

На правах рукописи



Ширяев Никита Игоревич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА
ДРЕНИРУЮЩИХ СЛОЕВ ИЗНОСА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Специальность 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов,
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Автореферат

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону-2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственный технический университет».

Научный руководитель: **Углова Евгения Владимировна**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Васильев Юрий Эммануилович**
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», кафедра «Дорожно-строительных материалов», заведующий

Вельсовский Анатолий Юрьевич
кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодский государственный университет», кафедра «Автомобильных дорог», заведующий

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет СПбПУ»

Защита состоится «31» января 2024 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.286.02, созданного на базе Воронежского государственного технического университета, по адресу: г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, корпус 2, ауд. 2226а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского государственного технического университета и на сайте <http://ссhgeu/ru>.

Автореферат разослан «25» ноября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Чуйкин С. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Одной из важнейших задач дорожной отрасли является обеспечение безопасности движения на автомобильных дорогах. Высокие скорости движения транспортных средств в дождливую погоду приводят к появлению опасного режима движения - «аквапланированию», а также к большому количеству брызг от движущегося транспорта, что снижает видимость, а следовательно, и безопасность движения. Одним из эффективных решений указанной проблемы является применение слоев износа из дренирующего асфальтобетона, позволяющих существенно повысить безопасность дорожного движения.

Дренирующие слои износа обеспечивают быстрый отвод воды с поверхности дороги при ливневых осадках, что снижает аквапланирование, уменьшает уровень шума от движущегося транспорта, повышает сцепные качества покрытия и видимость на автомобильной дороге за счет уменьшения количества брызг.

Опыт эксплуатации показывает, что срок службы слоев износа из высокопористых асфальтобетонных смесей не превышает 2-4 года из-за преждевременного шелушения и выкрашивания, связанного с пониженной коррозионной устойчивостью дренирующего асфальтобетона. Повышение долговечности дренирующих слоев износа в современных условиях воздействия повышенных транспортных нагрузок и с учетом климатических особенностей района строительства является актуальной задачей. Выбор эффективных регионов применения дренирующих слоев износа и критериев качества, позволяющих прогнозировать эксплуатационные показатели покрытия при реальном транспортном потоке, позволит повысить их срок службы.

Степень разработанности темы исследования. Накоплен огромный опыт применения слоев износа из шероховатых покрытий. Такими учеными, как С.С. Актанов, Г.А. Кирюхин, Ю.Э. Васильев, В.А. Астров, М.В. Немчинов, проводились исследования по технологии устройства слоев износа из высокоплотных и плотных асфальтобетонов. Исследования по применению в слоях износа асфальтобетонов с повышенной пористостью не публиковались. Большой вклад внесли исследования Л.Б. Гезенцевей и Н.В. Горелышева в области влияния структуры асфальтобетонов на эксплуатационные свойства пористых асфальтобетонных слоев, но исследований в области высокопористых асфальтобетонов с открытой гранулометрией, применяемых в верхних слоях покрытия не публиковались. Исследования Т.В. Худяковой, М.А. Гончарова, И.А. Ткачева и других ученых в области органических вяжущих позволили повысить долговечность асфальтобетонных покрытий.

Исследованиями фильтрационной способности пористых систем, в том числе слоев дорожных покрытий из пористых и высокопористых асфальтобетонов, занимались многие отечественные и зарубежные исследователи. Л. Навье, Дж. Стокс и А. Дарси разработали законы движения жидкости в замкнутом пространстве. Основываясь на данных законах, Г. Раньери

и Б. Путман представили зависимости, позволяющие обеспечить необходимую фильтрационную способность дренирующих асфальтобетонов.

Д. Родж, Е. Пучер, Л. Санта, Л. Мо, Д. Ватсон, Б. Граф, А. Алдерсон, А. Алварез и др. изучали свойства дренирующих асфальтобетонов, но полноценной методики повышения эффективности применения дренирующих слоев износа не публиковали.

Объект исследования – дренирующие слои износа автомобильных дорог.

Предмет исследования – долговечность и эксплуатационные свойства дренирующих слоев износа.

Цель диссертационной работы – совершенствование технологии устройства дренирующих слоев износа автомобильных дорог за счет улучшения свойств дренирующего асфальтобетона для увеличения срока их службы и повышения эксплуатационных показателей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Выполнить анализ теоретических и экспериментальных исследований конструктивных и технологических решений увеличения срока службы дренирующих слоев износа и повышения их эксплуатационных показателей;

2. Теоретически обосновать пути повышения фильтрационной способности дренирующего слоя за счет регулирования структуры асфальтобетона и конструктивных решений, разработать методику определения регионов эффективного применения дренирующих слоев износа;

3. Разработать технологию приготовления модифицированного дренирующего асфальтобетона и технологию устройства слоев износа с повышенной устойчивостью к воздействию погодно-климатических факторов и транспортных нагрузок;

4. Выполнить опытно-экспериментальные работы по устройству слоев износа из модифицированного дренирующего асфальтобетона с оценкой эффективности разработанной технологии;

5. Разработать рекомендации по повышению эффективности дренирующих слоев износа автомобильных дорог на всех этапах жизненного цикла.

Научная новизна состоит в следующем:

- на основе расчета фильтрационной способности дренирующих слоев получены зависимости минимально требуемой скорости фильтрации дренирующего асфальтобетона для слоев износа с учетом геометрических параметров автомобильных дорог и климатических условий эксплуатации;

- впервые представлены зависимости эффективной толщины слоя износа для автомобильных дорог I, II, III категории с учетом климатических условий регионов применения;

- разработаны составы модифицированной дренирующей асфальтобетонной смеси, позволяющие за счет регулирования структуры и введения поверхностно-активных веществ (адгезионной добавки) обеспечить

высокую скорость фильтрации и повышенную коррозионную устойчивость слоя износа в процессе эксплуатации;

- предложена методология прогнозирования срока службы дренирующего слоя износа по показателям «водостойкость по методу Lottman», «истираемость по методу Prall Test», «устойчивость к колееобразованию». В отличие от существующих подходов, данные показатели позволяют определить степень воздействия шипованных шин и погодно-климатических факторов на конструктивный слой (в диссертации множественное число) дорожной одежды;

- впервые получены значения параметров режимов уплотнения дренирующих асфальтобетонов, обеспечивающие требуемую остаточную пористость и фильтрационную способность слоя износа.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что:

- изучены причинно-следственные связи между структурой дренирующего асфальтобетона и эксплуатационными показателями слоев износа,

- обоснована зависимость толщины слоя износа от скорости фильтрации дренирующего асфальтобетона, климатических факторов района строительства и геометрических параметров автомобильной дороги,

- получены зависимости снижения эксплуатационных показателей дренирующих слоев износа при воздействии транспортной нагрузки.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что:

- разработана методика расчета эффективной толщины дренирующего слоя износа в зависимости от интенсивности ливня, скорости фильтрации слоя и геометрических параметров автомобильной дороги;

- разработаны составы модифицированных дренирующих асфальтобетонов для слоев износа, обладающие стабильными структурно-механическими и высокими эксплуатационными свойствами;

- впервые получены фактические значения модуля упругости дренирующего асфальтобетона и регламентированы дополнительные требования к дренирующим слоям износа по показателям эксплуатационных свойств: «устойчивость к колееобразованию», «водостойкость по методу Lottman» и «истираемость по методу Prall-Test»;

- разработаны технология приготовления модифицированной дренирующей асфальтобетонной смеси и технологические особенности устройства слоев износа из дренирующих асфальтобетонов, обеспечивающих безопасность и комфорт дорожного движения;

- предложена технология эксплуатации дренирующих слоев износа из дренирующего асфальтобетона в весенне-осенний и зимний период;

- разработан прибор для определения фильтрационной способности дренирующего асфальтобетона как в лабораторных условиях, так и на объектах строительства (патент RU 97532 U 1(148806) «Прибор для определения коэффициента фильтрации образцов из дренирующей асфальтобетонной смеси – «ПФДА»);

Методология и методы исследования. При решении поставленных в исследовании задач использовались современные положения теории и практики

развития технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог, анализ работ отечественных и зарубежных ученых в области долговечности слоев износа; современные положения теории движения жидкостей; метод математического планирования эксперимента; анализ, сопоставление и синтез экспериментальных исследований; мониторинг состояния асфальтобетонных покрытий. Обработка результатов натурных экспериментов проведена методами математической статистики.

