слоя земляного полотна – Грунт суглинок легкий;

Коэффициент уплотнения грунта земляного полотна $K_{упл}$ = 1,01 – 0,98.

Тип дорожной одежды – капитальный; Срок службы дорожной одежды, лет - 24;

Заданная надежность - $K_н$ = 0,98;

Расчетная нагрузка – АК 11,5 (ГОСТ 32960-2014);

Параметры расчетной нагрузки:

Нагрузка на колесо Q = 57,5 кН;

Давление в шине P = 0,8 МПа;

Диаметр штампа движущегося колеса $Д_д$ = 34 см;

Диаметр штампа колеса от статической нагрузки $Д_{ст}$ = 30 см;

Расчет выполняется для спаренного баллона;

Заданное суммарное расчетное число приложений нагрузки - 3504480;

Минимальный требуемый модуль упругости конструкции E_{min} = 381,0 МПа.

Расчет для условий весеннего расчетного периода.

Расчетная влажность связного грунта:

$W_р = (W_{табл} + Δ + Δ_{1W} + Δ_{2W})\cdot(1 + 0,1\cdot t) – Δ_3 = (0,67 + 0,03 + 0 – 0)\cdot(1 + 0,1\cdot 2,19) - 0 = 0,853$

Расчетные характеристики (модуль упругости и сдвиговые характеристики) грунта и песка приведены в таблице Е.2:

Таблица Е.2 – Расчетные характеристики грунта и песка

Материал слоя	E, МПа	Угол внутреннего трения, градусы	Угол внутреннего трения (статика), градусы	Сцепление, МПа	Сцепление (статика), МПа
Песок средней крупности	120	22	32	0,002	0,004
Грунт суглинок легкий	29,8	2,23	12,20	0,0015	0,0094

Примечание - В данном примере не учитывалось влияние режима нагружения на расчетные характеристики грунта и песка.

Расчетные характеристики слоев дорожной одежды приведены в таблице Е.3:

Таблица Е.3 – Расчетные характеристики слоев дорожной одежды

Материал слоя	Модуль упругости по упругому прогибу, МПа	Модуль упругости по сдвигу, МПа	Модуль упругости на изгиб, МПа	Сопротивление растяжению при изгибе R_0, МПа	m	α
Асфальтобетон	3200	1800	4500	9,8	5,5	5,2

плотный тип А, на вязком битуме 60/90						
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	2000	1200	2800	8	4,3	5,9
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	2000	1200	2800	8	4,3	5,9
ЩЦПС М-60	800	800	800	0,47	-	-
Песок средней крупности	120	120	120	-	-	-

Расчет дорожной одежды по упругому прогибу.

Общий расчетный модуль упругости конструкции определяют с помощью номограммы рис. 4 ПНСТ 265-2018 (далее по тексту – ПНСТ), построенной по решению теории упругости для модели многослойной среды.

Схема расчета конструкции приведена ниже:

E_6 = 672,0 МПа
E_5 = 593,5 МПа
E_4 = 464,8 МПа
E_3 = 312,0 МПа
E_2 = 75,2 МПа
E_1 = 29,8 МПа

Минимальный требуемый модуль упругости конструкции E_{min} = 381,0 МПа.

Общий расчетный модуль упругости конструкции $E_{об}$ = 672,0 МПа.

Коэффициент прочности конструкции по упругому прогибу:

$$К_{пр} = E_{об}/E_{min} = 672,0/381,0 = 1,76$$

Требуемый коэффициентом прочности $К_{пр}^{тр}$ равен 1,50. Прочность по упругому прогибу в весенний расчетный период обеспечена.

Расчет на сопротивление монолитных слоев дорожной одежды

усталостному разрушению от растяжения при изгибе

Расчет выполняется исходя из условия:

$$\sigma_r \leq \frac{R_N}{К_{пр}^{тр}},$$

где $К_{пр}^{тр}$ – требуемый коэффициент прочности с учетом заданной надежности (таблица 11 ПНСТ), равный 1.10;

RN – прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений;

σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом.

Наибольшее растягивающее напряжение σ_r при изгибе в монолитном слое определяем с помощью номограммы, приводя реальную конструкцию к двухслойной модели. К верхнему слою модели относят все асфальтобетонные слои, включая рассчитываемый.

Толщину верхнего слоя модели принимаем равной сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев – 22.00, см.

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ:

$$E_в = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 3109.09 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Нижним слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, включая грунт рабочего слоя земляного полотна.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок 4 ПНСТ:

E_3 = 312.00 МПа
E_2 = 75.19 МПа
E_1 = 29.76 МПа

Общий модуль упругости нижних слоев - 312.00 МПа.

При использовании номограммы расчетное растягивающее напряжение определяют по формуле 20, ПНСТ:

$$\sigma_r = \overline{\sigma}_r \cdot p \cdot k_в = 0.878 \cdot 0.80 \cdot 0.85 = 0.612 \text{ МПа}$$

где $\overline{\sigma}_r$ - растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетных диаметрах площадки, передающей нагрузку, рисунок 10 ПНСТ, МПа;

$k_в$ - коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном;

p - расчетное давление от колеса на покрытие, МПа.

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе определяют по формуле 18, ПНСТ:

$$R_n = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2(1 - \gamma_r \cdot t) = 8.00 \cdot 0.16 \cdot 0.80(1 - 0.1 \cdot 2.19) = 0.78 \text{ МПа}$$

где R_0 - нормативное значение предельного сопротивления растяжению при изгибе при расчетной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки (таблица 5.5, приложение Б ПНСТ), МПа;

k_1 - коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки, (формула 19, ПНСТ, с учетом ОДМ 218.05.001-2009):

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}} = \frac{5.20}{\sqrt[4.30]{3504480.00}} = 0.16$$

k_2 - учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов (таблица 14 ПНСТ);

γ_r - коэффициент вариации прочности на растяжение, равный 0.1;

t - коэффициент нормативного отклонения (таблица А.4, ПНСТ).

Коэффициент прочности конструкции полученный по расчету, равен:

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_N}{\sigma} = \frac{0.78}{0.612} = 1.27,$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1.10$.

Прочность обеспечена.

Расчет монолитных оснований на изгиб

Расчет выполняется исходя из условия:

$$\sigma_r \leq \frac{R_{\text{пр}}}{K_{\text{пр}}^{\text{тр}}},$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ – требуемый коэффициент прочности с учетом заданной надежности (таблица 11 ПНСТ), равный 1.10;

$R_{пр}$ – предельное напряжение на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений материалов, укрепленных неорганическими или комплексными вяжущими, определяемое по ПНСТ ф-ла 22;

σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом.

Наибольшее растягивающее напряжение σ_r при изгибе в монолитном слое определяем с помощью номограммы, приводя реальную конструкцию к трехслойной модели, где средним будет рассматриваемый слой.

Определяется средневзвешенный модуль упругости верхних слоев, по формуле 16, ПНСТ:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 1309.09 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев – 75.19 МПа.

При использовании номограммы рисунок 10, расчетное растягивающее напряжение определяют по формуле 20, ПНСТ:

$$\sigma_r = \overline{\sigma}_r \cdot p \cdot k_в = 0.14081 \cdot 0.80 \cdot 0.85 = 0.0958 \text{ МПа},$$

где $\overline{\sigma}_r$ – растягивающее напряжение при изгибе от единичной нагрузки, МПа, определяемое по номограмме рисунок 10 ПНСТ;

p - расчетное давление от колеса на покрытие, МПа;

Рассчитывается предельное напряжение на растяжение при изгибе, с учетом усталостных процессов, по формуле 22, ПНСТ:

$$R_{пр} = R_{укр} \cdot К_у = 0.47 \cdot 0.96 = 0.45 \text{ МПа},$$

где $R_{укр}$ – предельное напряжение на растяжение при изгибе (таблица Б.1 ПНСТ);

$К_у$ – коэффициент усталости, учитывающий снижение прочности материалов, укрепленных неорганическими и комплексными вяжущими, при многократном приложении нагрузки определяемый по формуле 23, ПНСТ:

$$К_у = 1.525 \cdot N_p^{-0.0673} = 0.96$$

Коэффициент прочности конструкции полученный по расчету, равен:

$$K_{пр} = \frac{R_{пр}}{\sigma_r} = \frac{0.45}{0.0958} = 4.71.$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр} = 1.10$

Прочность обеспечена.

Расчет по сдвигу для слоя «грунт суглинок легкий»

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ:

$$E_в = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 623.64 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды до рассматриваемого слоя;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок 4 ПНСТ:

E_1 = 29.76 МПа

Общий модуль упругости нижних слоев - 29.76 МПа.

Активное напряжение сдвига $\bar{\tau}_н$ от единичной нагрузки p = 1 МПа определяют по номограммам рисунок 5 или рисунок 6 ПНСТ, при угле внутреннего трения φ = 2.233 оно составляет 0.00658.

Активное напряжение сдвига при p = 0.80 МПа, по формуле 14 ПНСТ:

$$T = 0.00658 \cdot 0.80 = 0.00526 \text{ МПа},$$

Предельное активное напряжение сдвига в слое:

$$T_{пр} = 1.00 \cdot (0.001 + 0.1 \cdot 0.00200 \cdot 110.00 \cdot \tan 12.200) = 0.00622 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности конструкции:

$$K_{пр} = \frac{T_{пр}}{T} = \frac{0.00622}{0.00526} = 1.18.$$

Требуемый коэффициент прочности, $K_{пр}^{тр}$ = 1.10

Прочность обеспечена.

Расчет по сдвигу для слоя «песок средней крупности» с содержанием

пылевато-глинистой фракции 0%

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ:

$$E_в = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 972.31 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды до рассматриваемого слоя;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок 4 ПНСТ:

E_2 = 75.19 МПа
E_1 = 29.76 МПа

Общий модуль упругости нижних слоев - 75.19 МПа.

