

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Проектирование дорог»

В. А. Веренько

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ
ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

Пособие по выполнению курсового проекта № 3
«Проект дорожной одежды нежесткого типа (деталь проекта)»
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

Минск
БНТУ
2012

УДК 625.73-192(075.8)

ББК 39.311бв31

В31

Рецензенты:

Л. Г. Расинская, А. А. Куприянчик

Веренько, В. А.

В31 Конструирование и расчет дорожной одежды повышенной надежности и долговечности : пособие по выполнению курсового проекта № 3 «Проект дорожной одежды нежесткого типа (деталь проекта)» для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги». – Минск : БНТУ, 2012. – 78 с.

ISBN 978-985-525-762-3.

В пособии изложены вопросы проектирования нежестких дорожных одежд в соответствии с современными подходами в мировой практике. Рассмотрена методология конструирования и расчета дорожных одежд с экстремальным характером распределения прочности и жесткости по толщине. Для облегчения выполнения курсового и дипломного проектов в пособии приведены необходимые справочные данные, а также примеры расчетов.

УДК 625.73-192(075.8)

ББК 39.311бв31

ISBN 978-985-525-762-3

© Веренько В. А., 2012

© Белорусский национальный
технический университет, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И МАТЕРИЛЫ ДЛЯ ИХ УСТРОЙСТВА.	6
1.1 Общие положения.	6
1.2 Опыт применения новых конструкций дорожных одежд в мировой практике.	7
1.3 Конструкции дорожных одежд и материалы для их устройства, рекомендуемые для применения в условиях Республики Беларусь.	15
2 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ ГРАДИЕНТОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ПО ТОЛЩИНЕ ДЛЯ ЗАГОРОДНЫХ ДОРОГ И ГОРОДСКИХ УЛИЦ.	51
2.1 Расчетные нагрузки и методика приведения автомобилей к расчетному.	51
2.2 Конструирование дорожной одежды.	57
2.3 Расчет дорожной одежды на прочность.	60
3 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ ГРАДИЕНТОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ПО ТОЛЩИНЕ В КУРСОВОМ ПРОЕКТЕ.	68
ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ РЕФЕРАТОВ.	74
ЛИТЕРАТУРА	76

ВВЕДЕНИЕ

Дорожная одежда – совокупность конструктивных слоев из различных дорожно-строительных материалов, предназначенная для создания ровной и прочной проезжей части с шероховатой поверхностью.

Дорожную одежду укладывают на грунт земляного полотна, верхнюю часть которого называют **рабочим слоем**.

Материал дорожного покрытия и дорожная одежда в целом испытывают комплекс внешних воздействий, связанных с погодно-климатическими факторами и движением транспортных средств. Оказывает влияние и внутреннее воздействие, связанное с особенностями конструкции дорожной одежды, определяющей процессы миграции влаги, градиент температуры, распределение напряжений и деформаций от транспортной нагрузки. Все это приводит к появлению деформаций и разрушений покрытия, снижению сроков службы дорожной одежды.

Основная сложность обеспечения надежной и долговечной работы материалов покрытия состоит в том, что причины появления деформаций и свойства материалов, ответственные за их развитие, находятся в диалектическом противоречии. Т. е., повышая устойчивость материала к одному виду деформаций, неизбежно наблюдается снижение устойчивости к другому. Так, повышая вязкость битума, мы увеличиваем устойчивость к пластическим деформациям, но снижаем к хрупким. Увеличивая пористость, можно добиться роста трещиностойкости, но понизить устойчивость к коррозии и т. д.

Аналогично проявляются особенности конструкции дорожной одежды. Так, применяя в нижних и промежуточных слоях покрытия пористые и высокопористые смеси, мы повышаем устойчивость к пластическим деформациям, но снижаем устойчивость к коррозии и трещинам.

Такая ситуация требует особого подхода, направленного на разработку методики обеспечения надежности и долговечности с учетом всего комплекса воздействий, особенностей свойств материала и конструкции.

В целом можно выделить два принципиальных **пути повышения надежности и долговечности материалов дорожного покрытия**:

- 1) конструкционный путь;
- 2) материаловедческий путь.

Конструкционные мероприятия связаны с изменениями принципов конструирования и расчета дорожных одежд, а также методик выбора материалов для устройства конкретных конструктивных слоев.

Материаловедческие подходы основаны на совершенствовании структуры и свойств традиционных материалов путем оптимизации состава, выбора вяжущих, а также технологии получения. Материаловедческие подходы предусматривают также разработку новых материалов и технологий, обеспечивающих повышение надежности и долговечности.

Курсовой проект может выполняться двумя способами:

- 1) конструированием и расчетом дорожной одежды с экстремальным градиентом распределения прочности и жесткости по толщине;
- 2) подготовкой реферата по одной из тем, представленных ниже. Выбор осуществляется по указанию руководителя.

1 СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИХ УСТРОЙСТВА

1.1 Общие положения

Традиционный, классический способ конструирования дорожной одежды предполагает применение материалов с убывающей жесткостью, прочностью и другими свойствами материалов по толщине (рисунок 1.1).

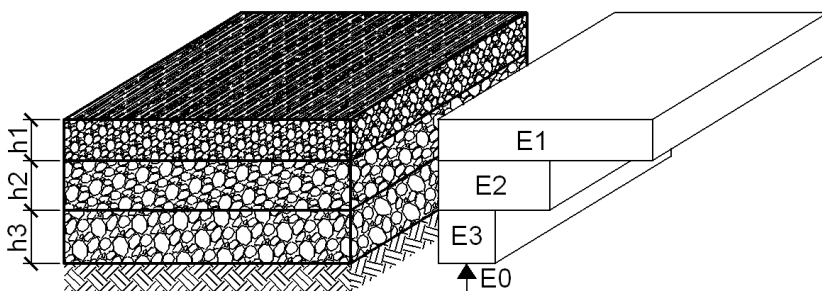


Рисунок 1.1 – Традиционная дорожная конструкция

В верхних слоях применяют наиболее прочные и жесткие материалы. С увеличением расстояния от поверхности дорожной одежды до рассматриваемой точки прочность и жесткость снижаются.

Данный подход оправдан с точки зрения учета распределения сжимающих напряжений по глубине, а также обоснования толщины конструктивных слоев по критерию упругого прогиба, или максимальных растягивающих напряжений, величина которых снижается с увеличением общей толщины слоев покрытия. Не на последнем месте находятся здесь и экономические показатели дорожной одежды.

Однако в реальных условиях распределение сдвигающих и растягивающих напряжений отличается от схемы сжатия (рисунок 1.2).

С учетом таких отличий оптимальными оказываются конструкции с экстремальным распределением жесткости слоев по глубине (рисунок 1.3).

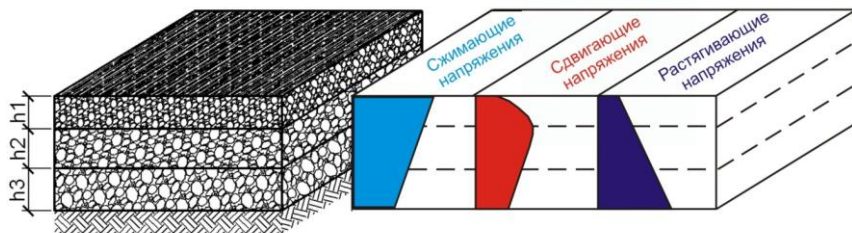


Рисунок 1.2 – Распределение действующих в дорожной конструкции напряжений

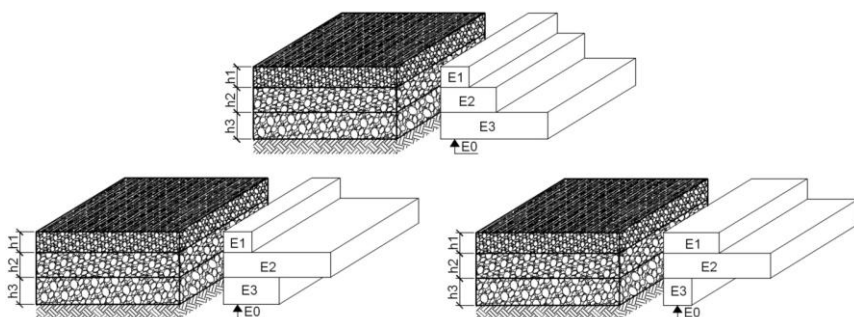


Рисунок 1.3 – Конструкции дорожных покрытий с экстремальным распределением жесткости и прочности материалов слоев по глубине

1.2 Опыт применения новых конструкций дорожных одежд в мировой практике

Во многих странах мира (Великобритания, США, Германия, Китай и др.) на дорогах с высокой интенсивностью тяжелого транспорта применяются так называемые вечные дорожные одежды (Perpetual Pavements), срок службы которых составляет свыше 20 лет. На основе анализа литературы [1–3] рассмотрим эту концепцию более подробно.

Вечные дорожные одежды могут служить свыше 50 лет без каких-либо значительных (капитальных) ремонтов, а только с периодическими (примерно через 20 лет) заменами верхнего слоя покрытия (слоя износа).

Можно выделить **два вида дорожных одежд**:

- 1) асфальтобетонные слои устраиваются непосредственно на немодифицированных или модифицированных грунтах;
- 2) асфальтобетонные слои устраиваются на основании из зернистых материалов (например, щебня).

Главным преимуществом дорожных одежд первого вида является то, что они имеют меньшую общую толщину по сравнению с теми, которые устраиваются на слое из зернистого материала. При этом достигается одинаковая общая прочность всей конструкции.

Как результат, такие дорожные конструкции имеют большую устойчивость к образованию усталостных трещин в нижней части покрытия (непосредственно перед грунтом).

Это два основных преимущества долговечных дорожных одежд.

Для таких конструкций разрушения могут появляться только в верхнем слое покрытия, который непосредственно воспринимает воздействие транспорта и погодно-климатических факторов. Когда уровень разрушений верхнего слоя покрытия достигает какой-то критической величины, эта часть его может быть удалена (это является экономически выгодным), а материал может использоваться повторно для устройства нового верхнего слоя покрытия (например, горячий ресайклинг).

Такая конструкция (рисунок 1.4), запроектированная на длительную эксплуатацию, включает:

- 1) верхний износостойкий и устойчивый к пластическим деформациям слой;
- 2) промежуточный высокомодульный и устойчивый к пластическим деформациям слой;
- 3) нижний устойчивый к усталостному разрушению слой.

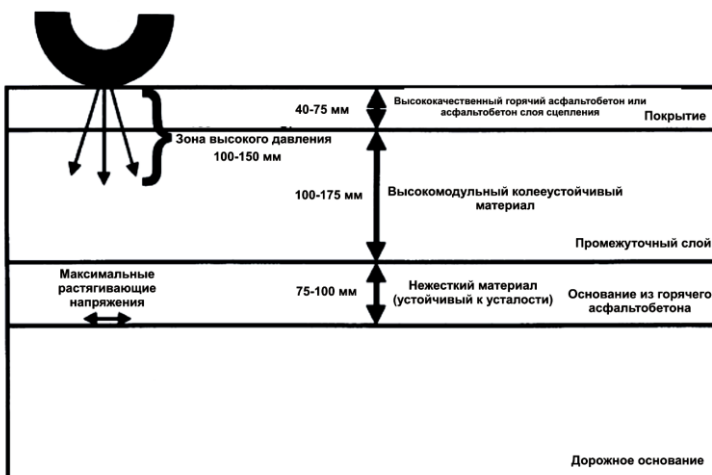


Рисунок 1.4 – Типовая конструкция дорожных одежд повышенной долговечности

Такой подход к проектированию может быть принят при разработке дорожных одежд, обеспечивающих снижение затрат на восстановление и реконструкцию, а также возможность проводить ремонты без длительного закрытия движения.

Применение конструкций дорожных одежд повышенной долговечности должно основываться на технико-экономическом обосновании в увязке со сроком службы, количеством восстановлений верхнего слоя покрытия и стоимостью первоначального устройства дорожной одежды.

С учетом современных эмпирических методов проектирования концепция вечных дорожных одежд не находит своего подтверждения с точки зрения обеспечения повышения долговечности путем устройства толстых асфальтобетонных (из горячих асфальтобетонных) слоев. Это происходит из-за того, что проектирование долговечных дорожных покрытий основывается в первую очередь на механистическом проектировании, ключевым моментом которого является проектирование прочного основания. Независимо от длительности тепловой стабильности основание дорожного покрытия является рабочей платформой, на которой происходит уплотнение асфальтобетонных слоев.

Из-за своих особенностей горячие асфальтобетонные слои должны устраиваться в конструкции в соответствии со своими, зависящими от расположения, свойствами (температурой и нагрузкой). Поэтому проектирование дорожной одежды должно основываться не только на механистической концепции расчета, но и на особенностях выбора материала для устройства того или иного слоя.

Основная гипотеза механистической концепции: асфальтобетонное покрытие достаточной толщины, устроенное на прочном основании, не допускает появление разрушений в нижней части покрытия, для исправления которых необходима дорогостоящая реконструкция. Покрытие должно обладать соответствующей толщиной и жесткостью, чтобы противостоять деформациям в материале основания или грунте земляного полотна. В то же время асфальтобетонные слои должны быть достаточно толстыми и обладать необходимыми свойствами, чтобы противостоять усталостному растрескиванию, которое начинается в нижней зоне слоя.

Очень важным с точки зрения обеспечения долговечности вечных дорожных одежд является своевременное проведение ремонтных мероприятий (усилений, восстановлений). В настоящее время вечные дорожные одежды используются во многих штатах США: Калифорния, Иллинойс, Мичиган, Техас, Висконсин, Кентукки, Огайо, Вирджиния, – а также в Великобритании.

Рассмотрим особенности применения этих дорожных одежд на примере двух штатов: Калифорнии и Иллинойса.

Калифорния

В Калифорнии устраивались долговечные дорожные покрытия на автомагистрали 710 в Лос-Анджелесе. Известная как «Автострада Лонг-Бич», она проектировалась на движение 100–200 миллионов одиночных эквивалентных осей за срок службы 40 лет.

Существующая дорожная одежда представляет собой 200-миллиметровое бетонное покрытие, ниже – тощий бетон (100 мм), ниже – слой зернистого материала (100 мм), ниже – 200 мм материала подстилающего слоя. Предлагалось большую часть бетона разрушить, уплотнить и перекрыть слоями из горячего асфальтобетона общей толщиной 200 мм, а также выполнить следующее (на некоторых участках): убрать весь бетон и тощий бетон и устроить асфальтобетонное покрытие общей толщиной 300 мм. Слой сцепления из OGFC (асфальтобетон открытой структуры) будет выполнен на всем протяжении ремонтируемых участков.

Как показано на рисунке 1.5, при переустройстве покрытия на всю глубину новая конструкция должна содержать асфальтобетонные слои общей толщиной 300 мм. Нижний слой должен быть устойчив к усталостному разрушению (75 мм), для чего содержание вяжущего в нем следует увеличить на 0,5 %, т. е. сделать 5,2 %.

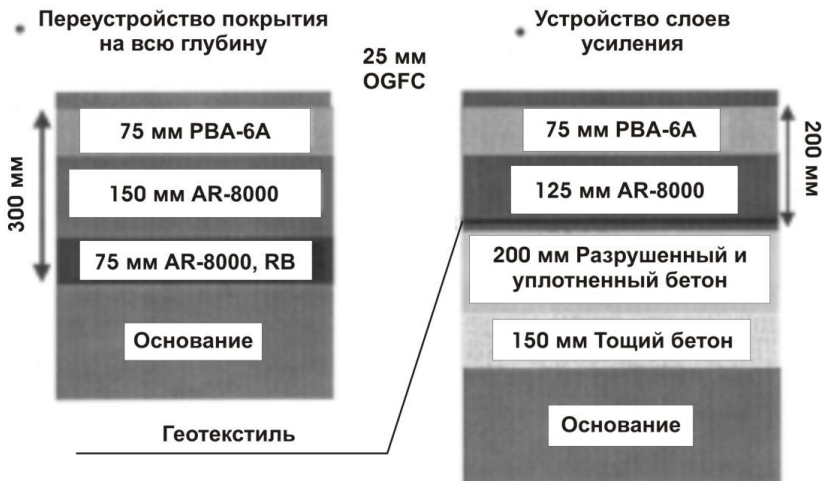


Рисунок 1.5 – Экспериментальные участки на Автомагистрали I-710

Промежуточный слой устраивается из такого же материала, что и нижний, но содержание вяжущего является оптимальным, т. е. 4,7 %. Применение жесткого вяжущего (AR-8000) позволяет обеспечить требуемую сдвигоустойчивость.