Основные положения, выносимые на защиту:

- конструктивные и технологические решения увеличения срока службы дренирующих слоев износа и повышения их эксплуатационных показателей;
- алгоритм определения регионов эффективного применения дренирующих слоев износа;
- методика расчета эффективной толщины дренирующего слоя износа;
- метод прогнозирования срока службы дренирующего слоя износа с учетом транспортных нагрузок в процессе эксплуатации;
- технология приготовления дренирующей асфальтобетонной смеси для слоев износа, учитывающая циклы подачи всех компонентов смеси, временные интервалы перемешивания и температурные режимы, и позволяющая повысить эксплуатационные показатели слоев износа;
- результаты экспериментальных исследований физико-механических и эксплуатационных свойств модифицированного дренирующего асфальтобетона.

Апробация результатов исследования

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях Ростовского государственного строительного университета («Строительство» - 2014 – 2016), Донского государственного технического университета («Строительство» - 2017 – 2021); всероссийской молодежной научной конференции «УМНИК» (Ростов-на-Дону, 2015-2016); семинаре для специалистов подрядных организаций, организованном ООО «Автодор-ТС» совместно с ГК «АВТОДОР» (город?, 2015); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса» Волгоградского государственного технического университета (Волгоград, 2021).

Достоверность и обоснованность результатов работы, научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в работе, подтверждена сходимостью результатов параллельных испытаний; сопоставимостью результатов лабораторных и опытно-производственных работ; использованием современных приборов, оборудования; экспериментально-статистическими методами математического планирования эксперимента и теорией математической статистики.

Внедрение результатов. В июне 2018 г., основываясь на результатах диссертационной работы, совместно с организацией АО «Донаэродрострой» было проведено экспериментальное внедрение по устройству дренирующего слоя износа из разработанной модифицированной дренирующей

асфальтобетонной смеси ДА-15 на полосе движения на участке автомобильной дороги М-4 «Дон» км 932 – км 933.

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии во всех этапах диссертационного исследования, включая постановку задач исследования и выбор способов их решения; в проведении теоретических расчетов, эффективности применения дренирующих слоев износа; в разработке и научном обосновании методики испытаний и прогнозировании сроков службы дренирующих слоев износа; в составлении технических решений и предложений по применению дренирующих слоев износа.

Публикации

Основные результаты диссертационной работы отражены в 12 работах, в том числе 5 в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, и 2 в изданиях, индексируемых в международной базе данных Scopus, получено 2 патента.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 93 наименований, приложений. Работа изложена на 193 страницах машинописного текста, содержит 37 таблиц и 79 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации работы.

В первой главе проведен анализ технологий и материалов, применяемых при устройстве слоев износа за рубежом и на территории Российской Федерации, позволяющих повысить срок службы дорожных покрытий.

На основании имеющегося опыта, в слоях износа необходимо применять прочный композиционный материал, который способен воспринимать нагрузку от движущегося транспорта и действия атмосферных осадков, обеспечивая высокое сцепление колеса автомобиля с покрытием. Современное дорожное строительство освоило массу различных технологий. Наиболее популярными технологиями принято считать: микросюрфейсинг типа новачип и сларри-сил, щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА), шероховатое тонкослойное покрытие (ШТП), пористо-мастичный асфальтобетон (ПМА), а также в зарубежной практике существует опыт применения слоев износа из высокопористых или пористых асфальтобетонных смесей с открытой гранулометрией. Аналогами таких асфальтобетонов на территории Российской Федерации являются дренирующие асфальтобетоны.

Преимущества слоев износа, устроенных из дренирующих асфальтобетонов, во многом направлены на повышение безопасности дорожного движения, включая уменьшение аквапланирования, повышение сопротивляемости скольжению за счет увеличения сцепления колес автомобиля с покрытием (особенно во влажную погоду), снижение количества брызг, уменьшение водной пленки и бликов на поверхности покрытия.

Однако, кроме преимуществ, имеется и целый ряд недостатков применяемых дренажных асфальтобетонов, среди которых можно выделить снижение фильтрационной способности, интенсивное старение вяжущего и, как следствие, выкрашивание частиц щебня и шелушение покрытия по полосам наката, что снижает срок службы асфальтобетонных покрытий.

Проведенный анализ позволил определить пути повышения долговечности дренажных слоев износа.

Во второй главе рассмотрены теоретические предпосылки повышения эффективности применения слоев износа из дренажного асфальтобетона в различных климатических условиях. Анализ современного опыта применения технологий дренажных слоев износа позволил выделить три направления повышения их эффективности: повышение фильтрационной способности дренажных слоев при ливневых осадках; повышение долговечности слоев износа за счет применения модифицированного дренажного асфальтобетона; определение эффективных регионов применения дренажных слоев износа в зависимости от климатических условий.

Основным показателем эффективности применения дренажных слоев износа является отвод воды с поверхности автомобильной дороги. Расчет фильтрационной способности дренажных слоев базируется на уравнении баланса импульса – законе Дарси. В современных обозначениях это соотношение, называемое Законом Дарси, для фильтрации в поле тяжести имеет вид:

$$0 = -grad p + pg - \frac{\mu}{k}u, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения м/с; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости; k – коэффициент, называемый проницаемостью пористой среды, который зависит от типа пористой среды.

Макроскопический закон движения при фильтрации в пористой среде (закон Дарси) может быть получен с помощью некоторой процедуры осреднения из уравнения движения, описывающего внутрисредовое движение жидкости на микроуровне, то есть уравнения Навье – Стокса.

Используя закон Дарси и уравнения Навье – Стокса, Раньери предложил методику расчета фильтрационной способности высокопористых асфальтобетонов в зависимости от геометрических параметров автомобильной дороги, скорости фильтрации и интенсивности ливня:

$$0 = \frac{K}{2L} (L \alpha + t) - \frac{I}{6}, \quad (2)$$

где K – скорость фильтрации дренажного асфальтобетона, см/ч; L – ширина покрытия, м; α – продольный уклон, %; t – толщина покрытия, см; I – интенсивность ливня, см/ч.

В данной работе проведены исследования влияния фильтрационной способности дренажного асфальтобетона на требуемую толщину слоя износа. Получены зависимости для 5, 6, 7 ливневого района РФ и для различных категорий автомобильных дорог.

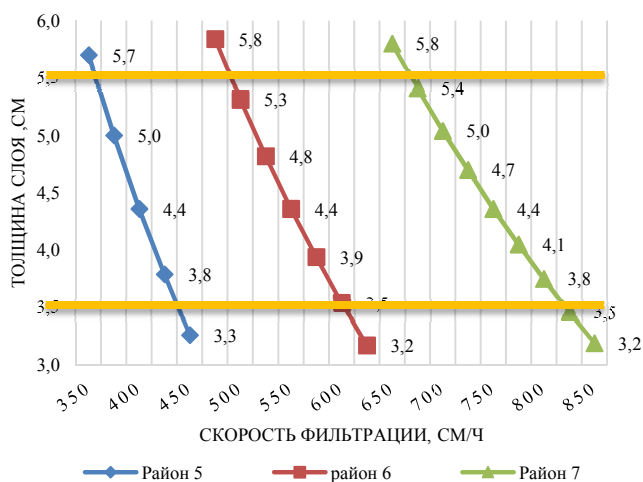


Рисунок 1 – График зависимости толщины слоя износа от скорости фильтрации для автомобильной дороги I категории с 4 полосами движения

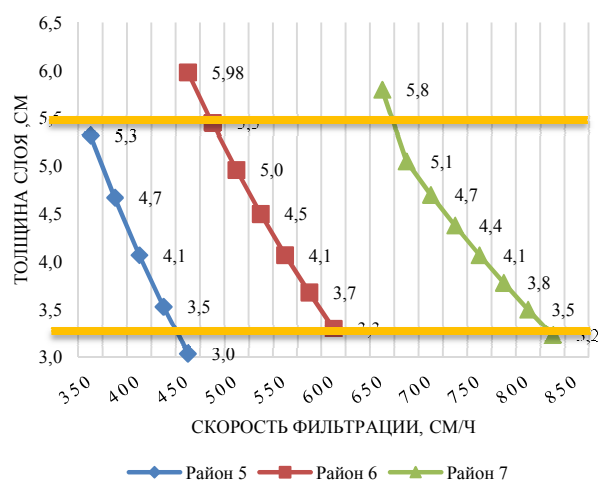


Рисунок 2 – График зависимости толщины слоя износа от скорости фильтрации для автомобильной дороги II категории с 4 полосами движения