Активное напряжение сдвига $\bar{\tau}_н$ от единичной нагрузки p = 1 МПа определяют по номограммам рисунок 5 или рисунок 6 ПНСТ, при угле внутреннего трения φ = 22.000 оно составляет 0.01065.

Активное напряжение сдвига при p = 0.80 МПа, по формуле 14 ПНСТ:

$$T = 0.01065 \cdot 0.80 = 0.00852 \text{ МПа},$$

Предельное активное напряжение сдвига в слое:

$$T_{пр} = 4.00 \cdot (0.002 + 0.1 \cdot 0.00200 \cdot 65.00 \cdot \tan 32.000) = 0.04049 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности конструкции:

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0.04049}{0.00852} = 4.75.$$

Требуемый коэффициент прочности, $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1.10$

Прочность обеспечена.

Расчет на статическую нагрузку

Расчет для слоя Легкий суглинок

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 438.18 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок 4, ПНСТ:

$E_1 = 29.76$ МПа

Общий модуль упругости нижних слоев - 29.76 МПа.

Активное напряжение сдвига $\bar{\tau}_{\text{н}}$ от единичной нагрузки $p = 1$ МПа определяют по номограммам рисунок 5 или рисунок 6 ПНСТ, при угле внутреннего трения $\varphi = 12.200$ оно составляет 0.00468.

Активное напряжение сдвига при $p = 0.80$ МПа, по формуле 14 ПНСТ:

$$T = 0.00468 \cdot 0.80 = 0.00374 \text{ МПа},$$

Предельное активное напряжение сдвига в слое:

$$T_{\text{пр}} = 1.00 \cdot (0.009 + 0.1 \cdot 0.00200 \cdot 110.00 \cdot \tan 12.200) = 0.01416 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности конструкции:

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0.01416}{0.00374} = 3.78.$$

Требуемый коэффициент прочности, $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1.10$

Прочность обеспечена.

Расчет для слоя Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 658.46 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок 4, ПНСТ:

E_2 = 78.38 МПа
E_1 = 29.76 МПа

Общий модуль упругости нижних слоев - 78.38 МПа.

Активное напряжение сдвига $\bar{\tau}_{\text{н}}$ от единичной нагрузки p = 1 МПа определяют по номограммам рисунок 5 или рисунок 6 ПНСТ, при угле внутреннего трения φ = 32.000 оно составляет 0.00807.

Активное напряжение сдвига при p = 0.80 МПа, по формуле 14 ПНСТ:

$$T = 0.00807 \cdot 0.80 = 0.00645 \text{ МПа},$$

Предельное активное напряжение сдвига в слое:

$$T_{\text{пр}} = 4.00 \cdot (0.004 + 0.1 \cdot 0.00200 \cdot 65.00 \cdot \tan 32.000) = 0.04849 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности конструкции:

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0.04849}{0.00645} = 7.51.$$

Требуемый коэффициент прочности, $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ = 1.10

Прочность обеспечена.

Таблица Е.4 - Сводная таблица результатов расчета для весеннего расчетного периода

№ слоя	Материал слоя	Толщина слоя, см	Критерий расчета	Предельное значение	Фактическое значение	$K_{\text{пр}}$	$K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$
1	Асфальтобетон плотный тип А, на вязком битуме 60/90	4	Упругий прогиб	380.990	672.000	1.76	1.50
2	Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком	8					

	битуме 60/90						
3	Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	10	Растяжение при изгибе	0.781	0.612	1.27	1.10
4	Щебеночно-песчаный, обработанный цементом М60	43	Растяжение при изгибе в слоях основания	0.45026	0.0958	4.71	1.10
5	Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	45	Сдвиг Статика	0.04049 0.04849	0.00852 0.00645	4.75 7.51	1.10 1.10
6	Легкий суглинок	-	Сдвиг Статика	0.00622 0.01416	0.00526 0.00374	1.18 3.78	1.10 1.10

Дополнительная проверка дорожной одежды в условиях жаркого летнего периода.

По формуле Е.1 относительная расчетная влажность легкого суглинка в жаркий летний расчетный период составляет:

$$W_{р\,летн} = 0,5 \cdot W_р + 0,25 = 0,5 \cdot 0,853 + 0,25 = 0,67.$$

По приложению А «Расчетные характеристики жаркого летнего периода» глубина проникновения изотермы +50°С в дорожную одежду составляет 0,25 м. Толщина битумосодержащих слоев рассматриваемой дорожной одежды равняется (0,04 + 0,08 + 0,10) = 0,22 м < 0,25 м. Следовательно, температура всех асфальтобетонных слоев принимается равной +50°С. Расчетные характеристики материалов слоев дорожной одежды при температуре +50°С и грунта при влажности $0,67W_Т$ приведены в таблицах Е.5 и Е.6.

Таблица Е.5 – Расчетные характеристики грунта и песка

Материал слоя	Е, МПа	Угол внутреннего трения, градусы	Угол внутреннего трения (статика),	Сцепление, МПа	Сцепление (статика), МПа

			градусы		
Песок средней крупности	120	22	32	0,002	0,004
Грунт суглинок легкий	44.12	6.02	19.04	0.0070	0.0207

Таблица Е.6 – Расчетные характеристики слоев дорожной одежды

Материал слоя	Модуль упругости по упругому прогибу, МПа	Модуль упругости по сдвигу, МПа	Модуль упругости на изгиб, МПа	Сопротивление растяжению при изгибе R_0, МПа
Асфальтобетон плотный тип А, на вязком битуме 60/90	460	460	460	-
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	360	360	360	-
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	360	360	360	-
ЩЦПС М-60	800	800	800	0,47
Песок средней крупности	120	120	120	-

Общий расчетный модуль упругости конструкции определяют с помощью номограммы рис. 3.1 ОДН 218.046-01, построенной по решению теории упругости для модели многослойной среды.

Расчет по упругому прогибу

Критерий прочности имеет вид:

$$E_{об} > E_{min} \cdot К_{пр}^{тр}$$

где $E_{об}$ – общий модуль упругости на поверхности дорожной конструкции;

E_{min} – минимальный требуемый модуль упругости с учетом ГОСТ 32969, где давление на покрытие для дорожных одежд капитального типа отличается от 0.6 МПа:

$$E_{min} = \sqrt{\frac{p}{0.6}} \cdot 98.65 \cdot [\log_{10} \sum N_p - c] = \sqrt{\frac{0.80}{0.6}} \cdot 98.65 \cdot [\log_{10} 3504480.00 - 3.20] =$$

380.99, МПа.

Независимо от результата полученного по формуле E_{min} должен быть не менее указанного в таблице 13 ПНСТ, равного 325.00 МПа.

Принимаем E_{min} равным 380.99 МПа.

$К_{пр}^{тр}$ - требуемый коэффициент прочности конструкции для жаркого летнего периода, принимается равным 1.0 (п. 6.3.2.1 ОДМ).

Общий расчетный модуль упругости конструкции определяют с помощью номограммы рисунок 4 ПНСТ, построенной по решению теории упругости для модели многослойной среды.

Схема расчета конструкции приведена ниже:

E_6 = 353.48 МПа
E_5 = 344.32 МПа
E_4 = 349.80 МПа
E_3 = 358.13 МПа
E_2 = 87.28 МПа
E_1 = 44.12 МПа

Общий расчетный модуль упругости конструкции $E_{об}$ = 353.48 МПа.

Коэффициент прочности конструкции полученный по расчету, равен:

$$K_{пр} = \frac{E_{об}}{E_{min}} = \frac{353.48}{380.99} = 0.93.$$

Требуемый коэффициентом прочности $К_{пр}^{тр}$ = 1.00.

Прочность не обеспечена. Необходимо провести дополнительный расчет по другим критериям прочности.

Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев покрытия усталостному разрушению от растяжения при изгибе

Расчет для летнего периода не проводится.

Расчет монолитных оснований на изгиб

Расчет выполняется исходя из условия:

$$\sigma_r \leq \frac{R_{пр}}{К_{пр}^{тр}},$$

где $К_{пр}^{тр}$ – требуемый коэффициент прочности с учетом заданной надежности (таблица 11 ПНСТ), равный 1.10;

$R_{пр}$ – предельное напряжение на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений материалов, укрепленных неорганическими или комплексными вяжущими, определяемое по ПНСТ ф-ла 22;

σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом.

Наибольшее растягивающее напряжение σ_r при изгибе в монолитном слое определяем с помощью номограммы, приводя реальную конструкцию к трехслойной модели, где средним будет рассматриваемый слой.

Определяется средневзвешенный модуль упругости верхних слоев, по формуле 16, ПНСТ:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 381.74 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев – 87.28 МПа.

При использовании номограммы рисунок 10, расчетное растягивающее напряжение определяют по формуле 20, ПНСТ:

$$\sigma_r = \overline{\sigma}_r \cdot p \cdot k_{\text{в}} = 0.15420 \cdot 0.80 \cdot 0.85 = 0.1049 \text{ МПа},$$

где $\overline{\sigma}_r$ – растягивающее напряжение при изгибе от единичной нагрузки, МПа, определяемое по номограмме рисунок 10 ПНСТ;

p - расчетное давление от колеса на покрытие, МПа;

Рассчитывается предельное напряжение на растяжение при изгибе, с учетом усталостных процессов, по формуле 22, ПНСТ:

$$R_{\text{пр}} = R_{\text{укр}} \cdot \text{К}_{\text{у}} = 0.47 \cdot 0.96 = 0.45 \text{ МПа},$$

где $R_{\text{укр}}$ – предельное напряжение на растяжение при изгибе (таблица Б.1 ПНСТ);

$\text{К}_{\text{у}}$ – коэффициент усталости, учитывающий снижение прочности материалов, укрепленных неорганическими и комплексными вяжущими, при многократном приложении нагрузки определяемый по формуле 23, ПНСТ:

$$\text{К}_{\text{у}} = 1.525 \cdot N_p^{-0.0673} = 0.96$$

Коэффициент прочности конструкции полученный по расчету, равен:

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{пр}}}{\sigma_r} = \frac{0.45}{0.1049} = 4.29.$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1.10$

Прочность обеспечена.