Верхний слой толщиной 75 мм устраивается из асфальтобетона на полимер-битумном вяжущем PBA-6A, сверху устраивается слой из OGFC толщиной 25 мм. При испытании этого материала с использованием симулятора тяжелых транспортных средств (рисунок 1.6) было установлено, что он дает в два раза меньшую колею по сравнению с другими асфальтобетонными смесями (рисунок 1.7).



Рисунок 1.6 – Симулятор тяжелых транспортных средств (Калифорния)

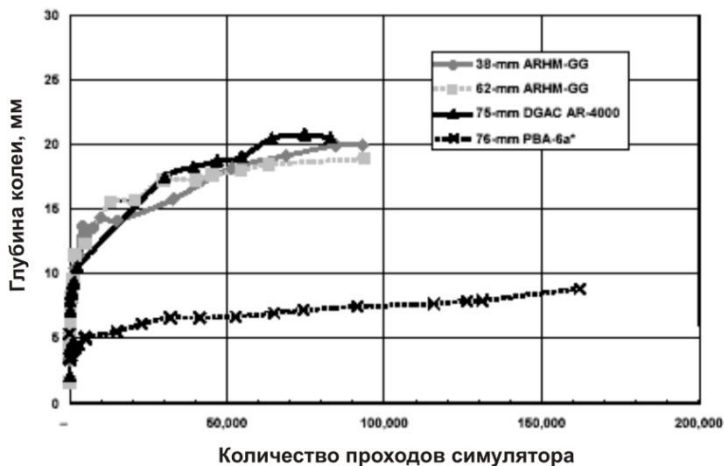


Рисунок 1.7 – Результаты испытаний на колеобразование асфальтобетонов различного вида

Для второго вида участков было необходимо устройство асфальтобетонного покрытия общей толщиной 200 мм. При этом оно не имело нижнего стойкого к усталости слоя из асфальтобетона. Было необходимо также обеспечить достаточную прочность основания из разру-

шенного и уплотненного бетона и предотвращение копирования дефектов с нижних слоев (применение геотекстиля, который устраивается на толщине 25 мм поверх слоя бетона). В такой конструкции особое внимание уделяется обеспечению усталостной долговечности материалом верхнего слоя (учитывались такие факторы, как температура, количество приложений нагрузки, уровень надежности).

При проектировании конструкции ограничивались в слое асфальтобетона деформацией изгиба в размере 70 мк и вертикальной деформацией в размере 200 мк под нагрузкой 80 кН (одиночная ось). Сдвиговые деформации на поверхности покрытия также были ограничены и составляли не более 5 % от постоянной деформации, что в шесть раз меньше, чем для наиболее жаркого периода года.

Строительство этих покрытий было начато в 2001 году и закончено в 2002 году.

Иллинойс

Именно в штате Иллинойс и появилось название «вечные дорожные одежды» для конструкций повышенной деформационной устойчивости. Там были разработаны основные положения по проектированию составов материалов, методика проектирования и технология строительства. Рекомендации по проектированию таких покрытий были разработаны в декабре 2000 года, а в 2002 году вышла окончательная редакция.

Типовая конструкция должна обеспечивать следующие параметры: деформация изгиба в нижней части асфальтобетонных слоев не должна превышать 60 мк, что отличает метод проектирования от Калифорнийского; при этом асфальтобетон должен был содержать не более 2,5 % пустот.

Промежуточный асфальтобетонный слой проектировался как плотные асфальтобетонные смеси. Расчетный срок службы составлял 20 лет.

Верхний слой покрытия устраивался из щебнемастичного асфальтобетона (SMA). Толщина слоя из SMA выбирается на основании анализа сдвиговых напряжений на поверхности из условия обеспечения сдвигоустойчивости и трещиностойкости. Зона появления этих деформаций составляет порядка 100 мм. Также толщина SMA зависит от условий движения: 50 мм – для легких; 100 мм – для средних; 150 мм – для тяжелых и очень тяжелых условий дви-

жения. Тяжелый уровень движения составляет порядка 25 млн экв. осей. При этом все 150 мм покрытия должны состоять из асфальтобетона на полимер-битумном вяжущем, что обеспечивает требуемую сдвигоустойчивость и трещиностойкость. Сорт вяжущего выбирается в зависимости от климата и толщины покрытия.

Для укрепления основания используется известь. Укрепление производится на глубину 300 мм. Если используются зернистые материалы, укрепление не требуется.

В Китае в настоящее время широко применяются следующие конструкции дорожных одежд (рисунки 1.8, 1.9):

- 1) основание (тощий бетон) с толщиной до 20 см;
- 2) покрытие, состоящее из трех слоев, два из которых (верхних) устраиваются на модифицированных вяжущих.



Рисунок 1.8 – Устройство дорожной одежды повышенной деформационной устойчивости в КНР

Общая толщина асфальтобетонных слоев составляет более 20 см.

Для предотвращения копирования трещин с бетона на асфальтобетонное покрытие устраиваются специальные прослойки: предварительный розлив жидкого битума, россыпь фракционированного щебня, розлив модифицированного вяжущего.



Рисунок 1.9 – Вид устроенного и эксплуатируемого дорожного покрытия повышенной деформационной устойчивости

Из вышесказанного видно, что в настоящее время в мире в условиях развития транспорта и увеличения осевых нагрузок развиваются методы проектирования дорожных одежд повышенной деформационной устойчивости (со сроком службы более 20 лет). Применение таких конструкций в Республике Беларусь сдерживается в первую очередь отсутствием базы для их проектирования.

1.3 Конструкции дорожных одежд и материалы для их устройства, рекомендуемые для применения в условиях Республики Беларусь

В общем случае в большинстве зарубежных стран материал слоя подбирается на основании действительных воздействий транспорта и погоднo-климатических факторов за весь срок службы.

Отличием является то, что в нижних слоях может применяться асфальтобетон, как пористый, так и плотный. Предпочтение плотному асфальтобетону в нижней части асфальтобетонных слоев отдается для устройства дорог с высокой интенсивностью движения тяжелых транспортных средств.

Подбирая состав материала в увязке с характеристиками дорожной конструкции и условиями эксплуатации, можно обеспечить требуемую надежность, а следовательно, и проектный срок службы (рисунок 1.10).

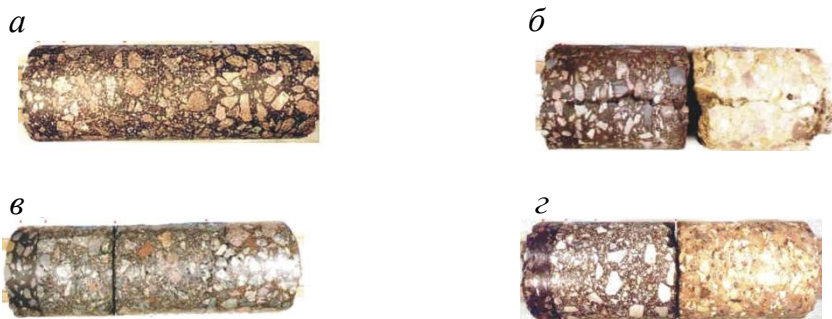


Рисунок 1.10 – Дорожные покрытия с различным соотношением свойств материалов по толщине (при оптимальном (а, г) и неоптимальном соотношении (б, в))

Покрытие должно включать два слоя: верхний и нижний (несущий), которые непосредственно воспринимают транспортную нагрузку и погоднo-климатические факторы. Материал слоев покрытия должен обеспечивать:

- 1) необходимую деформативность;
- 2) защиту нижних слоев от действия погоднo-климатических факторов;
- 3) надежность по устойчивости к воздействию транспорта, погоднo-климатических факторов и усталости;
- 4) сцепление с колесом транспортного средства (верхний слой);
- 5) увеличение прочности всей дорожной конструкции.

Материалы для основания дорожной одежды должны:

- 1) выдерживать нагрузку, передающуюся с основания;
- 2) выдерживать строительный транспорт при устройстве покрытий;
- 3) обеспечивать морозозащиту;
- 4) обеспечивать отвод воды.

Нижние слои покрытия могут выполняться как из плотных, так и из пористых смесей (в зависимости от нагрузок), а также из тощего бетона или укрепленных цементом материалов, что предполагает выполнение мероприятий по предотвращению копирования дефек-

тов (трещин). Этот слой является одним из важных в обеспечении прочности всей дорожной одежды. Данный слой должен быть наиболее устойчивым к восприятию циклических изгибающих напряжений и обеспечивать требуемый температурный градиент дорожной конструкции.

Как показывает анализ литературных и других источников, необходимо выбирать вяжущее, которое имеет наибольшую вязкость, для обеспечения сдвигоустойчивости, температурной трещиностойкости и усталостной долговечности. Эти характеристики асфальтобетонных смесей будут также изменяться в зависимости от расположения слоя в дорожной конструкции (из-за изменения параметров нагрузки и температуры).

Для условий Республики Беларусь можно рекомендовать обеспечивающие высокую надежность и долговечность конструкции дорожных покрытий, представленные на рисунке 1.11.

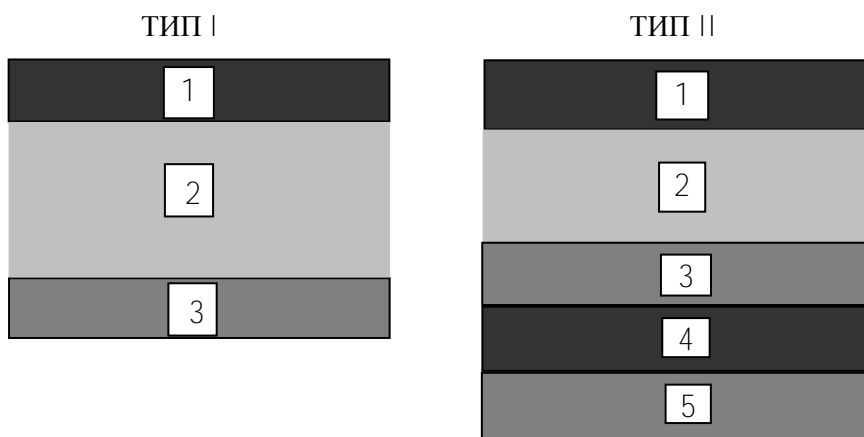


Рисунок 1.11 – Конструкции дорожных покрытий, рекомендуемые для применения в условиях Республики Беларусь:
1 – покрытие, устраиваемое из литых, полулитых и щебенемастичных асфальтобетонов толщиной 3–5 см; 2 – нижний (несущий) слой покрытия, устраиваемый из бетонов на органиогидравлических вяжущих или асфальтобетонов повышенной жесткости (АПЖ); 3 – плотные асфальтобетоны с повышенной устойчивостью к усталостным деформациям, в качестве которых могут быть применены песчаные асфальтобетоны, плотные асфальтобетоны типов Б и В и др.; 4 – прослойки из геотекстиля; 5 – тонкий выравнивающий слой из песчаного или мелкозернистого асфальтобетона

При конструировании и расчете дорожной одежды очень важно правильно выбрать соотношение толщины и свойств слоев 3 и 5. В любом случае, толщина слоя 5 должна быть существенно меньше, чем слоя 3.

Добиться повышенной надежности дорожных покрытий и одежд можно и на основе традиционных материалов. Однако как для дорожных одежд повышенной долговечности, так и для традиционных необходим пересмотр существующих подходов к выбору материалов конструкции и расчету дорожных одежд.

Применение новых конструкций и методик расчета в Республике Беларусь сдерживается существующей нормативной базой.

Так, методика проектирования дорожной одежды по упругому прогибу не позволяет производить расчет дорожной одежды с экстремальным изменением прочности слоев (рисунок 1.12).

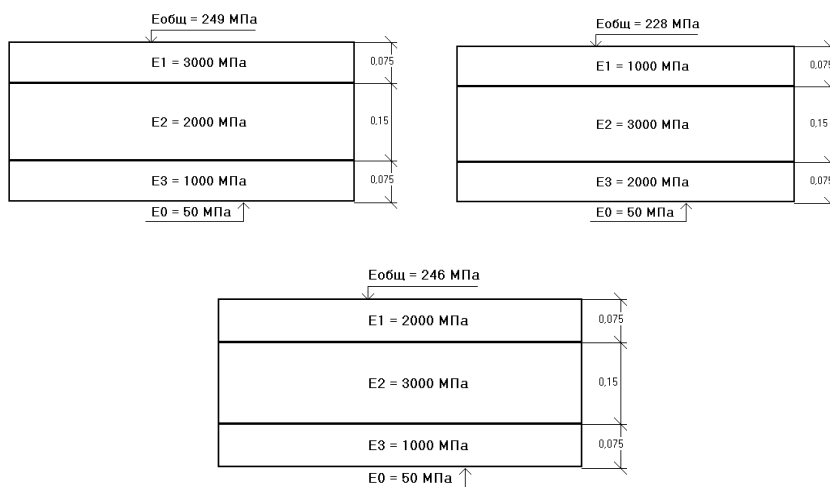


Рисунок 1.12 – Сравнительные расчеты конструкций с экстремальным изменением свойств материалов слоев

В частности, для конструкций с экстремальным распределением жесткости по толщине может применяться следующая зависимость для приведения двухслойной системы (основания) к однослойной (рисунок 1.13).

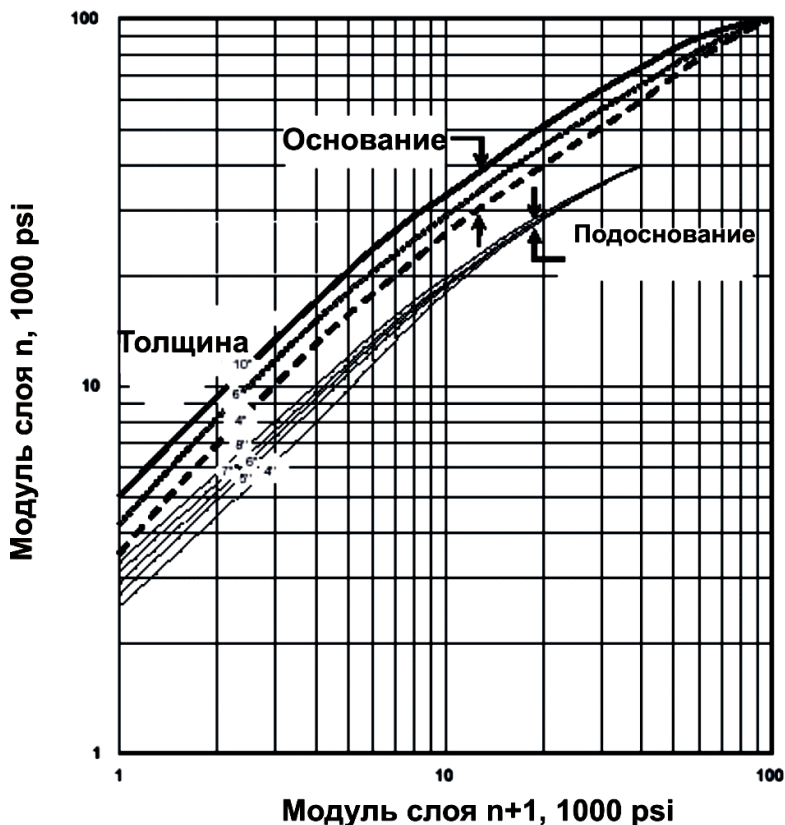


Рисунок 1.13 – Зависимость для приведения двухслойной конструкции к однослойной

В подавляющем большинстве зарубежных стран уже давно отказались от такого критерия, как предельные перемещения и деформации (либо комбинаций этих компонентов), которые сравнивают с допускаемыми, зависящими от принятого критерия предельного состояния.

За критерии предельного состояния дорожной одежды принимают максимальный упругий прогиб поверхности покрытия, горизонтальное нормальное напряжение или относительную деформацию при изгибе слоя, сдвигающее или сжимающее напряжение в грунте и зернистых несвязных слоях.

Относительно слоев, способных работать на изгиб, мнение специалистов почти едино: эти слои надо рассчитывать на растяжение, принимая в качестве критерия предельного состояния максимальное горизонтальное нормальное напряжение или относительную деформацию.

Принятые в нашей стране критерии предельного состояния дорожной одежды (по упругому прогибу, сдвигу и изгибу), к сожалению, пока не позволяют прогнозировать срок ее службы. В значительной мере это объясняется нечеткостью понятия отказа для дорожной одежды.

Выделяют три группы принципов конструирования дорожной одежды:

- 1) рациональное распределение материалов по глубине;
- 2) рациональное распределение материалов по ширине проезжей части (с учетом распределения проездов по ширине);
- 3) рациональное конструирование в зависимости от изменения условий работы дорожной одежды во времени (в годовом цикле и в течение срока службы).