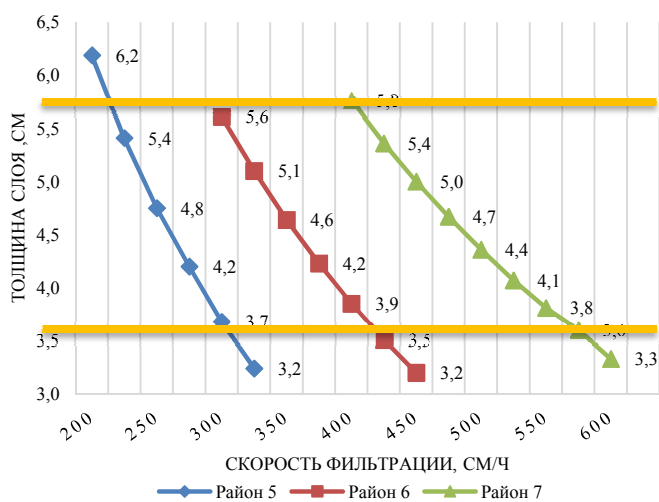


Рисунок 3 – График зависимости толщины слоя износа от скорости фильтрации для автомобильной дороги II категории с 2 полосами движения

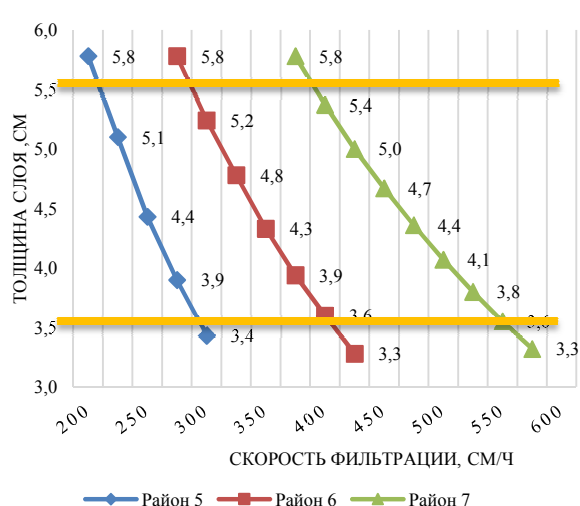


Рисунок 4 – График зависимости толщины слоя износа от скорости фильтрации для автомобильной дороги III категории с 2 полосами движения

Таблица 1 – Значения геометрических параметров автомобильной дороги и интенсивности ливня, принятые при расчете

Техническая категория АД	Количество полос	Ширина покрытия, м	Поперечный уклон, %	Ливневой район	Интенсивность ливня, см/ч
Ia, Ib, Iv	4	3,75	20	5	0,8
				6	1,1
				7	1,5
II	4	3,5		5	0,8
				6	1,1
				7	1,5
III	2	3,5		5	0,8
				6	1,1
				7	1,5

Учитывая ограничения толщины слоя износа (3,5 – 5,5 см), можно выделить следующие эффективные диапазоны скорости фильтрации дренирующего асфальтобетона:

- для автомобильных дорог с 4 полосами от 400-750 см/ч;
- для автомобильных дорог с 2 полосами от 270-500 см/ч.

При этом обеспечение высоких значений скорости фильтрации дренирующих слоев в процессе эксплуатации позволит уменьшить их толщину, что приведет к снижению капитальных и материальных затрат.

При заданном значении скорости фильтрации дренирующих слоев расчет толщины слоя износа может быть выполнен по формуле:

$$t = \sqrt{\frac{I}{3K}} L - L\alpha, \tag{3}$$

где K – скорость фильтрации дренирующего асфальтобетона, см/ч; L – ширина покрытия, м; α – продольный уклон, %; t – толщина покрытия, см; I – интенсивность ливня, см/ч.

Второе направление повышения эффективности дренирующих слоев связано с увеличением их срока службы. Исследованиями установлено (рисунок 5), что обеспечение высоких значений скорости фильтрации дренирующего асфальтобетона возможно за счет снижения количества битума и увеличения количества щебня, однако при этом наблюдается значительный рост остаточной пористости асфальтобетона.

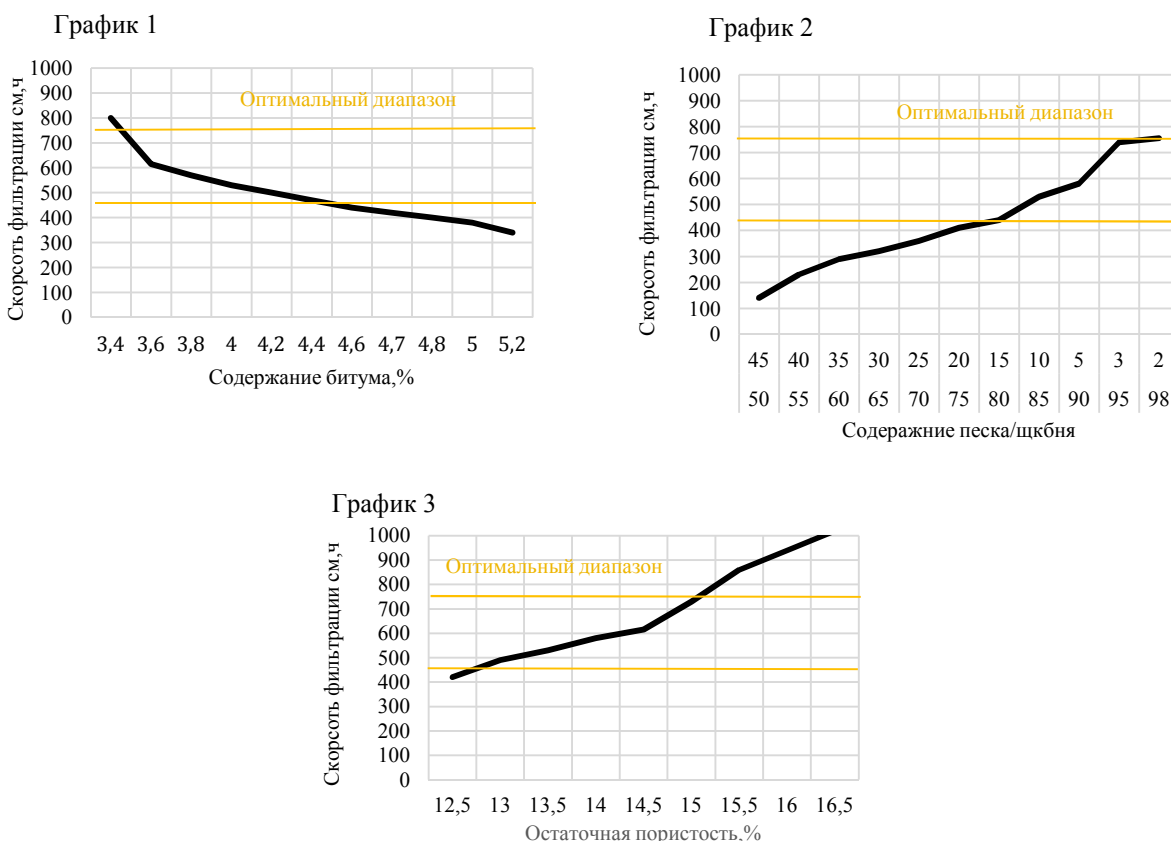


Рисунок 5 – Зависимость скорости фильтрации от состава дренирующего асфальтобетона и остаточной пористости

Анализ зависимостей позволяет определить границы гранулометрического состава асфальтобетонной смеси, содержания вяжущего и остаточной пористости. Для того чтобы обеспечить требуемую фильтрационную способность содержание вяжущего должно быть в пределах 3,5-4,7%, а содержание щебня не менее 80%. Проанализировав зависимости на графике 3, можно сделать вывод, что остаточная пористость дренирующего асфальтобетона должна быть не менее 12,6% и не более 14,9%.

Учитывая высокую пористость дренирующего асфальтобетона, при проектировании состава смеси предложено оценивать его коррозионную устойчивость по показателю TSR (водостойкость по методу Lottman). Данный показатель учитывает совместное влияние водо- и морозоустойчивости на трещинообразование в дренирующем асфальтобетоне.