Расчет по сдвигу

Недопустимые деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в малосвязных (песчаных) слоях обеспечено условие:

$$T \leq \frac{T_{\text{пр}}}{K_{\text{пр}}^{\text{тр}}},$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ - требуемое минимальное значение коэффициента прочности (таблица 11, ПНСТ), равное 1.10;

$T_{пр}$ - предельная величина активного напряжения сдвига, превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг, МПа.

T - расчетное активное напряжение сдвига от действующей временной нагрузки, МПа;

Предельное активное напряжение сдвига в слое определяют по формуле 13, ПНСТ:

$$T_{\text{пр}} = k_d \cdot (c_N + 0.1 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z_{\text{оп}} \cdot \tan \varphi_{\text{ст}})$$

где c_N – сцепление в рассматриваемом слое;

k_d - коэффициент, учитывающий особенности рабочей конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем основания;

$z_{оп}$ - глубина расположения поверхности проверяемого на сдвигоустойчивость слоя, от верха конструкции, см;

$\gamma_{\text{ср}}$- средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см3;

$\varphi_{\text{ст}}$ величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки.

Действующие активные напряжения сдвига в слое вычисляют по формуле 14, ПНСТ:

$$T = \bar{\tau}_{\text{н}} \cdot p$$

где $\bar{\tau}_{\text{н}}$ – удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки p = 1 МПа, определяемое с помощью номограмм рисунок 5 и рисунок 6 ПНСТ, в зависимости от угла внутреннего трения

p – расчетное давление от колеса на покрытие, равное 0.80 МПа.

При практических расчетах многослойную дорожную конструкцию приводят к двухслойной расчетной модели и рассчитывают для каждого требуемого слоя в отдельности.

Расчет для слоя Легкий суглинок

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 476.40 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды до рассматриваемого слоя;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок 4 ПНСТ:

E_1 = 44.12 МПа

Общий модуль упругости нижних слоев - 44.12 МПа.

Активное напряжение сдвига $\bar{\tau}_н$ от единичной нагрузки p = 1 МПа определяют по номограммам рисунок 5 или рисунок 6 ПНСТ, при угле внутреннего трения φ = 6.021 оно составляет 0.00832.

Активное напряжение сдвига при p = 0.80 МПа, по формуле 14 ПНСТ:

$$T = 0.00832 \cdot 0.80 = 0.00666 \text{ МПа},$$

Предельное активное напряжение сдвига в слое:

$$T_{пр} = 1.00 \cdot (0.007 + 0.1 \cdot 0.00200 \cdot 111.00 \cdot \tan 19.042\,) = 0.01470 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности конструкции:

$$K_{пр} = \frac{T_{пр}}{T} = \frac{0.01470}{0.00666} = 2.21.$$

Требуемый коэффициент прочности, $K_{пр}^{тр}$ = 1.10

Прочность обеспечена.

Расчет для слоя Песок средней крупности

с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ:

$$E_в = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 719.39 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды до рассматриваемого слоя;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок 4 ПНСТ:

E_2 = 87.28 МПа
E_1 = 44.12 МПа

Общий модуль упругости нижних слоев - 87.28 МПа.

Активное напряжение сдвига $\bar{\tau}_н$ от единичной нагрузки p = 1 МПа определяют по номограммам рисунок 5 или рисунок 6 ПНСТ, при угле внутреннего трения φ = 22.000 оно составляет 0.01295.

Активное напряжение сдвига при p = 0.80 МПа, по формуле 14 ПНСТ:

$$T = 0.01295 \cdot \ 0.80 = 0.01036 \text{ МПа},$$

Предельное активное напряжение сдвига в слое:

$$T_{\text{пр}} = 4.00 \cdot (0.002 + 0.1 \cdot 0.00200 \cdot 66.00 \cdot \tan 32.000\ ) = 0.04099 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности конструкции:

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0.04099}{0.01036} = 3.96.$$

Требуемый коэффициент прочности, $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1.10$

Прочность обеспечена.

Расчет на статическую нагрузку

Расчет для слоя Легкий суглинок

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 476.40 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок 4, ПНСТ:

$E_1 = 44.12$ МПа

Общий модуль упругости нижних слоев - 44.12 МПа.

Активное напряжение сдвига $\bar{\tau}_{\text{н}}$ от единичной нагрузки $p = 1$ МПа определяют по номограммам рисунок 5 или рисунок 6 ПНСТ, при угле внутреннего трения $\varphi = 19.042$ оно составляет 0.00459.

Активное напряжение сдвига при $p = 0.80$ МПа, по формуле 14 ПНСТ:

$$T = 0.00459 \cdot \ 0.80 = 0.00367 \text{ МПа},$$

Предельное активное напряжение сдвига в слое:

$$T_{\text{пр}} = 1.00 \cdot (0.021 + 0.1 \cdot 0.00200 \cdot 111.00 \cdot \tan 19.042\ ) = 0.02840 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности конструкции:

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0.02840}{0.00367} = 7.74.$$

Требуемый коэффициент прочности, $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1.10$

Прочность обеспечена.

Расчет для слоя Песок средней крупности

с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле 16, ПНСТ:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = 719.39 \text{ МПа},$$

где n – число слоев дорожной одежды;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

Общий модуль упругости нижних слоев, определяют с помощью номограммы рисунок 4, ПНСТ:

E_2 = 89.86 МПа
E_1 = 44.12 МПа

Общий модуль упругости нижних слоев - 89.86 МПа.

Активное напряжение сдвига $\overline{\tau_{\text{н}}}$ от единичной нагрузки p = 1 МПа определяют по номограммам рисунок 5 или рисунок 6 ПНСТ, при угле внутреннего трения φ = 32.000 оно составляет 0.00806.

Активное напряжение сдвига при p = 0.80 МПа, по формуле 14 ПНСТ:

$$T = 0.00806 \cdot 0.80 = 0.00645 \text{ МПа},$$

Предельное активное напряжение сдвига в слое:

$$T_{\text{пр}} = 4.00 \cdot (0.004 + 0.1 \cdot 0.00200 \cdot 66.00 \cdot \tan 32.000) = 0.04899 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности конструкции:

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0.04899}{0.00645} = 7.60.$$

Требуемый коэффициент прочности, $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ = 1.10

Прочность обеспечена.

Таблица Е.7 - Сводная таблица результатов дополнительного расчета для условий жаркого летнего периода

№ слоя	Материал слоя	Толщина слоя, см	Критерий расчета	Предельное значение	Фактическое значение	$K_{\text{пр}}$	$K_{\text{пр.тр}}$
1	Асфальтобетон плотный тип А,	5	Упругий прогиб	380.990	353.484	0.93	1.00

	на вязком битуме 60/90						
2	Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	8					
3	Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	10					
4	Щебеночно-песчаный, обработанный цементом М60	43	Растяжение при изгибе в слоях основания	0.45026	0.1049	4.29	1.10
5	Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	45	Сдвиг Статика	0.04099 0.04899	0.01036 0.00645	3.96 7.60	1.10 1.10
6	Легкий суглинок	-	Сдвиг Статика	0.01470 0.02840	0.00666 0.00367	2.21 7.74	1.10 1.10

Приложение Ж

Методика приближенного проверочного расчета дорожной одежды на образование трещин в результате объемного деформирования

Рассматривается задача [3] о расчете напряженно-деформированного состояния многослойной монолитной дорожной одежды от воздействия не силовых объемных деформаций (в результате теплового расширения, усушки при изменении влажности, усадки при твердении цемента и т.п.). Принимается, что:

- материал слоев дорожной одежды линейно-упругий и описывается законом Гука;
- в первом приближении, при отсутствии более точных данных, модуль деформации материалов в слоях дорожной одежды при сжатии и растяжении принимается одинаковым - E_i;
- наличие ранее образовавшихся трещин не влияет на потенциальное трещинообразование в монолитных слоях дорожной одежды - это допущение справедливо, прежде всего, в зимних условиях для промерзающих (и, соответственно, смерзающихся и восстанавливающих на период морозов свою монолитность) слоев;
- проскальзывание между слоями дорожной одежды отсутствует (имеется сцепление между слоями);
- проскальзывание между дорожной одеждой и подстилающим материалом основания возможно и описывается законом Кулона-Мора.

В качестве расчетной схемы принимается одномерная модель деформирования дорожной одежды, представленная на рис. Ж.1. Рассматривается статическое состояние в момент возможного образования новых регулярных поперечных трещин в сечении с координатой «X». Ширина *b* элемента дорожной одежды (в направлении, перпендикулярном оси X) условно принимается равной 1 м.

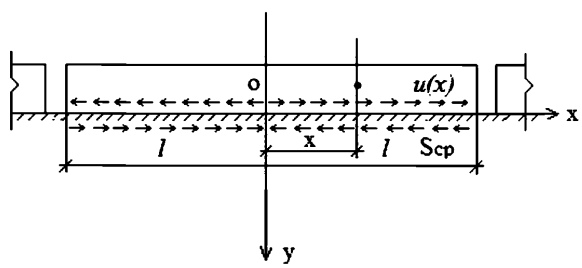


Рис. Ж.1 – Общая расчетная схема

Элемент дорожной одежды длиной 2*L* (например, между деформационными или технологическими швами, либо между ранее образовавшимися на произвольно большом расстоянии друг от друга сквозными поперечными трещинами) нагружен в каждом *i*-том слое объемными деформациями $\varepsilon_{v,i}$, в общем случае различными в каждом слое по величине. Объемные деформации, в свою очередь, приводят к перемещениям «u». Значения каждого вида относительных не силовых объемных деформаций (температурные, влажностные, усадочные и т. п., с индексом «j») вычисляются в слоях по общей формуле:

$$\varepsilon_{vj,i} = a_{j,i} \cdot \Delta P_{j,i} \qquad (Ж.1)$$

где $a_{j,i}$ – относительная объемная деформация соответствующего вида с индексом j (например, коэффициент теплового расширения и т. п.) в слое с индексом i;

$\Delta P_{j,i}$ - изменение начальных и конечных значений параметра, вызывающего соответствующие объемные деформации с индексом j (например, изменение температуры) в слое с индексом i.