Учитывая вышеизложенное, необходимо внести определенные коррективы в конструирование и расчет дорожных одежд. В частности, конструкцию и вид материала покрытия следует назначать в зависимости от требуемого уровня надежности дорожной конструкции по таблице 1.1. При этом конструкция покрытия обязательно рассматривается в виде двух слоев: верхнего и несущего слоя покрытия.

Таблица 1.1 – Значения уровней надежности дорожных покрытий

Материал верхнего слоя покрытия (защитного слоя)	Материал несущего слоя покрытия	Общий уровень надежности дорожной конструкции Р
1.4	2.2, 2.3, 2.5, 2.6	0,95–0,98
1.5	2.2, 2.3, 2.5, 2.6	0,84–0,98
1.6	2.1–2.6	0,65–0,87
1.7	2.1–2.9	0,65–0,92
1.8**	2.1, 2.4, 2.7–2.9	0,65–0,87
1.9**	2.1, 2.4, 2.7–2.9	0,65–0,92

Окончание таблицы 1.1

Материал верхнего слоя покрытия (защитного слоя)	Материал несущего слоя покрытия	Общий уровень надежности дорожной конструкции <i>P</i>
1.10**	2.1, 2.4, 2.7–2.9	0,65–0,87
1.6 (1.1, 1.3)*	2.1–2.6	0,84–0,96
1.11 (1.1, 1.2, 1.3)*	2.1, 2.3–2.5, 2.7–2.9	0,84–0,96
1.12 (1.1, 1.3)*	2.1, 2.3–2.5, 2.7–2.9	0,80–0,95
1.13 (1.2, 1.3)*	2.1, 2.2, 2.5–2.9	0,92–0,96

Примечание: * – пункты справедливы при обязательном устройстве защитного слоя во время строительства и его замене через 3–5 лет; ** – устройство защитного слоя обусловлено низкой шероховатостью готового покрытия.

Наименование материалов по таблице 1.1:

Материалы для устройства защитного слоя и верхнего слоя покрытий:

1.1. Поверхностная обработка в соответствии с РД 0219.1.09–99 «Дорожные технологии на основе катионных битумных эмульсий».

1.2. Двойная поверхностная обработка в соответствии с РД 0219.1.09–99 «Дорожные технологии на основе катионных битумных эмульсий».

1.3. Слои «Slarry-Seal» в соответствии с РД 0219.1.09–99 «Дорожные технологии на основе катионных битумных эмульсий».

1.4. Смесь битумоминеральная горячая литая марки ЛБС-МЖ в соответствии с СТБ 1257 с зерновым составом минеральной части по таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Зерновой состав минеральной части смеси битумоминеральной горячей литой марки ЛБС-МЖ

Зерна минерального материала, мм, мельче	Массовая доля, %
40	–
20	97–100
15	93–97

Окончание таблицы 1.2

Зерна минерального материала, мм, мельче	Массовая доля, %
10	87–93
5	55–68
2,5	47–70
1,25	32–43
0,63	21–29
0,315	20–25
0,14	19–23
0,071	21–24

Сразу после устройства слоя производится посыпка щебнем с размером фракций от 2 до 4 мм или от 4 до 6 мм с последующей прикаткой средними катками.

1.5. Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные типа С горячие в соответствии с СТБ 1033.

1.6. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие плотные типа А в соответствии с СТБ 1033.

1.7. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие плотные типа Б в соответствии с СТБ 1033.

1.8. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие плотные типа В в соответствии с СТБ 1033.

1.9. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие плотные типа Г в соответствии с СТБ 1033.

1.10. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие плотные типа Д в соответствии с СТБ 1033.

1.11. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие плотные типа А в соответствии с СТБ 1033.

1.12. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие плотные типа Б в соответствии с СТБ 1033.

1.13. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие пористые типа А в соответствии с таблицей Д.1 СТБ 1033.

Материалы для устройства несущего слоя покрытия:

2.1. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие пористые в соответствии с СТБ 1033.

2.2. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие плотные типа А в соответствии с СТБ 1033.

2.3. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие пористые типа А в соответствии с таблицей Д.1 СТБ 1033.

2.4. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие пористые в соответствии с СТБ 1033.

2.5. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие пористые типа А в соответствии с таблицей Д.1 СТБ 1033.

2.6. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие плотные типа Б в соответствии с СТБ 1033.

2.7. Бетоны на органо-гидравлических вяжущих первой группы в соответствии с СТБ 1415.

2.8. Бетоны на органо-гидравлических вяжущих второй группы в соответствии с СТБ 1415.

2.9. Бетоны на органо-гидравлических вяжущих третьей группы в соответствии с СТБ 1415.

Материалы для устройства покрытий

Для устройства верхних слоев следует использовать литые, щебнемастичные и полулитые смеси.

Литой асфальтобетон

Все больше в странах Западной Европы в качестве материала для устройства верхнего слоя дорожного покрытия используется литой асфальтобетон. Это обусловлено рядом положительных свойств, присущих данному виду дорожно-строительного материала и отличающих его от обычно применяемых горячих асфальтобетонов. Покрытие, устраиваемое из литого асфальтобетона, способно при остывании достигать максимальной плотности без образования пор (остаточная пористость практически равна нулю), и благодаря высокой подвижности литой смеси отпадает необходимость в уплотнении укладываемого слоя (лишь в некоторых случаях требуется легкое уплотнение). Кроме того, покрытия из литых смесей обладают повышенной износостойкостью, коррозионной устойчивостью и значительно большей долговечностью (срок службы покрытий из литого асфальтобетона может достигать 20 лет); устойчивы к длительному воздействию воды и противогололедных реагентов.

Литая асфальтобетонная смесь – это разновидность горячих асфальтобетонных смесей. В отличие от традиционных, литая асфальтобетонная смесь характеризуется повышенным содержанием минерального порошка (до 25 %) и битума (до 14 %).

Повышенное содержание вяжущего вещества и его высокая температура придает асфальтобетонной смеси высокую подвижность, и как следствие, отсутствует необходимость в уплотнении укладываемой смеси, которая после остывания приобретает необходимую плотность. Вследствие своей высокой температуры литая асфальтобетонная смесь при укладке при отрицательных температурах может, нагревая поверхность, обеспечить безупречное сцепление с ней, притом сцепление литой смеси с сухим и влажным покрытием практически одинаково и значительно превышает сцепление традиционной асфальтобетонной смеси. Следует также отметить, что при укладке не требуется предварительная обработка поверхности органическими вяжущими веществами (битумом или битумной эмульсией). Применение литой асфальтобетонной смеси позволяет значительно расширить строительный сезон, а работы по укладке могут производиться вплоть до -15°C .

В сравнении с другими типами горячих асфальтобетонных смесей литая смесь имеет повышенную долговечность, обладает высокой водонепроницаемостью (т. к. остаточная пористость асфальтобетона практически равна нулю), коррозиестойкостью и в значительной степени большей износостойкостью, а также характеризуется устойчивостью к длительному воздействию воды и противогололедных реагентов.

Наиболее широкое распространение покрытия из литого асфальтобетона нашли в Германии. Здесь в последние годы создано современное высокопроизводительное оборудование для приготовления, транспортирования и укладки литых смесей. Применяются смеси следующего состава: щебень (размером 2–8 мм или 2–12 мм) 40–45 % по массе, песок 25–30 %, минеральный порошок 20–25 %, битум (пенетрация 15–45 °П) 6,5–9 %. Немецкая фирма GFB уже в течение нескольких лет использует их для устройства дорожных покрытий, срок службы которых достигает 24 лет, в то время как для других разновидностей асфальтобетона – обычно не более 15 лет.

Для увеличения устойчивости к пластическим деформациям а также с целью обеспечения требуемой технологической подвижности литые смеси готовят при повышенной температуре (180–220 °C). Литая асфальтобетонная смесь может готовиться в обычных смесителях, при

этом режим перемешивания включает «сухое» перемешивание минеральных компонентов и их смешение с битумом. Время приготовления литых смесей несколько выше (на 25–50 %), чем при приготовлении традиционных горячих смесей. В странах Западной Европы наряду с обычными смесителями применяются и высокопроизводительные специальные установки. Так, фирма «Wibau» выпускает специальные смесители, отличающиеся конструкцией мешалки, которая представляет собой емкость с вертикально расположенным валом.

Литая асфальтобетонная смесь при выпуске имеет температуру около 200 °С и повышенное содержание битума, что приводит к пониженной вязкости, и по своей консистенции смесь приближается к суспензии, в которой неравномерно оседают минеральные частицы. При этом смесь быстро теряет однородность. Поэтому для предупреждения процесса расслаивания и сохранения однородности, а также для сохранения высокой рабочей температуры необходимо непрерывное перемешивание смеси с одновременным ее подогревом во время транспортирования. Обычно литая смесь доставляется на объект в специализированных транспортных средствах с мешалками и оборудованием для подогрева – так называемых кохерах, (рисунок 1.14) вместимостью до 20 м³.



Рисунок 1.14 – Специализированное транспортное средство для доставки литой смеси

Перед началом работ для предотвращения растекания по краям укладываемой полосы устанавливаются упорные брусья (при снижении температуры уложенного слоя до 60 °С упорные брусья удаляются) или по краям проезжей части устраивается технологическая полоса шириной 30–40 см (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – Технологическая полоса, устраиваемая перед укладкой литой смеси

Доставленная к месту работ литая асфальтобетонная смесь укладывается в покрытие специальными укладчиками (рисунок 1.16). К ним можно отнести модели немецкой фирмы «Vogele». Распределение литой смеси проводится с одновременным распределением мелкого щебня (рисунок 1.17), обеспечивающего шероховатость покрытия. Щебень прикатывают средним катком до получения качественной микрошероховатой структуры.



Рисунок 1.16 – Распределение литой смеси



Рисунок 1.17 – Специальный укладчик литых смесей с распределением мелкого щебня

Поскольку покрытия из литой асфальтобетонной смеси не требуют уплотнения, толщину укладываемого асфальтобетона назначают без его учета. Литая асфальтобетонная смесь позволяет уменьшить толщину конструктивных слоев за счет своей высокой плотности, при этом толщина покрытия может быть минимальной и составлять 3 см.

Отличительной особенностью литого асфальтобетона является повышенное содержание вяжущего вещества, что может привести к появлению пластических деформаций при высоких летних температурах. Объем асфальтовяжущего вещества (битум + минеральный порошок) в литом асфальтобетоне значительно больше, чем в других видах асфальтобетона, и сдвигоустойчивость в большей степени определяется структурно-механическими свойствами, в частности, вязкостью этой системы, которая зависит от вязкости битума и степени его структурирования минеральным порошком. Этим обусловлено применение в литом асфальтобетоне более вязких битумов и повышенных количеств минерального порошка.

С целью определения оптимальной вязкости битума для условий Республики Беларусь, при использовании литой асфальтобетонной смеси были проведены экспериментальные исследования: был рас-

смотрен ряд смесей, разных по зерновому составу и количеству вяжущего. Остановимся более подробно на двух из них, обладающих рядом положительных свойств: первая смесь (структура образующей фракции 5–10 мм): щебень 5–10 – 60 %, щебень 2,5–5 – 15 %, отсев – 10 %, МП – 15 %, битум – 9,5 %; вторая (структура образующей фракции 2,5–5 мм): щебень 2,5–5 – 20 %, отсев – 55 %, МП – 25 %, битум – 12,5 %. За основной параметр работоспособности покрытия принят уровень надежности.

Общий уровень надежности учитывает сдвигоустойчивость и температурную трещиностойкость литого асфальтобетона, которые наиболее важны для условий Республики Беларусь, и определяется по формуле

$$P_0 = \sqrt[2]{P_1 \cdot P_2}. \quad (1.1)$$

По результатам вычислений была получена зависимость общего уровня надежности от вязкости применяемого в литом асфальтобетоне битума (рисунок 1.18).

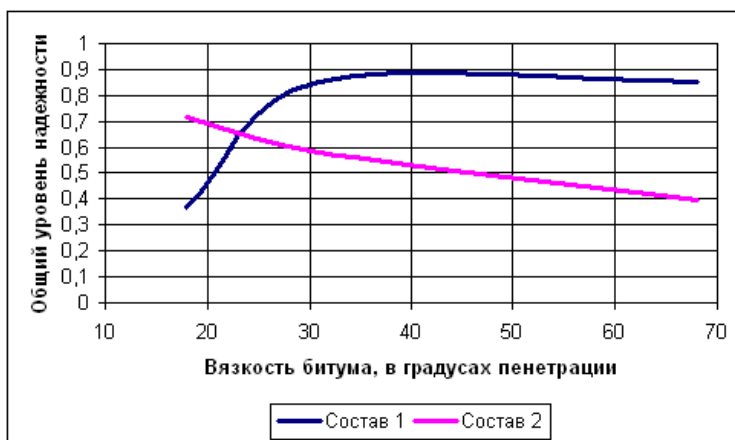


Рисунок 1.18 – Зависимость общего уровня надежности от вязкости битума

Анализируя полученные данные, можно отметить, что состав 1 не может быть использован в качестве верхнего слоя покрытия, т. к. общий уровень надежности меньше допусаемого значения, равно-

го 0,9. Оптимальной вязкостью битума при применении состава 2 является вязкость в пределах от 35 до 45 градусов пенетрации. Она может быть рекомендована для приготовления литой асфальтобетонной смеси, однако следует уделить особое внимание правильному подбору состава.

Битум является основным компонентом литых асфальтобетонных смесей, и его свойства во многом определяют надежность и долговечность дорожных покрытий. Как указывалось выше, увеличение количества вяжущего в асфальтобетоне приводит к возрастанию вероятности возникновения пластических деформаций. Эту вероятность можно уменьшить применением битумов большей вязкости, однако увеличение вязкости приводит к усилению образования трещин вследствие более высокого коэффициента объемного температурного расширения. Одним из наиболее перспективных путей повышения термостабильности битума является введение в его состав добавок полимеров, улучшающих структурно-механические свойства материала. Модифицированные битумы отличаются рядом положительных свойств: более широким интервалом пластичности, пониженной температурой хрупкости, эластичностью и т. д. В настоящее время для модификации дорожных битумов используют в основном сополимеры типа стирол-бутадиен-стирол (СБС). Основной особенностью влияния сополимеров на битум является появление полистирольной сетки после растворения бутадиена (изопрена). Данная сетка повышает качество, эластичность и вязкость битума, что в комплексе улучшает эффект. Однако эффективность применения сополимеров типа СБС в дорожном строительстве носит довольно противоречивый характер и требует дополнительно анализа, особенно в условиях Республики Беларусь. Кроме того, следует учитывать, что стоимость СБС достигает 4,5 тысяч долларов США за 1 тонну. Это приводит к увеличению стоимости одной тонны битума в 3–4 раза. Поэтому весьма актуален вопрос разработки мероприятий по снижению расхода СБС в битуме, а также замены его местным (белорусским) сырьем.

В последнее время на рынке Беларуси появилось множество новых полимерных добавок. Особый интерес представляет полимер Duroflex, отличительной особенностью которого является то, что полимер вводится не в вяжущее вещество, а на стадии горячего смешения минеральных материалов.

Оценку качества литого асфальтобетона (состав: щебень 5–10 – 60 %, щебень 2,5–5 – 15 %, отсев – 10 %, МП – 15 %, битум – 8,0 %) с различным содержанием полимера производили путем определения комплексного показателя – общего уровня надежности (P_0), отражающего устойчивость литого асфальтобетона к колееобразованию (P_1) и температурной трещиностойкости (P_2). По полученным данным была построена зависимость уровня надежности материала покрытия от количества вводимой добавки.

Анализ приведенной зависимости свидетельствует, что количественное увеличение содержания в литой смеси полимерной добавки ведет к увеличению устойчивости при высоких температурах и трещиностойкости литого асфальтобетона. Однако с точки зрения прочностной долговечности применение полимера эффективно при введении его в количестве 2,3 %.

Литой асфальтобетон – уникальный по своим показателям и характеристикам материал, однако для его широкого применения в условиях Республики Беларусь требуется глубокий научный анализ. Необходимо уделять особое внимание правильному подбору состава, параметрам оптимального количества и вязкости применяемого вяжущего вещества, правильному выбору и оптимальному количеству вводимой в смесь полимерной добавки, обеспечивающей достижение наиболее термостабильной системы (минеральный материал – асфальтовяжущее вещество).

Основной причиной, сдерживающей применение в Республике Беларусь литого асфальтобетона, являются технологические сложности из-за отсутствия специализированных средств для доставки смеси и технологических комплексов по ее укладке, повышающих культуру производства.