Высокая устойчивость высокопористых материалов, и в частности дренирующего асфальтобетона, к коррозионному износу и трещинообразованию возможна только при хемоадсорбционном взаимодействии битума с минеральным материалом. При использовании органического вяжущего с низкими адгезионными свойствами необходимо применять поверхностно-активные вещества. Выбор типа адгезионных добавок во многом зависит от горной породы применяемого щебня. Особо важно определить наиболее эффективную добавку при использовании кислых горных пород. Таким образом, установлено, что повышение долговечности дренирующих слоев износа возможно за счет модификации состава дренирующего асфальтобетона, путем применения полимерно-модифицированного битума и адгезионных добавок.

Следует отметить, что при воздействии положительных температур и солнечных лучей уменьшение толщины снежного покрова на дренирующем слое износа происходит значительно быстрее, чем на покрытиях из плотного асфальтобетона, что позволяет талой воде уходить через поры. В то же время после весеннего дождя на покрытии из ЩМА часто образуется гололед, что снижает сцепление колеса с покрытием, при этом на дренирующем слое износа гололед отсутствует.

Определены регионы эффективного применения дренирующих слоев износа на территории Российской Федерации с учетом числа дней в году со снежным покровом, интенсивности ливня и циклов замораживания и оттаивания.

При выборе области применения дренирующих слоев износа необходимо понимать, что основным эксплуатационным свойством является фильтрационная способность материала.

Таким образом, в регионах, где число дней со снежным покровом составляет более 125, нецелесообразно применять дренирующий материал, так как существенно уменьшается срок службы слоя износа. Результаты анализа показали, что наиболее благоприятные условия для применения дренирующих слоев износа являются Западный и Юго-Западный район и отдельные районы на Дальнем Востоке. Предпочтительными регионами являются Краснодарский край, Ростовская область и южная часть Воронежской области, а также административный район Владивостока.

Предложен алгоритм повышения эффективности (фильтрационной способности) и долговечности дренирующих слоев износа на этапах жизненного цикла:

<u>Этапы жизненного цикла</u>		
<u>Проектирование</u>	<u>Строительство</u>	<u>Эксплуатация</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Назначение толщины слоя износа и определение требуемого значения скорости фильтрации дренирующего асфальтобетона (п.2.1.) • Назначение проектных решений по отводу воды из слоя износа в зоне кромки проезжей части (п. 	<ul style="list-style-type: none"> • Подбор состава дренирующего асфальтобетона с обеспечением требуемых значений скорости фильтрации (п. • Обеспечение коррозионной устойчивости дренирующего асфальтобетона при заданной остаточной пористости (п. • Контроль качества показателей физико-механических свойств дренирующего асфальтобетона и скорости фильтрации (п. 	<ul style="list-style-type: none"> • Проведение работ по содержанию в весенне-осенний период (п. • Проведение работ по содержанию в зимний период (п. • Регламент проведения ремонтных работ (п.

Рисунок 6 – Мероприятия по повышению эффективности дренирующих слоев износа

Третья глава посвящена конструктивным особенностям устройства дренирующих слоев износа и экспериментальным исследованиям.

Дренирующие асфальтобетоны устраиваются с целью отведения воды с поверхности автомобильной дороги как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. При этом количество участков разгона и торможения должно быть минимальное, запрещаются примыкания с участками автомобильных дорог с низшими категориями и выездами сельскохозяйственной техники, для того чтобы снизить вероятность загрязнения покрытия, продольные уклоны должны быть не более 30%.

Разработано несколько методов устройства дренирующих слоев износа:

- 1) устройство слоя из дренирующего асфальтобетона на всю ширину покрытия таким образом, чтобы вода уходила в водоприемник;
- 2) устройство слоя из дренирующего асфальтобетона на 10 см меньше, чем ширина нижележащего слоя из плотного асфальтобетона с дальнейшим отводом воды по кювету;
- 3) устройство слоя из дренирующего асфальтобетона не на всю ширину с уменьшением его толщины и снижением уклона для дальнейшего отвода воды по плотному покрытию за счет проектных величин.

Учитывая свойства дренирующего асфальтобетона, а именно отвод воды через свою структуру в направлении уклона, требуется обеспечить отвод воды из слоя покрытия. Возможно использование следующих решений (рисунки 7-10).

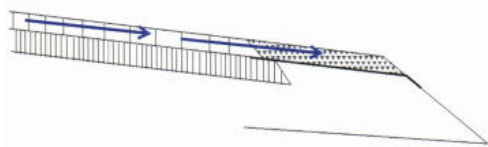


Рисунок 7 – Отвод воды через обочину. Обочина устраивается из щебня, геомембраны или дренажной прослойки, для предотвращения попадания воды в откосную часть

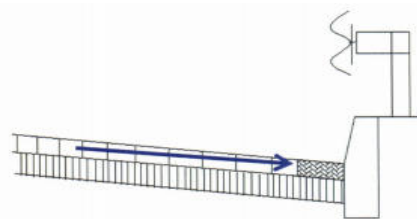


Рисунок 8 – Устройство водоотводных лотков вдоль кромки слоя износа. Лотки с боковым сбором воды

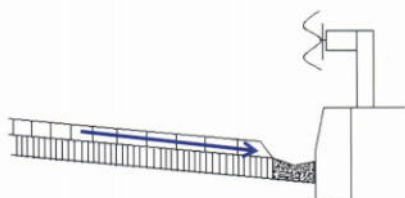


Рисунок 9 – Открытый железобетонный лоток, установленный в нижнем слое покрытия

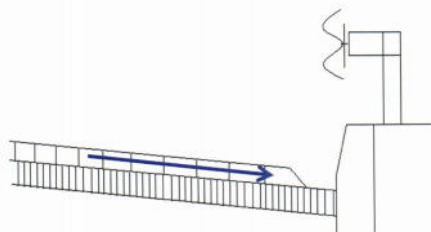


Рисунок 10 – Открытый лоток, устроенный путем укладки верхнего слоя покрытия меньшей на 10см ширины

Для повышения сроков службы дренирующих слоев износа были проведены работы по определению оптимальной структуры образования дренирующих асфальтобетонов.

На первом этапе экспериментальных исследований были проведены следующие виды работ: исследовано влияние вида адгезионных добавок на физико-механические свойства дренирующих асфальтобетонов; выполнена оптимизация состава дренирующей асфальтобетонной смеси по показателям «коэффициент фильтрации», «коэффициент водостойкости» по методу Lottman, и «истираемость» по методу Prall-test, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства дренирующего слоя износа в процессе эксплуатации; выполнено прогнозирование срока службы дренирующего слоя износа по показателю «устойчивость к колееобразованию».

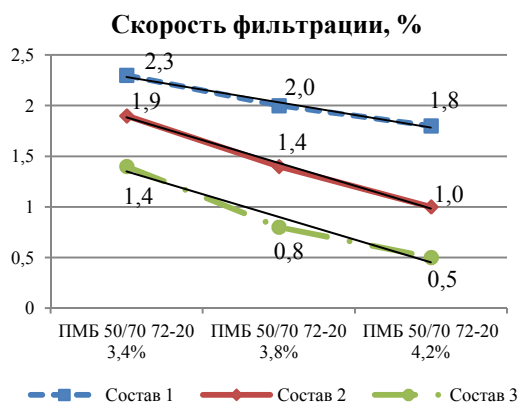
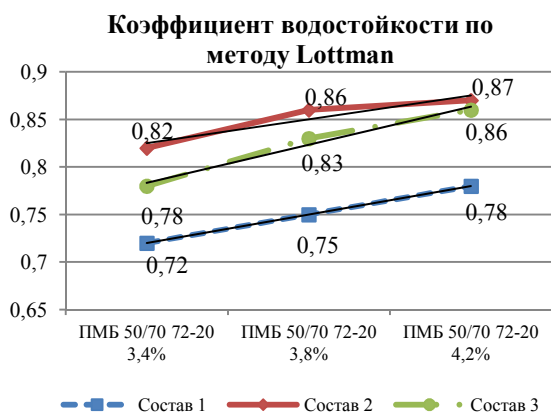


Рисунок 11 – Показатели физико-механических и эксплуатационных свойств дренирующего асфальтобетона различных составов для слоя износа

В рамках первого этапа исследований был проведен двухфакторный эксперимент по основным показателям физико-механических свойств дренирующего асфальтобетона. Зависимости (рисунок 11) строились по

результатам комплексных испытаний, в качестве фактических значений были приняты критические точки, при которых происходят существенные изменения.