Суммарная объемная деформация в слое $\varepsilon_{v,i}$ равна алгебраической сумме объемных деформаций $\varepsilon_{vj,i}$. Объемные деформации $\varepsilon_{v,i}$ принимаются неизменными по толщине в пределах i-го слоя. Со стороны подстилающего основания, на многослойную монолитную плиту дорожной одежды, действуют силы трения S. Среднее по плоскости контакта значение удельной силы трения при проскальзывании зависит от погонного веса дорожной одежды и параметров ее сцепления с подстилающим основанием по закону Кулона:

$$|S_{ср}| = 0{,}7\ (\rho \cdot h \cdot tg\varphi_{ст} + C_{ст}), \qquad (Ж.2)$$

где $S_{ср}$ - среднее по плоскости контакта значение удельной силы трения, МПа;

ρ – усредненная по толщине объемная плотность материала многослойной монолитной плиты дорожной одежды, Н/м^3;

h – суммарная толщина монолитных слоев дорожной одежды, м;

$\varphi_{ст}$ и $C_{ст}$ – статические значения (без учета повторности приложения транспортной нагрузки) угла внутреннего трения (градус) и сцепления (МПа) в материале подстилающего основания.

Параметры ρ, *h*, $\varphi_{ст}$ и $C_{ст}$ принимаются постоянными по длине элемента.

Для выполнения расчета необходимо задаться длиной шага между потенциальными трещинами - 2*X*. Расчет выполняется методом итераций, путем последовательного задания величины полушага возможных трещин – X с проверкой на каждом шаге условий для образования трещин.

Первая итерация:

Вычислить приведенный модуль деформации монолитных слоев дорожной одежды E_{red} с учетом статического модуля деформации E_i и толщины h_i каждого слоя:

$$E_{red} = \frac{\sum_i E_{i,} h_i}{h} \qquad (Ж.3)$$

Вычислить значение общей деформации монолитных слоев дорожной одежды $\varepsilon_{o,k}$ по формуле:

$$\varepsilon_{o,к} = \frac{|S_{ср}|X}{E_{red}h} + \frac{1}{E_{red}h}\sum_i E_i h_i \varepsilon_{v,i}\,. \qquad (Ж.4)$$

Для каждого *i*-го слоя вычислить значения напряжений по формуле:

$$\sigma_{i,k} = E_i\left(\varepsilon_{o,к} - \varepsilon_{v,i}\right), \qquad (Ж.5)$$

Проверить выполнение условий прочности (при статическом нагружении) для каждого *i*-го слоя:

$$\begin{aligned} &|\sigma_{i,к}| \le [R_{i,сж}] \text{при } \sigma_{i,к} < 0, \\ &|\sigma_{i,к}| \le [R_{i,раст}] \text{ при } \sigma_{i,к} > 0. \end{aligned} \qquad (Ж.6)$$

В качестве рабочей модели принимается, что трещины образуются в любом из слоев при переходе в нем одного из условий (Ж.6) из неравенства в равенство. Если для какого-то слоя равенство в условиях прочности (Ж.6) нарушается, то это означает, что для данного слоя длина элемента $2X$ выбрана либо слишком большой, либо слишком маленькой и должна быть изменена до значения, при котором условие равенства прочности и напряжений в выражении (Ж.6) будет выполнено (т. е. производятся следующие расчетные итерации до достижения условия образования трещины в слое). В общем случае, шаг трещин в разных слоях может быть разным. Поэтому, приближенный расчет выполняется до тех пор, пока не будут определены шаги возможных трещин во всех монолитных слоях дорожной одежды.

Учитывая, что наибольшая интенсивность объемного (в первую очередь – низкотемпературного) трещинообразования имеет место в наиболее холодный период года (обычно, в ночной период в январе месяце), расчет дорожных одежд на объемное трещинообразование рекомендуется проводить для расчетных условий именно этого периода.

К расчетным условиям относятся:

1. Текущая температура материала слоя.

2. Текущая влажность материала слоя.

3. Текущая доля гидратированного цемента (в материалах, содержащих цемент или аналогичные по механизму твердения неорганические вяжущие).

4. Условия «замыкания» материала слоя (начальные температура, влажность и доля гидратированного цемента).

5. Статический модуль деформации, а также статические пределы прочности монолитного материала при сжатии и растяжении для текущих условий (с учетом температуры, влажности и остаточного ресурса механических свойств).

6. Текущие значения сдвиговых характеристик дисперсных материалов, образующих подстилающее основание для пакета монолитных слоев дорожной одежды.

7. Плотность материалов слоев дорожной одежды.

Расчетные условия принимаются на основании общепринятых справочных данных или данных натурных измерений. При отсутствии достоверных данных о расчетных условиях, допускается принимать их на основании данных, представленных в настоящем Приложении.

Текущая температура материала слоя дорожной одежды (для середины слоя по состоянию на 4-00 часа ночи 15-го января расчетного года) оценивается для заданного географического пункта следующим образом. Определяется стандартное отклонение суточной амплитуды температуры воздуха:

$$б_A = 0{,}735 \cdot A_{ср.\,сут}, \qquad (Ж.7)$$

где $б_A$ - стандартное отклонение суточной амплитуды температуры воздуха в январе, °С;

$A_{ср\ сут}$ – средняя суточная амплитуда (размах) температуры наиболее холодного месяца, °С (принимается по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*» [15]).

Определяется стандартное отклонение средней суточной температуры воздуха в январе:

$$б_T = |(T_{min} + 2.1 \cdot б_A - T_I)/ 2{,}1|, \qquad (Ж.8)$$

где $б_T$ - стандартное отклонение средней суточной температуры воздуха в январе, °С;

T_{min} – абсолютная минимальная температура воздуха, °С; (принимается по [15]);

$б_A$ - стандартное отклонение суточной амплитуды температуры воздуха в январе, °С;

T_I – средняя месячная температура воздуха в январе, °С (принимается по [15]).

Определяется средняя суточная температура поверхности дорожного покрытия $T_{п\ ср\ сут}$ и средние суточные температуры на нижних границах слоев дорожной одежды $T_{i\ ср\ сут}$ по состоянию на 15 января расчетного года:

$$T_{i\ ср.сут}=(T_г+2)+|T_I-t\cdot б_T-T_г|\cdot\prod_{i=1}^{n} Кгi\cdot\sin[-\pi/2-\sum_{i=1}^{n} hi(\omega г/2ai)^{0,5}\ ], \qquad (Ж.9)$$

где $T_{i\ ср.сут}$ - средняя суточная температура на нижней границе «*i* – го» слоя в расчетном году (нумерация слоев сверху вниз), °С;

$б_T$ - стандартное отклонение средней суточной температуры воздуха в январе, °С;

T_I – средняя месячная температура воздуха в январе, °С (принимается по [15]);

$T_г$ – средняя годовая температура воздуха, °С (принимается по [15]);

t – коэффициент, принимаемый по таблице Ж.1 в зависимости от обеспеченности Р не превышения климатических показателей в расчетный период;

h_i – толщина «*i*-го» слоя, м; a_i - коэффициент температуропроводности материала «i-го» слоя, м²/с (принимается по справочным данным или по таблице Ж.2);

$\omega_г$ – частота колебаний среднесуточной температуры в годовом цикле, $с^{-1}$ (принимается равной 0,0000002 $с^{-1}$);

$К_{гi}$ – коэффициент затухания годовых колебаний температуры в слоях дорожной одежды, доли ед. Вычисляется по формуле:

$$К_{гi}= \exp\ [-h_i\cdot(\omega_г/2a_i)^{0,5}], \qquad (Ж.10)$$

где буквенные обозначения принимаются аналогично формуле Ж.9.

Средняя суточная температура поверхности дорожного покрытия в расчетном году $T_{п\ ср\ сут}$ (°С) вычисляется по формуле Ж.9 при значении $h_I = 0$.

Таблица Ж.1 – Значения обеспеченности Р и коэффициента t

№ п/п	Расчетный период, год	Обеспеченность не превышения Р	Коэффициент Стьюдента t
1.	6	0,83	0,94
2.	12	0,92	1,49
3.	24	0,96	1,87

П р и м е ч а н и е - При продолжительности расчетного периода менее 6 лет, значение обеспеченности Р и коэффициента t допускается принимать по п. 1 таблицы.