Щебнемастичный асфальтобетон (ЩМА)

Во многих странах мира одним из способов продления сроков службы верхних слоев дорожных одежд является применение ЩМА, особенностями которых являются прерывистый гранулометрический состав, высокое содержание самой крупной фракции и асфальтовяжущего, наличие стабилизирующих добавок. Данный вид материала покрытий обладает большей долговечностью по сравнению с наиболее часто применяемыми плотными смесями.

Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси были разработаны во второй половине 60-х годов прошлого века в Германии и

получили название «Splittmastixasphalt» (SMA) [4], а в 1984 г. был введен первый национальный стандарт Германии на их состав, свойства и применение [5].

В России устройство покрытий из ЩМА начато в 2000 г. Примерно с этого же времени устраиваются покрытия из данного материала в Республике Беларусь и в других странах СНГ.

В 2001 г. РУП «БелдорНИИ» выпущены технические условия на смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные и асфальтобетоны, полученные с применением целлюлозного волокна, а в 2004 г. данные смеси вошли в СТБ 1033–2004.

Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси завоевали в последнее время большую популярность в Европе в качестве материала дорожных покрытий на дорогах с большой интенсивностью движения, в аэропортах и морских портах, а также начали распространяться по всему миру. Например, в Австралии на участках для автомобильных большегрузных транспортных средств, особенно на пересечениях, рекомендуется применять щебеночно-мастичный асфальтобетон вместо традиционно применяемого асфальтобетона «открытого» типа как более долговечный и более устойчивый к интенсивным климатическим и транспортным воздействиям [6].

По рекомендациям, представленным в источнике [7], щебеночно-мастичные смеси с максимальным размером зерен щебня 16–22 мм рекомендуется использовать на улицах с интенсивностью движения 5000 и более автомобилей в сутки, а с максимальным размером зерен щебня 6–11 мм – с интенсивностью 2500–10 000 автомобилей в сутки. Рекомендуется также использовать данные смеси для устройства верхнего слоя покрытия и слоя износа на полосах для городского общественного транспорта.

В США большинство покрытий из щебеночно-мастичных смесей устраиваются на старом асфальтобетонном покрытии, имеющем различные дефекты, в том числе продольные и поперечные трещины. Тем не менее на таких участках после достаточно долгого времени эксплуатации имеются только отраженные поперечные трещины при полном отсутствии других их видов. Все трещины узкие и не имеют разветвлений [8].

Если проанализировать динамику применения смесей SMA в Западной Европе, то можно отметить постепенный переход к устройству тонких защитных слоев покрытий. Это согласуется с современной тенденцией проектирования долговечных дорожных покры-

тий с периодически заменяемыми слоями износа. Считается, что для устройства защитных слоев следует применять щебеночно-мастичные смеси с максимальным размером зерен 5 и 8 мм.

В качестве материала для ремонта асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог, проходящих в городской и сельской местности стран Европы, используется смесь SMA 0/3 (с максимальным размером минеральных зерен до 3 мм).

Популярность щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей во всем мире является следствием их высоких эксплуатационных характеристик и надежности устраиваемых из них покрытий. Основными преимуществами ЩМА и покрытий из них являются:

- шероховатая текстура поверхности, что обеспечивает достаточное сцепление колеса с покрытием. Предельное значение коэффициента сцепления при скоростях движения 80, 60, 40 км/ч составляет соответственно 0,32, 0,39, 0,46;

- высокая сдвигоустойчивость при высокой летней температуре (свыше 25 °С). Так, максимальная глубина колеи на покрытии из щебеночно-мастичного асфальтобетона в 2–2,5 раза меньше, чем у плотного асфальтобетона, после прохода одного и того же количества расчетных осей;

- высокая износостойкость покрытия. В скандинавских странах для уменьшения износа покрытия вследствие воздействия шипованных шин применяется щебеночно-мастичный асфальтобетон с максимальным размером зерен 32 мм;

- трещиностойкость при воздействии температуры и транспортных нагрузок за счет лучших деформативных и прочностных свойств;

- способность снижать уровень шума;

- устойчивость к старению за счет повышенного содержания вяжущего;

- снижение вероятности аквапланирования;

- высокая водонепроницаемость.

Специфика структуры щебеночно-мастичных асфальтобетонов предусматривает обязательное присутствие в качестве основных структурных составляющих прочного щебня с улучшенной (кубовидной) формой зерен, «объемного» битума и небольшого количества стабилизирующей (обычно волокнистой) добавки для дисперсного

армирования вяжущего. Под «объемным» битумом принято понимать ту часть вяжущего в асфальтобетонной смеси, которая не подвержена структурирующему влиянию поверхностных сил, действующих на границе раздела фаз. Основное назначение стабилизирующих добавок – удерживать толстые пленки битума на поверхности минерального материала при высоких температурах приготовления, транспортирования и укладки.

В структурном отношении щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси значительно отличаются от других типов асфальтобетонных смесей, поэтому они были отнесены к самостоятельной группе дорожно-строительных материалов. Принципиальное отличие обнаруживается уже на макроструктурном уровне при формировании минерального остова асфальтобетона. В таблице 1.3 представлены зерновые составы минеральной части асфальтобетонных смесей: 1 – мелкозернистого плотного горячего асфальтобетона типа А; 2 – щебеночно-мастичного асфальтобетона ЦМСц-20 [9]. Как видно из таблицы 1.3, основными отличиями являются высокое содержание фракционированного щебня (порядка 70–80 % по массе), который предназначен для создания максимально устойчивого каркаса в уплотненном слое покрытия, и высокое содержание самой крупной фракции 15–20 мм до 50 %.

Таблица 1.3 – Массовая доля зерен минеральной части асфальтобетонных смесей (%)

Тип смеси	Зерна минерального материала, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
1. ЦМАг	100–90	100–75	100–62	50–40	38–28	28–20	20–14	16–10	12–6	10–4
2. ЦМСц-20	100–85	70–50	42–25	30–20	25–15	24–13	21–11	19–9	15–8	13–8

Каркасный минеральный остов независимо от вяжущего обладает достаточным сопротивлением сдвигу даже при максимально возможных транспортных нагрузках. Особенностью каркасного асфальтобетона является повышенное содержание в нем свободного битума, что следует рассматривать как положительный фактор, повышающий деформативность асфальтобетона при отрицательных температурах.

Чтобы получить наиболее устойчивый пространственный каркас, образованный зернами, при достаточно большом количестве межзерновых контактов наиболее крупных частиц, минеральная часть плотных асфальтобетонов должна обеспечивать максимально плотную упаковку зерен. Битум в таком случае находится на зернах в виде структурированных пленок, склеивает их в монолит и является заполнителем межзернового пространства. При уплотнении и формировании пространственного каркаса свободный битум играет роль смазки.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон характеризуется самым высоким пределом текучести при сдвиге из всех плотных горячих асфальтобетонов. Причем чем выше удельное давление на покрытие, тем большее усилие в асфальтобетоне воспринимается щебеночным каркасом. В то же время сцепление при сдвиге и предел прочности при сжатии при 50 °С у ЩМА самые низкие, что связано с повышенным содержанием вяжущего и низкой степенью структурирования его в смеси [10].

Необходимо отметить, что прочность каркасных композитов, к которым можно отнести и щебеночно-мастичные асфальтобетоны, зависит от многих факторов структурообразования: количественного соотношения матрицы и заполнителя по объему; раздвижки зерен заполнителя; степени наполнения матрицы. Поэтому к дозированию исходных материалов предъявляются повышенные требования.

Таким образом, структура щебеночно-мастичных асфальтобетонов оптимально сочетает максимальную жесткость в условиях трехосного сжатия и сдвига и одновременно максимальную податливость и высокую деформативность материала при растяжении. Исходя из условий напряженно-деформированного состояния дорожных покрытий при эксплуатации, эти два противоположных качества асфальтобетона особенно важны.

Качество щебеночно-мастичного асфальтобетона в целом в значительной степени зависит от качества каждого компонента.

Важнейшим элементом структуры ЩМА является щебень. Для приготовления смесей принято использовать щебень из плотных трудношлифуемых горных пород (например, гранит, базальт и др.), обладающих хорошим сцеплением с применяемым битумным вяжущим. По форме зерен применяемый щебень должен быть кубовидным. Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы не должно превышать 15 % по [7] и 25 % по [9].

Если учесть, что основная нагрузка воспринимается щебеночным остовом, марка щебня по дробимости в цилиндре должна быть не ниже 1200 [9].

Для приготовления щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей применяются как природные пески, так и пески из отсевов дробления с массовой долей глинистых примесей не более 0,5 %, а также стандартные минеральные порошки.

Чтобы удерживать горячий маловязкий битум на поверхности зерен минерального материала во время предварительного хранения и транспортирования щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, в их состав вводятся специальные стабилизирующие добавки.

Первоначально (до 80-х годов XX века) в ЦМА в качестве стабилизирующих добавок использовали преимущественно асбест и резиновую крошку. Однако затем по техническим, научно-исследовательским и экологическим соображениям круг стабилизирующих добавок был расширен: в смесях стали применять добавки целлюлозных, полимерных и минеральных волокон, термопластичные полимеры, производные кремниевой кислоты и природные битумы.

К настоящему времени наибольшее распространение получили стабилизирующие добавки, приготовленные на основе целлюлозных волокон (VIATOR, TOPCEL, TECHNOCEL, ITERFIBRA, ARBOCEL, ANTROCEL и др.). Из акриловых волокон предлагается для использования в асфальтобетонных смесях DOLANIT. Дополнительно в состав асфальтобетонов могут вводиться и дисперсные волокна, упрочняющие структуру (например, синтетические волокна и стекловолокно) [11].

Круг стабилизирующих добавок может быть расширен за счет улучшения поверхности (активации) волокон или минеральных порошков, что позволит использовать продукцию белорусских производителей. В некоторой степени (т. к. целлюлозные волокна не улучшают прочностные характеристики асфальтобетонов, а являются только стабилизатором) может быть повышена и деформационная устойчивость материала, особенно сдвигоустойчивость и трещиностойкость. Для этих целей могут быть использованы активационные технологии, описанные в работе [12].

В качестве стабилизирующих добавок в ЦМА чаще всего рекомендуется использовать однородное целлюлозное волокно, в состав которого входит не менее 50 % фибр длиной от 0,5 до 1,9 мм.

Эффективность применения стабилизирующих добавок оценивается по их влиянию на стекание вяжущего [7].

Таким образом, в настоящее время в республике применяются целлюлозные волокна и гранулы (волокно и битум) импортного производства, что существенно увеличивает стоимость ЦМА. При этом данный вид стабилизирующей добавки повышает технологическую устойчивость ЦМА и не предполагает увеличения прочностных свойств асфальтобетона.

Полулитые асфальтобетонные смеси

Как было показано выше, литой асфальтобетон имеет минимальный уровень надежности в пределах 0,95, щебнемастичный – 0,84. Следовательно, между данными типами асфальтобетона можно выделить «промежуток» в пределах 0,84–0,95. Этот промежуток занимает полулитой асфальтобетон.

Отличие данного асфальтобетона от литого заключается в меньшем содержании битума и минерального порошка, а также в применении стабилизирующих добавок. Это позволяет отказаться от применения специальных термосов-смесителей при доставке асфальтобетона на объект – основного недостатка литого асфальтобетона. По сравнению со щебнемастичным асфальтобетоном полулитой обладает повышенной подвижностью, что снижает затраты на уплотнение, а также повышенной плотностью.

Полулитой асфальтобетон требует посыпки поверхности фрикционным материалом для повышения шероховатости.

Опытное строительство покрытий из полулитого асфальтобетона было выполнено на мостовом полотне Минской кольцевой автодороги (рисунок 1.19). Опыт двухгодичной эксплуатации показал хорошее качество данного материала и его устойчивость к динамическим воздействиям.

К понятию полулитой асфальтобетон можно отнести составы и технологию получения вибролитых асфальтобетонных смесей. В настоящее время на данные смеси в Институте дорожных исследований разрабатывается нормативный документ в виде технических условий.



Рисунок 1.19 – Общий вид мостового полотна из полулитого асфальтобетона

На базе исследований М. С. Мелик-Багдасарова разработан специальный метод проектирования оптимальной рецептуры смеси, учитывающей конкретные характеристики (свойства) исходных материалов, условия строительства и эксплуатации, технологию ее приготовления, транспортирования и укладки. Состав смеси следующий:

наибольший размер частиц наполнителя, мм.....20

содержание, % от массы:

частиц крупнее 5 мм.....50–55

асфальтовяжущего вещества (Б+Мч).....20–25

Фазовый состав асфальтовяжущего вещества (Б/Мч).....0,4–0,55

Асфальтовяжущее вещество (Б+Мч) – смесь битума (Б) и мелкодисперсных минеральных частиц мельче 0,071 мм (Мч).

Фазовый состав асфальтовяжущего вещества (Б/Мч) – отношение количества битума к количеству минеральных частиц мельче 0,071 мм.

По консистенции вибролитая смесь представляет собой вязкопластичную массу, которую можно выпускать практически на любой асфальтосмесительной установке периодического действия, перевозить в кузове автомобиля-самосвала не опасаясь расслоения, укладывать и уплотнять рабочими органами обычного асфальтоукладчика.

Смесь насыщена зернистым наполнителем, который покрыт относительно толстым слоем асфальтового вяжущего вещества. Под действием виброплиты (вибротрамбующего бруса) асфальтоукладчика зерна быстро занимают упорядоченное положение в подвижной среде концентрированного асфальтового раствора, происходит сближение частиц, перераспределение и выравнивание молекулярного силового поля с переходом структуры в состояние кинетического равновесия. При этом слой покрытия становится настолько плотным, что в доуплотнении не нуждается. С понижением температуры смеси с 200 °С до температуры воздуха покрытие затвердевает и приобретает свойства сдвигоустойчивого и гибкого монолита, по которому может быть сразу открыто движение.

Практика показала, что наилучшие условия доставки вибролитой смеси обеспечивают машины грузоподъемностью не менее 10 т с кузовом, имеющим задний борт, обогрев выхлопными газами, тент, подъемное устройство, обеспечивающее постепенное увеличение угла с фиксацией кузова в любом рабочем положении, устройство, встряхивающее кузов для освобождения его от налипшей смеси.

Вибролитую смесь изготавливают в соответствии со специальным технологическим регламентом, учитывающим специфику конкретного производства.

Температура смеси должна быть в пределах 190–200 °С при температуре воздуха выше +10 °С и не ниже 220 °С при температуре воздуха от +10 до +5 °С. Хранить смесь в обычном накопительном бункере без обогрева нельзя, т. к. при остывании она теряет подвижность.

С завода вибролитую смесь транспортируют при температуре воздуха выше +10 °С и расположении места укладки в 40–60 мин езды от асфальтобетонного завода в тентованных кузовах автомобилей-самосвалов. При температуре воздуха от +10 до +5 °С и значительном отдалении объекта от АБЗ смесь перевозят в термосамосвалах.

Битум должен иметь следующие свойства:

глубина проникания иглы при +25 °С.....	40–90
температура размягчения по методу КиШ, °С, не ниже.....	51
температура вспышки, °С, не ниже.....	240

Устройство покрытия производят асфальтоукладчиком. Данный процесс завершают распределением и втапливанием черного щебня.

Его расход составляет 5–6 кг/м². Щебень распределяют в одну щебенку, которую после остывания покрытия до 50 °С втапливают легким катком. Невтопившийся щебень сметают с поверхности.

Материалы для устройства несущего слоя

Для устройства нижнего несущего слоя преимущественно используются асфальтобетоны повышенной жесткости (АПЖ) и бетоны на органигидравлических вяжущих.

АПЖ – это асфальтобетоны, приготовленные на битумах повышенной вязкости или твердых битумах.

От свойств материалов конструктивных слоев в значительной степени зависит долговечность всей дорожной одежды. Свойства же асфальтобетона в большей степени зависят от свойств применяемого вяжущего. В настоящее время в Республике Беларусь повсеместно применяются битумы марки БНД 90/130, качество которых не позволяет обеспечить требуемую надежность асфальтобетона. В зарубежных же странах для устройства конструктивных слоев дорожных одежд повышенной деформационной устойчивости применяются твердые битумы, модифицированные битумы, битумы повышенной жесткости.

Твердые битумы (с глубиной проникания иглы при 25 °С менее 25 °П) получили широкое применение во Франции [13–15]. При этом выбор таких вяжущих осуществляется на основании определения реологических характеристик асфальтобетонов в зависимости от температуры и времени действия нагрузок. При исследованиях учитывается также предварительное старение битума.