Для определения эффективной адгезионной добавки и выявления ее влияния на физико-механические свойства дренирующего асфальтобетона проведены лабораторные испытания.

Наиболее эффективной адгезионной добавкой является добавка АМДОР-20Т, так как даже при меньшей ее концентрации достигаются более высокие значения показателей исследуемых физико-механических свойств.

Дренирующий асфальтобетон при использовании в качестве материала слоя износа подвергается воздействию таких внешних факторов, как истирание колесом движущегося автомобиля, особенно с шипованными шинами. В то же время основной функциональной характеристикой слоя остается его фильтрационная способность. Учитывая то обстоятельство, что вышепредставленные факторы оказывают существенное влияние на срок службы дренирующего слоя износа, для оценки эксплуатационных показателей в экспериментально-статистической модели трехфакторного эксперимента были выбраны: скорость фильтрации, коэффициент водостойкости по методу Lottman и истираемость по методу Prall-test. Исследуемые факторы и интервал их варьирования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исследуемые факторы и интервалы варьирования в плане эксперимента

Характеристика	Значение кода	Исследуемые факторы		
		X_1 Прочность щебня, потеря массы при истираемости, %	X_2 Содержание адгезионной добавки, от массы минеральной части, %	X_3 Содержание полимерно- модифицированного битума, сверх 100%
Основной уровень (X_{0i})	0	8	0,3	3,8
Интервал варьирования Δ_i	X	2	0,1	0,2
Верхний уровень (X_i^{\max})	$X_i=+1$	10	0,4	4,0
Нижний уровень (X_i^{\min})	$X_i=-1$	6	0,2	3,6

Исходя из анализа изоповерхностей (рисунок 12), можно сформулировать следующие основные принципы влияния исследуемых факторов на эксплуатационные свойства дренирующих асфальтобетонов: дренирующие асфальтобетоны, приготовленные на минеральных материалах из габбро-диабазы или гранита, на 40-50 % устойчивее к истираемости по методу Prall-test, чем смеси, приготовленные с использованием песчаника; увеличение содержания вяжущего и концентрации адгезионной добавки повышает устойчивость дренирующего асфальтобетона к истираемости по методу Prall-test, что обусловлено увеличением адгезионных и когезионных связей; увеличение концентрации адгезионной добавки во всех исследуемых смесях, независимо от вида горной породы и процентного содержания вяжущего, оказывает основное влияние на показатель «коэффициент водостойкости по методу Lottman»; показатель «скорость фильтрации» подвержен снижению при увеличении процентного содержания вяжущего, что связано с уменьшением числа пор в асфальтобетоне.

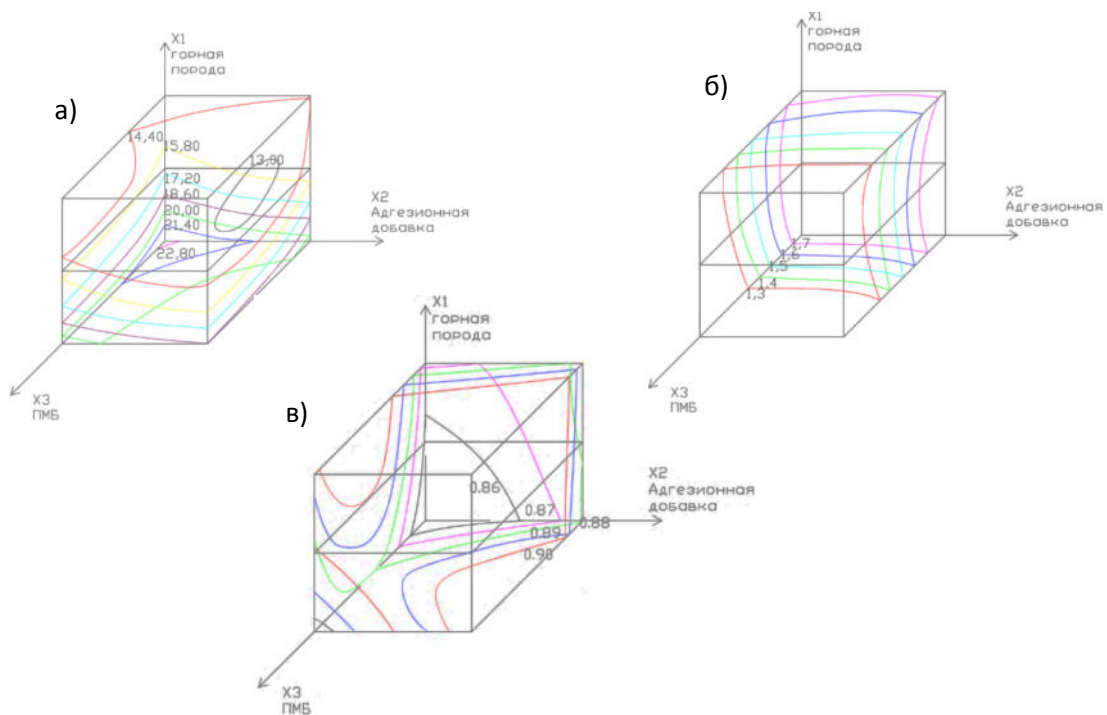


Рисунок 12 – Изоповерхности исследуемых показателей, где, **а**-«абразивность»; **б**-«скорость фильтрации»; **в**-«водостойкость»

Таким образом, на основании данных экспериментальных исследований установлено, что для устройства слоев износа рекомендуется использовать дренирующий асфальтобетон, приготовленный на минеральных материалах из габбро-диабазы, а содержание вяжущего должно составлять 3,7 % при концентрации адгезионной добавки не менее 0,4 % от массы органического вяжущего и 3,8 % при концентрации адгезионной добавки 0,3 % от массы органического вяжущего. Анализ результатов исследования устойчивости к колееобразованию слоев износа из различных асфальтобетонных смесей (рисунок 13) показал, что при оптимальном составе дренирующей асфальтобетонной смеси фактическое значение по показателю «устойчивость к колееобразованию» не превышает 1,1 мм при использовании в качестве вяжущего битума нефтяного дорожного БНД 60/90 и 0,6 мм при использовании полимерно-модифицированного битума марки ПМБ 50/70 72-20.

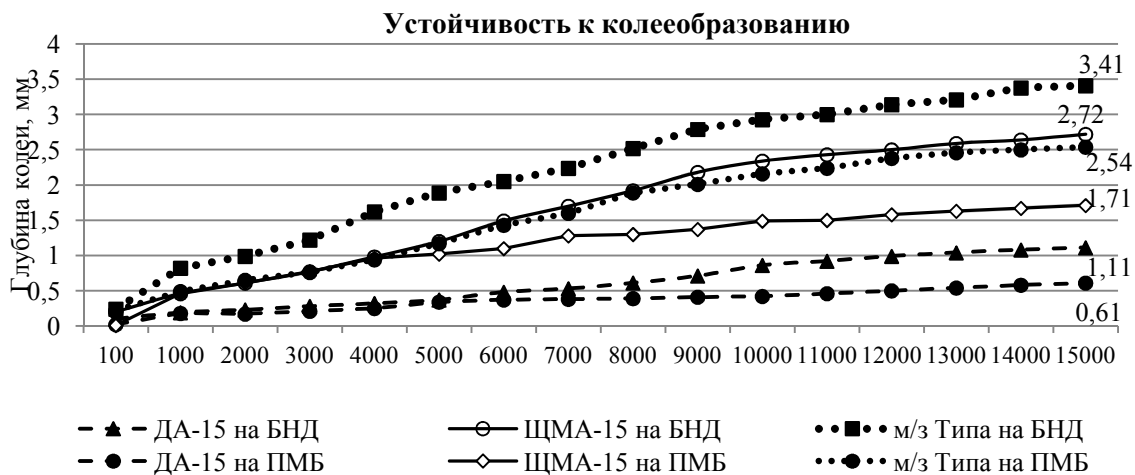


Рисунок 13 – Зависимость устойчивости к колееобразованию дренирующего асфальтобетона рекомендуемого состава

При прогнозировании срока службы дренирующего слоя износа по предельно допустимому значению колееобразования (2 см) в соответствии с действующей нормативно-технической документацией, межремонтный срок службы составил 7 лет (рисунок 14).