Таблица Ж.2 - Расчетные значения коэффициента температуропроводности для материалов дорожной одежды

№ п/п	Материал	а [м²/с]

1.	ЩМА, в/ плотный АБ, Плотный АБ	0,0000003
2.	Пористый АБ	0,00000035
3.	В/пористый АБ и ОМС	0,0000004
4.	Цементобетон	0,00000085
5.	Каменные материалы и грунты, обработанные или укрепленные неорганическими вяжущими	0,0000009
6.	Щебень гранитный	0,0000012
7.	Щебень известняковый	0,000001
8.	ЩПС и гравий	0,00000095
9.	Песок талый	0,0000009
10.	Песок мерзлый	0,0000011
11.	Глинистый грунт талый	0,0000006
12.	Глинистый грунт мерзлый	0,0000009

Далее определяется температура поверхности дорожного покрытия $T_п$ и температуры на нижних границах слоев дорожной одежды Ti по состоянию на 4 часа ночи 15 января расчетного года:

$$T_i=T_{icp.сут}+(0,5\cdot A_{ср.сут}+t\cdot б_A+2)\cdot\prod_{i=1}^{n} Kci\cdot\sin[3\pi/2-\sum_{i=1}^{n} hi(\omega c/2ai)^{0,5}], \quad (Ж.11)$$

где T_i–температура на нижней границе «i – го» слоя дорожной одежды по состоянию на 4 часа ночи 15 января расчетного года, °С;

$T_{i\ ср.сут}$ - средняя суточная температура на нижней границе «i – го» слоя в расчетном году, °С;

$A_{ср\ сут}$ – средняя суточная амплитуда (размах) температуры наиболее холодного месяца, °С (принимается по [15]);

$б_A$ - стандартное отклонение суточной амплитуды температуры воздуха в январе, °С;

t – коэффициент, принимаемый по таблице Ж.1 в зависимости от обеспеченности Р не превышения климатических показателей в расчетный период;

h_i– толщина «i-го» слоя, м; a_i - коэффициент температуропроводности материала «i-го» слоя, м²/с (принимается по справочным данным или по таблице Ж.2);

ω_c – частота колебаний температуры в суточном цикле, $с^{-1}$ (принимается равной $0,0000731с^{-1}$);

K_{ci} – коэффициент затухания суточных колебаний температуры в слоях дорожной одежды, доли ед. Вычисляется по формуле:

$$K_{ci} = \exp\left[-h_i \cdot (\omega_c / 2a_i)^{0,5}\right], \qquad (Ж.12)$$

где буквенные обозначения принимаются аналогично формуле Ж.11.

Температура поверхности дорожного покрытия по состоянию на 4 часа ночи 15 января расчетного года $T_п$ (°С) вычисляется по формуле Ж.11 при значении $h_1 = 0$.

В качестве расчетной температуры слоя «i» T_{ip} для определения перепада температур ΔT_i в формуле Ж.1 принимаются средние арифметические значения температур T_i на верхней и нижней границах слоя. В качестве температуры «замыкания» слоя «i» $T_{iз}$ для асфальтобетонов и органо-минеральных смесей принимается температура +10 °С (при $T_{ip} > +10$ °С принимается $T_{ip} = +10$ °С). Для слоев, содержащих неорганическое вяжущее, $T_{iз}$ принимается равной среднемесячной температуре (по [15]) месяца, когда производились или планируются производиться работы по устройству данного слоя. Перепад температур для определения по формуле Ж.1 температурной деформации слоя вычисляется по формуле:

$$\Delta T_i = T_{ip} - T_{iз}, \qquad (Ж.13)$$

Расчетные значения линейного коэффициента теплового расширения монолитных материалов дорожных одежд для использования в формуле Ж.1 принимаются по данным таблицы Ж.3.

Таблица Ж.3 – Расчетные значения линейного коэффициента теплового расширения монолитных материалов дорожных одежд

№ п/п	Материал	Температура «фазового перехода» $t_{фп}$, °С	Коэффициент a_1 [$°C^{-1}$] при температурах	
			Выше $t_{фп}$	Ниже $t_{фп}$
1.	Асфальтобетон	Температура хрупкости битума по Фраасу, $t_{хр}$	0,00002	0,000017
2.	ОМС	Температура хрупкости битума по Фраасу, $t_{хр}$	0,00002	0,000017
3.	ОМС (+цемент)	0°С	0,000015	0,000024
4.	ЩЦПС	0°С	0,000025	0,00004
5.	Ц/Г	0°С	0,000045	0,00008

Расчетная влажность подстилающего дорожную одежду грунта W_p принимается в соответствии с формулой А.1 ПНСТ 265-2018 и выражается в долях от влажности грунта на пределе текучести W_T.

С учетом закономерного изменения влажности грунтов земляного полотна в годовом цикле, относительная влажность подстилающего грунта по состоянию на 15 января расчетного года составит:

$$W_{гр} = 0,37 \cdot W_p + 0,32; \qquad (Ж.14)$$

Где $W_{гр}$ - относительная влажность подстилающего грунта по состоянию на 15 января расчетного года (в долях долях от влажности грунта на пределе текучести W_T);

W_p - расчетная влажность подстилающего дорожную одежду грунта принимается в соответствии с ПНСТ 265-2018 (выражается в долях от влажности грунта на пределе текучести W_T).

По этому значению относительной влажности $W_{гр}$, в соответствии со справочной базой ПНСТ 265-2018, принимаются расчетные характеристики грунта (сцепление $C_{ст}$ и угол внутреннего трения $\varphi_{ст}$) при суммарном приложении нагрузки $\Sigma N_p = 1$ для использования в формуле Ж.2. Значения объемной плотности материалов для вычисления силы трения монолитных слоев дорожной одежды по дисперсному основанию представлены в таблице Ж.4.

Влажность материалов слоев дорожной одежды W_i (в весовых %) по состоянию на 15 января расчетного года прогнозируется по зависимости:

$$W_i = (0,62 \cdot W_p + 0,53) \cdot W_{oi}; \qquad (Ж.15)$$

где W_p – расчетная влажность подстилающего дорожную одежду грунта, доли единицы (по ПНСТ 265-2018);

W_{oi} – оптимальная влажность при уплотнении материала в слое с индексом «i», % (принимается по технологической документации на материал или по справочным данным из таблицы Ж.4).

При гидрофобизации материала в результате обработки стабилизирующими составами, влажность материала W_i, вычисленная по формуле Ж.15, может быть уменьшена в 1,5 … 2 раза в зависимости от эффективности гидрофобизатора.

При выполнении приближенного расчета, изменение влажности асфальтобетона в годовом цикле не учитывается.

В качестве влажности «замыкания» $W_{iз}$ слоя с индексом i принимается оптимальная влажность материала слоя W_{oi} (включая воду, содержащуюся в битумной эмульсии). Перепад влажности для определения по формуле Ж.1 деформации усушки/набухания слоя с индексом i вычисляется по формуле:

$$\Delta W_i = W_i - W_{iз}, \qquad (Ж.16)$$

Деформация усадки материала в результате твердения неорганического вяжущего (гидравлического типа) определяется по формуле Ж.1 в зависимости от количества гидратировавшего за расчетный период вяжущего в % от массы обработанного им материала - $\Delta Ц_i$:

$$\Delta Ц_i = Ц_i \cdot Г_i, \qquad (Ж.17)$$

где $Ц_i$ - содержание неорганического вяжущего (цемента и т.п.) в материале слоя с индексом i, % от массы материала (принимается по технологической документации;

$Г_i$ – доля вяжущего, гидратировавшего за расчетный период вяжущего, доля ед. (принимается по данным таблицы Ж.5).

Необходимые для расчета по формуле Ж.1 объемных деформаций усадки, усушки и набухания значения коэффициентов усадки монолитных материалов дорожных одежд приведены в таблице Ж.6. Деформативные и прочностные характеристики материалов представлены в таблицах Ж. 7, Ж.8.

Таблица Ж.4 – Объемные плотности и оптимальные влажности материалов

№ п/п	Материал	Объемная плотность ρ, Н/м^3	Оптимальная влажность Wo, %
1	Литой а/б	25000	
2	ЩМА	24500	
3	В/плотный а/б	24500	
4	Пл. а/б тип А	24000	
5	Пл. а/б тип Б	24000	
6	Пор. а/б	23000	
7	В/пор. а/б	21000	
8	ОМС	20000	
9	ОМС (+цемент)	20000	4 - 6

10	Глин. грунт + цемент	20000	15 - 19
11	Песок + цемент	19000	8 - 10
12	ЩЦПС (цемент)	21000	6 - 8
13	Щебень	18000	
14	ЩПС	19000	
15	Песок	19500	

Таблица Ж. 5 – Доля (Г) гидратировавшего неорганического вяжущего

Срок твердения	Материал и вид неорганического вяжущего			
	ОЦМС (цемент)	ЩЦПС (цемент)	Ц/Г (цемент)	Укрепл. грунт (малоактивное вяжущее)
3 дн.	0,24	0,24	0,28	0,23
7 дн.	0,34	0,34	0,38	0,3
14 дн.	0,42	0,42	0,45	0,36
28 дн.	0,50	0,50	0,53	0,43
90 дн.	0,64	0,64	0,66	0,53
180 дн.	0,73	0,73	0,74	0,59
1 год	0,81	0,81	0,82	0,66
3 года	0,94	0,94	0,94	0,76
5 лет	1,0	1,0	1,0	0,8
7 лет	-	-	-	0,83
9 лет	-	-	-	0,86
11 лет	-	-	-	0,87
13 лет	-	-	-	0,89
15 лет	-	-	-	0,91
17 лет	-	-	-	0,92
19 лет	-	-	-	0,93
21 год	-	-	-	0,93
23 года	-	-	-	0,94
25 лет	-	-	-	0,95

Таблица Ж. 6 – Расчетные значения коэффициентов усадки монолитных материалов дорожных одежд

№ п/п	Материал	Коэффициент a_2 набухания/усушки (усадки) при изменении влажности, $(\%)^{-1}$	Коэффициент a_3 усадки при твердении цемента, $(\%)^{-1}$
1.	ОМС (+цемент)	0,0015	-0,00012
2.	ЩЦПС	0,0005	-0,00012
3.	Ц/Г	0,0005	-0,00012

Данная методика расчета является приближенной и предназначена, в первую очередь, для сравнительной оценки различных дорожных одежд по склонности их к образованию трещин в результате действия объемных деформаций, а также для проверки соответствия потенциально возможного шага объемных трещин нормативным требованиям. Допускается применение данной методики с целью определения ориентировочного объема работ (суммарной длины трещин, вычисляемой как произведение ширины асфальтобетонного покрытия на количество трещин с данным шагом, приходящееся на 1 км дороги) при прогнозировании затрат на эксплуатацию дороги.