На основании твердых битумов получают высокомодульные асфальтобетоны, обладающие повышенной сдвигоустойчивостью и применяющиеся при устройстве промежуточных асфальтобетонных слоев. Применение таких асфальтобетонов представляет большой интерес и является экономически выгодным.

Твердых битумов во Франции использовали в 1990 году 39 000 тонн, в 1995 году – 77 000 тонн, в 2000 году – 100 000 тонн.

В настоящее время вся Франция разделена на три зоны по климату:

- 1 – в основном океанический климат ($T_{\text{макс}} \leq 27 \text{ °C}$; $T_{\text{мин}} \geq 0 \text{ °C}$);
- 2 – в основном южный климат ($T_{\text{макс}} \geq 27 \text{ °C}$; $T_{\text{мин}} \geq 0 \text{ °C}$);
- 3 – в основном континентальный или горный климат ($T_{\text{мин}} < 0 \text{ °C}$).

Вся площадь страны может быть разбита на зоны по минимальным и максимальным температурам покрытий (рисунок 1.20).

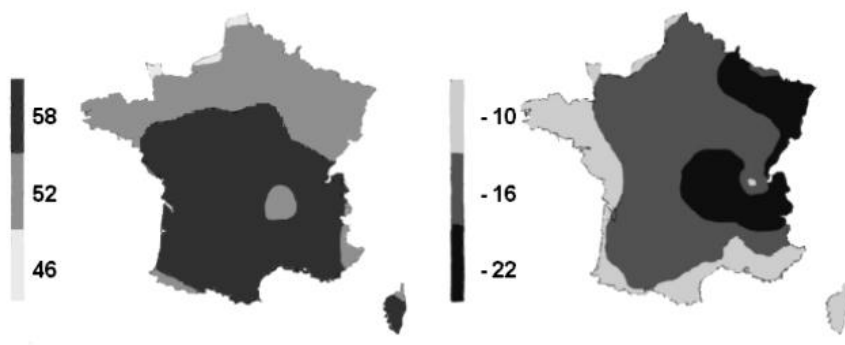


Рисунок 1.20 – Зональность Франции по температуре покрытий

В таблице 1.4 представлены рекомендации по применению битумов в зависимости от расположения проектируемого участка над уровнем моря.

Таблица 1.4 – Применение битумов в зависимости от расположения проектируемого участка над уровнем моря

Тип климата	1	2	3
Высота над уровнем моря < 500 м	35/50	35/50	35/50
Высота над уровнем моря > 1000 м	50/70	50/70	50/70
Высота над уровнем моря < 500–1000 м	–	50/70	70/100

Применяются также три вида твердых битумов, характеристики которых представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Характеристика твердых битумов

Марка	Температура размягчения	Индекс пенетрации	Динамическая вязкость, мм ² /сек	Комплексный модуль при 7,8 НЗ. [E^*], МПа			
				при 0 °С	при 10 °С	при 20 °С	при 60 °С
15/25	66	+0,2	420	420	180	70	0,4
10/20	62–72	+0,5	700	700	300	110	0,7
5/10	87	+1,0	980	980	570	300	7

На рисунках 1.21 и 1.22 представлены экспериментальные зависимости для определения комплексного модуля сдвига G^* и угла сдвига фаз δ . Из этих зависимостей может быть определена остаточная деформация, равная $G^* / \sin \delta$.

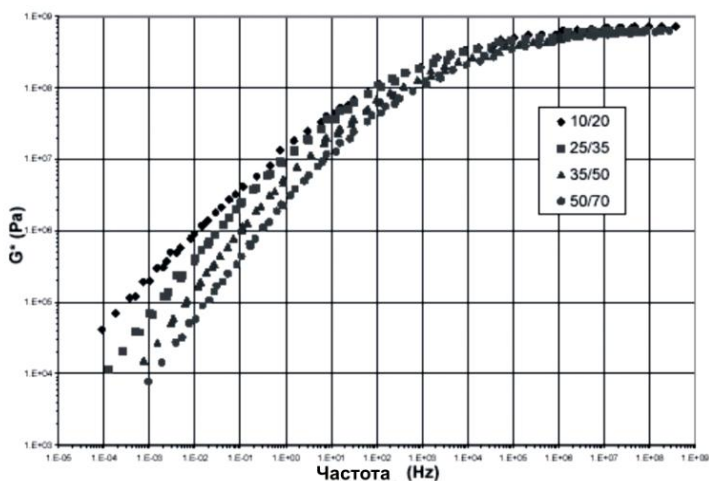


Рисунок 1.21 – Зависимость для определения комплексного модуля сдвига

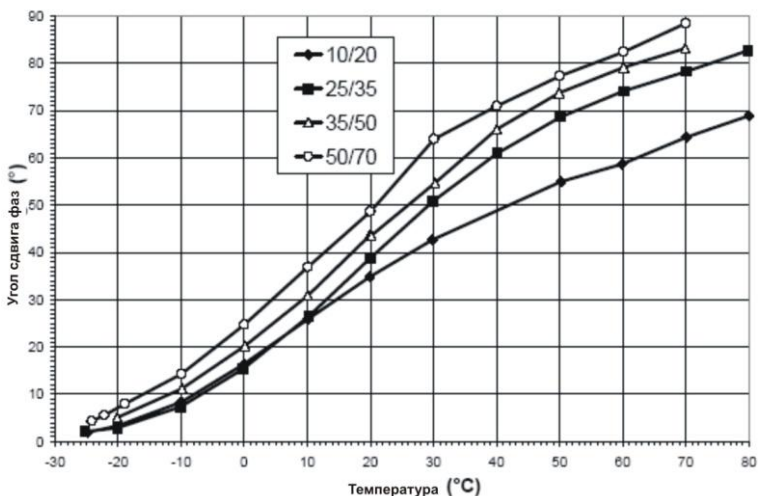


Рисунок 1.22 – Зависимость угла сдвига фаз от температуры

Как видно из зависимостей, твердые битумы вполне могут обеспечить необходимую сдвигоустойчивость на дорогах с большой интенсивностью тяжелых транспортных средств.

Для асфальтобетонных смесей, содержащих твердые битумы, коэффициент насыщенности битумом K должен составлять не менее 3,4:

$$K = \frac{TL}{6\sqrt[5]{\Sigma}}, \quad (1.2)$$

где TL – содержание вяжущего;

$\alpha - 2,65 / G_{se}$ (G_{se} – истинная плотность минеральных материалов);

$100\Sigma = 0,25G + 2,3S + 12s + 135f$,

где G – % > 0,63 мм;

S – % между 0,63 и 0,315 мм;

s – % между 0,315 и 0,08 мм;

f – % < 0,08 мм.

Минимальное содержание вяжущего для смеси с максимальным размером 14 мм (рисунок 1.23) составляет в среднем 5,7 %.

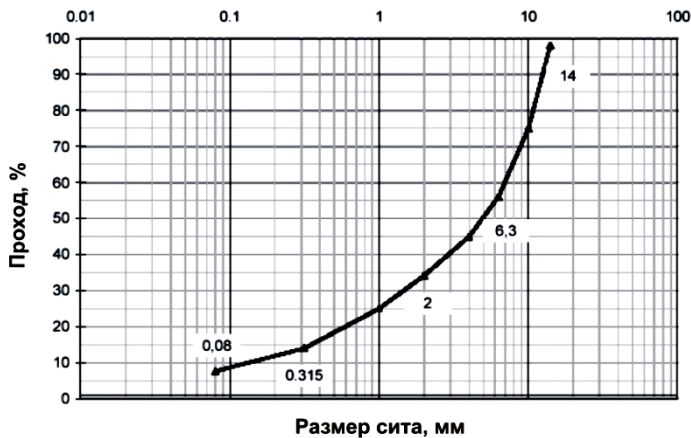


Рисунок 1.23 – Зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси (размер 14 мм) на твердом битуме

По своей жесткости при высоких температурах эти асфальтобетоны соизмеримы с асфальтобетонами на модифицированных вяжущих (рисунок 1.24).

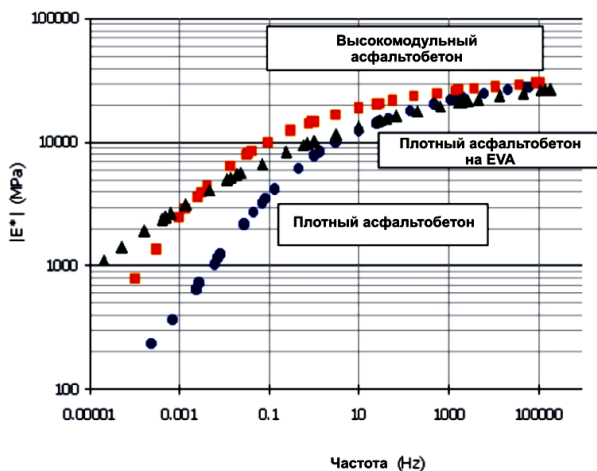


Рисунок 1.24 – Модуль жесткости асфальтобетонов

Такие асфальтобетоны имеют достаточно высокую сопротивляемость сдвиговым деформациям при испытаниях на круговом стенде (LCPC) (рисунок 1.25).

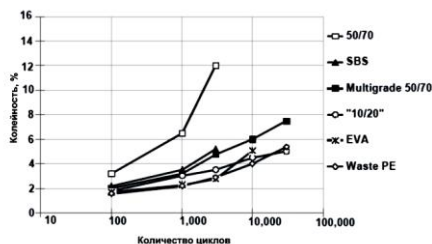


Рисунок 1.25 – Испытательный стенд и результаты испытаний на колееобразование

По усталостной долговечности асфальтобетон, содержащий твердые битумы, не уступает плотным асфальтобетонам. При этом требуемое минимальное значение деформации для плотных асфальтобетонных составляет $80 \cdot 10^{-6}$, а на высокомодульных асфальтобетонах оптимального состава – $130 \cdot 10^{-6}$.

При проектировании конструкции дорожной одежды общая толщина асфальтобетонных с использованием высокомодульного асфальтобетона снижается в сравнении с традиционной на 25 %, что является экономически весьма эффективным.

Некоторой проблемой является температурная трещиностойкость, однако, учитывая, что эти смеси применяются в качестве материала нижних слоев, они могут быть применены вплоть до $-13 \text{ }^\circ\text{C}$ (в слое). Поэтому весьма важно подбирать конструкцию, основываясь на данных температурных характеристик и распределения температуры по глубине дорожной одежды.

Для условий Республики Беларусь можно рекомендовать многощелебистые асфальтобетоны грансостава, представленного в таблице 1.2, которые готовят на битумах пенетрацией 30–70 градусов.

Для наиболее ответственных объектов целесообразно использовать модифицированные битумы.

Повышение качества и долговечности дорожных покрытий, снижение стоимости и материалоемкости дорожного строительства невозможно без применения новых конструкционных материалов. Одним из таких материалов является бетон на композиционных битумно-цементных (органогидравлических) вяжущих.

Бетон на органогидравлических вяжущих (ОГВ) – искусственный строительный материал, сочетающий в своей структуре свойства термодинамически несовместимых органических (битум, деготь) и гидравлических (цемент, гипс, зола и т. д.) вяжущих.

Появление бетонов на ОГВ в дорожном строительстве было связано с рядом причин:

1) недостаточной надежностью и долговечностью традиционного асфальтобетона при действии современных транспортных нагрузок;

2) внедрением новых энерго- и ресурсосберегающих технологий, требующих наличия в структуре материала воды (эмульсии, вспененные битумы, влажные органоминеральные смеси и т. д.);

3) появлением новых технологий ремонта и реконструкции дорожных покрытий (метод Ресайклинга, холодного ремиксирования и др.).

Основным структурообразующим элементом бетонов на ОГВ являются межфазные переходные слои кластерного типа. Поскольку гидравлические и органические вяжущие являются термодинамически несовместимыми и не могут образовать устойчивой однофазной системы, граница раздела фаз является размытой и контакты осуществляются через межфазные переходные слои. На формирование межфазных слоев оказывают влияние как физические (прораствание кристаллов, адсорбция, разрушение ассоциатов битума, перенос ионов, образование двойных электронных слоев), так и химические (образование связей типа Me^+OOCR^- , водородных $-H-O$ и др.) процессы.

Процесс структурообразования бетонов на ОГВ заключается в появлении различного рода связей прогидратировавших агрегатов гидравлического вяжущего между собой при наличии пленок органического вяжущего различной толщины. В ряде случаев возможно появление фазовых контактов между прогидратировавшими агрегатами цемента, вызванных взаимодействием продуктов гидратации. Эти контакты возникают в разрывах битумных пленок, а также через битумные пленки небольшой толщины. Причинами появления разрывов при наличии углеводородных пленок являются: внутрикристаллическое давление, перенос ионов вследствие диффузии, разрыв углеводородных пленок в результате контракции, частичная взаимная растворимость составляющих.

В Республике Беларусь издан стандарт СТБ 1415–2003 «Бетоны на органомеханических вяжущих». В соответствии с ним смеси для бетонов на ОГВ делятся на три группы:

1) смеси, состоящие из щебня (гравия), песка (природного и искусственного), гидравлического вяжущего, органического вяжущего и воды. Данные смеси могут также содержать определенное количество минерального порошка (до 50 % от массы цемента);

2) смеси, состоящие из щебня (гравия), песка (природного и искусственного), портландцемента (сланцевой золы, шлакопортландцемента) и битумной эмульсии;

3) смеси, состоящие из старого дробленного асфальтобетона (в дальнейшем – асфальтобетонный гранулят), битумной эмульсии, портландцемента. Смеси этой группы могут содержать также определенное количество щебня и песка из отсева дробления.

В зависимости от общего уровня надежности, назначаемого по срокам службы до капитального ремонта, бетоны на ОГВ делятся на три марки:

I – общий уровень надежности $\geq 0,9$ (срок службы 15–18 лет);

II – общий уровень 0,75–0,9 (срок службы 10–12 лет);

III – общий уровень 0,6–0,75 (срок службы 8–10 лет).

В условиях Республики Беларусь наиболее рационально использовать бетоны третьей группы. Поэтому остановимся на некоторых аспектах технологии получения бетонов на ОГВ путем обработки фрезерованного асфальтобетона битумной эмульсией и цементом.

Бетоны на ОГВ приготавливаются в стационарных или мобильных установках, специальных смесителях-укладчиках и укладываются в конструктивные слои дорожной одежды в холодном состоянии. Возможны две принципиальные технологические схемы:

1) смесь готовят в стационарных или передвижных смесителях с последующей доставкой на объект, укладкой и уплотнением (ремикс в установке);

2) смесь готовят на месте с помощью специальных фрез-смесителей с последующим ее распределением по покрытию и уплотнением (ремикс на месте).

В первом случае асфальтобетонный гранулят для производства холодных смесей приготавливают путем прямого фрезерования существующего покрытия «холодными» фрезами с последующей отгροхоткой фракции крупнее 40 мм или переработкой асфальтобе-

тонного лома на стационарных или мобильных базах, оснащенных дробильно-сортировочным оборудованием с дробилками ударного или центробежно-ударного действия.

В последнем случае максимальная крупность асфальтобетонного гранулята принимается равной 20 мм.

При прямом фрезеровании покрытий «холодными» фрезами рекомендуется использовать фрезы, ротор которых имеет направление вращения «сверху вниз» к фрезеруемому покрытию. При фрезеровании такими типами фрез асфальтобетонный гранулят имеет однородный гранулометрический состав, малое содержание пылеватых частиц, полное отсутствие гранул размером более 40 мм и может быть использован в производстве бетонов на ОГВ без последующей прогροхотки. Покрытия и основания из холодного регенерированного асфальтобетона следует укладывать при температуре воздуха не ниже +5 °С. Допустимо производить укладку при морозящем дожде. Осенью следует заканчивать укладку холодной регенерированной смеси не позднее 2–3 недель до наступления устойчивых отрицательных температур.

В Республике Беларусь устройство покрытий из данного материала было осуществлено в 2000 г. на дороге Новый Двор – Шершуны – Среднее. Состав применяемой смеси был следующим: катионная битумная эмульсия – 3 %, портландцемент марки 400 – 5 %, вода – 2 %, асфальтобетонный гранулят – 90 %. Данный состав был выбран с точки зрения обеспечения оптимальной трещиностойкости. Смеси готовили на стационарном бетоносмесителе ДС-50 по холодной технологии. Укладка производилась самоходным асфальтоукладчиком, уплотнение – пневмо- и гладковальцевыми катепами.

В 2000 г. силами ПРСО «Минскоблдорстрой» при научном сопровождении БГПА было устроено около 4,7 км дорожных покрытий из подобных смесей на ряде объектов Минской области. В результате было сэкономлено 72 тонны мазута, 266 тонн битума, 1826 м³ щебня, 9292 кВт·ч электроэнергии. Экономический эффект составил около 61 тыс. у. е.