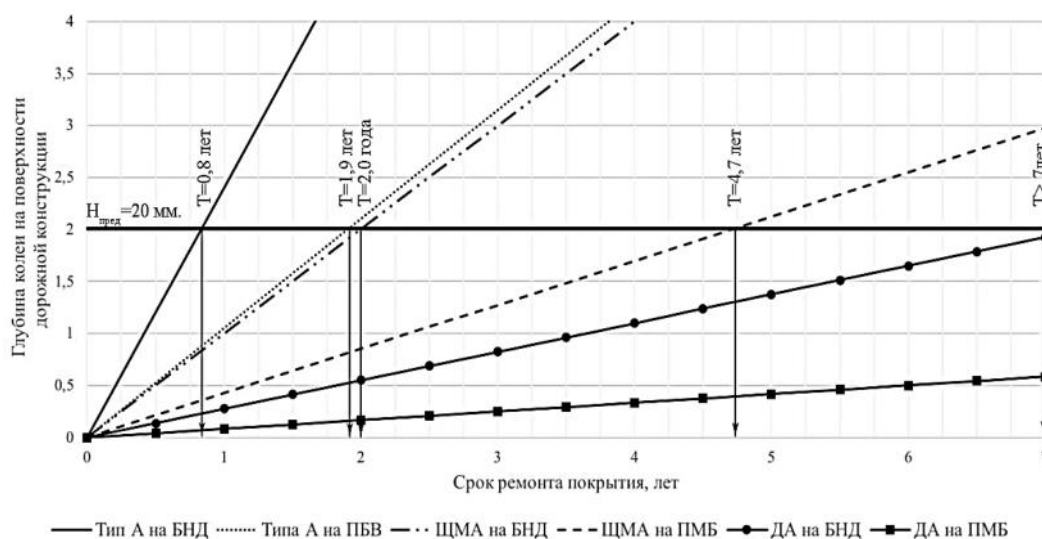


Рисунок 14 – Прогнозирование срока службы слоев износа из различных асфальтобетонов (по накоплению колеи)

Учитывая тот факт, что дренирующие асфальтобетонные смеси и асфальтобетоны являются новыми материалами для Российской Федерации, в работе были выполнены исследования по определению фактических значений модуля упругости при различных температурах испытаний, что даст возможность использовать полученные данные проектным организациям.

Для построения обобщающих кривых модуля упругости и анализа эксплуатационных характеристик асфальтобетона испытания проводили при температурах минус 20°С, минус 10 °С, 0 °С, 4,4 °С, 10 °С, 38 °С, 54 °С и нагрузочных частотах 0,1;0,5;1;5;10 и 25 Гц при каждой из перечисленных температурах. Для расчета коэффициента регрессивной зависимости были построены экспоненты по полученным результатам. Результаты испытания представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения модуля упругости дренирующего асфальтобетона в зависимости от частоты нагружения и температуры испытания

Образец №	Частота, Гц	-20	-10	0	4,4	10	20	38,1	54
1	0,1	12 984	10 613	7 286	6 057	4 242	2 316	754	481
2		13 721	11 215	7 699	6 401	4 483	2 448	797	508
3		13 352	10 700	7 493	6 107	4 362	2 418	775	495
1	0,5	13 058	11 140	8 203	7 623	5 725	3 175	979	576
2		13 799	11 772	8 668	8 056	6 050	3 355	1 035	609
3		13 037	11 069	8 521	7 723	5 888	3 124	1 007	584
1	1	13 274	11 393	8 856	8 042	6 283	3 532	1 107	638
2		14 027	12 040	9 359	8 499	6 640	3 732	1 170	674
3		13 651	11 716	9 107	8 706	6 429	3 578	1 139	656
1	5	13 526	12 020	9 841	8 474	7 259	4 528	1 497	820
2		14 294	12 702	10 399	8 954	7 671	4 785	1 582	866
3		13 637	11 943	10 070	8 543	7 319	4 679	1 531	822

1	10	14 067	13 078	10 564	9 143	7 451	5 067	1 686	914
2		14 747	13 763	10 894	9 661	7 873	5 222	1 781	905
3		14 264	13 288	10 729	9 263	7 512	5 094	1 699	896
1	25	14 191	13 357	10 798	9 613	7 891	5 680	2 044	1 091
2		14 996	14 115	11 354	10 159	8 339	6 002	2 160	1 153
3		14 667	13 668	10 912	9 788	7 917	5 812	2 102	1 100

В четвертой главе рассмотрены особенности технологии устройства дренирующих слоев износа, а также представлены результаты опытно-производственного внедрения устройства слоев износа из модифицированной дренирующей асфальтобетонной смеси.

В июне 2018г. в рамках данной работы совместно с организацией АО «Донаэродорстрой» были проведены экспериментальные работы по устройству слоя износа из разработанной модифицированной дренирующей асфальтобетонной смеси ДА-15 по полосе движения на участке автомобильной дороги М-4 «Дон» км 932 – км 933. На данном участке в рамках государственного контракта с ГК Автодор выполнялись работы по устройству слоя износа из щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА-15.

С целью определения оптимальной толщины слоя был проведен расчет в зависимости от геометрических параметров автомобильной дороги, интенсивности ливня и скорости фильтрации слоя износа из дренирующего асфальтобетона.

В соответствии с СП 131.13331.2012 и официальными данными метеорологических служб были проанализированы данные по интенсивности ливней за последние 10 лет Каменск-Шахтинского района Ростовской области. На основе полученных результатов был построен кумулятивный график с интенсивностью ливня, не превышающий 90% (I90). График представлен на рисунке 15.

Исходя из представленных результатов интенсивность ливня, не превышающая 90%, составляет 1,1 см/ч.

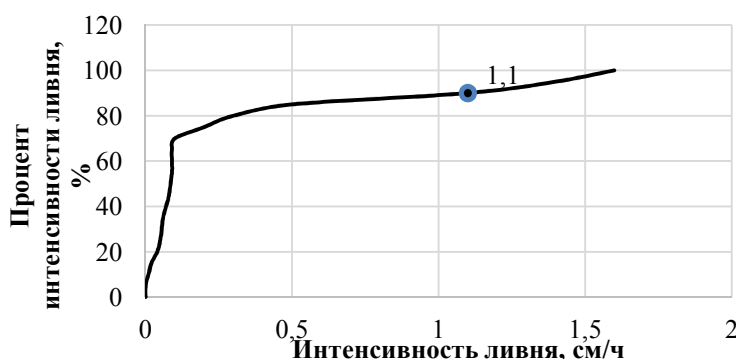


Рисунок 15 – Кумулятивный график интенсивности ливня

Для расчета эффективной толщины слоя износа из дренирующего асфальтобетона используются следующие фактические значения:

$$t = \sqrt{\frac{I}{3K}} L - L\alpha, \quad (4)$$

где I – интенсивность ливня 1,1 см/ч; L – ширина покрытия 750 см; K – скорость фильтрации 612 см/ч; α – поперечный уклон 0,02;

$$t = \sqrt{\frac{1,1}{3 \cdot 612}} * 750 - 750 * 0,02 = 3,4 \text{ см}$$

Таким образом, для того чтобы слой износа обеспечивал необходимый отвод воды с поверхности автомобильной дороги толщина слоя должна быть не менее 3,4 см.

Данная методика расчета позволяет анализировать, как изменение каждой из представленных переменных может влиять на отвод воды с поверхности. При комбинировании одного или нескольких параметров можно построить зависимости, позволяющие выбрать необходимые свойства и параметры слоя износа. Исходя из полученных результатов, построен график зависимости толщины слоя износа от интенсивности ливня и скорости фильтрации.

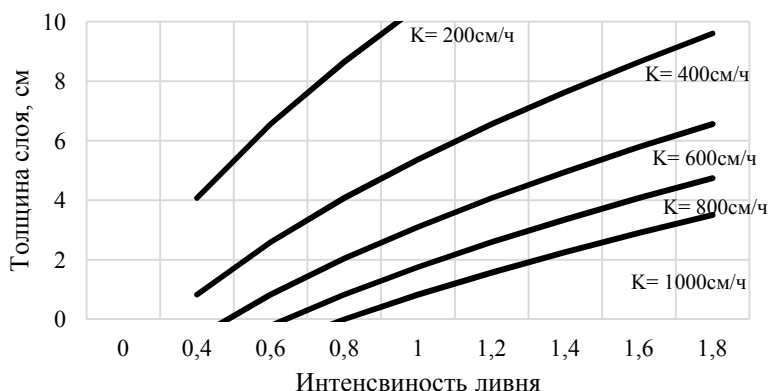


Рисунок 16 – График зависимости толщины слоя от интенсивности ливня и скорости фильтрации

Учитывая тот факт, что в период эксплуатации дренарующий асфальтобетон подвержен засорению от пыли грязи, необходимо закладывать коэффициент засоряемой при проектировании асфальтобетонной смеси. В соответствии с работами Б. Путмана коэффициент засоряемости дренающего асфальтобетона составляет в диапазоне 19-30%.