Более точно шаг объемных трещин в монолитных слоях дорожной одежды может быть определен с учетом различия между модулями деформации материалов при сжатии и растяжении, с учетом изменения влажности асфальтобетонов в процессе эксплуатации, с учетом смерзаемости зимой слоев из дисперсных материалов (песок, ЩПС, щебень) и образования слоя мерзлого грунта в основании дорожной одежды а также при учете влияния ранее образовавшихся трещин на процесс объемного трещинообразования в других монолитных слоях дорожной одежды.

Таблица Ж. 7 – Расчетные характеристики асфальтобетонов

Тип а/б	Марка вяжущего		Статические модули деформации (МПа) при температуре, °С									
			-40	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10
ЩМА (по ГОСТ 31015)	ПБВ	40	9200	14350	14300	13400	11000	6700	4350	2800	1250	70
		60	7000	11000	10900	10300	8500	5125	3300	2150	950	55
		90	5500	8600	8400	7900	6500	3950	2550	1650	750	40
	БНД	40/60	9900	15000	15000	14200	11500	7100	4600	2950	1300	75
		60/90	7700	11800	11750	11000	9000	5500	3575	2300	1025	60
		90/130	6000	9300	9600	8700	7000	4350	2800	1800	800	45
Плотный Высокоплот-ный (по ГОСТ 9128)	БНД	40/60	7000	11000	10900	10300	8500	5125	3300	2150	950	55
		60/90	5000	7700	7550	7100	5750	3550	2300	1500	650	40
		90/130	3300	5000	5000	4750	3900	2350	1550	1000	440	25
		130/200	2200	3300	3300	3150	2600	1575	1000	650	290	20
		200/300	1650	2500	2500	2375	2000	1175	750	500	220	15
Пористый Высокопо – ристый (по ГОСТ 9128)	БНД	40/60	4675	7200	7000	6700	5500	3350	2150	1400	620	35
		60/90	3300	5100	5000	4750	3850	2350	1550	1000	440	25
		90/130	2200	3300	3300	3150	2550	1575	1000	650	290	20
		130/200	1650	2500	2500	2375	1950	1175	750	500	220	15
		200/300	1200	1850	1850	1775	1450	900	575	370	165	10
ЩМА (по	PG	82-Y	10600	16800	16800	15400	12800	7700	5000	3200	1425	80

ПНСТ 183) АБ (по ПНСТ 184)		76-Y	10000	15800	16000	14600	12000	7300	4700	3050	1350	80
	БНД	50/70	8200	12700	13000	11850	9750	5900	3800	2450	1100	65
		100/130	4100	6300	6500	5900	4900	2950	1900	1250	550	30
Статический предел прочности при сжатии Rсж, МПа			31	35	29	25	18	10,5	6,5	4,5	2,2	0,2
Статический предел прочности при растяжении Rр, МПа			2,1	2,3	2,2	2,1	1,9	1,6	1,3	0,9	0,4	0,05

П р и м е ч а н и е - Расчетные характеристики асфальтобетонов при промежуточных значениях температуры принимаются на основании интерполяции данных таблицы.

Таблица Ж. 8 – Статические расчетные характеристики материалов, содержащих неорганическое вяжущее

№ п/п	Материал и показатели свойств	Прочностные характеристики при температурах выше 0°С		Прочностные характеристики при температурах ниже 0°С	
		В марочном возрасте и до истечения 1-го года после открытия движения	В процессе эксплуатации ДО	В марочном возрасте и до истечения 1-го года после открытия движения	В процессе эксплуатации ДО
1.	ОМС (+ цемент):				
	1.1 Модуль деформации Е, МПа	650	450	4000	300
	1.2 Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	4,1	5,0	12,1	4
	1.3 Прочность при растяжении $R_р$, МПа	0,6	0,35	2,7	0,35
2.	ЩЦПС М60:				
	1.1 Модуль деформации Е, МПа	400	550	500	750
	1.2 Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	3,5	4,75	6	8,5
	1.3 Прочность при растяжении $R_р$, МПа	0,3	0,4	0,5	0,75
3.	ЩЦПС М40:				
	1.1 Модуль деформации Е, МПа	270	350	170	450

	1.2 Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	3	2,2	2,5	4
	1.3 Прочность при растяжении $R_р$, МПа	0,2	0,3	0,25	0,55
4.	Укрепленный грунт М40				
	1.1 Модуль деформации Е, МПа	115	220	150	220
	1.2 Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	0,3	0,75	0,45	0,75
	1.3 Прочность при растяжении $R_р$, МПа	0,3	0,7	0,45	0,7
5.	Укрепленный грунт М20				
	1.1 Модуль деформации Е, МПа	90	110	115	140
	1.2 Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа	0,3	0,35	0,45	0,55
	1.3 Прочность при растяжении $R_р$, МПа	0,3	0,35	0,45	0,6

Пример расчета.

Выполнить дополнительный проверочный расчет на объемное трещинообразование для дорожной одежды, представленной в таблице Ж.9.

Таблица Ж.9 – Конструкция дорожной одежды

Материал слоя	Толщина, см	Модуль упругости при расчете по упругому прогибу, МПа
Асфальтобетон плотный тип А, на вязком битуме 60/90	4	3200
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	7	2000
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	10	2000
ЩЦПС М60 (расход цемента 6%)	40	800
Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	40	120

Исходные данные для расчета дорожной одежды

Область проектирования – г. Барнаул, Алтайский край;

Категория проектируемой дороги - II;

Дорожно-климатическая зона – III;

Подзона – 1;

Тип местности по увлажнению – 3;

Заданная надежность - $K_н = 0,98$;

Тип дорожной одежды – капитальный;

Грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок легкий;

Коэффициент уплотнения грунта земляного полотна $K_{упл} = 1,01 – 0,98$;

Расчетная нагрузка – АК11,5 (ГОСТ 32960-2014).

Срок службы дорожной одежды, лет - 24;

Параметры расчетной нагрузки:

Нагрузка на колесо Q = 57,5 кН;

Давление в шине Р = 0,8 МПа;

Диаметр штампа движущегося колеса $Д_д = 34$ см;

Диаметр штампа колеса от статической нагрузки $Д_{ст} = 30$ см.

Приведенное значение интенсивности расчетной нагрузки составляет 2000, ед. /сут.

Коэффициент роста интенсивности нагрузки $q = 1$.

Суммарное расчетное число приложений нагрузки $\Sigma N_р = 7509600$.

Расчетная влажность подстилающего грунта $W_р = 0,805$.

Продолжительность межремонтного периода, для которого необходимо выполнить проверочный расчет – 6 лет.

Обеспеченность не превышения средних климатических параметров за период 6 лет P = 0,83.

Коэффициент Стьюдента t = 0,94.

Период устройства щебеночно-цементно-песчаного слоя - июль, согласно СП 131.13330.2012 средняя суточная температура в этот период в г. Барнауле составляет +19,8 °С;

Допустимый шаг трещин $L_{тр} > 5$ м.

Таблица Ж.10 - Расчетные сдвиговые характеристики (модуль упругости и сдвиговые характеристики) грунта и песка

Материал слоя	E, МПа	Угол внутреннего трения, градусы	Угол внутреннего трения (статика), градусы	Сцепление, МПа	Сцепление (статика), МПа
Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 0%	120	22	32	0,002	0,004
Грунт суглинок легкий	28,64	2,48	12,9	0,002	0,0109

Ход расчета температурных деформаций.

Определяется стандартное отклонение суточной амплитуды температуры воздуха для г. Барнаула:

$$б_А = 0,735 \cdot A_{ср.\,сут} = 0,735 \cdot 10,3 = 7,57°С$$

Определяется стандартное отклонение средней суточной температуры воздуха в январе для г. Барнаула

$$б_Т = |(T_{min} + 2,1 \cdot б_А - T_I)/ 2,1| = |(-52 + 2,1 \cdot 7,57 - (-16,3)/ 2,1| = 9,43°С$$

Определяются коэффициенты затухания годовых колебаний температуры:

Коэффициент затухания годовых колебаний температуры на поверхности покрытия (при h = 0)

$$К_{гп} = \exp [-0 \cdot ((0,0000002 / (2 \cdot 0,0000003))^{0,5}] = 1$$

Коэффициент затухания годовых колебаний температуры в верхнем слое покрытия

$$К_{г1} = \exp [-0,04 \cdot ((0,0000002 / (2 \cdot 0,0000003))^{0,5}] = 0,977$$

Коэффициент затухания годовых колебаний температуры в нижнем слое покрытия

$$К_{г2} = \exp [-0,07 \cdot ((0,0000002 / (2 \cdot 0,00000035))^{0,5}] = 0,963$$

Коэффициент затухания годовых колебаний температуры в верхнем слое основания

$$К_{г3} = \exp [-0,10 \cdot ((0,0000002 / (2 \cdot 0,00000035))^{0,5}] = 0,948$$

Коэффициент затухания годовых колебаний температуры в среднем слое основания из щебеночно-цементно-песчаной смеси М60

$$К_{г4} = \exp [-0,44 \cdot ((0,0000002 / (2 \cdot 0,000009))^{0,5}] = 0,863$$

Определяются средние суточные температуры дорожной одежды в январе для г. Барнаула:

Средняя суточная температура на поверхности покрытия

$$Т_{п\ ср.сут}=(2,2+2)+|-16,3-0,94 \cdot 9,43-2,2| \cdot 1 \cdot \sin[-\pi/2-0]= -23,16\ ^\circ$$

Средняя суточная температура на нижней границе верхнего слоя покрытия и верхней границе нижнего слоя покрытия

$$Т_{1ср.сут} = (2,2+2) + |-16,3-0,94 \cdot 9,43-2,2 \cdot |1 \cdot 0,977 \cdot \sin[-\pi/2-0,023] = -22,52\ °C$$