В настоящее время ПРСО «Минскоблдорстрой» ежегодно перерабатывает около 15 000 тонн фрезерованного асфальтобетона. Для получения бетонов на ОГВ в г. Минске используются современные технологические комплексы типа КМА-2000.

При второй технологической схеме выполняют следующие операции:

1) распределение цемента по покрытию в количестве 3–8 % от массы покрытия с помощью специальных механизмов;

2) фрезирование покрытия с подачей битумной эмульсии или вспененного увлажнением битума (подача вяжущего на фрезу) в количестве 5–7 %, перемешивание и подачу смеси на покрытие;

3) распределение полученной смеси по ширине покрытия автогрейдером и уплотнение.

В современных технологических комплексах цемент подают непосредственно в смеситель в виде водной суспензии.

Выполнение всех операций производят с помощью специальных машин – комбайнов фирмы «Wirtgen». Характерно, что данные технологические комплексы позволяют вместо эмульсий использовать и их разновидность – вспененные битумы. В этом случае синхронно с фрезой движется автогудронатор, соединенный со вспенивающей камерой, где происходит контакт горячего битума и воды. Стоимость работ в данном случае существенно снижается. Подобные машины обладают высокой производительностью (до метров в минуту) и позволяют получить достаточно качественные смеси.

В настоящее время в БНТУ разработаны методика, алгоритм и программа получения бетонов на ОГВ требуемой марки с учетом особенностей состава гранулята, требующие минимальных трудовых и финансовых затрат.

При подборе составов у производителя должны быть отражены следующие показатели в соответствии с СТБ 1415–2003:

1) индекс сопротивления пластическим деформациям;

2) индекс температурной трещиностойкости;

3) показатель предельной структурной прочности;

4) коэффициент морозостойкости;

5) расчетные характеристики для проектирования дорожной одежды (модуль упругости, предел прочности на изгиб);

6) уровень надежности и марка бетона.

При этом состав должен удовлетворять следующим требованиям: соотношение «цемент–эмульсия» должно находиться в пределах 1,6–1,7, а общее количество вяжущего (цемент плюс эмульсия) должно составлять 7–10 %.

Возможны три основных решения при назначении конструкции покрытия с применением бетонов на ОГВ:

1. Дорожное покрытие из бетона на ОГВ толщиной 6–15 см (по расчету) с одиночной поверхностной обработкой. Данный вид конструкции применяют, если коэффициент морозостойкости бетона выше 0,8 и индекс температурной трещиностойкости выше 0,6.

2. Дорожное покрытие из бетона на ОГВ толщиной 6–15 см с двойной поверхностной обработкой. Данный вид конструкции применяют, если коэффициент морозостойкости бетона составляет 0,6–0,8 и индекс температурной трещиностойкости – 0,5–0,6, а также при сохранении устойчивости к пластическим деформациям.

3. Дорожное покрытие из асфальтогранулобетона на композиционном вяжущем толщиной 6–15 см с устройством слоя асфальтобетона толщиной 3–5 см. Данный вид конструкции применяют, если коэффициент морозостойкости бетона ниже 0,6 и индекс температурной трещиностойкости составляет 0,4–0,5.

Таким образом, применение бетонов на ОГВ позволяет наряду с экономической целесообразностью добиться требуемых свойств по жесткости для их применения в качестве несущего слоя.

Материалы для устройства нижних слоев

Материал нижнего слоя должен обеспечивать высокую усталостную долговечность и прочность на изгиб. Данные показатели возрастают с увеличением плотности материала и количества вяжущего. Вязкость же битума должна быть оптимальной.

Таким требованиям удовлетворяют литые, полулитые и щебнемастичные асфальтобетоны. Однако, учитывая высокую стоимость, использовать их в нижних слоях нецелесообразно. Предпочтение следует отдать плотным песчаным асфальтобетонным смесям.

Песчаные асфальтобетоны обладают высокой усталостной долговечностью. При этом оптимальной является вязкость в пределах 50–70 °П, а содержание битума должно находиться в пределах 7–9 %.

В качестве нижнего и несущего слоя можно использовать цементобетон и его разновидности (например, тощий бетон). Подобные материалы обладают высокой распределяющей способностью и хорошо сопротивляются усталостным разрушениям, однако при применении цементобетона необходимо принять меры по предот-

вращению отраженных трещин. Обычно эту функцию выполняет трещинопрерывающая прослойка. В результате конструкция покрытия имеет вид, представленный на рисунке 1.26.

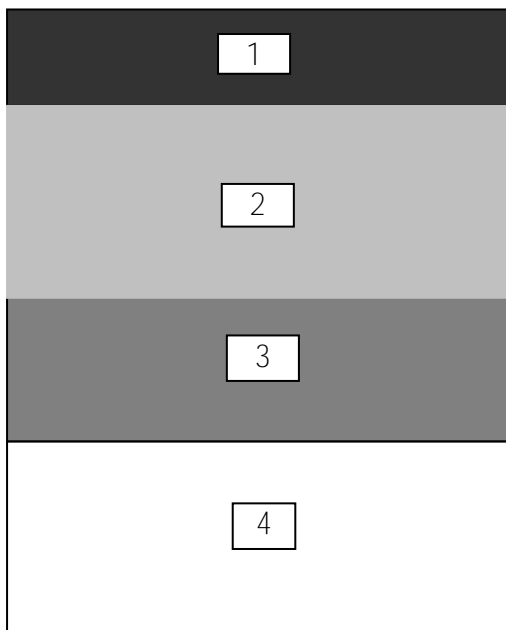


Рисунок 1.26 – Конструкция дорожного покрытия с нижним слоем из цементобетона:

1 – покрытие; 2 – несущий слой покрытия; 3 – трещинопрерывающая прослойка; 4 – цементобетон и его разновидности

При применении таких конструкций нарезка деформационных швов в цементобетоне не производится. Для широкого применения данных конструкций требуется совершенствование методик расчета на прочность и деформационную устойчивость.

2 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ ГРАДИЕНТОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ПО ТОЛЩИНЕ ДЛЯ ЗАГОРОДНЫХ ДОРОГ И ГОРОДСКИХ УЛИЦ

2.1 Расчетные нагрузки и методика приведения автомобилей к расчетному

Расчетную нагрузку принимают 13 т/ось.

Величина эквивалентного диаметра отпечатка колеса расчетной оси транспортного средства при приведении к ней фактических транспортных средств принимается равной 28 см. При этом приведение транспортного потока к расчетным осям производится по сдвигуустойчивости для одного колеса расчетной оси.

Величина эквивалентного диаметра отпечатка колеса реального транспортного средства может быть определена по приведенной ниже методике.

Коэффициент динамичности составляет 1,3 при рессорной подвеске и 1,15 при пневмоподвеске. Для стандартных шин нормальный прогиб шины вычисляют по формуле

$$f_z = a \left(\frac{Q_n K_g}{P_w} \right)^b, \text{ мм}, \quad (2.1)$$

где a и b – экспериментальные константы (таблица 2.1);

Q_n – нормативная статическая нагрузка на колесо, кН;

K_g – коэффициент динамичности.

P_w – номинальное давление воздуха в шине, МПа;

Таблица 2.1 – Экспериментальные константы

Тип шины	a	b	Тип шины	a	b
9.00R20	3,41	0,67	12.00R20	1,62	0,82
10.00R20	4,28	0,63	385/65R22,5	1,00	0,91
11.00R20	1,65	0,82	385/80R22,5	1,28	0,88

Параметры контактного взаимодействия шин с покрытием определяют по формулам:

– длина контактного отпечатка

$$L_k = 1,38\sqrt{(D_{\text{ш}} - f_z) f_z}, \text{ мм}, \quad (2.2)$$

где $D_{\text{ш}}$ – наружный статический диаметр шины, мм;

– площадь контактного отпечатка шины

$$F_k = k \cdot 0,875 B_6 L_k, \text{ мм}, \quad (2.3)$$

где B_6 – ширина беговой дорожки шины, мм;

k – коэффициент, равный 1 и 2 при односкатном и двухскатном колесе соответственно;

– эквивалентный диаметр отпечатка движущегося колеса

$$D_3 = 1,13\sqrt{F_k}. \quad (2.4)$$

Для других типоразмеров шин принимаются значения для шин с близкими характеристиками. Для уникальных шин (например, шин автомобилей БелАЗ) при определении параметров взаимодействия шин с покрытием необходимо располагать результатами номинальных статических испытаний шин с тем, чтобы установить f_z , F_k и D_3 .

Приведение по критерию сдвигоустойчивости производится для каждой отдельной оси транспортного средства независимо от ее расположения (в тележке или отдельно). При этом фактическую номинальную нагрузку на одну ось тележки, определяемую по паспортным данным, следует умножить на коэффициент, вычисляемый по формуле

$$K_c = a - b\sqrt{B_m - c}, \quad (2.5)$$

где B_m – расстояние между крайними осями тележки, м;

a , b , c – параметры, принимаемые по таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Значение коэффициентов a, b, c

Вид тележки	Параметры		
	a	b	c
Двухосная	1,7	0,43	0,5
Трехосная	2,0	0,46	1,0

Коэффициент приведения определяется по следующей формуле:

$$K_{пр} = \left(\frac{\Phi_{\max}^{\Phi}}{\Phi_{\max}^P} \right)^{4,4}, \quad (2.6)$$

где Φ_{\max}^{Φ} – величина максимальных касательных напряжений, возникающих в дорожной одежде от воздействия односкатного колеса оси фактического транспортного средства, определяемая по зависимости на рисунке 2.1;

Φ_{\max}^P – величина максимальных касательных напряжений, возникающих в дорожной одежде от воздействия односкатного колеса расчетной оси, определяемая по зависимости на рисунке 2.1.

Представленная методика позволяет принять в качестве расчетного любой реальный автомобиль и осуществить приведение к нему транспортного потока через коэффициент приведения, получаемый по формуле (2.6).

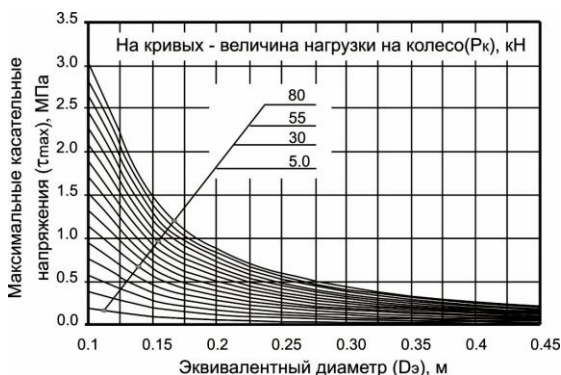
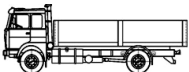
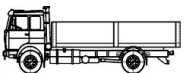
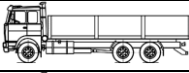
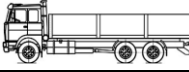














Рисунок 2.1 – Зависимость для определения максимальных касательных напряжений

В таблице 2.3 представлены основные компоновочные схемы транспортных средств, приведение которых осуществляется к расчетной оси 130 кН по критерию сдвигустойчивости.



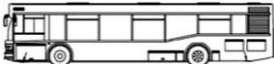


Таблица 2.3 – Значение коэффициента приведения к расчетной нагрузке

Вид транспортного средства	Коэффициенты приведения к расчетной нагрузке $K_{пр}$
1. Легковой автомобиль	0,012
2. Микроавтобус	0,02
3. Грузовые автомобили:	
3.1. Легкие (грузоподъемность 2–5 т)	0,26
3.2. Средние (грузоподъемность 5–8 т)	0,47
3.3. Тяжелые:	
3.3.1.  (задняя ось 11,5 т)	1,27
3.3.2.  (задняя ось 13 т)	1,64
3.3.3.  (тележка 20 т)	2,12
3.3.4.  (тележка 26 т)	3,68
4. Автопоезда с полуприцепом:	
4.1.  (задняя ось тягача 11,5 т)	2,31
4.2.  (задняя ось тягача 13 т)	3,42

Продолжение таблицы 2.3

Вид транспортного средства	Коэффициенты приведения к расчетной нагрузке ($K_{пр}$)
4.3.  (задняя ось тягача 11,5 т)	2,83
4.4.  (задняя ось тягача 13 т)	4,56
4.5.  (задняя ось тягача 11,5 т)	5,52
4.6.  (тележка тягача 18 т)	2,29
4.7.  (тележка тягача 20 т)	3,71
4.8.  (тележка тягача 20 т)	5,15
5. Автопоезда с прицепом:	
5.1.  (задняя ось автомобиля 11,5 т)	3,10
5.2.  (задняя ось автомобиля 13 т)	2,67
5.3.  (задняя ось автомобиля 11,5 т)	3,21
5.4.  (задняя ось автомобиля 13 т)	5,63

Окончание таблицы 2.3

Вид транспортного средства	Коэффициенты приведения к расчетной нагрузке ($K_{пр}$)
5.5.  (тележка автомобиля 20 т)	3,10
5.6.  (тележка автомобиля 26 т)	5,13
6. Автобусы:	
6.1.  (задняя ось 11,5 т)	1,50
6.2.  (средняя ось 11,5 т)	2,07
6.3.  (средняя ось 11,5 т)	2,13

Суточное количество приложений расчетных осей в первый год срока службы определяется по следующей формуле:

$$N_p = f_{пол} \cdot \sum_{m=1}^n N_m \cdot K_{пр}, \quad (2.7)$$

где $f_{пол}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним (таблица 2.4);

n – общее число различных марок транспортных средств m в составе транспортного потока;

N_m – интенсивность движения транспортных средств марки m , авт./сут.;

$K_{пр}$ – коэффициенты приведения, определяемые по таблице 2.3 или непосредственно расчетом при известных характеристиках реальных транспортных средств по формулам 2.1–2.6.

Таблица 2.4 – Значение коэффициента плоскости $f_{\text{пол}}$

Число полос движения	Номер полосы		
	1	2	3
1	1,00	–	–
2	0,55	–	–
3	0,50	0,50	–
4	0,35	0,20	–
6	0,30	0,20	0,05

Примечание:

1. Порядковый номер полосы считается справа по ходу движения в одном направлении.

2. Для расчета обочин принимается $f_{\text{пол}} = 0,01$.

3. На многополосных дорогах допускается проектировать дорожную одежду переменной толщины по ширине проезжей части, рассчитав дорожную одежду в пределах различных полос в соответствии со значениями N_p .

4. На перекрестках и подходах к ним (в местах перестройки потока автомобилей для выполнения левых поворотов и др.) при расчете дорожной одежды в пределах всех полос движения принимается $f_{\text{пол}} = 0,50$, если общее число полос проезжей части проектируемой дороги более трех.

2.2 Конструирование дорожной одежды

Конструкция дорожного покрытия включает три слоя (рисунок 2.2):

- 1) верхний слой покрытия;
- 2) нижний несущий слой покрытия;
- 3) нижний слой покрытия.

Для получения вышеуказанных конструкций рекомендуется использовать следующие составы в соответствии с СТБ 1033–2004:

- 1) верхний слой покрытия:
 - ЦМС_ц 10(15) на битуме 90/130;
 - ЦМС_ц 10(15) на модифицированном битуме либо с вводом модифицирующих добавок непосредственно в асфальтобетонную смесь;
- 2) нижний несущий слой покрытия:
 - ЦМС_ц 20 на битуме 60/90;

- ЩМС_ц 20 на модифицированном битуме либо с вводом модифицирующих добавок непосредственно в асфальтобетонную смесь;
- ЩМС_ц 20 на битуме 90/130;
- 3) нижний слой покрытия:
 - песчаный асфальтобетон на битуме 90/130 с вводом модифицирующих добавок непосредственно в асфальтобетонную смесь;
 - песчаный асфальтобетон на битуме 90/130.



Рисунок 2.2 – Схема конструкции дорожного покрытия:

E_t – модуль упругости асфальтобетона верхнего слоя покрытия; E_m – модуль упругости асфальтобетона нижнего несущего слоя покрытия; E_b – модуль упругости асфальтобетона нижнего слоя покрытия; H_t – толщина верхнего слоя покрытия; H_m – толщина нижнего несущего слоя покрытия; H_b – толщина нижнего слоя покрытия

В таблице 2.5 представлены возможные конструкции дорожных одежд, вид материалов для их устройства и рекомендуемые отношения модулей упругости асфальтобетонных слоев при температуре 50 °С.