Устройство дренарующих слоев износа включает 4 этапа строительства: приготовление дренающей асфальтобетонной смеси, транспортировка, укладка и уплотнение. Для длительной эксплуатации покрытий из дренающих асфальтобетонов важным аспектом является сохранение качества на каждом этапе работ.

Особое внимание следует уделять циклам и времени перемешивания, температуре нагрева минеральных материалов и органического вяжущего. Температура выпуска дренающих асфальтобетонных смесей варьирует в интервале 145-155 °С. Эффективное время перемешивание дренающей асфальтобетонной смеси составляет 7 секунд «сухого» и 25 секунд «мокрого».

Устройство дренающих асфальтобетонных смесей осуществляют поверх плотного асфальтобетона при температуре нижележащего слоя выше 12 °С, температуре воздуха 15-18 °С и скорости ветра 4-6 м/сек, на всю ширину устраиваемого слоя толщиной 3,5 см. Укладку асфальтобетонной смеси

производили асфальтоукладчиком Vogele Super 1900-2. При уплотнении использовали два гладковальцовых катка массой 12 тонн и один массой 14 тонн. Применение комбинированных катков и катков на пневмошинных использовать не рекомендуется, так как они способствуют «заглаживанию» поверхности покрытия и, тем самым, закрывают большую часть пор дренирующего асфальтобетона.

Дренирующий асфальтобетон обладает большим содержанием пустот, вследствие чего происходит интенсивное охлаждение смеси. По этой причине были выполнены экспериментальные исследования по определению степени влияния температуры воздуха, толщины укладываемого слоя и скорости ветра на процесс укладки и уплотнения модифицированной дренирующей асфальтобетонной смеси. Результаты испытания представлены на рисунке 17.

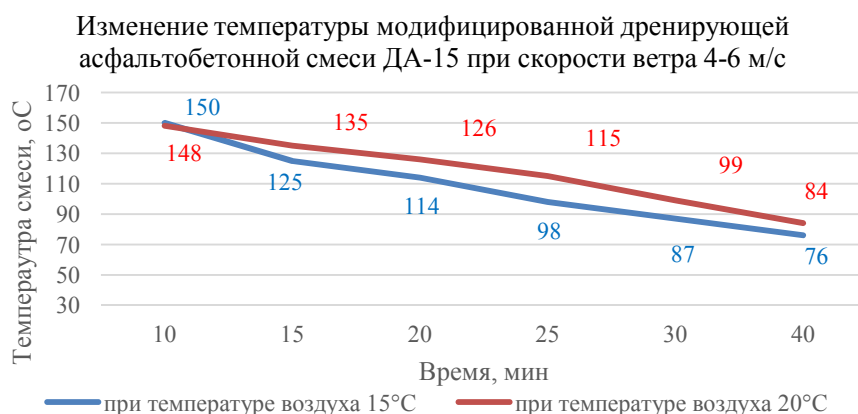


Рисунок 17 – Изменение температуры модифицированной дренирующей асфальтобетонной смеси при устройстве слоя износа

По результатам испытания можно заключить, что при устройстве слоя износа толщиной от 3,5 см до 4 см при скорости ветра 4-6 м/сек время укладки и уплотнения дренирующей асфальтобетонной смеси варьируется от 20 до 30 мин. в зависимости от температуры воздуха. Температура смеси при отгрузке с АБЗ составляла 150-153°C, а на момент начала укладки 144-148°C.

Для определения оптимальной технологии уплотнения слоя износа из дренирующей асфальтобетонной смеси ДА-15 применялся неразрушающий метод контроля плотности покрытия с помощью электромагнитного плотномера Troxler RaveTracker 2701-V PLUS. Результаты измерений показали, что при оптимально подобранном составе дренирующей модифицированной асфальтобетонной смеси ДА-15 максимальное уплотнение достигается за 5 проходов звеном гладковальцовых катков при скорости движения равной 4-5 км/ч и температуре покрытия в 115 °С. Движение транспорта на свежеложенном слое из дренирующего асфальтобетона рекомендуется открывать не ранее чем через 24 часа после полного остывания покрытия и формирования его структуры.

С целью определения эффективности применения в качестве слоя износа дренирующего асфальтобетона на экспериментальном участке были проведены работы по определению сцепных свойств колеса с покрытием и скорости фильтрации в момент сдачи работ и через 2 года эксплуатации. Определение

коэффициента сцепления проводилось в 5-ти контрольных точках прибором ППК-МАДИ. Результаты испытания представлены на рисунках 18-19.

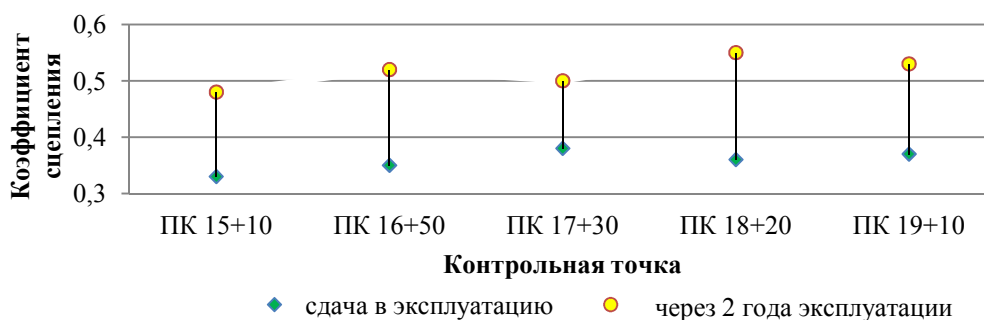


Рисунок 18 – Изменение «коэффициента сцепления покрытия» из ЦМА-15

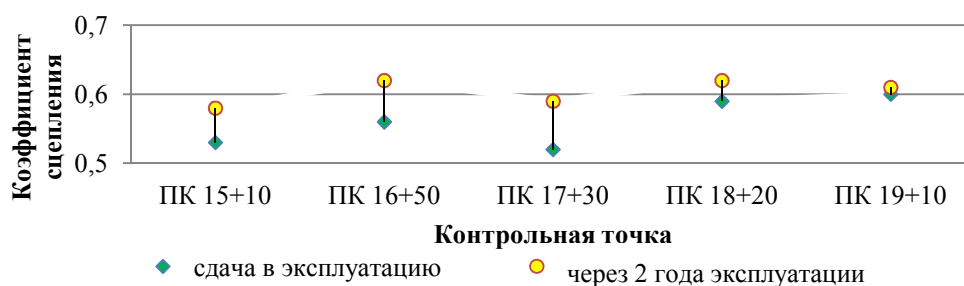


Рисунок 19 – Изменение «коэффициента сцепления покрытия» из ДА-15

Через 2 года эксплуатации покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона среднее значение коэффициента сцепления составило 0,52, когда в момент сдачи среднее значение коэффициента сцепления было равно 0,36. Это связано с тем, что при эксплуатации происходит уменьшение битумной пленки на поверхности материалов. По результатам анализа можно сделать вывод, что коэффициент сцепления колеса с покрытием из дренажного асфальтобетона существенно не изменился. В момент сдачи в эксплуатацию среднее значение составляло 0,54, а через 2 года эксплуатации – 0,60.

Исследования по определению скорости фильтрации дренажного асфальтобетона проводились на образцах-кернах, отобранных из покрытия автомобильной дороги, в 5 контрольных точках на расстоянии 0,75 м от кромки и оси автомобильной дороги. Результаты испытания представлены на рисунке 20. Анализ полученных данных показал, что при отсутствии выезда сельскохозяйственной техники через год эксплуатации существенного загрязнения покрытия не произошло.