Средняя суточная температура на нижней границе нижнего слоя покрытия и верхней границе верхнего слоя основания

$$Т_{2ср.сут} = (2,2+2) + |-16,3-0,94 \cdot 9,43-2,2| \cdot 1 \cdot 0,977 \cdot 0,963 \cdot \sin[-\pi/2-(0,023+0,037)] = -21,49\ °C$$

Средняя суточная температура на нижней границе верхнего слоя основания и нижней границе нижнего слоя основания

$$Т_{3ср.сут} = (2,2+2) + |-16,3-0,94 \cdot 9,43-2,2| \cdot 1 \cdot 0,977 \cdot 0,963 \cdot 0,948 \cdot \sin [\pi/2(0,023 +0,037+0,053)] = -20,05°C$$

Средняя суточная температура на нижней границе среднего слоя основания - щебеночно-цементно-песчаного слоя М60

$$Т_{4ср.сут} = (2,2+2) + |-16,3-0,94 \cdot 9,43-2,2| \cdot 1 \cdot 0,977 \cdot 0,963 \cdot 0,948 \cdot 0,863 \cdot \sin [-\pi/2-(0,023 +0,037+0,053+0,147)] = -16,15\ °C$$

Определяются коэффициенты затухания суточных колебаний температуры в дорожной одежде:

Коэффициент затухания суточных колебаний температуры на поверхности верхнего слоя покрытия (при h = 0)

$$К_{сп} = \exp [-0 \cdot ((0,0000731/ (2 \cdot 0,0000003))^{0,5}] = 1$$

Коэффициент затухания суточных колебаний температуры в верхнем слое покрытия

$$К_{с1} = \exp [-0,04 \cdot ((0,0000731/ (2 \cdot 0,0000003))^{0,5}] = 0,643$$

Коэффициент затухания суточных колебаний температуры в нижнем слое покрытия

$$К_{с3} = \exp [-0,07 \cdot ((0,0000731/ (2 \cdot 0,00000035))^{0,5}] = 0,489$$

Коэффициент затухания суточных колебаний температуры в верхнем слое основания

$$К_{с3} = \exp [-0,10 \cdot ((0,0000731/ (2 \cdot *0,00000035))^{0,5}] = 0,360$$

Коэффициент затухания суточных колебаний температуры в среднем слое основания из щебеночно-цементно-песчаной смеси М60

$$К_{с4} = \exp [-0,44 \cdot ((0,0000731/ (2 \cdot 0,0000009))^{0,5}] = 0,061$$

Далее определяется температура поверхности дорожного покрытия $Т_п$ и температуры на нижних границах слоев дорожной одежды $Т_i$ по состоянию на 4 часа ночи 15 января расчетного года:

Расчетная температура поверхности покрытия (h = 0)

$$Т_п = -23,16 + (0,5 \cdot 10,3+0,94 \cdot 7,57+2) \cdot 1 \cdot \sin[3\pi/2-0] = -37,43°С;$$

Расчетная температура на нижней границе верхнего слоя покрытия

$$Т_1 = -22,52 + (0,5 \cdot 10,3+0,94 \cdot 7,57+2) \cdot 1 \cdot 0,643 \cdot \sin[3\pi/2-0,442)] = -30,81°С;$$

Расчетная температура на нижней границе нижнего слоя покрытия

$$Т_2 = -21,49+ (0,5 \cdot 10,3+0,94 \cdot 7,57+2) \cdot 1 \cdot 0,643 \cdot 0,489 \cdot \sin[3\pi/2-(0,442+0,715)] = -23,29°С;$$

Расчетная температура на нижней границе верхнего слоя основания

$$Т_3 = -20,05+(0,5 \cdot 10,3+0,94 \cdot 7,57+2) \cdot 1 \cdot 0,643 \cdot 0,489 \cdot 0,360 \cdot \sin [3\pi/2-(0,442 +0,715+1,022)] = -19,13°С,$$

Расчетная температура на нижней границе среднего слоя основания - щебеночно-цементно-песчаного слоя М60

$$Т_4 = -16,15+(0,5 \cdot 10,3+0,94 \cdot 7,57+2) \cdot 1 \cdot 0,643 \cdot 0,489 \cdot 0,360 \cdot 0,061 \cdot \sin [3\pi/2(0,442 +0,715+1,022+2,804)] = -16,18°С.$$

Результаты вычисления по слоям средних, в пределах слоя, расчетных температур по состоянию на 4 часа утра 15 января расчетного года представлены в таблице Ж.11.

Таблица Ж. 11 – Средние расчетные температуры в слоях дорожной одежды

Средняя расчетная температура верхнего слоя асфальтобетонного покрытия ($T_{ср1}$), °С	Средняя расчетная температура нижнего слоя асфальтобетонного покрытия ($T_{ср2}$), °С	Средняя расчетная температура верхнего асфальтобетонного слоя основания ($T_{ср3}$), °С	Средняя расчетная температура среднего слоя основания из ЩЦПС М60 ($T_{ср4}$), °С
[(-37,43) + (-30,81)]/2 = -34,12	[(-30,81) + (-23,29)]/2 = -27,05	[(-23,29) + (-19,13)]/2 = -21,21	[(-19,13) + (-16,18)]/2 = -17,65

В качестве температуры «замыкания» слоя «i» T_{i3} для асфальтобетонов принимается температура +10 °С. Для слоя ЩЦПС М60 T_{i3} принимается равной среднесуточной температуре июля, когда производились работы по устройству данного слоя, т. е. $T_{43} = +19,8°C$.

Далее определяются перепады температур для вычисления деформаций теплового расширения монолитных слоев дорожной одежды:

Перепад температур верхнего слоя покрытия

$$\Delta T_1 = – 34,12°C - (+10,00°C) = - 44,12°C;$$

Перепад температур нижнего слоя покрытия

$$\Delta T_2 = -28,33°C – (+10,00°C) = - 37,05°C;$$

Перепад температур верхнего слоя основания

$$\Delta T_3 = -21,21°C – (+10,00°C) = - 31,21°C;$$

Перепад температур среднего слоя основания - щебеночно-цементно-песчаного слоя

$$\Delta T_4 = -17,65°C – (+19,80°C) = - 37,45°C;$$

Относительная температурная деформация в слоях, с учетом справочных коэффициентов теплового расширения при расчетных температурах, и расчетных перепадов температур:

$$\varepsilon_{tасф1} = 0,000017 \cdot (-44,12°C) = -0,0007$$

$$\varepsilon_{tасф2} = 0,000017 \cdot (-37,05°C) = -0,0006$$

$$\varepsilon_{tасф3} = 0,000017 \cdot (-31,21°C) = -0,0005$$

$$\varepsilon_{t\text{щцпс}4} = 0{,}00004 \cdot (-37{,}45°C) = -0{,}0015.$$

Во всех слоях имеют место относительные деформации сжатия, но величина этих деформаций в разных слоях – разная.

Ход расчета деформаций усушки/набухания.

С учетом закономерного изменения влажности грунтов земляного полотна в годовом цикле, относительная влажность (в долях от W_T) подстилающего грунта $W_{гр}$ по состоянию на 15 января расчетного года составит:

$$W_{гр} = 0{,}37 \cdot W_p + 0{,}32 = 0{,}37 \cdot 0{,}805 + 0{,}32 = 0{,}62$$

Влажность слоя ЩЦПС М60 W_4 (в весовых %) по состоянию на 15 января расчетного года прогнозируется с учетом справочной величины оптимальной влажности ЩЦПС, принятой Woi = 7%, по зависимости:

$$W_4 = (0{,}62 \cdot W_p + 0{,}53) \cdot Woi = (0{,}62 \cdot 0{,}805 + 0{,}53) \cdot 7 = 7{,}2\%.$$

Перепад влажности для слоя ЩЦПС:

$$\Delta W_{\text{щцпс}} = W_{\text{щцпс}} - W_o = 7{,}2\% - 7{,}0\% = 0{,}2\%.$$

Влажностная деформация в слое ЩЦПС с учетом справочного значения коэффициента набухания:

$$\varepsilon_{w\text{щцпс}4} = 0{,}0005 \cdot 0{,}2 = 0{,}0001.$$

В слое ЩЦПС имеет место относительная деформация набухания (расширения).

При выполнении приближенного расчета, изменение влажности асфальтобетона и деформация набухания/усушки в нем не учитывается.

Ход расчета деформаций усадки при твердении.

Расчет количества гидратированного цемента (в весовых %) для ЩЦПС с учетом срока твердения более 5 лет производится по формуле:

$$\Delta Ц_4 = Ц_4 \cdot Г_4 = 6\% \cdot 1{,}0 = 6\%.$$

Усадочная деформация с учетом справочного значения коэффициента усадки:

$$\varepsilon_{у\text{щцпс}4} = -0{,}00012 \cdot 6 = -0{,}00072.$$

В слое ЩЦПС имеет место относительная деформация усадки (сжатия).

Результаты расчета суммарных не силовых объемных относительных деформаций в слоях дорожной одежды представлены в таблице Ж.12.

Таблица Ж.12 – Суммарные объемные относительные деформации

Номер и материал слоя	Влажностная деформация	Усадочная деформация	Температурная деформация	Суммарная деформация
1. Асфальтобетон плотный тип А	-	-	-0,0007	-0,0007
2. Асфальтобетон пористый крупнозернистый	-	-	-0,0006	-0,0006
3. Асфальтобетон пористый крупнозернистый	-	-	-0,0005	-0,0005
4. ЩЦПС М60 (Ц-6%)	0,0001	-0,00072	-0,0015	-0,0021

Расчетные деформационные и прочностные характеристики материалов дорожной одежды при расчетных температурах и статическом режиме нагружения, принятые по справочным данным, представлены в таблице Ж. 13.

Таблица Ж.13 – Расчетные характеристики материалов.