Проектировщик на основании данных этой таблицы выбирает исходную конструкцию дорожной одежды. При этом, основываясь на задании заказчика, в котором должен быть указан расчетный срок службы (T_c) (от 15 до 30 лет), он осуществляет выбор, исходя из следующего:

1) конструкции 1 и 1.1 проектируется на расчетный срок службы 15 лет;

2) конструкции 2, 2.1, 3, 3.1 проектируются на расчетный срок службы от 15 до 20 лет;

3) конструкции 4 и 4.1 проектируются на расчетный срок службы от 20 до 30 лет.

Таблица 2.5 – Конструкции дорожных одежд и их характеристика

Отношение модулей	Толщина слоев, см	Материал слоя
Основание – песок природный или грунт, укрепленные неорганическими вяжущими, по СТБ 1521–2005 с маркой по прочности не выше М40 (эквивалентный модуль на поверхности основания не менее 100 МПа)		
Конструкция 1		
$E_n/E_m = 0,5$ $E_n/E_b = 2,0$	5–6	1.1
	10–12	2.2
	10–12	3.2
Конструкция 2		
$E_n/E_m = 1,0$ $E_n/E_b = 0,5$	5–6	1.2
	10–12	2.3
	10–12	3.1
Конструкция 3		
$E_n/E_m = 1,0$ $E_n/E_b = 1,5$	5–6	1.2
	10–12	2.1
	10–12	3.2
Конструкция 4		
$E_n/E_m = 0,5$ $E_n/E_b = 1,0$	5–6	1.2
	10–12	2.2
	10–12	3.1
Основание – ПГС С-5–С-8 по ГОСТ 25607 или щебень из плотных горных пород по ГОСТ 8267–93 (эквивалентный модуль на поверхности основания не менее 150 МПа)		
Конструкция 1.1		
$E_n/E_m = 0,5$ $E_n/E_b = 2,0$	4–5	1.1
	8–10	2.2
	8–10	3.2

Окончание таблицы 2.5

Отношение модулей	Толщина слоев, см	Материал слоя
Конструкция 2.1		
$E_f/E_m = 1,0$ $E_m/E_b = 0,5$	4–5	1.2
	8–10	2.3
	8–10	3.1
Конструкция 3.1		
$E_f/E_m = 1,0$ $E_m/E_b = 1,5$	4–5	1.2
	8–10	2.1
	8–10	3.2
Конструкция 4.1		
$E_f/E_m = 0,5$ $E_m/E_b = 1,0$	4–5	1.2
	8–10	2.2
	8–10	3.1

Требуемая толщина слоев покрытия должна определяться расчетом по всем основным критериям деформационной устойчивости в соответствии с разделом 2.3.

2.3 Расчет дорожной одежды на прочность

По требуемому сроку службы T_c и суточному количеству приложенных расчетных осей N_p в первый год эксплуатации (рисунок 2.3) определяется величина требуемого уровня надежности (P).

В случае проектирования конструкции на срок службы свыше 20 лет расчет верхнего слоя покрытия и всей конструкции на упругий прогиб производится на срок службы 20 лет, а остальных слоев на расчетный срок, установленный заказчиком.

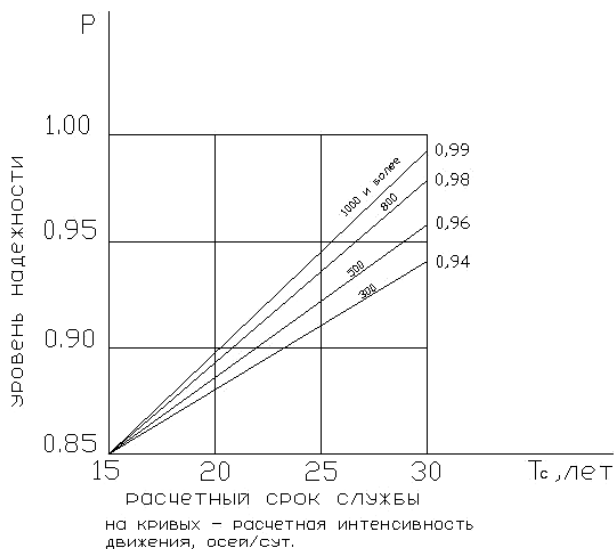


Рисунок 2.3 – Зависимость для определения требуемого уровня надежности P

Толщина слоев основания, дренирующего и морозозащитного слоев устанавливается расчетом в соответствии с Пособием 3.03.01 к СНиП 2.05.02. При этом общий эквивалентный модуль на поверхности основания должен быть не ниже значений, указанных в таблице 2.5.

В общем случае расчет дорожной конструкции на прочность производится в следующей последовательности:

1. Расчет дорожной одежды на сдвигоустойчивость:
 - по максимальным нормальным напряжениям;
 - по нормальным и касательным напряжениям.
2. Расчет дорожной одежды на усталостную трещиностойкость.
3. Расчет дорожной одежды на упругий прогиб.
4. Расчет дорожной одежды на температурную трещиностойкость.

Критерием прочности выступают фактические коэффициенты запаса прочности (K_3^{Φ}), устанавливаемые по приведенной ниже методике, которые сравниваются с требуемым коэффициентом запаса прочности (K_3^{TP}), определяемым по зависимости, представленной на рисунке 2.4.

Методика определения коэффициентов запаса прочности следующая:

1. Коэффициент запаса прочности из условия сдвигоустойчивости по нормальным напряжениям при температуре 50 °С

$$K_3 = \frac{\sqrt{3} C_{50} \operatorname{tg}^2 \varphi}{\sqrt{2 - 2\sqrt{2} \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg}^2 \varphi} |y_c|}, \quad (2.8)$$

где C_{50} – определяемое по СТБ 1115 внутреннее сцепление при температуре 50 °С, МПа;

$\operatorname{tg} \varphi$ – определяемый по СТБ 1115 тангенс угла внутреннего трения при температуре 50 °С;

y_c – сжимающие напряжения, МПа.

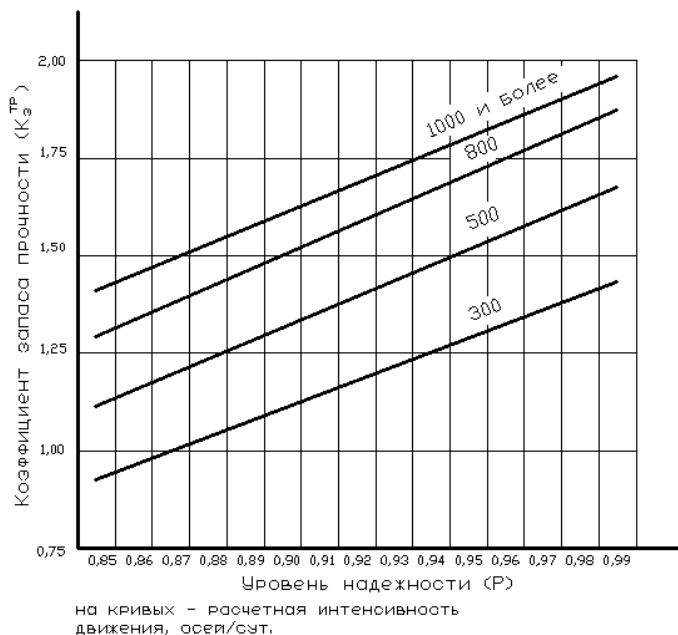


Рисунок 2.4 – Зависимость для определения коэффициента запаса прочности K_3^{TP}

2. Коэффициент запаса прочности из условия сдвигоустойчивости по касательным напряжениям при температуре 50 °С

$$K_3 = \frac{C_{50}}{\phi - |y| \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (2.9)$$

где ϕ – максимальные касательные напряжения, МПа;

y – нормальные напряжения, МПа.

3. Коэффициент запаса прочности из условия усталостной трещиностойкости по растягивающим напряжениям при температуре 0 °С

$$K_3 = \frac{\sqrt{3} C_0 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi}{\sqrt{2 + 2 \sqrt{2 \operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg}^2 \varphi}} \cdot y_p}, \quad (2.10)$$

где C_0 – определяемое по СТБ 1115 внутренне сцепление при температуре 0 °С, МПа;

y_p – растягивающие напряжения, МПа.

4. Коэффициент запаса прочности по упругому прогибу при температуре 10 °С

$$K_3 = \frac{(1 - m^2) P}{0,4 p D (5,2 P + 5,5 (\lg \sum N_p)^2 - 95)}, \quad (2.11)$$

где m – коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,35;

P – нагрузка на двухкатное колесо расчетной оси, принимаемое для расчетов 65 кН;

D – диаметр круга, равновеликого отпечатку двухкатного колеса, определяемый по формуле 2.4 или принимаемый (при невозможности определения) для расчетной нагрузки 0,4 м;

l_ϕ – фактическая расчетная величина упругого прогиба, мм;

$\sum N_p$ – суммарная интенсивность приложения расчетной нагрузки за весь срок службы;

$$\sum N_p = T_{\text{дн}} (N_p \cdot 0,45) \frac{q^{T_c} - 1}{q - 1}, \quad (2.12)$$

где $T_{\text{дн}}$ – количество дней в расчетный период года, принимаемое 130;

N_p – суточное количество приложений расчетных осей, определяемое по формуле 2.7;

q – показатель изменения интенсивности в абсолютных единицах;

T_c – требуемый срок службы, лет.

5. Критерием, определяющим долговечность дорожного покрытия из условия восприятия температурных напряжений (расчетная температура -20 °C), является:

$$R_c \geq R_c^{\text{тп}}, \quad (2.13)$$

где R_c – определяемая по СТБ 1115 предельная структурная прочность материала конструктивного слоя покрытия, МПа;

$R_c^{\text{тп}}$ – требуемое значение предельной структурной прочности, МПа:

$$R_c^{\text{тп}} = (27 T_c)^{0,16} \cdot y_t, \quad (2.14)$$

где y_t – температурные напряжения, возникающие в рассматриваемом слое, МПа.

Расчет производится только для верхнего и нижнего несущего слоев покрытия.

7. Характеристики напряженно-деформированного состояния слоев покрытия (y_c , ϕ , σ , y_p , l_ϕ , y_t) определяются с использованием специально разработанной компьютерной программы «Nomoread». Интерфейс программы представлен на рисунке 2.5.

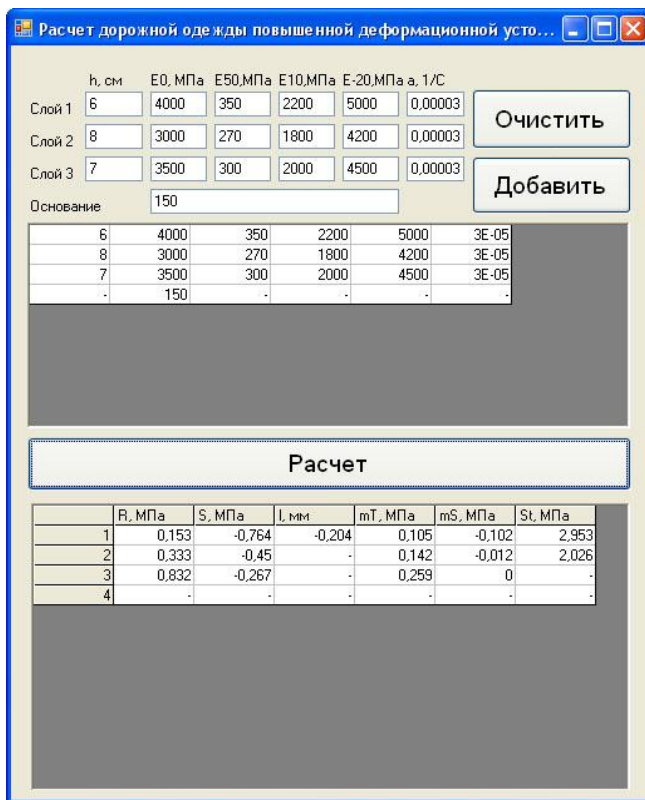


Рисунок 2.5 – Общий вид программы для расчета напряжений и перемещений в слоях дорожных одежд

Для расчетов используются следующие характеристики асфальтобетонных конструктивных слоев:

- по сдвигоустойчивости: модуль упругости при температуре 50 °С;
- по усталостной трещиностойкости: модуль упругости при температуре 0 °С;
- по упругому прогибу: модуль упругости при температуре 10 °С;
- по температурной трещиностойкости: модуль упругости при температуре 20 °С; коэффициент температурного расширения.

В верхней части рабочего окна программы вводятся расчетные характеристики асфальтобетонных слоев покрытия (модули упругости при расчетных температурах 0, 50, 10 и –20 °С, а также коэффи-

циент температурного расширения), толщина слоев и эквивалентный модуль упругости основания.

После ввода расчетных характеристик нажатием кнопки «Добавить» они передаются в расчетный блок программы. После нажатия кнопки «Расчет» производится расчет характеристик напряженно-деформированного состояния слоев дорожного покрытия. При этом в нижней части рабочего окна программы выводятся значения, соответствующие:

- R – растягивающим напряжениям σ_p , МПа;
- S – сжимающим напряжениям σ_c , МПа;
- l – фактической расчетной величине упругого прогиба l_f , мм;
- mT – максимальным касательным напряжениям τ , МПа;
- mS – нормальным напряжениям σ , МПа;
- St – температурным напряжениям σ_t , МПа.

Расчетные характеристики асфальтобетонов конструктивных слоев покрытия представлены в таблице 2.6. Для проведения расчетов на прочность используется среднеарифметическое значение между пороговыми значениями расчетных характеристик из этой таблицы. При невыполнении условия прочности может использоваться любое значение из требуемого интервала. В этом случае данное значение указывается как контролируемое при подборе состава (например, «не более» или «не менее»). Заложенные в проект расчетные характеристики контролируются на стадии подбора состава смеси по внутреннему сцеплению при температуре 50 °С. Так, если в проекте заложено максимальное значение модуля упругости для асфальтобетона № 1.2 при температуре 0 °С 2475 МПа, то контролируемой характеристикой будет внутреннее сцепление при температуре 50 °С, равное не менее 0,55 МПа.

При невыполнении критериев прочности рекомендуется:

1. По первому и второму критериям для верхнего слоя покрытия – увеличить толщину и/или жесткость нижележащих слоев либо увеличить внутреннее сцепление самого слоя в соответствии с допускаемым интервалом по таблице 2.6.

2. По первому и второму критериям для нижнего несущего и нижнего слоев покрытия – увеличить толщину вышележащих слоев либо увеличить внутреннее сцепление и/или жесткость самого слоя в соответствии с допускаемым интервалом по таблице 2.6.

3. По третьему критерию – увеличить толщину слоев, подстилающих данный слой, либо толщину рассматриваемого слоя.

4. По четвертому критерию – увеличить общую толщину слоев трехслойного покрытия, начиная со слоя с минимальной стоимостью асфальтобетона.

5. По пятому критерию – уменьшить модуль асфальтобетона рассматриваемого слоя и/или увеличить жесткость нижележащего слоя в интервалах, приведенных в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Расчетные характеристики асфальтобетонов конструктивных слоев покрытия

Наименование показателя	Номер материала по пункту 2.2						
	1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2
Внутреннее сцепление при температуре 50 °С, МПа	0,34–0,42	0,45–0,55	0,36–0,44	0,50–0,61	0,32–0,39	0,77–0,94	0,41–0,50
Внутреннее сцепление при температуре 0 °С, МПа	1,71–2,10	2,25–2,75	1,80–2,20	2,48–3,03	1,58–1,93	4,68–3,83	2,02–2,48
Тангенс угла внутреннего трения	0,85	0,85	0,90	0,90	0,90	0,70	0,70
Модуль упругости при температуре 50 °С, МПа	540–660	720–880	765–935	1080–1320	675–825	1125–1375	585–715
Модуль упругости при температуре 10 °С, МПа	1215–1485	1575–1925	1710–2090	2385–2915	1485–1815	3375–4125	1755–2145
Модуль упругости при температуре 0 °С, МПа	1530–1870	2025–2475	2160–2640	3015–3685	1890–2310	5265–6435	2745–3355
Модуль упругости при температуре –20 °С, МПа	2700–3300	3600–4400	3825–4675	5400–6600	3375–4125	5625–6875	2925–3575
Коэффициент температурного расширения, $1/^\circ\text{C} \cdot 10^{-5}$	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,70	3,70
Предельная структурная прочность, МПа	5,85–7,15	6,75–8,25	6,30–7,70	7,20–8,80	5,85–7,15	6,30–7,70	4,95–6,05

3 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ ГРАДИЕНТОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ПО ТОЛЩИНЕ В КУРСОВОМ ПРОЕКТЕ

Исходные данные:

1. Расчетный срок службы – 20 лет.