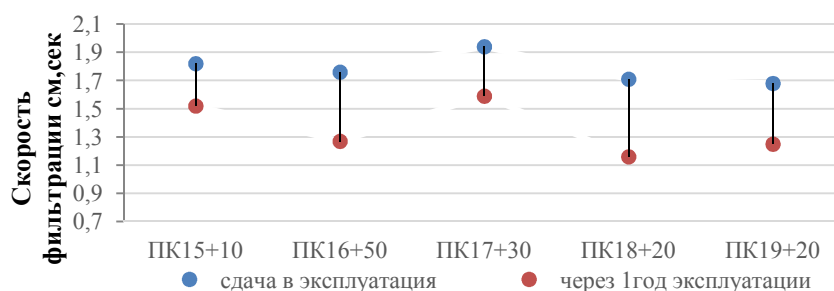


Рисунок 20 – Скорость фильтрации дренажного асфальтобетона ДА-15 из покрытия

По результатам опытно-производственного внедрения были разработаны рекомендации по производству, укладке, уплотнению и эксплуатации дренирующих слоев износа автомобильных дорог.

Технико-экономические расчеты показали, что приготовление 1 тонны дренирующей асфальтобетонной смеси составляет 3138,46 руб., а щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси - 3950,4 руб. Однако, кроме экономического эффекта от применения дренирующих асфальтобетонных смесей, следует отметить и повышенный уровень безопасности при движении по покрытию из дренирующего асфальтобетона.

Таким образом, экономический эффект от применения дренирующих асфальтобетонных смесей по сравнению с щебеночно-мастичными асфальтобетонными смесями при производстве составляет 812 руб. на 1 т. продукции, а от устройства 1 км автомобильной дороги I технической категории (ширина 15 м; толщина 3,5 см) из дренирующего асфальтобетона при эксплуатации покрытия в течение 3 лет составляет 4 742 797 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено повышение сроков службы и эксплуатационных показателей дренирующих слоев износа путем совершенствования технологии приготовления дренирующих асфальтобетонных смесей и технологии их устройства.

2. Разработана методика определения толщины дренирующего слоя износа в зависимости от категории автомобильной дороги и климатических условий эксплуатации, базирующаяся на уравнении баланса импульса – законе Дарси и позволяющая регламентировать требуемую скорость фильтрации дренирующего асфальтобетона. Обеспечение требуемой скорости фильтрации дренирующих слоев на автомобильных дорогах I-II категории с 4-мя полосами движения (400 – 750 см/ч) сопровождается значительным увеличением остаточной пористости дренирующего асфальтобетона, что требует повышения его коррозионной устойчивости за счет активизации хемоадсорбционного взаимодействия органического вяжущего с минеральным материалом.

3. Определены составы модифицированной дренирующей асфальтобетонной смеси для слоев износа на минеральных материалах различных горных пород и полимерно-модифицированном битуме с адгезионной добавкой на основе исследования основных показателей эксплуатационных свойств дренирующих слоев износа: скорости фильтрации, водостойкости по методу Lottman, глубине колеи. Впервые получены фактические значения модуля упругости дренирующего асфальтобетона и регламентированы требования по показателям эксплуатационных свойств.

4. Предложена технология приготовления модифицированной дренирующей асфальтобетонной смеси с учетом времени и температуры перемешивания для обеспечения эксплуатационных свойств слоев износа. На основании полученных результатов слой износа из модифицированного дренирующего асфальтобетона обладает более высоким коэффициентом сцепления колеса с покрытием и на 22 % более устойчив к возникновению пластических деформаций, чем слои из-

носа из щебеночно-мастичного асфальтобетона. Разработан метод прогнозирования срока службы дренарующего слоя износа по показателям: «водостойкость по методу Lottman», «истираемость по методу Prall Test», «устойчивость к колееобразованию». В отличие от существующих подходов, данный метод учитывает эксплуатационные характеристики асфальтобетона, отражающие работу материала в реальных условиях эксплуатации. Срок службы слоев износа из модифицированного дренарующего асфальтобетона составляет от 5 до 7 лет, что на 25-40 % больше, чем из традиционных материалов.

5. Разработаны практические рекомендации по производству, укладке, уплотнению и эксплуатации дренарующих слоев износа автомобильных дорог из модифицированного дренарующего асфальтобетона. Выполненное опытно-производственное внедрение на объекте ремонта автомобильной дороги М-4 «Дон» подтверждает высокие эксплуатационные свойства дренарующих слоев износа. Экономический эффект при устройстве дренарующих слоев износа по сравнению со слоем износа из щебеночно-мастичного асфальтобетон на 1 км автомобильной дороги I категории при эксплуатации в течение 3 лет составляет 4 742 797 рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. Дацков, А.В. Добавка «Грикол» как эффективное средство борьбы с зимней скользкостью / А.В. Дацков, **Н.И. Ширяев** // Инженерный вестник Дона: электрон. журн. – 2017. – № 1(44). – С. 69. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4019>.

2. Чернов, С.А. Анализ требований к горячим крупнозернистым пористым асфальтобетонным смесям / С.А. Чернов, И.В. Мардиросова, **Н.И. Ширяев**, Ю.В. Майор // Дороги и мосты. – 2014. – № 2(32). – С. 273-282.

3. Яворский, О.В. Оценка качества производства работ по устройству верхних слоев покрытия автомобильных дорог неразрушающим методом / О.В. Яворский, С.А. Чернов, **Н.И. Ширяев** // Инженерный вестник Дона: электрон. журн. – 2018. – № 1(48). – С. 131. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4845>.

4. Углова, Е.В. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств щебеночно-мастичных и дренарующих асфальтобетонных смесей для слоев износа / Углова Е.В., **Н.И. Ширяев**, Ни Г., Поздняков Н.О. // Вестник Белгородского государственного технического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – №1. – С. 9–15.

5. Углова, Е.В. Повышение сроков службы дорожных покрытий из дренарующих асфальтобетонов / Е.В. Углова, Н.И. Ширяев // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2020. – № 2 (58). – С. 100-110.

Публикации в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus

6. Uglova, E.V. Surface layer of porous asphalt in the Russian climate conditions// E.V. Uglova, S.A. Chernov, **N.I. Shiryaev** // AIP Conference Proceedings, 2022, 2486, 050009

7. Chernov, S.A. Practical quality monitoring of bituminous binders used at federal highways construction / S. Chernov, N. **Shiryaev**, E. Eremenko // E3S Web of Conferences, 2021, 281, 03008.

Статьи и материалы конференций

8. **Ширяев, Н.И.** «Теплые смеси» с поверхностно-активной добавкой «Evotherm J-1» / Н.И. Ширяев, П.О. Дармодехин // Известия Ростовского государственного строительного университета. – 2013. - № 17. – С. 154.

9. Чернов, С.А. Дренажные асфальтобетоны для верхних слоев покрытия»/ С.А. Чернов, **Н.И. Ширяев**, В.А. Гаврилов // Строительство–2015: Строительство. Дороги. Транспорт: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д, 2015. – Т. 3. – С. 54-57.

10. Углова, Е.В. Методика определения скорости фильтрации дренажного асфальтобетона / Е.В. Углова, **Н.И. Ширяев** // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: труды междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград, 2021. – Ч. 2. – С. 235-241.

Патенты

11. Патент на изобретение RR 2524081C1 «Ресурсосберегающая щебеночно-мастичная смесь для строительства и ремонта дорожных покрытий / **Ширяев Н.И.** Мардиросова И.В., Чернов С.А., Каклюгин А.В., Максименко М.В. // 2524081 Российская Федерация, МПКС04В 26/26; С08L 95/00; С04В 111/2./- №2013132069/03; заявл. 10.07.2013; опубл. 27.07.2014; Бюл. №21.

12. Патент RU 97532 U 1(148806) «Прибор для определения коэффициента фильтрации образцов из дренажной асфальтобетонной смеси – «ПФДА» / **Ширяев Н.И.** Леконцев Е.В., Голубин К.Д. // Пат. на полезную модель 148806 Российская Федерация, МПК G01№15/08.-№2014136634/28; заявл. 09.09.2014; опубл. 20.12.2014; Бюл. №35.

ШИРЯЕВ НИКИТА ИГОРЕВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ДРЕНИРУЮЩИХ СЛОЕВ ИЗНОСА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Автореферат

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

В печать 24.11.2023. Формат 60×84/16.
Объем 1,4 усл. п. л. Тираж 110 экз. Заказ № 1388

Отпечатано в издательском центре ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1