Материал слоя	Тол-щина, см	Расчетная темпера-тура, °С	Модуль деформации при расчетной температуре, МПа	Предел прочности, МПа	
				При сжатии	При растяже-нии
Асфальтобетон плотный тип А, на вязком битуме 60/90	4	-34,12	6600	33,5	2,2
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	7	-27,05	5070	30,0	2,1
Асфальтобетон пористый крупнозернистый, на вязком битуме 60/90	10	-21,21	4900	25,0	2,1
ЩЦПС М60 (расход цемента 6%)	40	-17,65	750	8,5	0,75

С учетом данных таблицы Ж.13 вычисляется приведенный статический модуль деформации монолитных слоев дорожной одежды E_{red}:

$$E_{red} = \frac{\sum_i E_{i,} h_i}{h} = (6600 \cdot 0{,}04 + 5070 \cdot 0{,}07 + 4900 \cdot 0{,}1 + 750 \cdot 0{,}40)/0{,}61 = 2310 \text{ МПа}.$$

Состоящая из асфальтобетонных слоев и слоя ЩЦПС многослойная монолитная плита дорожной одежды, в которой развиваются объемные деформации, располагается на слое из песка, который является дисперсным материалом и не участвует в совместных объемных деформациях монолитных слоев. Но со стороны подстилающего основания (песка) на монолитную многослойную плиту дорожной одежды, при ее объемных деформациях, действуют силы трения. Среднее по плоскости контакта значение удельной силы трения $S_{ср}$ (МПа) равняется:

$$|S_{ср}| = 0{,}7\ [\Sigma(\rho_i \cdot h_i) \cdot \operatorname{tg}\varphi + c] = 0{,}7 \cdot [(24000\ \text{Н/м}^3 \cdot 0{,}04\text{м} + 23000\ \text{Н/м}^3 \cdot 0{,}07\text{м} + 23000\ \text{Н/м}^3 \cdot 0{,}10\text{м} + 21000\ \text{Н/м}^3 \cdot 0{,}40\ \text{м}) \cdot \operatorname{tg}32^\circ + 4000\ \text{Н/м}^2] = 8605{,}6\text{Н/м}^2 = 0{,}0086\text{МПа}$$

Дальнейший расчет носит итерационный характер. Для его выполнения необходимо последовательно задавать величину «X», которая имеет размерность длины (м).

При каждом заданном значении «X» вычисляется значение общей деформации монолитных слоев дорожной одежды $\varepsilon_{o,k}$ по формуле (Ж.4):

$$\varepsilon_{o,k} = \frac{|S_{ср}|X}{E_{red}h} + \frac{1}{E_{red}h}\sum_i E_i h_i \varepsilon_{v,i}\,.$$

Для каждого *i*-го слоя вычислить значения напряжений по формуле (Ж.5):

$$\sigma_{i,k} = E_i\left(\varepsilon_{o,k} - \varepsilon_{v,i}\right),$$

Далее, проверяется выполнение условий прочности (Ж.6) для каждого *i*-го слоя:

$$\left|\sigma_{i,k}\right| \le \left[R_{i,\text{сж}}\right] \text{при } \sigma_{i,k} < 0,$$

$$\left|\sigma_{i,k}\right| \le \left[R_{i,\text{раст}}\right] \text{ при } \sigma_{i,k} > 0.$$

Шаг трещин, если они образуются по условию Ж.6, будет равен $L_{тр} = 2 \cdot X$ (м).

Первая итерация. X = 1м

$\varepsilon_{ок}$ = (0,0086·1) /(2310·0,61)+1·((6600·0,04·(-0,0007)+5070·0,07·(-0,0006) +4900·0,1·(-0,0005)+750·0,40·(-0,0015)) /(2310·0,61) = -0,0009

$\sigma_{асф1}$ = 6600[-0,0009-(-0,0007)]= - 1,34 МПа (растяжение)

$\sigma_{асф2}$ = 5070[-0,0009-(-0,0006)]= -1,54 МПа (растяжение)

$\sigma_{асф3}$ = 4900[(-0,0009-(-0,0005)]= -1,97 МПа (растяжение)

$\sigma_{щцпс4}$ = 750[(-0,0009-(-0,0021)]= +0,92 МПа (сжатие)

Проверка выполнения условия (Ж.6):

Для верхнего слоя покрытия | -1,34| ≤ 2,2 условие выполняется

Для нижнего слоя покрытия | -1,54| ≤ 2,1 условие выполняется

Для верхнего слоя основания | -1,97| ≤ 2,1 условие выполняется

Для среднего слоя основания | +0,92| ≤ 8,5 условие выполняется

Вывод: При X = 1 м (потенциальный шаг объемных трещин 2 м) в рассматриваемых условиях трещины в монолитных слоях дорожной одежды не образуются.

Вторая итерация. X = 5м

$\varepsilon_{ок}$ = (0,0086·5)/(2309·0,61)+1·((6600·0,04·(-0,0007)+5070·0,07·(-0,0006)+4900·0,1·(-0,0005)+750·0,40·(-0,0017)) /(2309·0,61) = -0,00088

$\sigma_{асф1}$ = 6600[-0,00088-(-0,0007)] = - 1,18 МПа (растяжение)

$\sigma_{асф2}$ = 5070[-0,00088-(-0,0006)] = -1,41 МПа (растяжение)

$\sigma a_{сф3}$ = 4900[(-0,00088-(-0,0005)] = -1,85 МПа (растяжение)

$\sigma_{щцпс4}$ = 750[(-0,00088-(-0,0021)] = +0,94 МПа (сжатие)

Проверка выполнения условия (Ж.6):

Для верхнего слоя покрытия | -1,18| ≤ 2,2 условие выполняется

Для нижнего слоя покрытия | -1,41| ≤ 2,1 условие выполняется

Для верхнего слоя основания | -1,85| ≤ 2,1 условие выполняется

Для среднего слоя основания | +0,94| ≤ 8,5 условие выполняется

Вывод: При X = 5 м (потенциальный шаг объемных трещин 10 м) в рассматриваемых условиях трещины в монолитных слоях дорожной одежды не

образуются. Т. о. выполняется условие $L_{тр} > 5$ м и проверяемая дорожная одежда является достаточно трещиностойкой по условию объемного трещинообразования.

Приложение З

Таблица 3.1 - Перечень активных добавок для приготовления грунтов, укрепленных минеральными вяжущими материалами

Назначение добавки	Добавка(условное обозначение)	Нормативный документ
Повышение водо- и морозостойкости грунтов, укрепленных цементом	Лигносульфонаты технические (ЛСТ)	[16]
	Лигносульфонаты технические, модифицированные (ЛСТМ-2)	[17]
Повышение деформативности, трещиностойкости, прочности и морозостойкости грунтов, укреплённых минеральными вяжущими материалами	Кислый гудрон, нейтрализованный аммиаком (ГНД)	[18]
	Кислый гудрон, нейтрализованный едким натром (ВНГ)	[19]
	Подмыльный щёлок (ПЩ)	[20]
	Кубовый остаток производства синтетических жирных кислот (КОСЖК)	[21]
	Синтетическая поверхностно-активная добавка (СПД)	[22]
	Жидкость гидрофобизирующая (ГЖ-136-41)	ГОСТ 10834-76 Жидкость гидрофобизирующая 136-41. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3)
	Глицериновый гудрон (ГП)	[23]
	Алкилсульфатная паста (АСП)	[24]
	NovoCrete	[25]
	NIKOFLOK	[26]
	Полимерные латексы «Ла Тракт»	[27]
	Полимерная эмульсия «Эколюкс пакер»	[28]

Назначение добавки	Добавка(условное обозначение)	Нормативный документ
	Модификатор «ДорЦем ДС-1»	[29]
	Полимерная эмульсия «Дорстаб»	[30]
Ускорение процессов твердения, повышение прочности, водо-и морозостойкости грунтов (в т.ч. кислых, гумусированных, засолённых, переувлажнённых), укреплённых цементом или известью	Этилсиликонат натрия (ГКЖ-10)	[31]
	Госсиполовая смола (хлопковый гудрон)	[32]
	Дивинилстирольный латекс (СКС-65ГП)	ГОСТ 10564-75 Латекс синтетический СКС-65ГП. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3)
	Пипериленстирольный латекс (СКПС-50) марки Б	[33]
	Суперпластификатор С-3	[34]
	Суперпластификатор СД-2А	[35]
	Суперпластификатор Н-1	[36]
	Хлорид кальция	ГОСТ 450-77 Кальций хлористый технический. Технические условия (С Изменениями № 1, 2, 3)
	Сульфат железа	ГОСТ 4148-78 Реактивы. Железо (II) сернокислое 7-водное. Технические условия
	Сульфат натрия	ГОСТ 6318-77 Натрий сернокислый технический. Технические условия (с Изменениями № 1, 2)
	Едкий натр (каустическая сода)	ГОСТ Р 55064-2012 Натр едкий технический.

Назначение добавки	Добавка(условное обозначение)	Нормативный документ
		Технические условия
	Углекислый натрий	ГОСТ 83-79. Реактивы. Натрий углекислый. Технические условия (с Изменениями № 1, 2)
	Двууглекислый натрий	ГОСТ 2156-76. Натрий двууглекислый. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3, 4)
	Силикат натрия (жидкое стекло)	ГОСТ 13078-81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия (С Изменениями № 1, 2)
	Сернокислый аммоний	ГОСТ 3769-78 Аммоний сернокислый. Технические условия (с Изменением № 1, Поправкой)
Повышение прочности на сжатие и на растяжение при изгибе, морозостойкости и трещиностойкости	Фиброволокно (базальтовое, полимерное, полиэфирное)	ГОСТ 14613-83 Фибра. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3)

Ключевые слова: нежесткие дорожные одежды, методика расчета дорожной одежды, монолитные основания дорожных одежд, обработанные вяжущими каменные материалы, укрепленные грунты.