2. Интенсивность движения (для номера марки автомобиля по таблице 2.3):

№ марки	1	2	3.1	3.2	3.3.1	3.3.2	3.3.3	3.3.4	4.1	4.2	4.3	4.4
Интенсивность	7355	145	25	18	15	22	14	12	22	7	23	11
№ марки	4.5	4.6	4.7	4.8	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	6.1	6.2
Интенсивность	28	28	10	9	14	10	13	10	16	5	16	12

3. Число полос движения – 4.

4. Прирост интенсивности – 3 %.

5. Эквивалентный модуль основания, полученный расчетом в соответствии с действующими нормативными документами, – 150 МПа.

Расчет дорожного покрытия

На основании данных таблицы 2.3 и исходных данных по формуле 2.7 рассчитывается приведенная интенсивность движения

$$N_p = 0,35 (7355 \cdot 0,012 + 145 \cdot 0,02 + 25 \cdot 0,26 + 18 \cdot 0,47 + 15 \cdot 1,27 + 22 \cdot 1,64 + 14 \cdot 2,12 + 12 \cdot 3,68 + 22 \cdot 2,31 + 7 \cdot 3,42 + 23 \cdot 2,83 + 11 \cdot 4,56 + 28 \cdot 5,52 + 28 \cdot 2,29 + 10 \cdot 3,71 + 9 \cdot 5,15 + 14 \cdot 3,10 + 10 \cdot 2,67 + 13 \cdot 3,21 + 10 \cdot 5,63 + 16 \cdot 3,10 + 5 \cdot 5,13 + 16 \cdot 1,50 + 12 \cdot 2,07) = 357 \text{ осей/сут.}$$

Следовательно, для проектирования конструкции может быть применена методика расчета дорожных одежд с градиентом физической и температурной жесткости.

Для расчетного срока службы 20 лет и эквивалентного модуля основания 150 МПа в соответствии с таблицей 2.5 назначается конструкция № 3.1 с минимальной толщиной слоев: верхний слой покрытия – 4 см; нижний несущий слой покрытия – 8 см; нижний слой покрытия – 8 см.

Используя данные зависимости на рисунке 2.3 для срока службы 20 лет и расчетной интенсивности 357 осей/сут определяется уровень надежности, который в конкретном случае составляет 0,88. Коэффициент запаса прочности по рисунку 2.4 составит 1,1.

Расчет дорожной одежды на сдвигоустойчивость при 50 °С

Исходные расчетные характеристики (таблица 2.6):

– верхний слой покрытия: ЩМСц-10 на модифицированном битуме либо с вводом модифицирующих добавок непосредственно в асфальтобетонную смесь – 4 см; расчетный модуль упругости – 800 МПа; внутреннее сцепление – 0,50 МПа; тангенс угла внутреннего трения – 0,85;

– нижний несущий слой покрытия: ЩМСц-20 на битуме БНД 60/90 – 8 см; расчетный модуль упругости – 850 МПа; внутреннее сцепление – 0,40 МПа; тангенс угла внутреннего трения – 0,90;

– нижний слой покрытия: песчаный асфальтобетон на битуме БНД 90/130 – 8 см; расчетный модуль упругости – 650 МПа; внутреннее сцепление – 0,45 МПа; тангенс угла внутреннего трения – 0,70.

1. Коэффициент запаса прочности из условия сдвигоустойчивости по нормальным напряжениям при температуре 50 °С.

Максимальные нормальные напряжения, определенные с использованием программы «Nomoread», составляют:

- верхний слой покрытия – 0,954 МПа;
- нижний несущий слой покрытия – 0,487 МПа;
- нижний слой покрытия – 0,248 МПа.

Тогда коэффициент запаса прочности составляет (формула 2.8):

$$\text{– верхний слой покрытия: } K_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,50 \cdot 0,85^2}{\sqrt{2 - 2\sqrt{2} \cdot 0,85 + 0,85^2}} = 1,16$$

– нижний несущий слой покрытия:

$$K_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,40 \cdot 0,90^2}{\sqrt{2 - 2\sqrt{2} \cdot 0,90 + 0,90^2}} = 2,24$$

$$\text{– нижний слой покрытия: } K_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,45 \cdot 0,70^2}{\sqrt{2 - 2\sqrt{2} \cdot 0,70 + 0,70^2}} = 2,16$$

Требуемое значение коэффициента запаса прочности составляет для исходных данных 1,1. Таким образом, конструкция соответствует требованиям по указанному критерию прочности.

2. Коэффициент запаса прочности из условия сдвигоустойчивости по касательным напряжениям при температуре 50 °С.

Касательные и нормальные напряжения, определенные с использованием программы «Nomoread», составляют:

– верхний слой покрытия: касательные напряжения – 0,165 МПа; нормальные напряжения – 0,163 МПа;

– нижний несущий слой покрытия: касательные напряжения – 0,136 МПа; нормальные напряжения – 0,02 МПа;

– нижний слой покрытия: касательные напряжения – 0,286 МПа; нормальные напряжения – 0,001 МПа.

Тогда коэффициент запаса прочности составляет (формула 2.9):

$$\text{– верхний слой покрытия: } K_3 = \frac{0,50}{0,165 - 0,163 \cdot 0,85} = 18,90$$

$$\text{– нижний несущий слой покрытия: } K_3 = \frac{0,40}{0,136 - 0,02 \cdot 0,90} = 3,39$$

$$\text{– нижний слой покрытия: } K_3 = \frac{0,45}{0,286 - 0,001 \cdot 0,70} = 1,58$$

Таким образом, конструкция соответствует требованиям по указанному критерию прочности.

Расчет дорожной одежды на усталостную трещиностойкость при температуре 0 °С

Исходные расчетные характеристики (таблица 2.6):

– верхний слой покрытия: ЦМСц-10 на модифицированном битуме либо с вводом модифицирующих добавок непосредственно в

асфальтобетонную смесь – 4 см; расчетный модуль упругости – 2250 МПа; внутреннее сцепление – 2,50 МПа; тангенс угла внутреннего трения – 0,85;

– нижний несущий слой покрытия: ЩМСц-20 на битуме БНД 60/90 – 8 см; расчетный модуль упругости – 2400 МПа; внутреннее сцепление – 2,00 МПа; тангенс угла внутреннего трения – 0,90;

– нижний слой покрытия: песчаный асфальтобетон на битуме БНД 90/130 – 8 см; расчетный модуль упругости – 3250 МПа; внутреннее сцепление – 2,25 МПа; тангенс угла внутреннего трения – 0,70.

1. Коэффициент запаса прочности из условия усталостной трещиностойкости по растягивающим напряжениям при температуре 0 °С.

Растягивающие напряжения, определенные с использованием программы «Nomoread», составляют:

- верхний слой покрытия – 0,165 МПа;
- нижний несущий слой покрытия – 0,274 МПа;
- нижний слой покрытия – 0,852 МПа.

Тогда коэффициент запаса прочности составляет (формула 2.10):

$$\text{– верхний слой покрытия: } K_3 = \frac{\frac{\sqrt{3} \cdot 2,50 \cdot 0,85^2}{\sqrt{2 + 2\sqrt{2} \cdot 0,85 - 0,85^2}}}{0,165} = 9,90$$

– нижний несущий слой покрытия:

$$K_3 = \frac{\frac{\sqrt{3} \cdot 2,00 \cdot 0,90^2}{\sqrt{2 + 2\sqrt{2} \cdot 0,90 - 0,90^2}}}{0,274} = 5,30$$

$$\text{– нижний слой покрытия: } K_3 = \frac{\frac{\sqrt{3} \cdot 2,25 \cdot 0,70^2}{\sqrt{2 + 2\sqrt{2} \cdot 0,70 - 0,70^2}}}{0,852} = 1,20$$

Таким образом, конструкция соответствует требованиям по указанному критерию прочности.

Расчет дорожной одежды на упругий прогиб при температуре 10 °С

Исходные расчетные характеристики (таблица 2.6):

– верхний слой покрытия: ЩМСц-10 на модифицированном битуме либо с вводом модифицирующих добавок непосредственно в асфальтобетонную смесь – 4 см; расчетный модуль упругости – 1750 МПа;

– нижний несущий слой покрытия: ЩМСц-20 на битуме БНД 60/90 – 8 см; расчетный модуль упругости – 1900 МПа;

– нижний слой покрытия: песчаный асфальтобетон на битуме БНД 90/130 – 8 см; расчетный модуль упругости – 1950 МПа;

1. Коэффициент запаса прочности по упругому прогибу при температуре 10 °С.

Расчетное значение упругого прогиба конструкции, определенное с использованием программы «Nomoread», составляет 0,224 мм.

Тогда коэффициент запаса прочности составляет (формулы 2.11, 2.12):

$$\sum N_p = 130 \cdot (357 \cdot 0,45) \frac{1,03^{20} - 1}{1,03 - 1} = 561174$$
$$K_3 = \frac{\frac{(1 - 0,35^2) 65}{0,4p \cdot 0,4(5,2 \cdot 65 + 5,5(\lg 561174)^2 - 95)}}{0,224}}{0,224} = 1,19$$

Таким образом, конструкция соответствует требованиям по указанному критерию прочности.

Расчет дорожной одежды на температурную трещиностойкость при температуре –20 °С

Исходные расчетные характеристики (таблица 2.6):

– верхний слой покрытия: ЩМСц-10 на модифицированном битуме либо с вводом модифицирующих добавок непосредственно в асфальтобетонную смесь – 4 см; расчетный модуль упругости – 4000 МПа; коэффициент температурного расширения – $3,10 \cdot 10^{-5}$ 1/°С; предельная структурная прочность – 7,50 МПа;

– нижний несущий слой покрытия: ШМСц-20 на битуме БНД 60/90 – 8 см; расчетный модуль упругости – 4250 МПа; коэффициент температурного расширения – $3,10 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$; предельная структурная прочность – 7,00 МПа;

– нижний слой покрытия: песчаный асфальтобетон на битуме БНД 90/130 – 8 см; расчетный модуль упругости – 3250 МПа; коэффициент температурного расширения – $3,70 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$; предельная структурная прочность – 5,50 МПа.

1. Проверка критерия прочности по температурной трещиностойкости.

Температурные напряжения, определенные с использованием программы «Nomoread», составляют:

– верхний слой покрытия – 2,4 МПа;

– нижний несущий слой покрытия – 2,2 МПа.

Тогда требуемое значение предельной структурной прочности составляет (формула 2.14):

– верхний слой: $R_c^{TP} = (27 \cdot 20)^{0,16} \cdot 2,4 = 6,57 \text{ МПа}$;

– нижний несущий слой: $R_c^{TP} = (27 \cdot 20)^{0,16} \cdot 2,2 = 6,02 \text{ МПа}$.

Таким образом, конструкция соответствует требованиям по указанному критерию прочности.

Следовательно, предложенная конструкция дорожной одежды принимается окончательно.

В случае невыполнения какого-либо из условий увеличивают толщины слоев либо применяют другие материалы.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ РЕФЕРАТОВ

1. Основные определения и классификация дорожной одежды.
2. Материалы для устройства слоев дорожной одежды.
3. Физико-механические свойства материалов дорожной одежды.
4. Физико-механические свойства дискретных материалов.
5. Физико-механические свойства монолитных материалов.
6. Расчетные характеристики материалов слоев дорожной одежды.
7. Влияние погодно-климатических факторов на надежность и долговечность дорожной одежды.
8. Виды деформаций и разрушений дорожной одежды. Причины их появления.
9. Влияние транспортной нагрузки на работу дорожной одежды. Понятие расчетной нагрузки. Методика приведения реальных автомобилей к расчетному.
10. Взаимосвязь прочности и надежности дорожных конструкций.
11. Понятие об эквивалентных слоях. Методика выбора материалов конструктивных слоев дорожной одежды.
12. Основные принципы конструирования нежестких дорожных одежд.
13. Расчет дорожной одежды на прочность при действии транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов.
14. Критерии обеспечения прочности и надежности дорожной одежды при совместном действии транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов.
15. Частные критерии прочности, относящиеся к отдельным конструктивным слоям или земляному полотну.
16. Расчет нежестких дорожных одежд на прочность по критерию упругого прогиба.
17. Критерии прочности дорожной одежды по упругому прогибу.
18. Методика расчета и оптимизации конструкций дорожных одежд по критерию упругого прогиба. Основные типы задач.
19. Расчет дорожной одежды на устойчивость к пластическим деформациям (расчет на сдвигоустойчивость).
20. Расчетная схема и условия сдвигоустойчивости.
21. Методика расчета на сдвигоустойчивость верхних слоев покрытия.

22. Расчет на сдвигоустойчивость нижних слоев покрытия и слоев основания.

23. Расчет устойчивости монолитных конструктивных слоев на действие транспортных нагрузок и погоднo-климатических факторов.

24. Расчетная схема и критерии устойчивости материалов монолитных слоев к действию транспортных нагрузок и природно-климатический факторов.

25. Методика проверки на прочность монолитных слоев загородных дорог.

26. Методика проверки на прочность монолитных слоев городских улиц и дорог.

27. Обеспечение деформационной устойчивости материала дорожного покрытия.

28. Расчет нежестких дорожных одежд на морозоустойчивость.

29. Осушение дорожной одежды. Проектирование дренирующего слоя.

30. Методология конструирования и расчета нежесткой дорожной одежды.

31. Основные принципы конструирования жестких дорожных одежд.

32. Расчет жестких дорожных одежд при температурных воздействиях.

33. Расчет жестких дорожных одежд при действии транспортной нагрузки.

34. Методология конструирования и расчета жестких дорожных одежд.

35. Зарубежные методы расчета нежестких дорожных одежд.

36. Конструирование и расчет комбинированных дорожных одежд.

Примечание. Объем реферата должен составлять 15–25 страниц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Segregation : Causes and Cures for Hot Mix Asphalt / American Association of State Highway and Transportation Officials. – Washington, 1997.
2. Baker, M. J. Identification and Assessment of Washington State Pavements with Superior and Inferior Performance, Report No. WA-RD 437.1 / M. J. Baker, J. P. Mahoney. – Olympia : Washington State Department of Transportation, 2000.
3. Brown, E. R. Experience with Stone Mastic Asphalt in the United States, Report No. 93-4, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Alabama, 1993
4. Splittmastixasphalt / dr. ing. K. H. Kolb [und andere]. – Leitfaden : Deutscher Asphaltverband, 1996. – 27 p.
5. ZTV Asphalt-StB 01 : Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt. – 2001. – 46 s.
6. Строительство дорожных и аэродромных покрытий из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей : обзорная информ. / Информавтодор. – Вып. 2. – М., 2003. – 96 с. – (Автомобильные дороги и мосты).
7. Финские нормы на асфальт 2000 / Совещательная комиссия по покрытиям PANK ry. – Хельсинки, 2000. – 56 с.
8. Brawn, E. R. Performance of Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures in the United States / National Center for Asphalt Technology ; E. R. Brawn, J. E. Haddock, R. B. Mallick. – 1997. – 53 p.
9. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия : СТБ 1033-2004 : издание официальное. – Взамен СТБ 1033-96. – Минск : Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь, 2004. – 24 с.
10. Кирюхин, Г. Н. Научно-техническая направленность лаборатории асфальтобетона и черных материалов / Г. Н. Кирюхин, И. А. Плотникова, М. Б. Сокальская // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2001. – № 3. – С. 9–12.
11. Emploi des liants bitumineux modifies, des bitumes speciaux et des bitumes avec additifs en techniques routieres // Rapport provisoire Seminaire international «Bitumes modifies», Rome. – 1998. – 72 p.

12. Ковалев, Я. Н. Активационно-технологическая механика дорожного асфальтобетона / Я. Н. Ковалев. – Минск : Вышэйшая школа, 1990. – 180 с.

13. **Laboratoire Central de Ponts et Chasses and Service D'Etudes Techniques des Route et Antoroutes (1992) Realisation des Remblais et des Couches de Forme, Ministere de l'Equipment du Logement des Transports, Paris, France.**

14. Lecsh, D. Deterioration Mechanisms in Flexible Pavements / D. Lecsh, **M. E. Nunn** // 2nd European Conference on the Durability and Performance of Bituminous Materials, University of Leeds, Leeds, UK. – 1997.

15. Transportation Research. Circular. Perpetual Bitumen Pavements, **№ 503, December 2001** // Development and Uses of Hard-Grade Asphalt and of High-Modulus Asphalt Mixes in France, **Jean-François Corté**, **Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (France)**. – P. 12–31.

Учебное издание

ВЕРЕНЬКО Владимир Адольфович

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ
ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

Пособие по выполнению курсового проекта № 3
«Проект дорожной одежды нежесткого типа (деталь проекта)»
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

Редактор *В. О. Кутас*
Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 26.06.2012. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 4,53. Уч.-изд. л. 3,54. Тираж 100. Заказ 1053.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.